

**HMK**  
- handbok i mät- och kartfrågor

# Stommätning

2020





## Förord till 2020 års version

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

Revideringsarbetet har utförts av följande arbetsgrupp:

Ronny Andersson (Sweco)

Matti Horn (Trafikverket)

Clas-Göran Persson (Lantmäteriet)

Kent Ohlsson (Lantmäteriet)

Lars Jämtnäs (Lantmäteriet)

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

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

Gävle 2020-06-01

Lars Jämtnäs

# Innehållsförteckning

<b>1 Inledning .....</b>	<b>7</b>
1.1 Om dokumentet.....	7
1.2 Om Handbok i mät- och kartfrågor .....	9
<b>2 Om stommätning.....</b>	<b>11</b>
<b>3 Planering inför stommätning.....</b>	<b>13</b>
3.1 Arbetsprocessen vid stommätning .....	14
3.2 Utformning av olika stomnätstyper.....	16
3.2.1 Höjdnät.....	18
3.2.2 Terrestra 2D-nät .....	21
3.2.3 GNSS-nät.....	26
3.2.4 Terrestra 3D-nät .....	31
3.2.5 Förtätning, renovering och komplettering.....	35
3.3 Analys av nätdesign.....	39
3.4 Fältrekognosering.....	42
3.5 Mätplan .....	44
3.6 Mätutrustning .....	45
3.6.1 Vid avvägning .....	47
3.6.2 Vid totalstationsmätning .....	48
3.6.3 Vid GNSS-mätning .....	49
3.6.4 Övrig utrustning .....	51
3.7 Markering av stompunkter .....	53
<b>4 Genomförande av terrester stommätning .....</b>	<b>55</b>
4.1 Avvägning av höjdskillnader .....	56
4.2 Totalstationsmätning av längder och vinklar.....	58
4.2.1 Riktningmätning med totalstation.....	58
4.2.2 Längdmätning med totalstation .....	59
4.2.3 Trigonometrisk höjdmätning .....	59
4.2.4 Fri station som stommätningss metod.....	62
4.2.5 Centrerings och hantering av excentriciteter.....	63
4.3 Korrektioner .....	65
4.4 Kontroll av slutningsfel i slingor .....	66
4.4.1 Förhandskontroll av höjdnät - ett exempel .....	66
4.4.2 Kontroll av andra typer av nät.....	68
<b>5 Genomförande av GNSS-mätning .....</b>	<b>70</b>
5.1 Statisk GNSS-mätning.....	70
5.1.1 Observationstid.....	70
5.1.2 Aktiva referensnät .....	71
5.1.3 Mätförhållanden.....	72
5.1.4 Sessionsplanering.....	74
5.1.5 Instrumentinställningar .....	76
5.1.6 Centrerings, orientering och antennhöjder.....	76
5.1.7 Dokumentation av mätsession.....	78

5.2	Baslinjeberäkning.....	79
5.2.1	Indata vid baslinjeberäkning.....	79
5.2.2	Programvara, programinställningar och kriterier för att godkänna beräkningar .....	83
5.3	Kontroller efter baslinjeberäkning.....	86
5.3.1	Upprepad mätning av baslinjer .....	86
5.3.2	Slutningsfel i baslinjeslingor .....	87
5.3.3	Kontroll av baslinje med totalstation .....	87
5.4	Alternativa metoder vid mätning av enstaka stompunkter .....	88
5.4.1	Användning av SWEPOS Beräkningstjänst .....	88
5.4.2	Mätning med GNSS/RTK .....	90
<b>6</b>	<b>Beräkning och analys av stomnät.....</b>	<b>91</b>
6.1	Utjämningsprocessen.....	91
6.1.1	Den generella processmodellen.....	91
6.1.2	Några viktiga verktyg vid beräkning och analys.....	92
6.2	Höjdnät .....	95
6.3	Polygonnät.....	98
6.4	Triangelnät.....	101
6.5	GNSS-nät.....	103
6.6	Terrestra 3D-nät .....	107
6.7	Speciella utjämningsmetoder.....	109
6.7.1	Elastisk utjämning.....	109
6.7.2	Kombinerad utjämning.....	110
<b>7</b>	<b>Referenser/Läs mer .....</b>	<b>112</b>
7.1	Referenser i löptext, figurer m.m.....	112
7.2	Branschspecifika riktlinjer .....	112
7.3	HMK-TR 2018:3.....	113
7.4	Övriga rapporter, webbsidor m.m. ....	113
<b>Bilaga A:</b>	<b>Krav och rekommendationer.....</b>	<b>115</b>
A.1	Krav och rekommendationer .....	116
A.2	Grundutförande.....	128
<b>Bilaga B:</b>	<b>Produktionsdokumentation.....</b>	<b>130</b>
B.1	Planeringsrapport.....	130
B.2	Stomnätsredogörelse .....	130
B.3	Resultatrapport från beräkning/analys .....	131
B.3.1	Gemensam del.....	132
B.3.2	Höjdnät.....	132
B.3.3	Polygonnät.....	132
B.3.4	Triangelnät.....	132
B.3.5	GNSS-nät.....	133
B.3.6	Terrestra 3D-nät .....	133

<b>Bilaga C: Mätosäkerheter och toleranser .....</b>	<b>134</b>
C.1 Mätosäkerhetsfunktioner.....	134
C.1.1 Riktningmätning .....	134
C.1.2 Längdmätning .....	135
C.1.3 Avvägning .....	135
C.1.4 Trigonometrisk höjdmätning .....	136
C.1.5 GNSS-mätning av baslinjer .....	137
C.2 Balansen mellan mätosäkerhet vid längd- och riktningmätning..	138
C.3 Lägesosäkerhet i utgångspunkter .....	139
C.3.1 SWEREF 99 .....	139
C.3.2 RH 2000 .....	140
C.4 Toleransbaserade kontroller.....	140
C.4.1 Avvägda höjdskillnader.....	140
C.4.2 Trigonometriskt mätta höjdskillnader .....	141
C.4.3 Spridning mellan helsatser vid riktningmätning .....	142
C.4.4 EDM-mätta längder .....	143
C.4.5 GNSS-baslinjer .....	143
C.4.6 Kontroll av GNSS-baslinjer med EDM .....	144
C.4.7 Höjdslutningsfel i slingor .....	144
C.4.8 Vinkelslutningsfel i slingor.....	145
C.4.9 Koordinatslutningsfel i slingor för polygontåg i polygonnät..	145
C.4.10 Slutningsfel i baslinjeslingor .....	146
C.4.11 Viktsenhetens standardosäkerhet.....	146
C.4.12 Slutningsfel i höjdtåg efter utjämning.....	148
C.4.13 Slutningsfel i polygontåg efter utjämning.....	148
<b>Bilaga D: Kontroll/justering av mätinstrument.....</b>	<b>149</b>
D.1 Olika typer av instrumentfel.....	149
D.2 Instrumentfel – åtgärdslista.....	149
D.2.1 Avvägningsinstrument .....	149
D.2.2 Totalstation .....	150
<b>Bilaga E: Korrektioner vid stommätning .....</b>	<b>152</b>
E.1 Korrektion för jordkrökning och refraktion vid trigonometrisk höjdmätning.....	152
E.2 Atmosfärskorrektion av mätta längder .....	155
E.3 Lutningskorrektion av mätta längder.....	156
E.4 Höjd- och projektionskorrektion av avstånd .....	157
<b>Bilaga F: Planering, beräkning och analys av stomnät – några grundbegrepp .....</b>	<b>161</b>
F.1 Stomnätsutjämning.....	161
F.2 Kontrollerbarhet och k-tal .....	162
F.3 Sökning efter grova fel .....	164
F.4 Tillförlitlighet.....	167
F.5 Osäkerheten i utjämnade storheter .....	169
F.6 Sammanfattning – exempel på beräkning och analys av triangelnät (2D) .....	172

# 1 Inledning

## 1.1 Om dokumentet

### Syfte och avgränsningar

HMK - Stommätning 2020 innehåller råd och riktlinjer för utförande av geodetisk stommätning. Fokus i handboken ligger på kvalitetssäkring av arbetsprocessen. För beskrivningar av specifika produkter och tjänster hänvisas till manualer, specifikationer etc. från aktuell tillverkare eller tjänsteleverantör.

Handboken beskriver främst sådana tillämpningar som är vanligt förekommande inom kommunal mätningsteknisk verksamhet, fastighetsbildning och viss bygg- och anläggningsverksamhet. Mätning för rörelsekontroll tas inte upp i denna version, även om vissa delar av handboken kan vara tillämpbara även i sådana sammanhang.

### Disposition

[Kapitel 2](#) ger en översiktlig beskrivning av stommätning, inklusive den terminologi som används i handboken.

[Kapitel 3](#) tar upp aspekter som bör ingå i planering och förberedelser, bl.a. utformning av olika stomnätstyper och kontroll av mätutrustning.

[Kapitel 4](#) beskriver genomförandet av terrester stommätning, dvs. avvägning och totalstationsmätning.

[Kapitel 5](#) behandlar stommätning med GNSS-teknik.

[Kapitel 6](#) beskriver beräkning och analys av stomnät.

[Kapitel 7](#) redovisar referenser och hänvisningar till relevanta dokument. Referenser som finns i löptext, figurer m.m. anges med hakparenteser.

[Bilaga A](#) innehåller en sammanställning av samtliga krav- och rekommendationsrutor som förekommer i handboken, samt ger förslag på hur dessa kan tillämpas vid upphandling eller annan kravställning.

[Bilaga B](#) ger riktlinjer för dokumentation av stommätning.

[Bilaga C](#) innehåller information om mätosäkerheter och de toleranser som bör tillämpas vid egenkontroller samt vid kvalitetsredovisning i samband med leverans.

[Bilaga D](#) behandlar kontroll och justering av mätinstrument.

[Bilaga E](#) tar upp korrektioner av mätdata vid stommätning.

[Bilaga F](#) redovisar grundbegreppen i samband med beräkning och analys av stomnät.

[Bilaga G](#), slutligen, innehåller en beskrivning av vad som brukar benämnas "God mätsed".

## Texttrutor i handboken

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

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

## Terminologi och nyckelord

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

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

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

<i>stommätning</i>	<i>utgångspunkt</i>	<i>tolerans</i>
<i>stomnät</i>	<i>nätsimulering</i>	<i>överbestämning</i>
<i>stompunkt</i>	<i>rekognosering</i>	<i>nätutjämnning</i>
<i>referenssystem</i>	<i>markering</i>	<i>mätosäkerhet</i>
<i>referensnät</i>	<i>avvägning</i>	<i>lägesosäkerhet</i>
<i>SWEREF 99</i>	<i>totalstation</i>	<i>kontrollerbarhet</i>
<i>RH 2000</i>	<i>GNSS</i>	<i>tillförlitlighet</i>
<i>anslutning</i>	<i>egenkontroll</i>	



## 1.2 Om Handbok i mät- och kartfrågor

### Information

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

### Publicering av HMK

HMK (Handbok i mät- och kartfrågor) omfattar en samling digitala dokument – bestående av handböcker samt tekniska rapporter för ämnesför djupning, omvärldsbevakning m.m.

Samtliga HMK-dokument publiceras i PDF-format och finns tillgängliga avgiftsfritt via [lantmateriet.se/hmk](http://lantmateriet.se/hmk).

### Målgrupp

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

Vissa handböcker är skräddarsydda för ett särskilt ändamål, t.ex. att ge stöd vid utformning av tekniska specifikationer för viss typ av geodata-insamling. I övrigt är dock mycket av innehållet i HMK av allmän karaktär och kan exempelvis användas som underlag för egna/interna kravspecifikationer, regelverk eller arbetsrutiner.

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

**Tabell 1.2.** Senaste versioner av HMK-handböcker inom geodesi

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

### **Tillämpning av HMK**

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

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

### **Förvaltning av HMK**

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

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

För att prenumerera på nyhetsbrev med aktuell information om HMK, se <https://www.lantmateriet.se/nyhetsbrev/>.

## 2 Om stommätning

### Information

- Stommätning avser geodetisk mätning i syfte att etablera, komplettera eller renovera stomnät.
- Stommätning utförs med GNSS-mottagare, totalstation eller avvägningsinstrument.
- Stommätning utförs alltid med överbestämning för att möjliggöra kontroller och kvalitetsbedömning.
- Fackmannamässigt utförande av stommätning förutsätter fortlöpande kontroller och dokumentation av arbetsprocessen.
- Markering av stompunkter utförs med avseende på tänkt användning och livslängd.

*Stompunkter* är markerade referenspunkter som ingår i *stomnät*. Stomnät etableras genom att flera stompunkter lägesbestäms samtidigt genom geodetisk mätning och *nätutjämning*. Denna process benämns *stommätning* och kan också avse komplettering eller renovering av befintliga stomnät.

*Anslutning* sker via *utgångspunkter* med kända koordinater/höjder i ett geodetiskt referenssystem (t.ex. SWEREF 99 eller RH 2000). Stomnätet utgör då en *realisering* av detta referenssystem och kan användas för *geodetisk mätning*, geodatainsamling eller lägeskontroll. Stomnät som inte ansluts utgör ett lokalt referenssystem med giltighet i ett begränsat område (t.ex. byggplatsnät eller s.k. 1000/1000-system).

Stommätning sker med *totalstation*, *avvägning* eller GNSS-teknik. Observationerna utgörs av riktningar, längder, höjdskillnader eller baslinjer (3D-vektorer) mellan stompunkterna.

Stommätning utförs alltid med *överbestämning* för att kunna hantera *grova fel*, *systematiska effekter* och *slumpmässiga avvikelser* samt beräkna stompunkternas plan- och höjdlägen med hög *kontrollerbarhet* och *tillförlitlighet*. Observationernas *mätosäkerhet* och utgångspunkternas *lägesosäkerhet* påverkar den kvalitet med vilket stomnätets *nypunkter* kan bestämmas. Ett bra *närsamband* etableras genom observationer mellan närliggande punkter.

*Egenkontroller* är ett viktigt inslag i arbetsprocessen. Detta omfattar både rutinmässiga kontroller i samband med genomförandet och sådana

kontroller som syftar till redovisning och utvärdering av produktionsresultatet. Fortlöpande dokumentation av planering, mätningar, beräkningar, analyser m.m. underlättar felsökning och kvalitetsbedömning, och ger möjlighet till framtida uppföljning eller komplettering av stomnätet.

För att ett stomnät ska kunna användas på ett ändamålsenligt sätt förutsätts också stabil och varaktig *markering* av stompunkterna på platser som är åtkomliga för framtida geodetisk mätning eller geodatainsamling.

[HMK - Geodetisk infrastruktur](#), senaste version, innehåller en generell beskrivning av olika stomnätstyper: typiska användningsområden, relation till de nationella referenssystemen, förvaltningsmässiga frågeställningar m.m.

### 3 Planering inför stommätning

#### Krav

- a) Ett stornät ska planeras utifrån tänkt användning, mätningstekniska och fysiska förutsättningar samt kvalitetskrav.

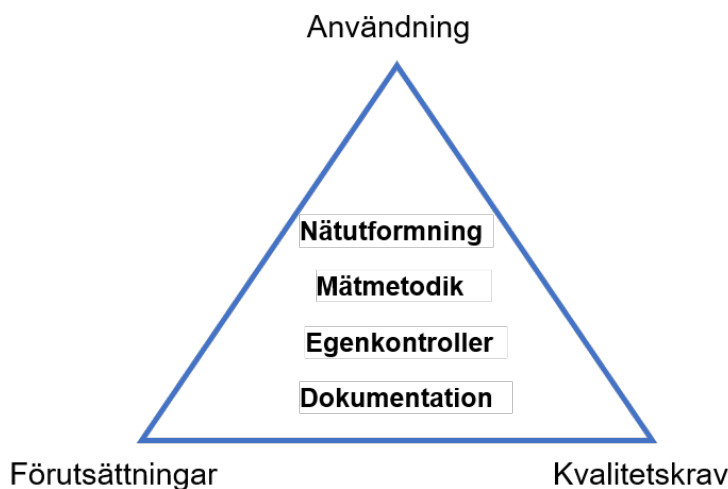
#### Rekommendation

- b) Stommätningssupdrag bör baseras på en teknisk specifikation eller motsvarande kravdokument.
- c) Genomförandet av stommätningssupdrag bör ske i dialog med beställaren, t.ex. via stegvisa avstämningar.

En väl genomförd planering skapar förutsättningar för att uppfylla stommätningens krav på ett resurseffektivt sätt. Vid planeringen utgår utföraren från beställarens *tekniska specifikation* och beaktar bl.a.

- **hur stornätet ska användas**; möjliga tillämpningar begränsas av punkternas placering och inbördes avstånd
- **mätningstekniska förutsättningar**; befintlig *geodetisk infrastruktur*, topografi, tillgänglig mätutrustning och kompetens, antalet stompunkter, storleken på området, leveransdatum m.m.
- **kvalitetskrav**; krav på lägesosäkerhet, kontrollerbarhet m.m. samt på hur stompunkterna ska markeras.

**Figur 3.** Vid stornätsplanering anpassar utföraren sina verktyg i arbetsprocessen för att kunna balansera olika planeringsaspekter – tänkt användning, mätningstekniska och fysiska förutsättningar samt ställda kvalitetskrav.



Nätutformning, mätmetodik, egenkontroller och dokumentation är utförarens huvudsakliga verktyg för att kunna balansera dessa aspekter på planeringen, se [Figur 3](#).

Stomnätets tänkta användning avgör vilka utformningar som kan vara aktuella; därefter sker en anpassning till de mätningstekniska förutsättningarna och kvalitetskraven. Ensidigt fokus på en planeringsaspekt bör undvikas, då det kan medföra svårigheter och förseningar i andra delar av arbetsprocessen.

På motsvarande sätt underlättas arbetsprocessen av en fortlöpande dialog mellan utföraren och beställaren. Därigenom minskar risken för olika tolkningar av den tekniska specifikationen och eventuella alternativ (t.ex. föreslagna avvikelser från grundutförandet, se [Bilaga A.2](#)) kan bedömas i god tid. Stegvisa avstämningar kan exempelvis ske enligt punktlistan i [avsnitt 3.1](#).

### 3.1 Arbetsprocessen vid stommätning

Eftersom stommätning ska ge ett produktionsresultat som ligger till grund för annan mätning eller geodatainsamling bör arbetsprocessen präglas av god planering, oberoende kontroller och fortlöpande dokumentation.

En generell arbetsprocess kan sammanfattas i följande punktlista:

1. Beskriv ändamålet med stommätningen. Det underlättar tolkningen av kraven i den tekniska specifikationen, och därmed också den fortsatta planeringen.
2. Tydliggör roller, ansvarsförhållanden, tidplan och övriga förutsättningar.
3. Se till att produktkraven finns specificerade, oavsett om stommätningen sker på uppdrag av beställare eller i egen regi.
4. Sammanställ underlag – kartor/flygbilder över området, information om befintlig geodetisk infrastruktur, tidigare stomnätsprojekt m.m. Komplettera vid behov.
5. Ta fram ett preliminärt förslag för utformning och anslutning av stomnätet. Se [avsnitt 3.2](#).
6. Analysera det preliminära förslaget utifrån kontrollerbarhet och tillförlitlighet, eventuellt med stöd av datorbaserad *nät-simulering*. Se [avsnitt 3.3](#) och [Bilaga F](#).
7. Utför fältrekognosering. Se [avsnitt 3.4](#).
8. Justera förslaget (dvs. upprepa punkterna 5–7) tills analysen resulterar i ett acceptabelt underlag till *mätplan*.

9. Dokumentera i mätplanen vilka markeringar, mätningar och egenkontroller som ska utföras ("vad?"), samt vilka mätrutiner och toleranser som ska tillämpas ("hur?"). Se [avsnitt 3.5](#).

→ **Avstämning med beställare**

10. Förbered och kontrollera mätinstrument och övrig utrustning. Se [avsnitt 3.6](#).
11. Utför markering. Se [avsnitt 3.7](#).
12. Genomför mätning:
  - Se [kapitel 4](#) för terrestra observationer
  - Se [kapitel 5](#) för GNSS-observationer
13. Beräkna koordinater/höjder via utjämnings- och transformeringar etc. och analysera resultatet. Se [kapitel 6](#).
14. Genomför eventuella åtgärder med anledning av analysresultatet.

→ **Avstämning med beställare**

15. Slutberäkna och redovisa. Se [Bilaga B](#) för förslag på innehåll i en detaljerad produktionsdokumentation, inklusive stomnätsredogörelse.

→ **Slutredovisning**

16. Planera uppföljning och eventuell komplettering tillsammans med beställare. Dokumentera erfarenheter för framtida behov.

Observera att den exakta ordningen i vilken ovanstående steg utförs och upprepas kan variera beroende på uppdragets förutsättningar, komplexitet, tidsaspekter m.m.

Punktlistan ovan ger några förslag på när avstämningar med beställare kan ske. Även när beställare inte önskar avstämningar så kan detta vara ett viktigt inslag i utförarens egna arbetsprocess, t.ex. för internkommunikation.

Exempel på hur man kan utforma en teknisk specifikation för stommätning finns i [HMK - Kravställning vid geodetisk mätning 2017](#) (med aktualitetsbeskrivning från 2020). För allmän beskrivning av referensnät för anslutning till de nationella referenssystemen SWEREF 99 och RH 2000, se [HMK - Geodetisk infrastruktur](#), senaste version.

## 3.2 Utformning av olika stomnätstyper

### Krav

- a) Förslag på utformning och anslutning av stomnät ska stämmas av med beställare innan markering och mätning påbörjas.
- b) Aktuella koordinat- och höjduppgifter för utgångspunkter, samt eventuella punktbeskrivningar, ska hämtas direkt från referensnätets huvudman.

### Rekommendation

- c) Nytt stomnät bör anslutas till gällande nationella referenssystem, förutsatt att kraven på stomnätets lokala lägesosäkerhet kan uppfyllas.

Generella riktlinjer för utformning och anslutning av olika stomnätstyper beskrivs enligt följande:

- Höjdnät (1D), se [avsnitt 3.2.1](#)
- Terrestra 2D-nät, se [avsnitt 3.2.2](#)
- GNSS-nät (2D eller 3D), se [avsnitt 3.2.3](#)
- Terrestra 3D-nät, se [avsnitt 3.2.4](#).

Även när de grundläggande stomnätstyperna kombineras genom gemensamma markeringar bör de generella riktlinjerna för varje stomnätstyp tillämpas.

[Tabell 3.2](#) ger en översikt av vilka mätmetoder som används vid etablering av de grundläggande stomnätstyperna.

**Tabell 3.2.** Vanliga mätmetoder för olika stomnätstyper.

Stomnätstyp	Mätmetod
Höjdnät	Finavvägning, tur och retur. Korresponderande trigonometrisk höjdmätning (eller motsvarande).
Terrestra 2D-nät	Längd- och riktningsmätning i helsatser, med instrument- och signaluppställning över stompunkter.
GNSS-nät	Statisk GNSS-mätning av baslinjer i sessioner. Aktiva referensnät kan användas för anslutning.
Terrestra 3D-nät	Längd- och vinkelmätning i helsatser, med fri instrumentuppställning och fasta signaler på olika höjder.



Baserat på uppdragskraven tar utföraren fram ett preliminärt förslag på stomnätets utformning och anslutning till befintlig geodetisk infrastruktur.

Den preliminära nätutformningen ger en bild av ungefärliga punktlägen och vilka mätningar som behövs. Analys av nätdesignen kan därefter visa mer i detalj hur utformningen påverkar stomnätets kvalitet, se [avsnitt 3.3](#). Två centrala kvalitetsbegrepp att beakta i samband med nätutformning och analys är

- kontrollerbarhet (kvantifierat med  $k$ -tal)
- tillförlitlighet (kvantifierat med  $MUF$  och  $YT$ )

Dessa begrepp beskrivs i [Bilaga F](#), tillsammans med andra aspekter på nätutformning och analys, som utföraren förväntas vara bekant med.

Tidig "skrivbordsrekognosering" utförs före eller i samband med analysen. Genom att använda utgångsmaterial från beställaren, kartstöd, ortofoton m.m. kan utföraren bilda sig en ganska god uppfattning om de faktorer och företeelser som kan påverka den fortsatta planeringen och utförandet av stommätningen, t.ex.

- vilka fastigheter som omfattas; vid behov av markering och siktröjning bör fastighetsägarkontakter ske med god framförhållning för att underlätta kommande fältarbete
- eventuella planerade förändringar som kan påverka nätets framtida användning, t.ex. kommande byggnation och markarbeten
- kontroll av förekomsten av nedgrävda ledningar i arbetsområdet
- transportvägar, topografi och andra terrängförhållanden; avstånd från bilväg (och möjligheten att använda dessa) är viktigt att känna till när mätinstrument och annan utrustning flyttas mellan stompunkterna
- avstånd till befintlig geodetisk infrastruktur, och vilka eventuella tjänster som finns för aktiva referensnät
- möjliga siktlinjer mellan stompunkterna, utifrån ändamålet med stomnätet
- om miljön är lämplig för GNSS-mätning.

Nätutformningen och analysen ska utmynna i en *mätplan* som beskriver vilka markeringar, mätningar och kontroller som ska utföras – och hur (se [avsnitt 3.5](#)). I detta skede av planeringen behöver utföraren därför ta hänsyn till följande faktorer:

- Faktisk mätmiljö. Verifiering av siktförhållandena mellan stompunkterna i terrestra nät och sikt uppåt i GNSS-nät.

- Möjlighet till markering. Kontroll av att de lokala förhållandena medger stabil och varaktig markering som uppfyller kraven i den tekniska specifikationen.
- Risker. Bedömning av sannolikheten för sättningar, trafik, sabotage eller annat som kan försvåra eller omöjliggöra användning av stompunkterna; förväxlingsrisk gentemot befintliga markeringar.

Dessa faktorer klarläggs i samband med en fältrekognosering, se [avsnitt 3.4](#). Fältrekognoseringen kan i sin tur medföra att de föregående stegen i arbetsprocessen behöver upprepas en eller flera gånger innan det går att fastställa stomnätets utformning och genomföra markering av alla nya stompunkter, se [avsnitt 3.7](#).

### 3.2.1 Höjdnät

#### Krav

- Alla höjdtåg i ett höjdnät ska börja och sluta i kända utgångspunkter eller knutpunkter och ha olika start- och slutpunkt.
- Anslutning av ett nytt höjdnät till RH 2000 ska ske via minst två utgångspunkter i riksnätet eller i ett anslutningsnät.

#### Rekommendation

- Fixhåll i bruksnät bör vara högst 250 meter långa.
- Fixhåll i anslutningsnät bör vara högst 1 km långa.
- Enskilda höjdtåg i höjdnät bör vara ungefär lika långa.
- Kontrollerbarheten i höjdnät bör vara  $k \geq 0,3$ .

Höjdnät är en *tågformad* stomnätstyp för höjdbestämmning (1D), där etableringen typiskt sker genom avvägning. Även *trigonometrisk höjdmätning* ([avsnitt 4.2.3](#)) förekommer, men är vanligare i terrestra 3D-nät.

Utgångspunkter vid anslutning av höjdnät är stabila *höjdfixar* i riksnät, anslutningsnät eller bruksnät. Se vidare under rubriken [Anslutningsalternativ](#), samt i [HMK - Geodetisk infrastruktur](#), senaste version.

Avsnittshänvisningar för riktlinjer beträffande mätutrustning, genomförande av mätning samt beräkning och analys finns i [Tabell 3.2.1](#).

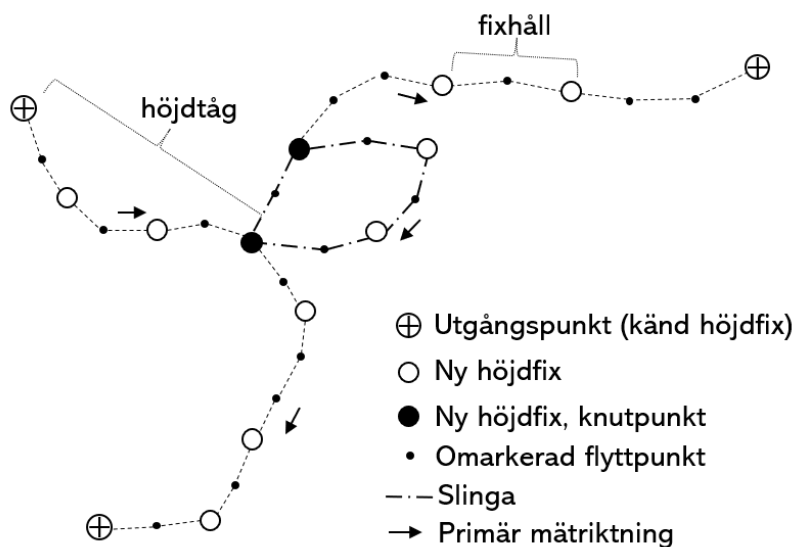
**Tabell 3.2.1.** Övriga avsnitt i HMK-Stommätning 2020 som tar upp etablering av höjdnät.

<b>Mätutrustning</b>	<a href="#">Avsnitt 3.6.1</a>
<b>Genomförande av mätning</b>	<a href="#">Avsnitt 4.1</a>
<b>Beräkning och analys</b>	<a href="#">Avsnitt 6.2</a>

### Nätutformning

Höjdnät byggs upp av ett eller flera *höjdtåg*, se [Figur 3.2.1.a](#). Höjdtågens ändpunkter utgörs antingen av kända utgångspunkter eller *knutpunkter*, dvs. nypunkter där tre eller flera tåg möts. *Höjdslinga* är en kombination av två eller flera höjdtåg som börjar och slutar i samma höjdfix. Ett tåg som börjar och slutar i samma punkt bidrar inte till att stärka nätgeometrin och kan därför inte betraktas som del av ett höjdnät.

**Figur 3.2.1.a.** Principiell utformning av höjdnät: Mätningen mellan två höjdfixar utgör ett *fixhåll* och flera *fixhåll* bildar tillsammans ett höjdtåg. Höjdtågens ändrar består av *knutpunkter* och/eller kända utgångspunkter i överordnat höjdnät.



I höjdtåg utgör *fixhåll* sträckorna mellan markerade höjdfixar. Höjdskillnaden i *fixhåll*en mäts genom en eller flera instrumentuppställningar med framåt- och bakåtläsningar mot en avvägningsstång. Höjdtågen ges en primär mät- eller tågriktning som bestämmer tecknet på höjdskillnaden. För att kunna begränsa siktlängderna inom varje *fixhåll* används omarkerade mellanpunkter, s.k. *flyttpunkter*, där avvägningsstången placeras.

Lika långa siktlängder bakåt och framåt i varje uppställning ska eftersträvas för att minimera systematiska effekter. Vidare ger jämna avstånd mellan markerade höjdfixar bra förutsättningar för ett höjdnät av homogen kvalitet. Dubbelmätning av höjdtåg förutsätts, dvs. att alla sträckor mäts två gånger – en gång i vardera riktningen.

Vid beräkning och analys av höjdnät är höjdtåget den minsta enheten, inte de enskilda mätningarna. Först bestäms knutpunkterna i förhållande till utgångspunkterna och därefter fördelas motsägelserna/slutningsfelen inom respektive höjdtåg. Höjderna i höjdtågen beräknas genom nätutjämnning med *minsta kvadratmetoden*.

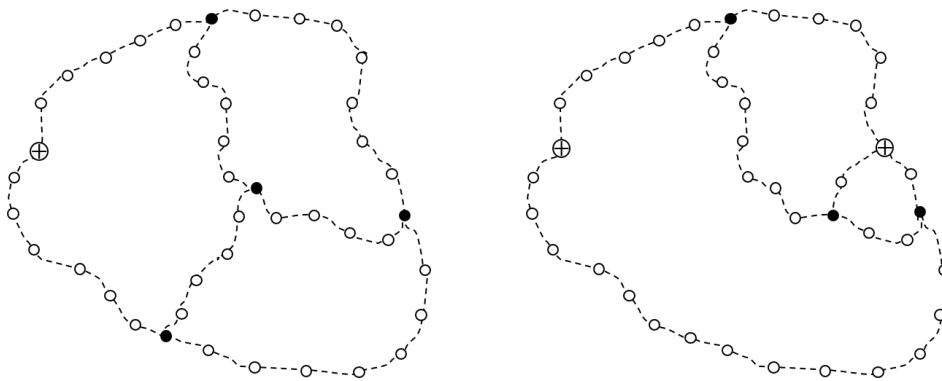
Kontrollerbarheten i ett avvägningarnät kan skattas enligt följande (se även [Bilaga F.2](#)):

$$k = \frac{\ddot{o}}{n} = \frac{t-p}{t} \quad (3.1)$$

där  $\ddot{o}$  = antalet överbestämningar,  $n$  = antalet observationer,  $t$  = antalet tåg, och  $p$  = antalet knutpunkter.

På grund av den relativt låga kontrollerbarheten i höjdtåg och höjdnät är det viktigt att flera oberoende kontroller utförs före utjämnningen, t.ex. av dubbelmätta höjdskillnader eller av *slutningsfel*. Slutningsfel kontrolleras antingen i slutna höjdslingor eller mellan utgångspunkter, se [avsnitt 6.2](#).

**Figur 3.2.1.b.** Vid etablering av höjdnät medför den tågformade geometrin att kontrollerbarhet och anslutning särskilt måste beaktas. Utgångspunkter visas som cirklar med kors och knutpunkter som fyllda cirklar.



Exempel: I [Figur 3.2.1.b](#) beräknas det vänstra nätets  $k$ -tal som  $(7-4)/7 = 0,43$  och det högra nätets  $k$ -tal som  $(7-3)/7 = 0,57$ . I båda fallen är kontrollerbarheten mycket bra för ett höjdnät. Däremot borde det vänstra nätet kompletteras med fler utgångspunkter, och det högra nätet borde ges en mer homogen utformning med avseende på tåglängder. I båda näten finns slingor som möjliggör kontroll.

### Anslutningsalternativ

Anslutning av nya höjdnät kan antingen ske genom avvägning eller via statisk GNSS-mätning, beroende på om stabila höjdfixar i riksnät eller anslutningsnät finns tillgängliga i närområdet. Utgångspunkternas status och kvalitet ska vara känd, vilket verifieras med uppgifter från stomnätsförvaltaren och fältrekognosering. Nyetablerade höjdnät ska anslutas till minst två olika utgångspunkter med kända höjder i RH 2000.

Avvägning mot höjdfixar i riksnätet ger den bästa anslutningen till RH 2000. Även fixar i anslutningsnät som har utjämnats i förhållande till riksnätet kan vara bra alternativ som utgångspunkter. Anslutning med GNSS-teknik tillämpas när det inte är möjligt att ansluta stomnätet genom avvägning, eller där kraven på lägesosäkerhet är lägre ställda [7].

Approximativ anslutning av höjdnät genom *inpassning* på GNSS-mätta höjdfixar kan också tillämpas när det är viktigt att bevara höjdnätets inre geometri. Antalet passpunkter anpassas då till områdets storlek, antalet nypunkter, punktavstånd m.m.

Vid etablering av enstaka utgångspunkter i RH 2000 med GNSS-mätning [6] kan användning av en efterberäkningstjänst vara ett alternativ till konventionell baslinjeberäkning, beroende på vilken lägesosäkerhet som eftersträvas. I detta fall krävs endast en GNSS-mottagare.

Schablonmässiga lägesosäkerheter för olika typer av utgångspunkter finns angivna i [Bilaga C.3](#).

### 3.2.2 Terrestra 2D-nät

#### Krav

- a) Terrestra 2D-nät ska anslutas via utgångspunkter som tillsammans omsluter nypunkterna.
- b) Terrestra 2D-nät med övervägande triangel- eller fackverksform ska ha en kontrollerbarhet  $k \geq 0,5$ .

#### Rekommendation

- c) I terrestra 2D-nät bör sikt mot minst tre stompunkter eftersträvas i hela stomnätets användningsområde.
- d) Vid utformning av långsträckta, terrestra 2D-nät bör fackverksgeometri väljas framför tågformer.
- e) Polygontåg i polygonnät bör vara sträckta och av ungefär samma längd.

- f) Polygontåg bör innehålla högst fyra nypunkter.
- g) Avstånden mellan närliggande punkter i ett polygontåg bör vara minst 50 meter.

Terrestra 2D-nät används bl.a. som bruksnät vid geodetisk detaljmätning eller som utgångs-/kontrollpunkter för annan geodatainsamling. Etablering av 2D-nät som bruksnät sker företrädesvis genom längd- och riktningsmätning, med instrument- och signaluppställning över stompunkterna. Utgångspunkter vid anslutning av terrestra 2D-nät ingår antingen i aktiva eller passiva referensnät, men kan också bestämmas vid behov. Se vidare under rubriken [Anslutningsalternativ](#) nedan, i [avsnitt 3.2.5](#) samt i [HMK - Geodetisk infrastruktur](#), senaste version.

Avsnittshänvisningar för riktlinjer beträffande mätutrustning, genomförande av mätning samt utjämning och analys finns i [Tabell 3.2.2](#).

**Tabell 3.2.2.** Övriga avsnitt i HMK-Stommätning 2020 som tar upp etablering av terrestra 2D-nät.

<b>Mätutrustning</b>	<a href="#">Avsnitt 3.6.2</a>
<b>Genomförande av mätning</b>	<a href="#">Avsnitt 4.2</a>
<b>Utjämning och analys</b>	<a href="#">Avsnitt 6.3–6.4</a>

### Nätutformning

Terrestra 2D-nät utformas yttäckande eller anpassas till specifika objekt, t.ex. vägnät eller byggnadsverk. Nätgeometrin består av trianglar, polygoner eller en kombination av sådana. *Triangelnät* är nät i 2D där varje nypunkt är förbunden genom vinkel- och/eller längdmätning till minst tre andra stompunkter. Triangelnät är vanligen yttäckande men kan även ha en långsträckt fackverksform.

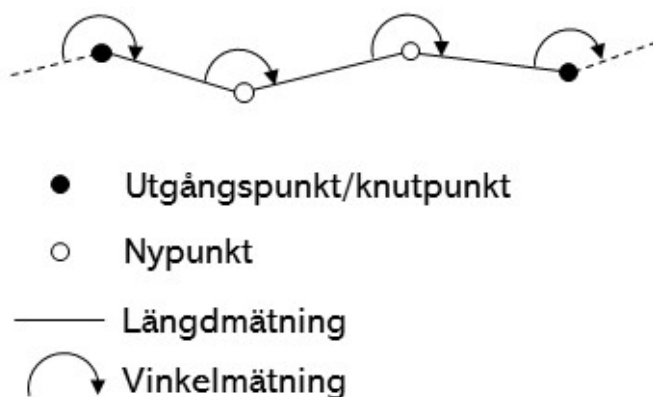
Stommätningen sker företrädesvis med totalstation, med noggrann instrumentuppställning och centrerings över stompunkterna. Längd- och riktningsmätningen sker mot prismor, reflexer eller andra signaler på omgivande stompunkter.

Mätmetodiken anpassas på lämpligt sätt för att minimera mätosäkerhet och systematik – genom *helsatsmätning* (dvs. riktningsmätning i två cirkellägen [2]) och dubbelmätning av längder. Horisontalriktningar, vertikalvinklar och lutande längder kontrolleras/korrigeras separat innan observationerna utjämnas med minsta-kvadratmetoden för att erhålla koordinater i 2D.

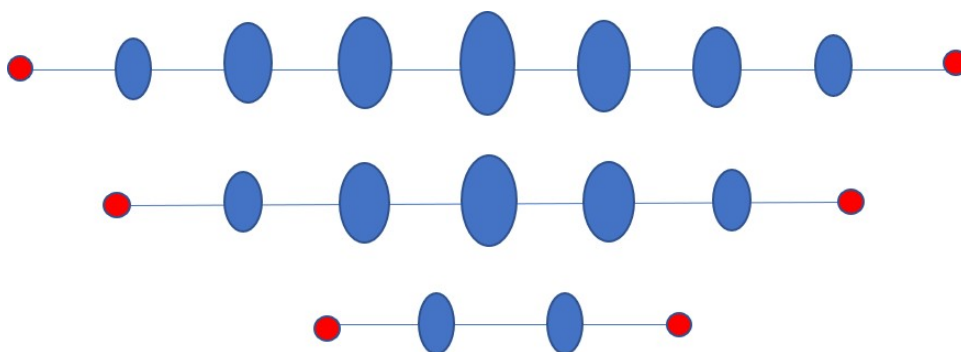
I undantagsfall används *polygonnät* när ett yttäckande triangelnät är mindre lämpligt p.g.a. begränsningar i miljön – t.ex. längs gatu- och vägnät. Polygonnät byggs upp av enskilda *polygontåg*, på motsvarande sätt som höjdnät byggs upp av höjdtåg.

Polygontåg utgörs alltså av kedjor av punkter, där stommätningen sker genom successiv polärmätning (längd- och riktningsmätning) från en punkt till nästa, se [Figur 3.2.2.a](#). Kontrollerbarheten minskar med ökat antal punkter i polygontåget, och den förväntade lägesosäkerheten är som störst i mitten av tåget, se [Figur 3.2.2.b](#).

**Figur 3.2.2.a.** Polygontåg med successiva polärmätningar från en punkt till nästa. Anslutna polygontåg börjar och slutar i kända utgångspunkter och/eller knutpunkter.

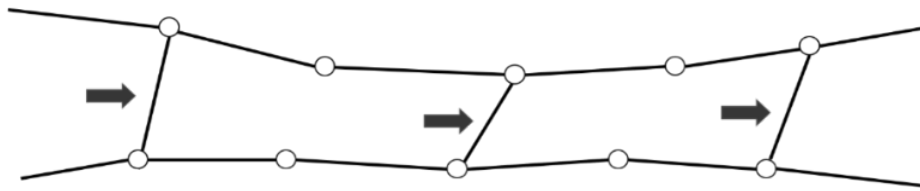


**Figur 3.2.2.b.** Schematisk bild av hur osäkerhetsellipserna ser ut i polygontåg av olika längd.



Polygonnät bör därför utformas så att de enskilda tågen blir relativt korta, alternativt sammankopplade med *tvärtåg* om avståndet mellan parallella polygontåg är kort jämfört med tåglängderna, se [Figur 3.2.2.c](#). *Korssyfter*, mätning tvärs genom nätet, kan också användas för att ge polygonformade stommätningar ytterligare stabilitet. Beräkning av enskilda polygontåg beskrivs i [\[2\]](#).

**Figur 3.2.2.c.** Tvärtåg mellan parallella polygontåg bidrar till ökad kontrollerbarhet i en annars svag nätgeometri.



Kontrollerbarheten för ett terrestrert 2D-nät som huvudsakligen består av polygontåg kan beräknas på motsvarande sätt som ett höjdnät, dvs.

$$k = \frac{\ddot{o}}{n} = \frac{t-p}{t} \quad (3.2)$$

där  $\ddot{o}$  = antalet överbestämningar,  $n$  = antalet observationer,  $t$  = antalet tåg, och  $p$  = antalet knutpunkter. I yttäckande terrestra 2D-nät, dvs. där polygonformen **inte** överväger, skattas kontrollerbarheten enligt:

$$k = \frac{\ddot{o}}{n} = \frac{l+r-2p-o}{l+r} \quad (3.3)$$

där  $l$  är antalet mätta längder,  $r$  är totala antalet mätta riktningar i alla riktningsserier,  $p$  är antalet nypunkter och  $o$  är antalet orienteringsriktningar (en för varje riktningsserie/station).

Observera att k-talsformlerna (3.2) och (3.3) inte är jämförbara. Tågformade polygonnät förutsätter nämligen andra kontroll- och utjämningsprinciper jämfört med övriga terrestra 2D-nät, där enskilda mätningar hanteras.

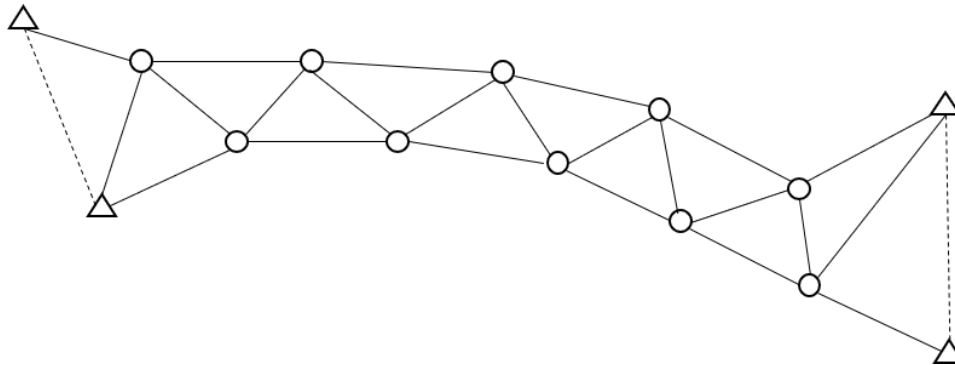
Med övervägande triangelformer och  $k > 0,5$  kan terrestra 2D-nät få bättre överbestämning och kontrollerbarhet. I långsträckta nät är det därför fördelaktigt om polygonnät kan undvikas till förmån för s.k. fackverksgeometri, se exempel i [Figur 3.2.2.d](#).

Exempel: I det fackverksnät som illustreras i [Figur 3.2.2.d](#) är antalet nypunkter  $p=10$ , antalet mätta längder  $l=23$ , antalet mätta riktningar  $r=50$  och antalet orienteringsvinklar  $o=14$ . Fackverksnätets kontrollerbarhetstal blir då, enligt Formel (3.3):

$$k = \frac{23 + 50 - 2 \cdot 10 - 14}{23 + 50} = 0,53$$



**Figur 3.2.2.d** Långsträckt terrestert 2D-nät med fackverksgeometri och ett  $k$ -tal = 0,53. Alla längder dubbelmätas (heldragna linjer). Utgångspunkterna (trianglar) är bestämda med GNSS-teknik. Mellan utgångspunkterna utförs endast riktningsmätning (streckade linjer).



### Anslutningsalternativ

Terrestra 2D-nät kan anslutas till SWEREF 99 genom inmätning av utgångspunkter direkt mot det aktiva SWEPOS-nätet. Mätningen utförs då i första hand som statisk GNSS-mätning, där utgångspunkterna placeras parvis med inbördes sikt för att möjliggöra orientering vid terrester riktningsmätning (se exempel i [Figur 3.2.2.d](#)).

Vid långa avstånd till fasta referensstationer kan en lämplig strategi vara att först etablera ett GNSS-nät som ett anslutningsnät i plan, se [avsnitt 3.2.3](#). Alternativt bestäms utgångspunkterna var för sig med lämplig GNSS-metodik, t.ex. en efterberäkningstjänst. Om det aktiva referensnätet är regionalt förtätat kan även nätverks-RTK vara ett möjligt alternativ. Se vidare [avsnitt 3.2.5](#).

Anslutningen av nätet utförs antingen som en fast utjämning eller genom inpassning (se [avsnitt 6.1.2](#)), beroende på hur kraven på *absolut* respektive *lokal lägesosäkerhet* ser ut.

Schablonmässiga osäkerhetsangivelser för ovanstående anslutningsalternativ finns angivna i [Bilaga C.3](#).

### 3.2.3 GNSS-nät

#### Krav

- a) GNSS-nät ska anslutas via utgångspunkter som tillsammans omsluter nypunkterna.
- b) Baslinjerna i ett GNSS-nät ska ingå i slingor för att möjliggöra kontroll av slutningsfel.

#### Rekommendation

- c) GNSS-nät bör planeras så att de byggs upp av oberoende baslinjer i en homogen nätgeometri bestående av fyrhörningar.
- d) Baslinjelängderna mellan nypunkter i ett GNSS-nät bör inte överstiga 20 km.
- e) Baslinjelängderna i ett GNSS-nät bör inte understiga 200 meter.
- f) Anslutning i höjd av ett GNSS-nät bör göras genom avvägning av ungefär var femte punkt i nätet – varav minst tre punkter som inte ligger på en rät linje.

GNSS-nät etableras ofta som anslutningsnät för planbestämning (2D) över större områden där direktsikt mellan punkterna saknas. Utformningen är i de flesta fall yttäckande, även om tåg-/linjeformer är möjliga. SIS-TS 21143:2016 [3] behandlar etablering av GNSS-nät för följande tillämpningar:

- Yttäckande anslutningsnät i plan för byggnads- och infrastrukturprojekt.
- Par- eller trippelpunktsnät för långsträckta anläggningsprojekt, t.ex. järnväg, väg och tunnlar.

Avsnittshänvisningar för riktlinjer beträffande mätutrustning, mätning och baslinjeberäkning samt utjämning och analys finns i [Tabell 3.2.3](#).

**Tabell 3.2.3.** Övriga avsnitt i HMK-Stommätning 2020 som tar upp etablering av GNSS-nät.

<b>Mätutrustning</b>	<a href="#">Avsnitt 3.6.3</a>
<b>Mätning och baslinjeberäkning</b>	<a href="#">Avsnitt 5.1–5.2</a>
<b>Utjämning och analys</b>	<a href="#">Avsnitt 6.5</a>

## Nätutformning

GNSS-nät byggs upp av *baslinjer*, som utgörs av 3D-vektorer mellan stompunkterna. Baslinjerna mäts och beräknas i *sessioner* – dvs. samtidigt satellitobservationer med två eller fler GNSS-mottagare, där vissa kan utgöras av fasta referensstationer.

Beräkning och utjämning av baslinjer i GNSS-nät sker alltid i 3D. Baslinjer kan dock vid behov omvandlas till horisontell längd, orienterad riktning och höjdskillnad. Med hjälp av minst en utgångspunkt och en *geoidmodell* kan de även användas för att beräkna höjd- och planlägen i en- och tvådimensionella referenssystem.

Vid GNSS-mätning förutsätts ostörd signalgång mellan satelliter och mottagare. Siktförhållanden med avseende på lokal topografi, vegetation och bebyggelse behöver därför beaktas i samband med rekognoseringen, se [avsnitt 3.4](#).

Baslinjelängderna i ett GNSS-nät (som motsvarar sidlängderna i ett 2D-nät) kan variera från ett par hundra meter till tiotals kilometer. Att nätet planeras homogent med avseende på baslinjelängd underlättar de senare delmomenten – mätning, *viktsättning* och nätutjämning.

Vid längre baslinjelängder ökar behovet av alternativa mätstrategier och modellering av osäkerhetskällor. Av detta skäl undviks avstånd längre än 20 km mellan nypunkter i ett GNSS-nät. Vid korta avstånd och optisk sikt mellan punkterna kan terrestra mätmetoder övervägas, antingen som oberoende kontroll (se [avsnitt 5.3.3](#)) eller som kompletterande observationer i en gemensam utjämning (se [avsnitt 6.7.2](#)).

Beroende på hur GNSS-nätet utformas kan olika grad av korrelation uppstå mellan olika baslinjer. Om man bortser från detta finns risk att nätkvaliteten överskattas. Vid planeringen bör därför hänsyn tas till om baslinjer är oberoende eller beroende (triviala), dvs. om de kan bildas med hjälp av andra baslinjer, se [Figur 3.2.3.a](#). Exakt vilka baslinjer som definieras som oberoende respektive beroende är godtyckligt och bestäms i samband med sessionsplaneringen. Det viktiga är dock att planeringen främst baseras på oberoende baslinjer. Antalet baslinjer i en session där  $m$  st. mottagare används kan beräknas enligt följande:

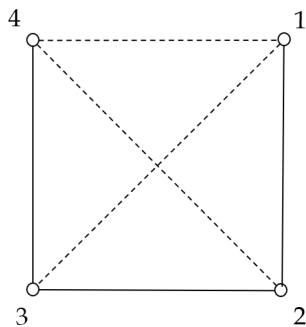
$$b = m - 1 \quad (3.4)$$

$$b' = \frac{(m-1)(m-2)}{2} \quad (3.5)$$

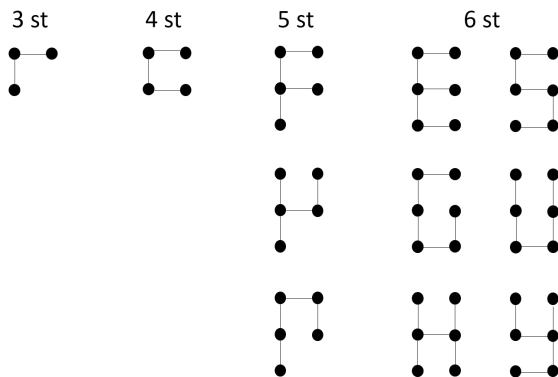
där  $b$  och  $b'$  är antalet oberoende respektive triviala baslinjer. Summan av alla baslinjer blir:

$$b + b' = m \frac{(m-1)}{2} \quad (3.6)$$

**Figur 3.2.3.a.** I en session som mäts med fyra GNSS-mottagare finns tre oberoende baslinjer (t.ex. 1-2, 2-3 och 3-4) och tre triviala (streckade). De triviala baslinjerna bör inte ingå i skattningen av nätets kontrollerbarhet.



**Figur 3.2.3.b.** Alternativa grundformer vid uppbyggnad av fyrhörningsgeometri med oberoende baslinjer, beroende på antal tillgängliga mottagare.



Vid tillgång till minst tre mottagare kan GNSS-nätet planeras så att oberoende baslinjer bygger upp en yttäckande geometri av fyrhörningar – gärna så homogena/kvadratiska som möjligt – se [Figur 3.2.3.b](#). Fyrhörningsformerna ger möjlighet till oberoende kontroll av beräknade baslinjer före utjämning:

- kontroll av slutningsfelen i de slingor som bildas av baslinjerna
- kontroll av upprepade mätningar av baslinjer, dvs. sådana som mätts i minst två sessioner, vilket enklast åstadkoms genom att låta två av mottagarna stå kvar på samma punkter under efterföljande session.

Om utformningen av GNSS-nätet sker med denna typ av fyrhörningsformer så gäller följande vid planering av sessionerna:

1. Vid planeringen betraktas alla punkter som nypunkter, alltså även de kända utgångspunkterna.
2. Endast oberoende baslinjer tas med i sessionsplaneringen.

3. Sessionerna definieras av närliggande punkter i så homogena fyrhörningsformer som möjligt.
4. Kontrollerbarheten motsvarar en överbestämning per obekant, vilket är en beprövad princip vid utformning av geodetiska nät.

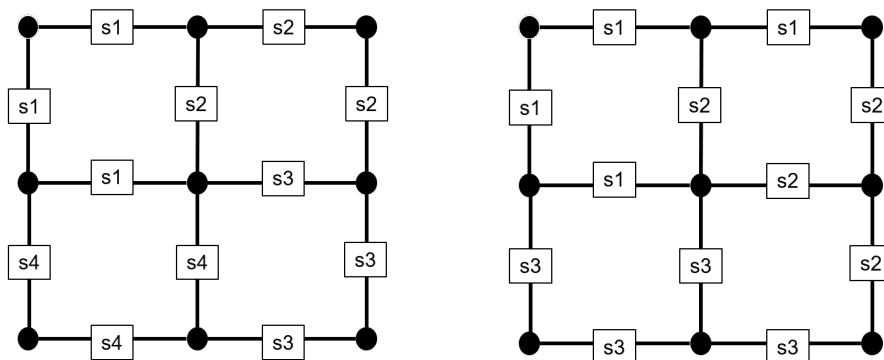
Från dessa principer kan nödvändigt antal sessioner beräknas som:

$$s = \frac{2(p - \sqrt{p})}{m - 1} \quad (3.7)$$

där  $p$  är antalet punkter (nya + kända) och  $m$  är antalet tillgängliga mottagare. Om  $s$  blir ett decimaltal avrundas det uppåt till närmaste heltal. När detta appliceras på det idealiserade GNSS-nätet i [Figur 3.2.3.c](#) (med  $m = 4$ ) erhålls:

$$s = \frac{2(9 - \sqrt{9})}{4 - 1} = 4$$

**Figur 3.2.3.c.** Idealiserat GNSS-nät med 9 punkter, som mäts med 4 eller 5 GNSS-mottagare (vänster resp. höger). De numrerade sessionerna planeras med oberoende baslinjer i fyrhörningsformer.



Fyrhörningsprincipen kan tillämpas även när bara två GNSS-mottagare finns tillgängliga. Kontroll av dubbelmätta baslinjer är dock inte möjligt i detta fall, eftersom inga baslinjer är gemensamma i de olika sessionerna. I [avsnitt 5.1.4](#) ges exempel på sessionsplanering inför mätning av GNSS-nät.

### Anslutningsalternativ

Om GNSS-nätet ska utnyttjas som anslutningsnät, dvs. möjliggöra vidare utbyggnad/förtätning av referensnät för SWEREF 99, så bör GNSS-nätet anslutas på högsta möjliga nivå – dvs. via utgångspunkter med låg lägesosäkerhet i SWEREF 99. Om fasta referensstationer finns tillgängliga som utgångspunkter så kan data från dessa, i RINEX-format, användas för egen efterberäkning, eller för utjämning med någon form av efterberäkningstjänst.

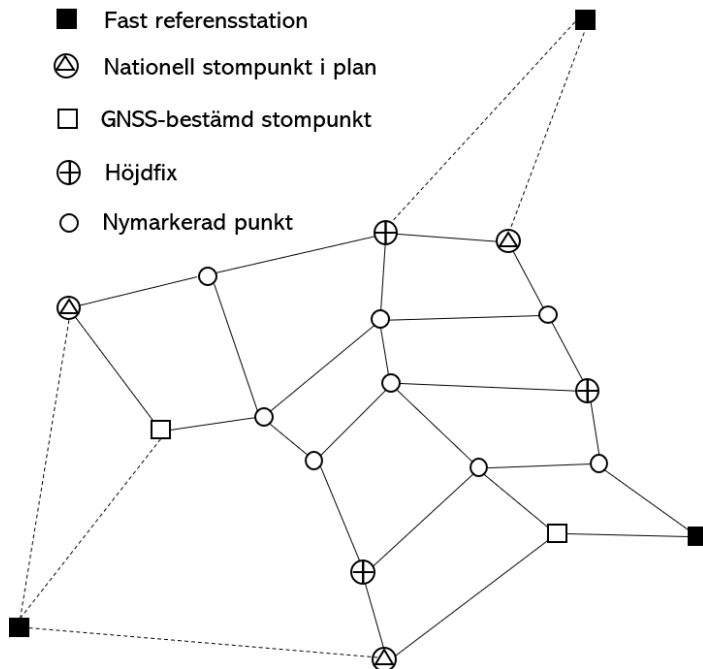
Alternativt utförs egen GNSS-mätning på riksnätspunkter eller anslutningspunkter som har bestämts i förhållande till SWEPOS-nätet. I båda dessa fall ingår rutinmässig kontroll av utgångspunkterna i beräknings- och utjämningsprocessen.

Om avstånden till tillgängliga utgångspunkter är långa eller mycket varierande så finns risk att GNSS-nätet blir inhomogent. Då kan såväl viktsättningen som kvalitetsbedömningen bli problematisk. I sådana fall kan ett bättre alternativ vara att utföra GNSS-mätningen i två steg:

1. Först etableras ett anslutningsnät eller enstaka anslutningspunkter med lämpliga inbördes avstånd.
2. Därefter mäts ett mer homogent GNSS-nät med jämnlånga baslinjer.

Höjdkvaliteten i GNSS-nät kan förbättras med avvägningsobservationer som räknas om till ellipsoidhöjder via en geoidmodell. I sådana fall fixeras alltså vissa stompunkter i 2D (utgångspunkter i SWEREF 99) och andra stompunkter i 1D (avvägda punkter i RH 2000), även om GNSS-beräkningen på sedvanligt sätt utförs i 3D.

**Figur 3.2.3.d.** Exempel på hur ett fyrhörningsformat GNSS-nät kan anslutas via olika utgångspunkter.



Exempel: [Figur 3.2.3.d](#) visar ett GNSS-nät där utformningen har baserats på fyrhörningsprincipen. Punktavstånden är ca 2–5 km. Några av nypunkterna utgörs av avvägda höjdfixar.

Anslutningen till SWEREF 99 kan i detta fall ske via en fast referensstation, tre nationella stompunkter i plan (t.ex. av SWEREF-klass 2, se [HMK – Geodetisk infrastruktur 2020](#), avsnitt 3.1.3) och två övriga GNSS-bestämda stompunkter. Vid senare utjämning kan dessa utgångspunkter hållas fasta eller viktas i förhållande till sin skattade lägesosäkerhet i plan. De tre höjdfixarna kan hållas fasta eller viktas i höjd vid utjämning, liksom en av de fasta referensstationerna.

Om alla ovanstående alternativ utnyttjas så kommer nya koordinater att bestämmas för fyra punkter i plan, fem punkter i höjd och åtta punkter i både plan och höjd. De två övriga fasta referensstationerna ingår inte i GNSS-nätet eftersom det då skulle bli inhomogent. De kan däremot användas för att kontrollera övriga utgångspunkter.

### 3.2.4 Terrestra 3D-nät

#### Krav

- a) Terrestra 3D-nät ska ha en kontrollerbarhet  $k \geq 0,5$ .

#### Rekommendation

- b) Punkter i terrestra 3D-nät bör vara väl spridda i såväl plan som höjd.
- c) Terrestra 3D-nät bör mätas in med totalstation från fria uppställningar.

Terrestra 3D-nät etableras ofta som bruksnät för tillämpningar med krav på mycket noggrann mätning eller särskild anpassning till yttre förutsättningar (t.ex. industri- och specialmätning) eller vid mätning i tät/hög stadsbebyggelse. Ett vanligt krav är då att näten ska vara

- *spänningsfria*, dvs. utan tvång från överordnat referenssystem, och/eller
- *korrektionsfria*, som innebär att inga höjd- och korrektionskorrektioner har påförts mätningarna, så att skalan mellan "modell och verklighet" är 1:1.

Detta begränsar nätens utbredning och deras anslutningsmöjligheter. I HMK-TR 2019:1 [\[5\]](#) ges en särskild beskrivning av mätning och redovisning av terrestra 3D-nät för långsträckta bygg- och anläggningsobjekt. Vissa tillämpningar inom bygg- och anläggningsverksamhet behandlas i SIS-TS 21143:2016 [\[3\]](#), där näten dock hanteras separat i plan och höjd. Avsnittshänvisningar för riktlinjer beträffande mätutrustning, mätning samt utjämning och analys finns i [Tabell 3.2.4.a](#).

**Tabell 3.2.4.a.** Övriga avsnitt i HMK-Stommätning 2020 som tar upp etablering av terrestra 3D-nät.

<b>Mätutrustning</b>	<a href="#">Avsnitt 3.6.2</a>
<b>Mätning</b>	<a href="#">Avsnitt 4.2</a>
<b>Utjämnning och analys</b>	<a href="#">Avsnitt 6.6</a>

### Nätutformning

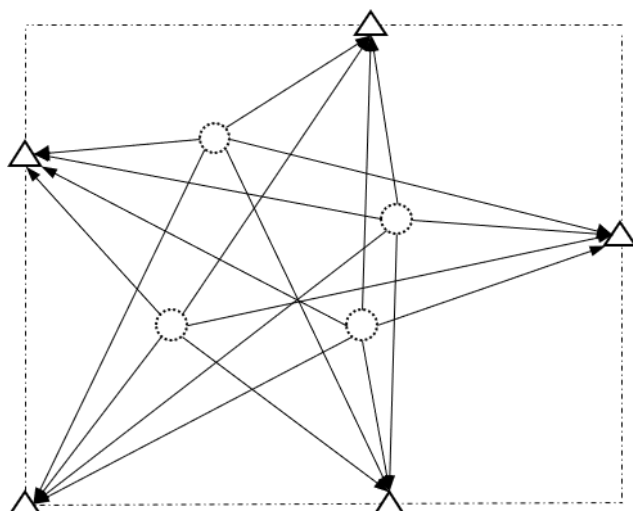
I detta avsnitt likställs terrestra 3D-nät med *fristationsnät*. Exempel på sådana är väggmarkerade nät eller primärnät på byggarbetsplatser. Ytterligare en kategori terrestra 3D-nät utgörs av specialnät, som nämns kortfattat i slutet av avsnittet.

Som namnet antyder används fria stationer såväl vid stommätets etablering som vid dess användning, alltså med instrumentuppställningar som inte görs över en markerad punkt utan där skärningen mellan instrumentets horisontal- och vertikalaxel definierar punktläget.

I stället består fristationsnätets punkter av fasta markeringar som sitter på olika höjd och omger det aktuella projektområdet; det senare för att undvika extrapolation vid nätets användning. Markeringarna mäts in från marken på det sätt som visas i Figur 3.2.4.a. Se även kapitel 11 i [HMK-TR 2018:3 \[4\]](#).

Trots att markeringarna är fasta så är det vid beräkningen nödvändigt att ta med en liten centreringsosäkerhet för att riktningsvinklarna ska bli realistiska – enligt diskussionen i [HMK-TR 2018:3](#), Tabell 4.c.

**Figur 3.2.4.a.** Exempel på terrestert 3D-nät som mäts in med totalstation från fria uppställningar. Konfigurationen utgörs av fyra omarkerade uppställningar (ringar) och fem stompunkter (trianglar), vilket ger  $k = 0,52$  i plan och  $k = 0,64$  i höjd (se [turkos](#) märkning i [Tabell 3.2.4.b](#) och [3.2.4.c](#)).





Instrumentet på en av de fria uppställningarna används sedan som utgångspunkt för ett fritt, kartesiskt 3D-system som kan beskrivas på följande sätt:

- Origo utgörs av skärningen mellan totalstationens horisontal- och vertikalaxel.
- Orienteringen i tre dimensioner ges av lodlinjen genom instrumentet (vertikalvinkeln = 0) samt det horisontalplan som definieras av vertikalvinkeln 100 gon; horisontalskalans nollriktning definierar den ena axeln i detta plan och horisontalriktningen 100 gon den andra.
- Skalan definieras av totalstationens längdmätare.

Från de fria stationerna mäts de markerade punkterna in polärt, dvs. mätning av vertikalvinkel samt riktning och längd mot varje punkt. Det ger 3D-koordinater på punkterna men inga överbestämningar. Sedan flyttas instrumentet ett stycke och proceduren upprepas. Några av mätningarna går åt för att bestämma den nya punkten men resten blir överbestämningar. Varje ny uppställning tillför därför ytterligare överbestämningar.

Om 3D-nätet delas upp i ett höjdnät och ett 2D-nät gäller följande formler för relationen mellan antalet markerade punkter, antalet fria mätstationer och  $k$ -talen i plan respektive höjd:

Kontrollerbarheten i plan vid *fri utjämning* (se [Tabell 3.2.4.b](#)) blir

$$k = \frac{(s-1)(2p-3)}{2 \cdot s \cdot p} \quad (3.8)$$

Kontrollerbarheten i höjd vid *fri utjämning* (se [Tabell 3.2.4.c](#)) blir:

$$k = \frac{(s-1)(p-1)}{s \cdot p} \quad (3.9)$$

**Tabell 3.2.4.b.** Kontrollerbarheten ( $k$ -tal enligt formel 3.8) i **plan** för ett fristationsnät med  $p$  st. punkter, inmätta från  $s$  st. fria stationer.

<b>s \ p</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>20</b>
<b>1</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>2</b>	0,25	0,31	0,35	0,37	0,39	0,41	0,46
<b>3</b>	0,33	0,42	0,47	0,50	0,52	0,54	0,62
<b>4</b>	0,37	0,47	0,52	0,56	0,59	0,61	0,69
<b>5</b>	0,40	0,50	0,56	0,60	0,63	0,65	0,74

<b>6</b>	0,42	0,52	0,58	0,62	0,65	0,68	0,77
<b>7</b>	0,43	0,54	0,60	0,64	0,67	0,70	0,79
<b>20</b>	0,48	0,59	0,66	0,71	0,75	0,77	0,88

Grå rutor i tabellen är kombinationer med  $k \geq 0,5$ . Slutsatsen är att det i 2D-fallet behövs minst tre stationer med inmätning mot minst fyra punkter, men inte exakt dessa antal samtidigt.

Gråmarkerade rutor i tabellen är kombinationer med  $k \geq 0,5$ . Slutsatsen är att det i höjdfallet behövs minst tre stationer med inmätning mot minst tre punkter, men inte dessa antal samtidigt.

**Tabell 3.2.4.c.** Kontrollerbarheten ( $k$ -tal enligt formel 3.9) i **höjd** för ett fristationsnät med  $p$  st. punkter, inmätta från  $s$  st. fria stationer.

<b>s \ p</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>20</b>
<b>1</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>2</b>	0,25	0,33	0,37	0,40	0,42	0,43	0,48
<b>3</b>	0,33	0,44	0,50	0,53	0,56	0,57	0,63
<b>4</b>	0,37	0,50	0,56	0,60	0,62	0,64	0,71
<b>5</b>	0,40	0,53	0,60	0,64	0,67	0,69	0,76
<b>6</b>	0,42	0,56	0,62	0,67	0,69	0,71	0,79
<b>7</b>	0,43	0,57	0,64	0,69	0,71	0,73	0,81
<b>20</b>	0,48	0,63	0,71	0,76	0,79	0,81	0,90

### Anslutningsalternativ

Fristationsnät är ofta lokala, men om nätet ska anslutas till ett befintligt referenssystem måste naturligtvis någon eller några "vanliga" stompunkter – i plan och/eller höjd – inkluderas. Det sker lämpligen genom att dessa utgångspunkter mäts in polärt från flera stationer. Anslutningen till det referenssystem de representerar görs sedan med hjälp av en inpassningstransformation i plan och höjd. För att inte riskera deformation av fristationsnätet används då en unitär transformation (tre parametrar) i 2D och en translation (en parameter) i höjd. Alternativt används en 6-parameterinpassning i 3D. Se [Tabell 6.1.2.b](#).

## Specialnät

En utvidgning av fristationsnät är 3D-nät där även stationspunkterna har välbestämda inbördes lägen. De kan t.ex. vara markerade (tvångscentrerade) med fasta konsoler och/eller placerade så nära varandra – med ett par meters mellanrum – att avstånden mellan dem kan mätas mycket noggrant. Då handlar det dock mer om specialmätning.

Andra tillämpningar av terrestra 3D-nät förekommer vid övervakningsmätning, t.ex. monitorering av dammbyggnader och liknande rörelsemätningar. I utformningen av sådana system – som vanligen är realtidssystem, ofta med en larmfunktion – kommer de mätnings-tekniska aspekterna i andra hand. Det viktigaste är att ev. rörelser omedelbart kan detekteras. Industrimätning är ett exempel på när det i stället är mätförhållandena/mätmiljön som styr nätutformningen och genomförandet av mätningarna.

Då det kommer till de rent geodetiska beräkningarna så skiljer sig dock dessa tillämpningar inte nämnvärt från de beräknings- och analysmetoder som beskrivs i [Kapitel 6](#) och [Bilaga F](#).

### 3.2.5 Förtätning, reovering och komplettering

#### Krav

- a) Förtätning eller reovering som avser enstaka stompunkt ska utföras genom geodetisk mätning med överbestämning och utjämnning mot närmast omgivande stompunkter.
- b) Förtätning eller reovering som avser en sammanhängande grupp av flera stompunkter ska utföras på samma sätt som nyetablering av motsvarande nättyp.
- c) Komplettering av utgångspunkter ska utföras på ett sådant sätt att kraven på lägesosäkerhet, kontrollerbarhet och tillförlitlighet kan uppfyllas i det specifika uppdraget.

#### Rekommendation

- d) Nybestämning av enstaka stompunkt i ett höjdnät bör ske med avvägningståg mellan två olika utgångspunkter i nätet.
- e) Nybestämning av enstaka stompunkt i ett terrestert 2D-nät bör ske genom polär mätning mot minst tre omgivande punkter i nätet.
- f) Nybestämning av enstaka stompunkt i ett GNSS-nät bör ske genom statisk mätning mot omgivande punkter i nätet.

- g) Nybestämning av enstaka stompunkt i ett terrestert 3D-nät bör ske på samma sätt som vid nyetablering, dvs. polär inmätning från fria stationer.

I detta avsnitt beskrivs åtgärder som inte syftar till etablering av ett helt nytt stomnät, men som utgör viktiga komplement till nyetablering:

- **Stomnätsförtätning** innebär en utökning av numerären, dvs. fler stompunkter bestäms mellan de befintliga eller inom delområden som tidigare saknat stomnät.
- **Stomnätsreovering** utförs av stomnät med kvalitetsbrister, t.ex. vad gäller statusen på markeringar eller på punkternas höjd- och koordinatvärden.
- **Komplettering av utgångspunkter** avser etablering av punkter för ett visst ändamål/uppdrag, som komplement till befintliga stompunkter.

I samtliga fall ansluts inmätningen till ett referensnät. Detta kan antingen vara aktivt realiserat – i form av ett referensstationsnät – eller passivt realiserat, dvs. ett stomnät.

Åtgärderna betraktas som stommätning i den mån slutresultatet är stompunkter, dvs. vid stomnätsförtätning eller -reovering. Vid behov av nya punktmarkeringar anpassas dessa på vanligt sätt till tänkt användning och livslängd, dvs. beroende på om det rör sig om stompunkter eller arbetspunkter av mer tillfällig karaktär, se [avsnitt 3.7](#).

### Stomnätsförtätning

Ett exempel på stomnätsförtätning är etablering av bruksnät från ett anslutningsnät, men åtgärden kan även beröra ett fåtal punkter.

Punktbestämningen utförs genom stommätning och nätutformningen – liksom mät- och beräkningsmetodikerna – liknar i mångt och mycket den som tillämpas vid nyetablering av stomnät. Förtätningen resulterar följaktligen i nya stompunkter.

### Stomnätsreovering

Stommätning används också vid reovering av befintliga stomnät. Anledningen till åtgärden är någon form av kvalitetsbrist, t.ex. att punktmarkeringar har rubbats eller förstörts.

Åtgärden utförs ofta inom ramen för den reguljära stomnätsförvaltningen men kan även avse "akut" återställning av enstaka punkter. Det förekommer också att stompunkterna är fysiskt intakta men att koordinaterna eller höjderna av olika orsaker är av dålig kvalitet i förhållande

till närliggande punkter. Renovering innefattar även nyberäkning för att upprätthålla eller förbättra ett stomnäts kvalitet.

Nätrenoveringen inleds alltid med att fastställa anledningen till kvalitetsbristen. En vanlig orsak är att stomnätet har byggts ut successivt, med olika mätmetoder. Då kan det räcka med att räkna om alla mätdata i en gemensam utjämning – utan ommätning. Om markeringarna fortfarande är intakta brukar de också kunna återanvändas.

En annan renoveringsåtgärd är förbättring av en svag nätgeometri eller en svag anslutning till överordnat stomnät. Detta kan t.ex. åtgärdas genom att polygonnät kompletteras med fler knut- eller utgångspunkter, med tvärtåg och korssyfter eller genom att kompletterande tåg läggs in i höjdnät. I regel krävs även då nyutjämning.

Ibland går det även att använda äldre mätningar i den nya utjämningen också när berörda punkter/markeringar är borta. Så kan t.ex. vara fallet när delar av ett äldre nät har täckts över av nybebyggelse. På detta sätt kan det ursprungliga stomnäts geometri bibehållas eller t.o.m. förstärkas.

En renovering leder alltså ofta till nya koordinater och höjder på befintliga stompunkter. För att inte gamla och nya uppgifter ska blandas ihop bör därför punktbeteckningen/punktnumret alltid ändras.

Det är också viktigt att dessa uppgifter hämtas direkt från nätförvaltarens stompunktsdatabas och att detta görs i direkt anslutning till aktuellt uppdrag. Gamla uppgifter – t.ex. från tidigare uppdrag – ska inte användas.

### **Komplettering av utgångspunkter**

Komplettering tillämpas när inte tillräckligt antal stompunkter finns till förfogande eller när befintliga stompunkter är olämpligt placerade för det aktuella uppdraget.

Åtgärden kan t.ex. avse bestämning av utgångspunkter för detaljmätning. Denna typ av punkter är markerade och lägesbestämda i ett geodetiskt referenssystem utan att ingå i ett stomnät.

Ofta används samma metoder och utrustning som vid stommätning. I andra fall är kraven lägre, vilket bl.a. innebär att enklare mätmetoder och utrustning kan användas vid bestämningen av punkterna.

Tänkbara "genvägar" kan t.ex. vara enklare instrument, enkel- i stället för dubbelmätning samt enklare typer av markeringar. Genvägarna – totalt sett om man gör flera – måste dock alltid leda till att det aktuella uppdragets krav uppfylls. Se vidare de senaste versionerna av [HMK – Terrester detaljmätning](#) och [HMK – GNSS-baserad detaljmätning](#).

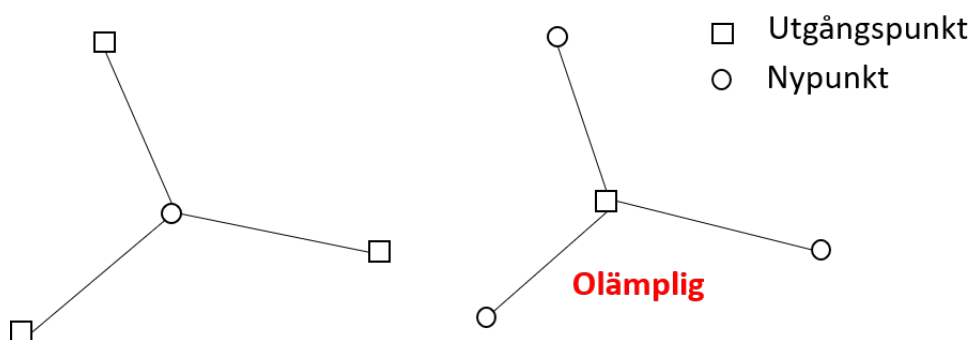
Formellt resulterar kompletteringen alltså **inte** i nya stompunkter, men punkterna kan vara väl så bra bestämda. Komplettering som leder till nya stompunkter är – per definition – stomnätsförtätning!

### Teknik- och metodval

Även om förtätning och renovering av stomnät utförs genom stommätning är det inte ovanligt att teknik- och metodvalet skiljer sig något från det som normalt används vid nyetablering av den aktuella stomnätstypen enligt avsnitten 3.2.1–3.2.4.

Det är dock viktigt att alltid tillämpa samma grundprinciper som vid annan geodetisk mätning – dvs. att arbeta utifrån och in. Att mäta in nya punkter från endast en utgångspunkt är **inte** förenligt med stommätning – vare sig det gäller GNSS-mätning mot en referensstation eller konventionell mätning från en terrester utgångspunkt, se [Figur 3.2.5](#).

**Figur 3.2.5.** Lämplig respektive olämplig princip för enkelpunktsbestämning vid stomnätsförtätning, stomnätsrenovering eller komplettering av utgångspunkter.



Vid mindre förtätning eller renovering, dvs. vid nybestämning av enstaka punkter i ett befintligt stomnät, är det viktigt att metodvalet sker på ett sådant sätt att närsamband skapas mellan den nya punkten och det befintliga stomnätet – på samma hierarkiska nivå. När t.ex. åtgärden avser ett bruksnät förutsätts alltså mätningar till/från närliggande *brukspunkter* – eller till *anslutningspunkter* om det handlar om ett anslutningsnät. [Tabell 3.2.5](#) visar några möjliga mättekniker utifrån olika behov och ändamål.

Om antalet stompunkter som berörs av en åtgärd är stort – eller om punkterna är utspridda i olika delar av nätet – bör hela nätet hanteras i ett sammanhang. Det ska då ske genom samma förfarande som vid nyetablering av respektive stomnätstyp, se avsnitt 3.2.1–3.2.4. I detta ingår också att kontrollera utgångspunkternas status.

**Tabell 3.2.5.** Lämpliga mätmetoder vid förtätning, renovering eller komplettering som avser enstaka stompunkt.

	Vid behov av närsamband	Vid komplettering av enstaka utgångspunkt
<b>Höjdnät</b>	Finavvägning eller trigonometrisk höjdmätning	Statisk GNSS i sessioner eller med beräkningstjänst
<b>Terrestra 2D-nät</b>	Polär mätning med totalstation från fri uppställning	Statisk GNSS med beräkningstjänst eller nätverks-RTK med återbesök
<b>GNSS-nät</b>	Statisk GNSS i sessioner	Statisk GNSS med beräkningstjänst
<b>Terrestra 3D-nät</b>	Polär mätning med totalstation från fri uppställning	Polär mätning med totalstation från fri uppställning

### 3.3 Analys av nätdesign

#### Krav

- a) Analys av ett stomnätets homogenitet, lägesosäkerhet, kontrollerbarhet och tillförlitlighet ska utföras i planeringskedet.

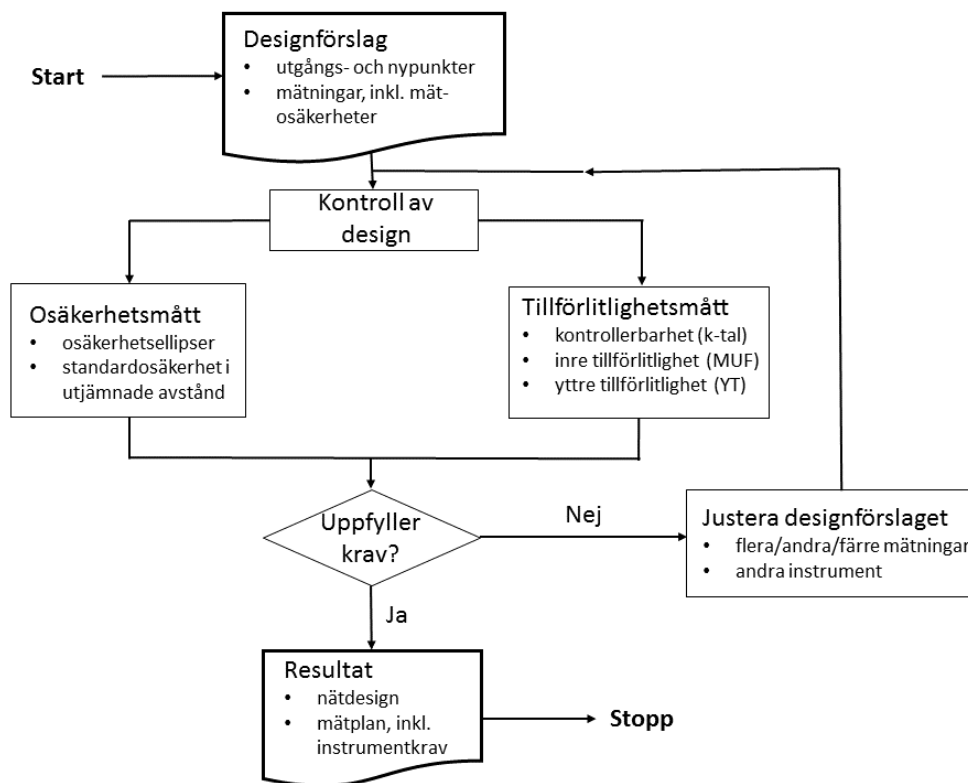
#### Rekommendation

- b) Datorbaserad nätsimulering bör om möjligt ingå i analysen av stomnätets design.

Genom analys av nätdesignen kan stomnätets kvalitet bedömas på förhand, utan tillgång till faktiska mätdata. Analysen syftar till att undersöka eventuella svagheter i nätets utformning och kan bl.a. påvisa hur effektivt grova fel kommer att kunna detekteras. Teorin bakom de osäkerhets- och tillförlitlighetsmått som används som hjälpmedel i analysen beskrivs i [Bilaga F](#).

För att möjliggöra analys kompletteras den preliminära stomnätetsutformningen med förväntade mät- och lägesosäkerheter för planerade mätningar respektive utgångspunkter. Detta sker lämpligen med stöd av uppgifter från instrument- och stompunktsspecifikationer samt [Bilaga C.3](#) i detta dokument.

**Figur 3.3.** Arbetsflödet vid analys av nätdesign för stomnät i plan.



Nätsimulering är ett viktigt datorbaserat stöd vid analys av nätdesign, även om det går att komma relativt långt med hjälp av erfarenhet, en nätkarta, några tumregler och ett antal överslagsberäkningar (se även [HMK-TR 2018:3 \[4\]](#)). Simuleringar kan dock ge mer detaljerade numeriska indikatorer och grafiska illustrationer som underlag för denna analys.

En schematisk beskrivning av analysen för ett stomnät i plan redovisas i [Figur 3.3](#). Resultatet används för justeringar av stomnätsförslaget och kan utgöra underlag för den mätplan som fastställs i samråd med beställaren innan markering och stommätning påbörjas.

En viktig tumregel – eller snarare grundprincip – vid stomnätsanalys är att stomnäten bör vara homogent utformade. Detta innebär bl.a. att såväl punkter som mätningar fördelas jämnt över täckningsområdet, samt att geometrin om möjligt utgörs av regelbundna figurer, vilket kan sammanfattas i följande punkter:

- I tågformade stomnät eftersträvas lika långa tåg, med lika många mellanpunkter.
- I yttäckande stomnät eftersträvas regelbundna geometriska figurer, t.ex. trianglar (mätta riktningar och längder) eller fyrhörningar (mätta baslinjer).



- Utgångspunkter i plan och höjd ska finnas tillgängliga på jämförbara avstånd från nypunkterna och omsluta nätet så att extrapolering vid bestämning av de nya punkterna undviks.

Homogenitet karakteriseras kvantitativt av (se [Bilaga F](#))

- **att**  $k$ -talet, MUF och YT – beräknade individuellt för varje mätning – är lika stora (se [Bilaga F.4-F.5](#))
- **att** *standardosäkerheten* för nypunkter och utjämnade mätningar är lika stora, samt
- **att** ev. osäkerhetskällor är ungefär lika till storlek och form.

En annan tumregel, med koppling till ovanstående princip, är att eftersträva utformning som möjliggör oberoende kontroller, t.ex. slutna slingor (loopar) och direkta mätningar mot utgångspunkter.

**Tabell 3.3.** Sammanfattning av designprinciper för olika stomnätstyper.

Höjdnät (1D)	Terrestra 2D-nät	GNSS-nät (3D)
Det övergripande $k$ -talet, beräknat för tågformade höjdnät, bör vara $\geq 0,3$ .	Det övergripande $k$ -talet bör vara $\geq 0,5$ .	Planeringsmetoden som baseras på 4-hörningar är konstruerad för $k \geq 0,5$
Nätet bör vara homogent, dvs. regelbundet och med en jämn fördelning av såväl utgångs- och nypunkter som mätningar.		
Samtliga nypunkter ska inneslutas av utgångspunkterna och punktavstånden mellan nypunkterna bör vara ungefär desamma.		
Tågen i tågformade nät bör vara ungefär lika långa men korta tvärtåg kan krävas för att stärka när-sambanden.	Baslinjerna bör vara ungefär lika långa.	
Avstånden vid anslutningsmätningar kan vara något längre än avstånden mellan nypunkterna.		
Nypunkternas standard-osäkerhet i höjd beräknas normalt inte. Kraven ställs i stället på mätosäkerheten och $k$ -talet.	Kraven på lägesosäkerhet, förslagsvis formulerade som standard-osäkerheten i utjämnade avstånd, ska vara uppfyllda.	Kraven på lägesosäkerhet i 3D-systemet, i normalfallet den absoluta standard-osäkerheten i SWEREF 99, ska vara uppfyllda.
	Nypunkternas standard-osäkerhet i plan kan vanligen tonas ned, men osäkerhetskällorna bör vara nära cirkulära.	

Om nätutformningen i utgångsförslaget inte uppfyller ovanstående principer kan en modifiering av mätplanen vara nödvändig. Analysen ska alltså ge vägledning för bedömningen av om – och i så fall var – det behövs extra mätningar eller andra förändringar. Ibland visar det sig också att vissa mätningar bör strykas för att undvika alltför kostsam

”överkvalitet”, men naturligtvis kan det även inträffa att ställda krav visar sig vara svåra att uppfylla.

Eftersom designanalysen och nätsimuleringen inte med säkerhet kommer att överensstämma med verkligheten kan det dock vara bra att eftersträva några extra mätningar, något lägre mätosäkerhet, litet högre  $k$ -tal etc. i förhållande till ställda krav.

### Nätsimulering av plana 2D-nät

Om ett simuleringsprogram används bör det vara baserat på kontrollerbarhet och tillförlitlighet snarare än lägesosäkerhet. Se även [Bilaga F](#).

För plana 2D-nät kan följande ses som toleranser för dessa storheter:

- individuella  $k$ -tal  $\geq 0,5$ , vilket innebär att det genomsnittliga  $k$ -talet – för hela nätet – ligger gott och väl över denna gräns
- $MUF \leq 4 \cdot u(l_i)$ ; 4 gånger mätningens standardosäkerhet
- $YT \leq 2 \cdot u(l_i)$ ; 2 gånger mätningens standardosäkerhet

Om toleranserna klaras går det alltså att hitta fel som är större än 4 ggr mätningens standardosäkerhet, och de fel som inte upptäcks ger som mest en påverkan på utjämningen med halva detta belopp.  $k$ -talen,  $MUF$  och  $YT$  bör inte variera alltför mycket inom nätet.

## 3.4 Fältrekognosering

### Krav

- Alla planerade sikter ska verifieras och eventuella röjningsbehov undersökas.
- I höjdnät ska möjligheterna till markering i stabilt underlag särskilt undersökas.
- Vid kontroll av befintliga utgångspunkter ska utföraren rapportera skadade eller rubbade markeringar till stomnätsförvaltaren.

### Rekommendation

I GNSS-nät

- bör stompunkterna placeras så att sikten över 15 graders elevation i förhållande till GNSS-antennen är fri i alla riktningar.
- bör stompunkterna placeras på tillräckligt avstånd från objekt som kan orsaka flervägsfel.
- bör stompunkterna placeras på tillräckligt avstånd från möjliga elektriska störningskällor.

Syftet med rekognoseringen är dels att utvärdera vilka delar av den preliminära nätutformningen som går att realisera, dels att i fält bestämma stompunkternas exakta lägen och i övrigt förbereda kommande stommätning.

Uppdraget kan ibland medge att fältrekognosering och markering utförs vid samma tillfälle, t.ex. vid åtgärder av begränsad karaktär eller när markeringsalternativ inte behöver beaktas. Vid större eller mer komplexa uppdrag är det dock en god princip att dela upp dessa moment så att utföraren får möjlighet att stämma av rekognoseringsresultatet med beställaren innan markering inleds.

Alla punkter som ingår i det preliminära förslaget – inklusive passiva utgångspunkter för anslutning – besöks minst en gång. Vid användning av aktiva referensnät (dvs. fasta referensstationer) verifieras tillgänglighet m.m. på lämpligt sätt genom kontakt med förvaltare eller tjänsteleverantör, se [avsnitt 5.1.2](#). Vid rekognoseringen klarläggs bl.a. följande:

- Befintliga utgångspunkter för anslutning. Identifiering och eventuell justering av tillhörande punktbeskrivningar. Vid behov görs felrapportering till stomnätsförvaltaren, t.ex. om punktmarkeringarna är skadade eller rubbade.
- Alternativa placeringar av nypunkterna, samt möjliga markeringstyper med avseende på underlag.
- Siktförhållanden för GNSS-mätning. Eventuella sikthinder eller närliggande objekt som kan orsaka flervägsfel dokumenteras, t.ex. genom en azimutskiss eller panoramafoto.
- Siktförhållanden för terrester mätning, dvs. mellan närliggande stompunkter.
- Röjningsbehov, utifrån ovanstående.
- Möjlighet till stabil markering, särskilt i höjdnät.
- Behov av "extraordinära" markeringar, t.ex. väggmarkeringar eller *excentriska* markeringar i ett i övrigt markmarkerat nät.
- Behov av signaleringsmateriel eller extraordinära antennhöjder.
- Avstånd från bilväg. Särskilt viktigt att känna till om/när flera GNSS-mottagare behöver flyttas mellan de planerade mät-sessionerna.
- Restider, bl.a. för att möjliggöra mätplanering och upprättande av sessionsschema.

- Eventuella åtkomstproblem: vägbommar, spårområden, inhägnader m.m.
- Exceptionella mätmiljöer, t.ex. vattenövergångar som kan kräva annan mätteknik (trigonometrisk höjdmätning vs. avvägning).
- Närhet till störningskällor? Kraftiga el- och magnetfält kan eventuellt påverka GNSS-mottagare eller annan elektrisk utrustning.

### 3.5 Mätplan

#### Krav

- Mätplan ska upprättas av mätansvarig eller någon med motsvarande roll i utförarorganisationen.
- Mätplanen ska baseras på analys av nätdesignen och genomförd fältrekognosering.
- I mätplanen definieras vilka egenkontroller – med tillhörande toleranser – som ska tillämpas vid mätning.
- Mätplanen ska stämmas av med beställaren innan markering och mätning inleds.

#### Rekommendation

- Mätplanen bör ha det innehåll som specificeras i HMK – Stommätning 2020, Tabell 3.5.

När stommätningsförslaget har analyserats ([avsnitt 3.3](#)) och justerats utifrån rekognoseringen ([avsnitt 3.4](#)) fortsätter den mer detaljerade planeringen av hur stommätningen ska genomföras. Förutom att balansera de olika aspekter som beskrivits i [avsnitt 3.2](#) behöver utföraren nu även ta hänsyn till:

- vilken mätutrustning och personal som finns tillgänglig
- hur olika mätningar ska överbestämmas, korrigeras, kontrolleras och dokumenteras
- logistik- och tidplanering.

Detta ska utmynna i en mätplan som i detalj beskriver vilka stommätobservations (med tillhörande kontroller) som ska utföras. Mätplanen bör också inkludera vilka toleranskrav som gäller, vilken mätutrustning som används, om/hur mätutrustningen är kontrollerad, samt hur

dokumentation och andra rutiner ska utföras i samband med fältarbetet. I planen bör även ingå de olika delmomentens tidsmässiga inplacering i arbetsprocessen.

Mätplanen utgör därmed länken mellan stornätsplaneringen och mätningarnas utförande och handlar i stor utsträckning om att anpassa mätmetoderna och nätets utformning till tillgängliga mätinstrument, utgångspunkternas kvalitet m.m.

Planen är också ett lämpligt underlag för avstämning med beställare, samt internt med den personal som ska utföra stommätningen. Mätplanen bör, generellt sett, ha det innehåll som anges i [Tabell 3.5](#) – med viss anpassning till aktuell stornätstyp.

**Tabell 3.5.** Generellt innehåll i en mätplan. Även ställda krav bör ingå – antingen inskrivet i planen, bifogat eller via referens till den tekniska specifikationen.

- Instrumentspecifikationer och krav på kontroll av mätutrustning, inklusive kringutrustning såsom avvägningsstänger, trefötter, prismor, antenner etc.
- Förteckning över de utgångspunkter som ska användas för anslutning.
- Nätkarta som redovisar utgångspunkter, nypunkter och planerade mätningar.
- Specifika krav på utförandet av mätningarna (dubbelmätning, tvångscentrering, antal helsatser vid vinkelmätning etc.)
- Vilka rutiner som ska tillämpas vid mätning av instrument-, signal- och antennhöjder, vid centrering, etc.
- Förväntad mätosäkerhet och balansering av olika typer av mätningar, t.ex. mellan riktning- och längdmätning.
- Vilka kontroller som ska genomföras i samband med mätning och specificering av de toleranser som då ska tillämpas, se [Bilaga C.4](#).
- Rutin för dokumentation av mätningar och mätsessioner.

## 3.6 Mätutrustning

### Krav

- a) All mätutrustning som används vid stommätning ska vara kalibrerad, kontrollerad och justerad.

- b) Kalibrering och kontroller ska dokumenteras så att alla mätinstrument kan identifieras genom tillverkningsnummer eller liknande.
- c) Mätinstrument och tillbehör ska aklimatiseras i den aktuella vädermiljön före användning.
- d) All mätutrustning som används vid stommätning ska dokumenteras på ett sådant sätt att det framgår vilken utrustning som har använts för respektive observation.

#### **Rekommendation**

- e) Valet av mätutrustning bör baseras på instrumentspecifikationer från respektive tillverkare.

Geodetisk mätning förutsätter ett korrekt handhavande samt korrekt skötsel av mätinstrument och övrig utrustning. Det innebär bl.a. att mätutrustningen ska servas och kontrolleras regelbundet, med fasta tidsintervaller, samt efter transport och när mätresultaten indikerar instrumentfel.

*Kalibrering* av mätinstrument utförs i samband med auktoriserad service. Kontroll och justering utförs av användaren enligt [Bilaga D](#) och tillverkarens instruktioner. Beträffande moderna elektroniska instrument gäller att vissa instrumentfel kan elimineras matematiskt vid kontroll och justering, t.ex. kollimationsfel. Notera att olika fabrikat kan hantera justering av instrumentfel på olika sätt.

Mätinstrumentens lämplighet för uppdraget kan bedömas med hjälp av tillverkarens tekniska specifikationer och avsnitt 3.6.1–3.6.3.

Funktionstest av mätutrustningen innan stommätningen ger möjlighet till kontroll av inställningar, eventuella instrumentfel samt att mätutrustningen i övrigt uppfyller kraven för mätningen. Ett annat råd – som rör mätningen men ändå mer har att göra med mätutrustningens handhavande – är att instrument och tillbehör ska packas upp en stund före användning för att aklimatiseras till den temperatur och luftfuktighet som råder i arbetsområdet.

Olika temperaturer på t.ex. instrument och trefot kan, liksom förändrad temperatur på stativ och skruvar, medföra rörelser i uppställningen under mätningens gång. Två minuter/grad i temperaturskillnad mellan förvaringsmiljön och arbetsmiljön rekommenderas som aklimatiseringstid.

Den mätutrustning som används dokumenteras på ett spårbart sätt – inklusive serienummer samt genomförda kalibreringar och kontroller,

före och under uppdragstiden. Nominell mätosäkerhet enligt instrumentspecifikationen ingår lämpligen i mätplanen, se [avsnitt 3.5](#). Övrig relevant information kring använd mätutrustning – t.ex. genomförda kontroller före mätning – tas upp i uppdragsdokumentationen, se [Bilaga B](#).

### 3.6.1 Vid avvägning

#### Krav

- a) Avvägningsinstrument ska ha en specificerad standardosäkerhet som gör det möjligt att uppfylla kraven på slutprodukten.
- b) Avvägningsstänger ska vara kontrollerade med avseende på fotplatta, gradering och nominell längd.

#### Rekommendation

- c) Vid stommätning i höjd bör invarstänger användas.

#### Specificerad mätosäkerhet

Den specificerade mätosäkerheten för avvägningsinstrument anges schablonmässigt för 1 km dubbelavvägd sträcka, vilket motsvarar parametern A i [Bilaga C.1.3](#).

[Tabell 3.6.1](#) ger en vägledning till vilken mätosäkerhet som är lämplig för olika tillämpningar. De redovisade mätosäkerheterna förutsätter att instrumenten har kontrollerats och justerats för eliminering av förekommande instrumentfel.

**Tabell 3.6.1.** Specificerad mätosäkerhet för olika tillämpningar.

	Standardosäkerhet vid 1 km dubbelavvägning
Finavvägning vid anslutning till nationellt höjdnät eller vid rörelsemätning	$\leq 1$ mm
Finavvägning vid etablering av bruksnät för samhällsbyggnad	2 mm

#### Kontroll av instrument och tillbehör

Vid finavvägning bör invarstänger användas. Dessa är i dag vanligtvis försedda med streckodsgradering för digital avläsning. Äldre utrustning med optisk avläsning av en analogt graderad skala kräver – vid

finavvägning – att instrumentet är utrustat med planglasplatta och mikrometerskruv för avläsning med tillräcklig upplösning (< 0,1mm).

Kontroll och justering, för att minimera fel i avvägningsinstrument och avvägningsstång, utförs enligt [Bilaga D.2.1](#).

### 3.6.2 Vid totalstationsmätning

#### Krav

- a) Totalstation ska ha en specificerad standardosäkerhet vid vinkelmätning som gör det möjligt att uppfylla kraven på slutprodukten.
- b) Totalstation ska ha en specificerad standardosäkerhet vid längdmätning som gör det möjligt att uppfylla kraven på slutprodukten.

#### Specificerad mätosäkerhet

Specificerad mätosäkerhet vid vinkelmätning med totalstation kan anges i enheterna sekunder eller mgon, där det är viktigt att notera skillnaden, se [Tabell 3.6.2.a](#). [Tabell 3.6.2.b](#) visar vilka ungefärliga mätosäkerheter som passar för olika tillämpningar. De redovisade mätosäkerheterna förutsätter att totalstationen har kalibrerats, kontrollerats och justerats för eliminering av förekommande instrumentfel, samt att vinkelmätning utförs i båda cirkellägena med helsatsmätning.

**Tabell 3.6.2.a.** Relationen mellan vinkelenheterna sekunder (1/3600 grader) och mgon (1/1000 gon).

sekunder	mgon
0,5	0,15
1	0,31
1,5	0,46
2	0,62

**Tabell 3.6.2.b.** Specificerad mätosäkerhet för olika tillämpningar (tabellen baserad på SIS-TS 21143, [\[3\]](#)).pm = mm/km.

	Standard-osäkerhet i horisontalvinkel (1 helsats)	Standard-osäkerhet i vertikalvinkel (1 helsats)	Standard-osäkerhet i längdmätning
<b>Stommätning för industri- och specialtillämpningar med särskilt höga krav, t.ex. för rörelsekontroll</b>	0,15–0,30 mgon	0,15–0,30 mgon	1 mm + 1 ppm



	<b>Standard-osäkerhet i horisontalvinkel (1 helsats)</b>	<b>Standard-osäkerhet i vertikalvinkel (1 helsats)</b>	<b>Standard-osäkerhet i längdmätning</b>
<b>Terrestra nät för bygg- och anläggningsprojekt, t.ex. för detalj- och kontrollmätning av bro- och tunnelkonstruktioner</b>	0,30–0,60 mgon	0,30–0,60 mgon	1 mm + 2 ppm
<b>Övrig stommätning för utsättning och inmätning inom detaljplane-lagda områden</b>	0,60–1,0 mgon	0,60–1,0 mgon	2 mm + 3 ppm

### Hantering av instrumentfel

Inriktningsfel är de vanligaste felen vid vinkelmätning. Verkan av dessa kan endast minskas genom att rutiner utformas så att upprepade mätningar och andra överbestämningar byggs in i mätning-förfarandet, t.ex. att vinkelmätning utförs i helsatser. Se även [avsnitt 4.2](#).

Kontroll och justering, för att minimera fel i totalstation utförs enligt [Bilaga D.2.2](#).

### 3.6.3 Vid GNSS-mätning

#### Krav

- GNSS-mottagare som används vid stommätning ska vara specificerad för statistisk mätning av baslinjer.
- Service av GNSS-mottagare som används vid stommätning ska utföras minst en gång per år.

#### Rekommendation

- GNSS-antennerna som används vid anslutning/inpassning av höjdnät bör vara av samma fabrikat och modell.
- GNSS-antennerna som används i samma mätsession bör vara av samma fabrikat och modell.

Statisk stommätning med GNSS utförs med geodetisk GNSS-mottagare, med separat eller integrerad antenn. GNSS-mottagaren ska alltså vara specificerad för geodetiska tillämpningar och åtminstone kunna registrera fas- och kodobservationer på GPS-systemets L1/L2-frekvenser.

Ytterligare observationer från t.ex. *GLONASS*, *Galileo* och *BeiDou* bör tas med om så är möjligt. Flera satellitsystem kan bidra till en totalt sett

bättre satellitkonstellation, och därmed underlätta lösningen av periodobekanta. Se även [avsnitt 5.1.3](#).

Följande kontroller utförs för att verifiera GNSS-mottagarens funktion inför mätning:

- att GNSS-mottagaren uppfyller kraven för stommätning, vilket dokumenteras med instrumentspecifikation, servicecertifikat eller motsvarande uppgifter från tillverkare
- att antenmodeller finns tillgängliga för samtliga antenntyper som ska användas
- att GNSS-mottagaren har korrekta inställningar, se [avsnitt 5.1.5](#)
- att dataloggning kan startas i samtliga GNSS-mottagare och att tillräckligt lagringsutrymme finns på minneskort eller i internminne
- att batterier är fulladdade och att reservbatterier finns tillgängliga
- att kablar och kontakter för strömförsörjning, dataöverföring m.m. fungerar
- att stativ och centreringsutrustning är funktionsdugliga, se [avsnitt 3.6.4](#).

Regelbunden service av GNSS-mottagare utförs på auktoriserad serviceverkstad minst en gång per år. Uppdateringar av firmware sker enligt tillverkarens instruktioner. Kontroll av GNSS-mottagarens funktion sker lämpligen efter service och större uppdateringar.

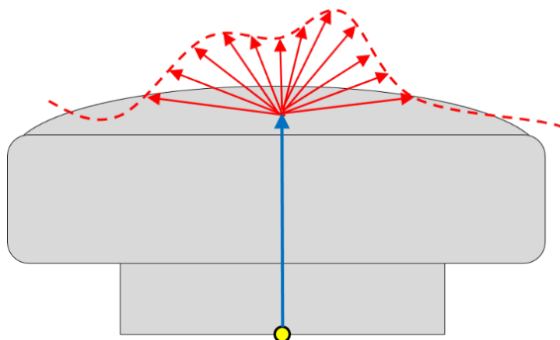
#### **Antenntyper och antenmodeller**

Baslinjeobservationer avser rymdvektorn mellan två GNSS-antenners respektive elektriska fascentrum, *APC* (Antenna Phase Centre). *APC* är dock inte en fysisk punkt på antennen, utan varierar bl.a. beroende på de inkommande satellitsignalernas frekvens, elevation och azimut.

Eftersom variationsmönstret är unikt för varje GNSS-antenn används *antenmodeller* för att beskriva förhållandet mellan *APC* och en väldefinierad fysisk punkt på antennen, *ARP* (Antenna Reference Point), se [Figur 3.6.3](#).

Antenmodeller bestäms antingen för olika antenntyper (tillverkare/modell) eller för individuella GNSS-antenn. Typkalibrerade antenmodeller kan bl.a. erhållas via den amerikanska geodesimyndigheten [National Geodetic Survey](#).

**Figur 3.6.3.** Avståndet mellan ARP (gul punkt) och APC (röd streckad linje) delas typiskt upp i ett konstant fascentrum-offset (blå pil) och variabla fascentrumvariationer (röda pilar).



Antennmodeller bör alltid tillämpas för att minimera antenneroende mätosäkerhet och systematik. Programvaror för baslinjeberäkningar innehåller ofta en grunduppsättning av antennmodeller, som kan kompletteras vid behov.

Genom att använda samma antenntyp inom varje session elimineras eventuella systematiska fel som förekommer i antennmodellen.

### 3.6.4 Övrig utrustning

#### Krav

- a) Under pågående uppdrag ska instrumentstativ och trefötter kontrolleras dagligen avseende stabilitet, slitage och funktionalitet.

En ofta förbisedd aspekt på stommätning är statusen på de tillbehör som används vid exempelvis instrumentuppställning och centrering över stompunkten, dvs. instrumentstativ, trefot och optiskt lod.

#### Instrumentstativ

För att möjliggöra stabil uppställning över lång tid måste stativbenen vara oskadade. Teleskopfunktionen bör fungera smidigt och låsfunktionen ska vara säker. Inga glapp får förekomma i fästpunkter mellan stativbenen och stativplattan.

En obetydlig vridning av instrumentuppställningen kan ge upphov till ett stort inriktningsfel. Om möjligt väljs därför att instrumentstativ som är tillverkat i ett material som inte utvidgas vid temperaturförändringar, t.ex. trä. Slitna och instabila instrumentstativ byts ut.

### Trefot med optiskt lod

Eftersom trefötter används vid all noggrann centrering och horisontering av mätinstrument och signaler bör de genomgå regelbunden kontroll och service. Ett fel i optiskt lod eller laserlod lodet innebär en excentrisk uppställning. Kontroll sker förslagsvis:

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

Vattenpass och lod i trefoten kontrolleras enklast i en testbänk och justeras så att det horisontella centreringsfelet underskrider 1 mm. Det optiska lodet kan också kontrolleras på följande sätt:

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

Horisonteringsskruvarna på trefoten får inte glappa. Trefotens låsfunktion (ofta med tre pinnar) ska se till att mätinstrumentet står stabilt på stativet. Vid behov byts slitna eller ej justerbara delar ut.

### Övriga tillbehör

Även övriga tillbehör bör vårdas väl och kontrolleras på lämpligt sätt, t.ex:

- trefotsadapttrar för reflektor och/eller GNSS-antenn
- prismor, mätreflexer och signaltavlor
- konsoler och mätarmar för fästning av instrument eller signal
- teleskopmaster
- mätband
- laserlängdmätare
- termometrar
- barometrar.

Exempelvis motsvarar 1 °C och 4 mbar fel i temperatur respektive lufttryck vardera ca 1 ppm felaktig *atmosfärskorrektion* av längdmätningarna.

## 3.7 Markering av stompunkter

### Krav

- a) Markering ska utföras enligt [HMK-Geodesi, Markering](#), med gällande aktualitetsbeskrivning.

Eftersom detta avsnitt endast ger en översiktlig beskrivning av markering inom ramen för stommätning hänvisas till [HMK-Geodesi, Markering](#), med gällande aktualitetsbeskrivning, för mer detaljerade anvisningar och råd om detta. Nämnade HMK-handbok – som är giltig med hänsyn tagen till gällande aktualitetsbeskrivning – behandlar bl.a. markering med avseende på olika markeringstyper, markeringssätt, identifiering, säkerställande och punktbeskrivningar. Vidare beskrivs skydd och arkivering.

Syftet med stommätning är att producera väl lägesbestämda och markerade stompunkter. För att möjliggöra långsiktig användning av stompunkterna – som utgångspunkter och/eller för kontroll av geodetisk mätning och annan geodatainsamling – är det viktigt att markeringen sker på ett tillfredsställande sätt, anpassat till kraven på varaktighet, stabilitet och tillgänglighet.

Markering utförs efter avstämning med beställaren – i samband med, eller efter, rekognosering. Tidpunkten för detta moment beror till stor del på hur övrig planering av stomnätet framskrider och vilka tidsbesparingar som är rationella. Markeringsbehoven vid stommätning kan grovt grupperas enligt följande:

- anslutningspunkter
- brukspunkter
- tillfälliga punkter.

För vissa tillämpningar har distinktionen mellan anslutningspunkt och brukspunkt minskat i betydelse, i och med att geodetisk mätning i de flesta fall kan utföras utan tillgång till passiva stomnät av högre ordning. Termerna säger dock fortfarande något om markeringens s.k. mätvärdighet och huruvida dess tänkta användning är på kort eller lång sikt.

Syftet med anslutningspunkter är främst att möjliggöra en senare etablering eller förtätning av stomnät. I dessa fall finns ett särskilt behov av stabil och varaktig markering. För att kunna uppfylla sådana krav kan därför komplettering med excentriska punkter behövas i vissa situationer.

Syftet med brukspunkter är främst att utgöra utgångspunkter vid detaljmätning. Kraven på varaktighet och stabilitet kan därför inte ställas lika högt som för anslutningspunkter. I vissa fall bedöms punkterna försvinna inom några år i samband med exploatering och byggande. De ersätts då vanligen genom anläggning av ett nytt bruksnät efter avslutad byggnation. I sådana fall kan självklart avsteg göras från kravet på markeringens beständighet men planeringen bör göras på ett sådant sätt att åtminstone en del av markeringarna placeras i skyddade lägen. Då kan förstörda punkter vid behov ersättas.

Ibland kan det också finnas behov av tillfälliga punkter, t.ex. vid excentriska instrumentuppställningar eller vid stomnätsförtätning för begränsat ändamål. Beträffande dessa markeringar gäller att de ska kunna utföras snabbt och enkelt, oftast som stöd vid en särskild mätsituation. Behovet av beständig markering är självfallet begränsat för denna punkttyp.

Här följer en lista över faktorer att beakta vid punktmarkering:

- Punktmarkering utförs i förhållande till tänkt livslängd/projektid.
- Undvik punktmarkering som kan förväntas störa markanvändning, trafik etc. – även om lagstöd finns för markering.
- Om punktbeskrivningar, eller motsvarande, ska tas fram så bör det göras direkt i samband med markeringen. Redan nästa person på plats måste kunna hitta punkten.
- Stompunkter i höjd förutsätter extremt bra markeringsunderlag – fast berggrund, jordfasta stenar etc. – eller markeringar av särskild design. Det ska alltid gå att placera en avvägningstång på markeringen; inga hinder får förekomma ovanför (träd, takutsprång etc.) eller på marken runt markeringen.
- Stompunkter i plan förutsätter att uppställning av ett instrumentstativ eller en lodstång kan ske över punkten.
- S.k. kombimarkeringar utnyttjas vid etablering av kombinerade stomnät i plan och höjd, eller enstaka GNSS-punkt där avvägning är genomförbar.
- För stompunkter där instrument-/signaluppställning ska ske måste även operatörens arbetsområde beaktas så att framtida arbete kan utföras säkert.

## 4 Genomförande av terrester stommätning

I detta kapitel beskrivs terrester mätning av stommätning enligt följande:

- förutsättningar för mätning
- avvägning ([avsnitt 4.1](#))
- mätning med totalstation i plan ([avsnitt 4.2.1–4.2.2](#))
- trigonometrisk höjdmätning ([avsnitt 4.2.3](#))
- fri station som stommätningss metod ([avsnitt 4.2.4](#))
- centrerings och hantering av excentriciteter ([avsnitt 4.2.5](#))
- korrektioner ([avsnitt 4.3](#))
- förhandskontroll av slutningsfel i slingor ([avsnitt 4.4](#)).

Innan terrester stommätning inleds förutsätts följande:

- att en mätplan har tagits fram enligt [avsnitt 3.5](#).
- att resurser i form av mätutrustning, personal och transportmedel har säkerställts.
- att nypunkter har markerats samt att sikter, eventuella masthöjder och övriga förutsättningar för mätningen har kontrollerats, enligt riktlinjerna i [kapitel 3](#).
- att mätinstrument, stativ och centreringsutrustning har kontrollerats och justerats enligt [avsnitt 3.6](#).
- att medverkande personal är väl förtrogen med mätutrustningen samt vilka rutiner som gäller vid hantering av mätprotokoll, centrerings, instrument- och signalhöjds mätning m.m.

Mätresultaten dokumenteras i mätprotokoll, som i dag vanligen är digitala och lagras i mätinstrumentet eller i en separat fältdator. Till mätningarna hör även vissa kompletterande uppgifter, som dokumenteras och lagras tillsammans med mätdata. De behövs som identifikation av mätningen, för korrektion av mätdata samt som indikatorer på mätosäkerheten. Vissa uppgifter kan även ingå i metadata för geodata som knyts till det aktuella stommätet.

I [Tabell 4](#) görs en sammanställning av de uppgifter, mätdata och kontroller som ska redovisas vid terrester stommätning. Därutöver finns vissa specifika krav och kontroller som tas upp under respektive teknik i efterföljande avsnitt.

Före utjämning ska mätningarna påföras korrektioner i sådan utsträckning att den ursprungliga mätosäkerheten bibehålls genom hela mät- och beräkningsprocessen, se [avsnitt 4.3](#) och [Bilaga E](#).

**Tabell 4.** Redovisning av mätdata och kringuppgifter vid terrester stommätning.

<p><b>Allmänna uppgifter:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>– observatör</li><li>– datum och klockslag för mätning</li><li>– instrumenttyp samt ID/beteckning på mätinstrument och kringutrustning</li><li>– allmänna mätförhållanden (solsken, molnigt, dimma/dis etc.)</li><li>– berörda punkter (utgångspunkter/nypunkter)</li><li>– problem vid genomförandet av mätningarna och avsteg från mätplanen.</li></ul>
<p><b>Mätdata:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>– direkta mätdata (längder, riktningar etc.)</li><li>– kompletterande mätdata (t.ex. instrument- och signalhöjd, tryck och temperatur etc.)</li><li>– korrektioner, som ställts in i instrumentet resp. påförts i efterhand</li><li>– beskrivning av eventuella excentriciteter och redovisning av centreringmätningar.</li></ul>
<p><b>Kontroller:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>– utförda egenkontroller, inkl. jämförelse med tolerans</li><li>– eventuell beskrivning av kvalitetssystem (eller motsvarande) för regelbunden kontroll och justering av instrument och kringutrustning (trefötter, optiska lod, libeller/vattenpass)</li><li>– rutinmässiga kontroller, som inte består i mätning utan snarare inspektion (kontroll av att rätt punkter används för mätningen, visuell kontroll av markeringar m.m.).</li></ul>

## 4.1 Avvägning av höjdskillnader

### Krav

- Höjdtåg ska avvägas två gånger, en gång i vardera riktningen.
- Summan av siktlängderna bakåt och framåt ska vara lika i alla tåg.
- Inga siktlängder ska överstiga 40 m.
- Om dubbla avvägningsstänger används ska antalet uppställningar anpassas så att samma stång ställs på start- och slutpunkten i varje fixhåll.
- Avläsning ska ske automatiskt mot streckkodade stänger, alternativt okulärt med hjälp av planglasmikrometer mot graderade stänger.



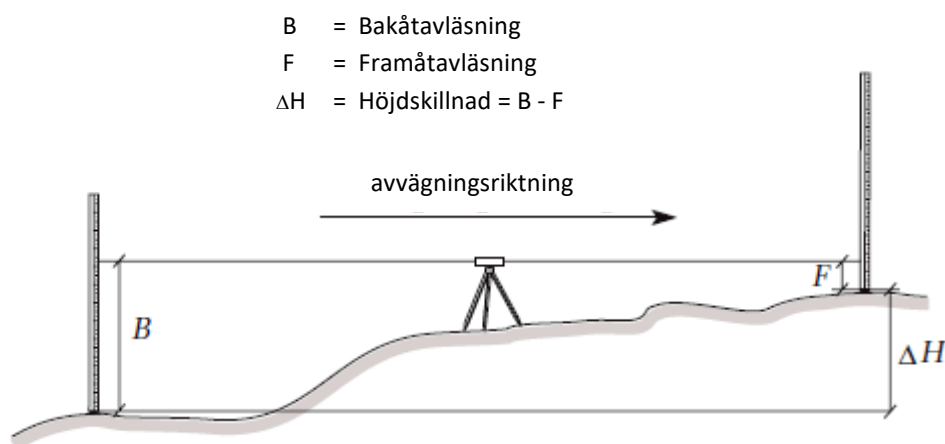
### Rekommendation

- f) Siktledningarna vid varje uppställning bör vara ungefär lika långa.

För höjdmätning är avvägning den teknik som ger den lägsta mätosäkerheten. Den används därför vanligen vid etablering av stommät i höjd, men även trigonometrisk höjdmätning förekommer som stommätningens metod.

Mätning av höjdskillnader i avvägningståg mellan höjdfixar utförs från omarkerade uppställningar av ett avvägningsinstrument, se [Figur 4.1](#).

**Figur 4.1.** Principen för avvägning. Den sökta höjdskillnaden  $\Delta H$  beräknas som skillnaden mellan bakåt- och framåtläsningen av stängerna.



För att uppnå hög kvalitet vid stommätning i höjd ställs krav på

- genomförandet av mätningarna; noggrann lodning av avvägningsstänger, upprepade avläsningar mot stängerna, tur- och returavvägning, begränsning av siktledningarna samt krav på att avstånden bakåt och framåt ska vara lika långa.
- utrustningen; kontrollerade avvägningsstänger (lämpligen av invar) samt krav på mätningens upplösning.

Dessa krav minskar mätosäkerheten och reducerar de systematiska effekterna.

Om inte instrument med automatisk avläsning mot streckkodade stänger används ska avläsningen utföras mot hel- eller halvcentimetergraderade stänger med en planparallell mikrometerplatta som tillåter avläsning med en upplösning  $\leq 0,1$  mm. Toleranser för dubbelavvägning av höjdskillnader finns i [Bilaga C.4.1](#). Ommätning ska ske vid avvikelser som konstateras i fält.

## 4.2 Totalstationsmätning av längder och vinklar

### Krav

- a) Riktningmätning ska utföras i helsatser och spridningen mellan dessa ska kontrolleras.
- b) Satsmätningen ska anpassas så att längd- och riktningmätningen får ungefär samma mätosäkerhet för den genomsnittliga sidlängden i nätet.
- c) Längder ska mätas två gånger, en gång i vardera riktningen.
- d) Mätning av höjdskillnader med totalstation ska utföras med motsvarande mätosäkerhet som vid avvägning.
- e) Instrumentuppställningar ska säkerställas genom kontroller före och efter mätningens genomförande.

Vid terrester stommätning i plan och höjd mäts horisontalriktningar, vertikalvinklar och längder med totalstation. Såväl instrument som signaler ska vara placerade på stativ – eller på fast konsol, adapter eller liknande. Handhållna prismastänger ska inte användas vid stommätning.

Instrumentuppställningen bör säkerställas genom:

- upprepad mätning mot det första bakåtojektet efter slutförd totalstationsmätning
- kontroll av anslutningsriktningar, avstånd och ev. höjdskillnader mot bakåtojekten, vid stationsetablering över känd utgångspunkt.

### 4.2.1 Riktningmätning med totalstation

För att minska inverkan av slumpmässiga avvikelser, upptäcka grova fel samt eliminera olika instrumentfel ska vinkelmätning utföras som satsmätning. Det innebär repetition av inriktningen mot varje objekt i båda cirkellägena, med efterföljande medeltalsbildning.

Riktningmätning vid stommätning sker i två eller fler helsatser, där antalet bestäms av vilka krav på mätosäkerhet som gäller, vilka sikt-längder som ingår i nätet samt vilken instrumentklass som totalstationen tillhör. För entydighet i mätdataredovisningen bör det mest avlägsna objektet väljas som utgångsobjekt i varje riktningsserie.

Mätningen ska kontrolleras vad gäller spridningen mellan satsmedeltalen. Toleranser för spridning mellan helsatser finns i [Bilaga C.4.3](#). Om-mätning ska ske vid avvikelser som konstateras i fält, under mätningens gång.

En bra balans mellan mätosäkerheten vid längd- respektive riktningmätning kan uppnås genom att välja lämpliga mätinstrument och anpassa antalet felsatser till de aktuella punktavstånden, se [Bilaga C.2](#).

#### 4.2.2 Längdmätning med totalstation

Ojämnheter i mottagar- och sändardioder ger (negativ) inverkan på mätningarna – p.g.a. inriktningsfel. För att minimera denna inverkan bör varje observerad längd utgöras av medelvärdet av flera oberoende inriktningar mot reflektorn.

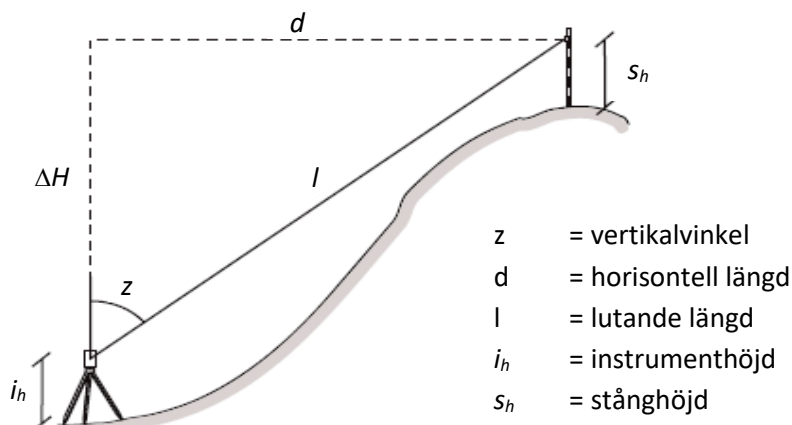
Temperatur och lufttryck – för *atmosfärskorrektion* av mätta längder – registreras så att värdena är representativa för hela mätsträckan. Vid mätning av längre avstånd (> 1–2 km) utförs atmosfärsobservationer i båda ändpunkterna och vid mätning över vattenområden bör observeras att stora skillnader i temperatur kan förekomma längs mätsträckan.

Lutningskorrektionen av mätta längder bör göras genom separat bestämning av höjdskillnaden mellan aktuella punkter, antingen med trigonometrisk höjdmätning eller genom avvägning.

Längder ska dubbelmätas, en gång i vardera riktningen. Toleranser för dubbelmätning av avstånd finns i [Bilaga C.4.4](#). Ommätning ska ske vid avvikelser som konstateras i fält, under mätningens gång.

#### 4.2.3 Trigonometrisk höjdmätning

**Figur 4.2.3.a.** Principen för trigonometrisk höjdmätning. Den sökta höjdskillnaden mellan instrument och signal bestäms ur mätning av vertikalvinkel (betecknad  $z$  för att tydliggöra att nollan ligger i zenit, dvs. rakt uppåt) och lutande längd, se formel (E.1) i [Bilaga E.1](#). För beräkning av höjdskillnaden mellan markeringarna måste även instrument- och signalhöjden mätas, vilket ofta utgör den svaga länken i denna mätmetod, se [Bilaga C.1.4](#).



Höjdmätning med totalstation benämns *trigonometrisk höjdmätning*. Från mätning av lutande längd och vertikalvinkel kan höjdskillnaden mellan instrumentet och mätpunkten bestämmas, se [Figur 4.2.3.a](#).

I vissa tillämpningar är avvägning och trigonometrisk höjdmätning likvärdiga, men normalt är avvägning den mätmetod som är att föredra vid etablering av stommät i höjd. Vid mycket kuperad terräng – samt över vattendrag, trafikerade spår/vägar etc. – kan dock trigonometrisk mätning vara det enda rimliga alternativet, ur praktisk synvinkel.

Kombinerade plan- och höjdnät etableras också ofta genom trigonometrisk höjdmätning. I övrigt används metoden främst för lutningskorrektur av mätta längder och för bestämning av s.k. "arbetshöjder" när kraven inte är så höga. Dessa tillämpningar är dock inte att betrakta som stommätning utan en form av stommätning komplettering, se [avsnitt 3.2.5](#). Höjder i plana stommät kan också behövas för beräkning av höjdcorrekturen, se [Bilaga E.4](#).

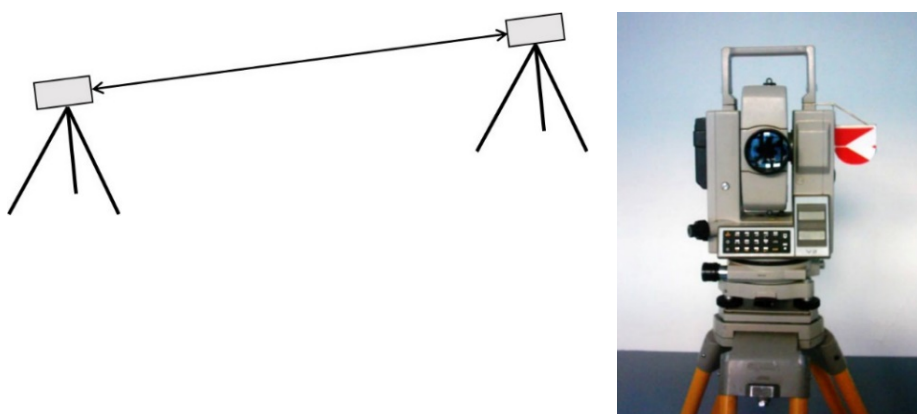
Vid beräkning av höjdskillnader ur mätningar av vertikalvinkel och längd från endast **en** station måste korrektion för jordkrökning och *refraktion* påföras, se [avsnitt 4.3](#)/[Bilaga E.1](#).

- Toleranser för skillnaden mellan två bestämningar av en höjdskillnad vid sådan **enkelsidig** trigonometrisk höjdmätning finns i [Bilaga C.4.2](#).

Höjdskillnaderna bör dock bestämmas i **båda** riktningarna och under likartade atmosfäriska förhållanden – dvs. helst samtidigt eller i tät följd efter varandra.

### Korresponderande trigonometrisk höjdmätning

**Figur 4.2.3.b.** Principen vid korresponderande trigonometrisk höjdmätning (t.v.). Mätningen utförs samtidigt – kikare mot kikare eller mot en särskild måltavla placerad i förlängningen av totalstationens horisontalaxel (t.h.).



Den tillämpning av metoden som ger lägst mätosäkerhet benämns korresponderande trigonometrisk höjdmätning. Den utförs genom

samtidig mätning från siktlinjens båda ändpunkter och kräver alltså två mätinstrument och två observatörer, se [Figur 4.2.3.b](#).

Metoden används vid mätning av långa avstånd eller i extrema mätmiljöer. Den kräver längre mätserier så att mätförhållandena kan analyseras. T.ex. kan mätresultatets förändring över tid användas för att - redan i fält - bedöma hur långa mätserier som behövs, vilken mätosäkerhet som kan förväntas och om ommätning måste till för att avvikelserna är alltför stora.

Vid beräkning av höjdskillnaden ur data från korresponderande mätning behöver inte någon korrektion påföras eftersom jordkrökningen och refraktionen kan antas vara lika i de båda ändpunkterna och därmed elimineras. Följande formeluttryck ger - direkt - medeltalet av höjdskillnaden mellan instrument och signal vid korresponderande trigonometrisk höjdmätning (jfr. formlerna (E.6) och (E.7) i [Bilaga E.1](#)):

$$\overline{\Delta H_{AB}} = \frac{\Delta H_{AB} - \Delta H_{BA}}{2} = \frac{l}{2} (\cos z_A - \cos z_B) = l \cdot \sin \frac{z_B - z_A}{2} \sin \frac{z_B + z_A}{2} \quad (4.1.a)$$

$$\overline{\Delta H_{AB}} = d \cdot \tan \frac{z_B - z_A}{2} \quad (4.1.b)$$

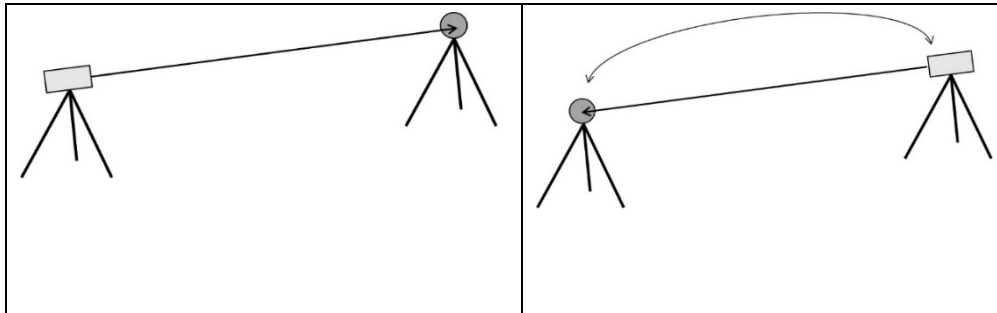
Antingen mäts längden ( $l$ ) samtidigt som vertikalvinkelmätningen eller också beräknas det horisontella avståndet ( $d$ ) ur ändpunkternas kända koordinater i plan. Påverkan från längdmätningens osäkerhet på mätosäkerheten i höjdskillnaden är dock marginell. (Minus-tecknen motiveras av att höjdskillnaderna har olika tecken beroende på mätriktningen.)

#### **Förenklad variant av korresponderande mätning**

Korresponderande - samtidig - mätning med två instrument är som synes resurskrävande. En enklare variant av metoden är att utföra mätningen sekventiellt, med *tvångscentrering* (se [Figur 4.2.5](#)); först i den ena mätriktningen och därefter i den andra - sedan instrument och signal har bytt plats, utan att stativ och trefötter har flyttats, se [Figur 4.2.3.c](#).

Behåller man kravet på längre mätserier och utvärdering i fält är även denna "semi-korresponderande" trigonometriska höjdmätning tämligen robust. Den ger både ett tillförlitligt mätresultat - med låg mätosäkerhet - och underlag för en realistisk kvalitetsbedömning.

**Figur 4.2.3.c.** "Semi-korresponderande" trigonometrisk höjdmätning utförs från båda ändpunkterna – under likartade mätförhållanden och så nära varandra i tiden som möjligt. Tvångscentrering tillämpas och mätseriernas och mätperiodernas längd bör vara desamma som vid korresponderande mätning.



### Genomförande

Antalet mätningar som krävs, och över hur lång tidsperiod mätningarna bör spridas ut, beror på siktlängden och mätförhållandena. Här följer några tumregler för genomförandet av korresponderande/semi-korresponderande trigonometrisk höjdmätning:

- Åtminstone 5–10 helsatsmätningar av vertikalvinkeln bör utföras från varje ände av siktlinjen.
- Mätningarna bör vara utspridda över en period på minst 10–15 minuter.
- Om även avståndet ska bestämmas utförs längdmätning före och efter vertikalvinkelmätningen.

### Utvärdering

Det är svårt att ställa upp strikta toleranser för kvalitetskontroll av mätserierna eftersom värdena inom varje serie kan vara kraftigt korrelerade.

Visst underlag för en kvalitetsbedömning kan dock erhållas genom att seriens beräknade standardosäkerhet jämförs med kraven på mätosäkerhet i det aktuella uppdraget. I den förenklade varianten ("semi-metoden") kan dessutom medelvärdet på höjdskillnaden från respektive station jämföras, ungefär som vid enkelsidig mätning (se ovan).

## 4.2.4 Fri station som stommätningssmetod

*Fri station* tillämpas främst för etablering av terrestra 3D-nät, med de mätningar som beskrivs i avsnitt 4.2.1–4.2.3.

Andra tänkbara tillämpningar av fri station i samband med stommätning är t.ex

- komplettering eller reovering av stommätning, se [avsnitt 3.2.5](#).

- kontroll av befintlig punkt i samband med att stompunkten används som utgångspunkt för annan mätning, se [HMK – Terrester detaljmätning](#), senaste version.

Fördelarna med fri station är bl.a. att:

- mätningen inte har något centreringsfel vid stationspunkten, och inte heller i den andra änden om fasta signaler används
- höjdmätning kan göras utan att vare sig instrument- eller signalhöjder mäts.

#### 4.2.5 Centrering och hantering av excentriciteter

##### Krav

- Instrument- och signalhöjder ska bestämmas före och efter mätning och dokumenteras i meter med tre decimaler.
- Centrering av instrument, signaler och master ska kontrolleras före och efter mätning.
- Vid längd- och vinkelmätning i polygontåg ska tvångscentrering tillämpas.
- Masthöjds- och övriga excentricitetsmätningar ska dokumenteras så att avvikelser från huvudmarkeringen – och hur den har beräknats – tydligt framgår.

##### Rekommendation

- Upprepad mätning av instrument-, signal- och masthöjder bör ske på alternativa sätt.

Stommätning ska resultera i en position i plan och/eller höjd för stompunkternas markeringar. Vanligen måste dock instrument och signaler placeras på ett visst avstånd från stompunkten – t.ex. på ett stativ uppställt över dess markering. Noggrann centrering och mätning av höjden över markeringen är då avgörande för de inmätta punkternas lägesosäkerhet.

För att minska risken för grova fel ska centreringen kontrolleras, och instrument-/signalhöjden mätas, både före och efter stommätningen. Om möjligt bör höjdmätningarna göras på alternativa vis., t.ex. genom byte av observatör eller att avläsningen sker både på centimeter- och tum-skala.

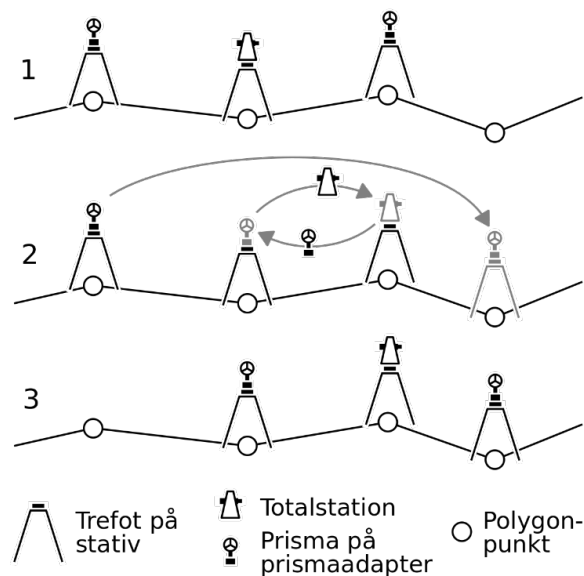
##### Tvångscentrering

Tvångscentrering bör användas vid mätning av polygontåg men kan tillämpas även i andra sammanhang – t.ex. vid trigonometrisk höjdmätning, se [avsnitt 4.2.3](#).

Stativen, med fastskruvade trefötter, tas inte ned vid etablering av ny stationspunkt. I stället får totalstationen och prismorna successivt byta plats på det sätt som beskrivs i [Figur 4.2.5](#). Därigenom kan mätningen utföras utan omcentrering.

Alla mätningar blir alltså relaterade till samma fysiska punkt. På så sätt elimineras centreringsfelen, vilket ger en gynnsammare felfortplantning och bättre resultat vid de efterföljande beräkningarna.

**Figur 4.2.5.** Principen för tvångscentrering vid mätning av polygontåg. Tvångscentrering benämns "leap-frogging" på engelska, dvs. "bockhoppning". Figur från Wikipedia: <https://sv.wikipedia.org/wiki/Fil:Tvångscentrering.svg>.



Tvångscentreringens kvalitet står och faller med att utrustningen – inte minst trefötterna – är kontrollerade och justerade.

### Master

Användning av master vid mätning har minskat i betydelse, men förekommer.

Vanligen ställs masterna upp direkt på stompunktsmarkeringen. Eftersom masthöjden kan vara flera meter blir de dock mer komplicerade att hantera än instrument och signaler på stativ:

- Lodningen/centreringen sker med teodolit/totalstation från minst två ortogonala riktningar.
- Trigonometrisk höjdmätning görs samtidigt med lodningen för att bestämma masthöjden.

Lodning och mätning av masthöjd ska utföras både före och efter stommätningen.



### Centreringsmätning

Mer komplicerade excentriciteter är sådana som avviker i både plan och höjd i förhållande till stompunktsmarkeringen. Dvs. centrering är inte möjlig utan excentriciteten måste mätas upp och användas för omräkning av stommätningen: från den excentriska punkten – till vilken mätningen faktiskt har utförts – till stompunktens huvudmarkering, som är den punkt som ska lägesbestämmas.

Denna typ av centreringsmätningar förekommer främst i plana stommät. Dokumentationen bör kompletteras med fotografi eller skiss och i övrigt innehålla en beskrivning av hur centreringsmätningen har utförts, vilka kontroller som gjorts samt den framräknade excentriciteten.

All centreringsmätning ska vara överbestämd och ofta blir det fråga om ett litet "stomnät i miniatyr". Det kan finnas flera markeringar, men endast en av dessa utgör huvudmarkering. Övriga betraktas som excentriska markeringar.

## 4.3 Korrektioner

### Krav

- a) Före utjämning i plan ska mätta längder påföras:
  - atmosfärskorrektion
  - lutningskorrektion
  - höjdkorrektion
  - projektionskorrektion.
- b) Före utjämning ska jordkröknings- och refraktionskorrektion påföras trigonometriskt mätta höjdskillnader.

Före beräkning korrigeras terrestra stommätningar enligt följande:

1. Atmosfärskorrektion av mätta längder.
2. Lutningskorrektion av mätta längder.
3. Reducering av avstånd till ellipsoiden (höjdkorrektion).
4. Överföring av höjdkorrigerade avstånd till projektionsplanet (projektionskorrektion).
5. Korrektion för jordkrökning och refraktion vid trigonometrisk höjdmätning.

Atmosfärskorrektioner påförs i efterhand. Automatisk korrigerande användning av inställd skalfaktor (vanligen som ppm-värde) är avsedd för detaljmätning och tillämpas inte vid stommätning.

Övriga korrektioner kan påföras observationerna i olika skeden av mätning- och beräkningsprocessen, och datorprogrammen för beräkning

och nätutjämning kan hantera korrektionerna olika. Det är därför viktigt att den som utför planeringen, mätningen och beräkningen har goda insikter om vilka korrektioner som ska göras samt hur beräkningsprogrammet genomför dessa.

En ingående beskrivning av korrektionerna, deras egenskaper och användning återfinns i [Bilaga E](#).

## 4.4 Kontroll av slutningsfel i slingor

### Rekommendation

- a) Där så är möjligt bör förhandskontroll av slutningsfel i slingor genomföras före utjämning av stomnät.

Tågformade nät – höjdnät och polygonnät – har i regel en ganska svag geometri, vilket kan försvåra felsökning inom ramen för utjämningen. Därför bör så mycket som möjligt av felsökningen ske genom förhandskontroll före beräkningen.

Förutom analys av dubbelmätningar kan detta utföras genom beräkning av slutningsfel i slingor och tåg mellan kända punkter. I slingor utgörs slutningsfelet av skillnaden mellan utgångs- och slutvärdena, vilka teoretiskt sett ska vara identiska. För tåg definieras slutningsfelet som avvikelsen mellan mätresultatet och motsvarande storhet beräknad med hjälp av utgångspunkterna.

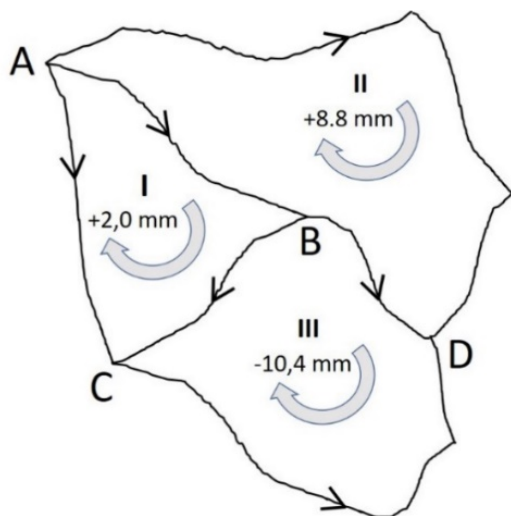
Exempel på slutningsfel är höjdslutningsfel i höjdtåg samt vinkelslutningsfel och (radiella) koordinatslutningsfel i polygontåg. I många programvaror finns funktioner som automatiskt genererar slingor och redovisar slutningsfel. Felet kan uttryckas i absoluta tal eller som relativa mått i ppm (mm/km) – från startpunkt till slutpunkt i en slinga med minst tre sidor. Genom att jämföra och kombinera slingor kan ett felaktigt tåg ofta pekats ut redan före utjämningen.

### 4.4.1 Förhandskontroll av höjdnät – ett exempel

I [Figur 4.4.1](#) redovisas slutningsfelen för tre slingor i ett höjdnät. Alla slutningsfel beräknas medurs, med hänsyn tagen till tågriktningen. T.ex. består slinga I av tågen  $(A \rightarrow B) + (B \rightarrow C) - (A \rightarrow C)$ , vilket symboliseras med tecknen 1/-1 i [Tabell 4.4.1](#). Vid beräkningen av slutningsfelen används sedan dessa teckenkonventioner.

Beräkningen/analysen kan göras före eller efter utjämning – resultaten och tolkningen blir desamma, se [avsnitt 6.2](#).

**Figur 4.4.1.** Kontroll av slutningsfel i slingor i ett höjdnät. Pilar mellan knutpunkter anger tågriktningen. Slutningsfelen – och omloppsriktningen – redovisas inuti respektive slinga.



**Tabell 4.4.1.** Sammanställning av slutningsfelen för höjdnätet i [Figur 4.4.1](#).

	Slinga						
Tåg	I	II	III	I+II	I+III	II+III	Tåglängd (km)
<b>1: A→B</b>	1	-1			1	-1	3
<b>2: A→C</b>	-1			-1	-1		3
<b>3: A→D</b>		1		1		1	8
<b>4: B→C</b>	1		-1	1		-1	3
<b>5: B→D</b>		-1	1	-1	1		2
<b>6: C→D</b>			-1		-1	-1	6
Slutningsfel (mm)	+2,0	+8,8	-10,4	+10,8	-8,4	-1,6	
Slingans längd (km)	9	13	11	16	14	20	

De tåg som ingår i slinga I och II+III verkar vara felfria (gröna). Kvar blir tåget B→D, som också är det enda tåg som finns med i samtliga slingor med stora slutningsfel (II, III, I+II och I+III). Det ser ut att finnas ett cm-fel i detta tåg.

Toleranser för höjds slutningsfel i slingor finns i [Bilaga C.4.7](#).

## 4.4.2 Kontroll av andra typer av nät

### Polygonnät

Samma sorts teknik för förhandskontroll av slingor kan tillämpas vid analys av polygonnät, även om förfarandet då blir litet mer komplicerat:

- Analys av vinkelmätningen sker i ett separat första steg
- Efter denna analys görs motsvarande studie av koordinat-differenserna, *Northing/Easting* var för sig.

Det sätt som geodetiska koordinatsystem i plan är utformade – med medurs omloppsriktning – kommer att påverka hur vinklar beräknas. Slutna slingor kommer t.ex. att avse yttervinklarna om de är definierade medurs, men innervinklarna om de löper moturs.

Vinkelsumman för slutna slingor är en av få storheter i mätningssammanhang där det finns ett sant värde: den inre vinkelsumman i en triangel är t.ex. 200,000000.... gon och den yttre 1000,000000.... gon. Därför är det helt relevant att tala om slutningsfel om detta villkor inte är uppfyllt. För andra polygoner gäller vinkelsummor enligt [Tabell 4.4.2](#).

**Tabell 4.4.2.** Teoretiska slutningsfel i slingor – polygoner – av olika form.

Polygon	Antal hörn	Medurs (yttervinklar)	Moturs (innervinklar)
triangel	3	1000 gon	200 gon
fyrhörning	4	1200 gon	400 gon
femhörning	5	1400 gon	600 gon
osv.	n	$(n+2)*200$ gon	$(n-2)*200$ gon

Toleranser för slutningsfel i slingor i polygonnät finns i [Bilaga C.4.8](#) (vinkelslutningsfel) och [Bilaga C.4.9](#) (koordinatslutningsfel).

### Triangelnät och GNSS-nät

Slingor för kontroll kan även skapas i andra typer av nät – t.ex. triangelnät och GNSS-nät.

I triangelnät utförs analysen ungefär som i polygonnät (se [Bilaga C.4.8-C.4.9](#)) – i de fall det finns naturliga slingor att studera. Den starka geometri som karakteriserar triangelnät gör dock att det ofta går att gå direkt på en preliminär utjämnning och låta felsökning via *data-snooping* (se [Bilaga F.3](#)) ta hand om eventuella problem i form av grova mätfel – underförstått att fältkontroller av upprepade längd- och vinkelmätningar har utförts.

I GNSS-nät ger den planeringsmetod som beskrivs i [avsnitt 3.2.3](#) - och som bygger på en yttäckande geometri av fyrhörningar - mycket goda förutsättningar för analys av slutningsfel. Fyrhörningarna definierar ju automatiska slingor för sådan kontroll.

Toleranser för slutningsfel i baslinjeslingor vid GNSS-mätning (i 1D, 2D och 3D) finns i [Bilaga C.4.10](#).

## 5 Genomförande av GNSS-mätning

I detta kapitel beskrivs statistisk GNSS-mätning, efterberäkning av baslinjer och tillhörande kontroller. Dessa arbetsmoment utförs innan GNSS-observationerna används för utjämning, transformation eller annan beräkning.

Principerna om kontrollerbarhet/tillförlitlighet och lägesosäkerhet – även mellan nypunkterna – innebär att kapitlet har huvudsakligt fokus på baslinjer i GNSS-nät. Alternativ GNSS-metodik tas dock upp i [avsnitt 5.4](#), främst för bestämning av enstaka stompunkter.

### 5.1 Statisk GNSS-mätning

GNSS-mätning av baslinjer utförs statistiskt, med antennerna noggrant centrerade över stompunkterna, dvs. baslinjens ändpunkter. Utgångspunkter kan antingen vara fasta referensstationer eller passiva stompunkter. Mätning på passiva utgångspunkter utförs samtidigt som mätningen på nypunkterna.

Innan GNSS-mätning inleds förutsätts följande:

- att resurser i form av mätutrustning, personal och transportmedel har säkerställts
- att mätplan med sessionsplanering finns tillgängligt för medverkande personal
- att samtliga nypunkter har rekognoserats och markerats
- att geodetisk infrastruktur och övriga förutsättningar för anslutningsmätningar har kontrollerats
- att samtliga mätinstrument, stativ och centreringsutrustning har kontrollerats och justerats enligt [avsnitten 3.6.3](#) och [3.6.4](#)
- att medverkande personal är väl förtrogen med mätutrustningen och de rutiner som gäller vid hantering av mätprotokoll, centrerings-, antennhöjds- och stompunktmätning m.m.

#### 5.1.1 Observationstid

##### Krav

- a) Observationstiden för GNSS-mätningarna ska anpassas till baslinjernas längd och rådande mätförhållanden.

### Rekommendation

- b) Snabb-statisk mätning bör endast tillämpas vid baslinjelängder kortare än 10 km.

Rekommenderad observationstid beror bl.a. på baslinjens längd. Längre baslinjer kräver längre observationstid för att fixlösning och förväntad mätosäkerhet ska kunna uppnås. Vid kortare baslinjer kan eventuellt s.k. snabb-statisk mätning tillämpas (enligt instrumenttillverkarens specifikation). [Tabell 5.1.1](#) ger ungefärliga riktmärken för minsta observationstider vid statisk respektive snabb-statisk mätning. Dessa baseras på antaganden om goda mätförhållanden, att bra bandata finns tillgängliga m.m.

Innan observationstiden fastställs bör den jämföras med instrumenttillverkarens specifikation och anpassas till rådande mätförhållanden enligt [avsnitt 5.1.3](#).

**Tabell 5.1.1.** Riktmärken för minsta observationstider baserat på baslinjens längd.

Baslinjelängd	Ungefärlig observationstid	
	Statisk mätning	Snabb-statisk mätning
1–2 km	> 30 min	> 5 min
2–5 km	> 45 min	> 15 min
5–10 km	> 60 min	> 30 min
10–15 km	> 90 min	Inte lämpligt
15–20 km	> 120 min	Inte lämpligt

### 5.1.2 Aktiva referensnät

#### Krav

- a) Vid användning av fasta referensstationer ska tillgång till observationsdata säkerställas innan mätningen inleds.
- b) Aktuell koordinat- och kvalitetsinformation för fasta referensstationer ska hämtas direkt från tjänsteleverantören.

Vid stommätning med GNSS inom ett område där ett aktivt referensnät finns tillgängligt kan vissa utgångspunkter utgöras av fasta referensstationer. Abonnemang hos aktuell tjänsteleverantör ger tillgång till observationsdata från referensstationerna, vilket bör undersökas i god tid innan stommätningen inleds. Efterberäknade bandata för aktuella satellitsystem kan också finnas tillgängliga, med eller utan abonnemang.

Koordinat- och kvalitetsinformation för de fasta referensstationerna ska baseras på aktuella uppgifter från tjänsteleverantören. Befintliga koordinater i alla nedladdade observationsfiler ska därför kontrolleras innan de används. Kvalitetsinformationen kan inkludera:

- angiven lägesosäkerhet i referenssystemet
- koordinaternas variation över tid
- annan kvalitetsklassning, enligt tjänsteleverantörens eller nätförvaltarens definition.

### 5.1.3 Mätförhållanden

#### Krav

- a) GNSS-mätning ska planeras så att den tidsmässigt genomförs när satellitgeometrin är god.
- b) Om GNSS-mätning utförs under icke-optimala förhållanden ska de åtgärder som vidtagits för att uppnå specificerad kvalitet framgå av dokumentationen.

Genom att ta hänsyn till tids- och platsberoende mätförhållanden minskar risken för undermålig kvalitet vid GNSS-mätningen. De faktorer som påverkar mätförhållandena är framför allt

- tillgången till satelliter
- den lokala mätmiljön vid stompunkten
- aktuella atmosfärs- och väderförhållanden (jonosfär och troposfär).

Sannolika felkällor dokumenteras för att möjliggöra särskilda beräkningsstrategier eller felsökning i ett senare skede.

Mätningen anpassas till rådande förhållanden enligt riktmärken i [Tabell 5.1.3 a](#) och [Tabell 5.1.3.b](#).

#### Tillgången till satelliter

GNSS-mätning utförs lämpligen när satellitgeometrin är god, dvs. vid tillgång till signaler från många satelliter med god spridning i förhållande till observatören.

Satellitgeometrins styrka klarläggs inför mätningen, t.ex. genom att jämföra PDOP och antalet satelliter under alternativa tidsfönster. Indata utgörs då av alamanacksdata eller bandata, vilket i vissa fall kan kompletteras med elevationsmask och/eller information om sikthinder i olika riktningar (se [Lokal mätmiljö](#) nedan).



**Tabell 5.1.3.a.** Riktmärken för acceptabla mätförhållanden med avseende på tillgängliga satelliter.

<b>Antal satelliter</b>	Minst sex satelliter under hela den rekommenderade observationstiden.
<b>Satellitgeometri, DOP-tal</b>	PDOP < 6 under hela den rekommenderade observationstiden.

### Lokal mätmiljö

Stompunkternas lämplighet för GNSS-mätning bör vara klarlagda i samband med rekognosering eller markering av stompunkterna, se [avsnitt 3.4](#) respektive [avsnitt 3.7](#). Detta inkluderar passiva utgångspunkter. Mätmiljön vid fasta referensstationer är i de flesta fall fördelaktig; generell kvalitetsbedömning bör dock göras enligt [avsnitt 5.1.2](#).

I samband med mätning bedöms behovet av kompletterande siktröjning och dokumentation av sikthinder och närliggande objekt som kan orsaka flervägsfel.

Det är lämpligt att fotografera instrumentuppställningen i alla väderstreck och på ett avstånd som möjliggör bedömning av den lokala mätmiljön vid stompunkten, se [avsnitt 5.1.7](#).

### Atmosfärs- och väderförhållanden

Jonosfärs- och troposfärsaktivitet är två betydande felkällor vid GNSS-mätning. Eftersom jonofärens och troposfärens bidrag till mätosäkerheten i stor utsträckning samvarierar med den mätta baslinjens längd, så anpassas observationstiderna lämpligen enligt [Tabell 5.1.3.b](#). Åtgärder/anpassningar som vidtas för att uppnå godtagbar kvalitet dokumenteras.

Stora/snabba variationer i mängden vattenånga kan göra troposfären särskilt svår att uppskatta, t.ex. i samband med väderfronter som rör sig genom mätområdet. Åskfronter kan vara särskilt problematiska vid mätning. Vidare kan kraftiga vindbyar eller stora temperaturvariationer påverka uppställningar på instrumentstativ, beroende på stativets material, låsmekanismer, vilket underlag det står på m.m.

Om det finns skäl att anta att jonosfärens eller troposfärens påverkan är mycket stor bör stommätningen utföras vid annan tidpunkt. Underlag för att bedöma detta är främst väderprognoser eller andra meteorologiska/atmosfäriska data.

Väderförhållanden dokumenteras i samband med mätningen, se [avsnitt 5.1.7](#).

**Tabell 5.1.3.b.** Riktmärken för justering av observationstider vid förhöjd jonosfärs- och troposfärsaktivitet.

<b>Förhöjd jonosfärsaktivitet</b>	För baslinjelängder > 10 km ökas observationstiden med ca 10% per varje ytterligare km.
<b>Förhöjd troposfärsaktivitet</b>	Observationstiden ökas med: ca 25% för baslinjer < 5 km, ca 50% för baslinjer 5–10 km, ca 75% för baslinjer > 10 km.
<b>Förekomst av åskfronter eller kraftiga vindbyar i mätområdet</b>	Mätning bör undvikas.

#### 5.1.4 Sessionsplanering

##### Krav

- a) Mätning av ett GNSS-nät ska planeras och mätas sessionsvis.
- b) Sessionsplaneringen ska dokumenteras så att start- och sluttider, mätutrustning, punktbezeichnung och session framgår för varje GNSS-mätning.

##### Rekommendation

- a) Cirka två tredjedelar av punkterna i ett GNSS-nät bör ingå i minst två sessioner.

Den statistiska GNSS-mätningen utförs sessionsvis, dvs. samtidig mätning med två eller fler GNSS-mottagare – där vissa mottagare kan utgöras av fasta referensstationer. Baslinjeberäkningarna ska alltså baseras på GNSS-mätningar av flera nypunkter under samma tidsintervall.

Planeringen ska i första hand säkerställa att mätningen pågår under tillräckligt lång tid. Start- och sluttider för varje session anpassas lämpligen till den baslinje som bedöms kräva längst observationstid, se [avsnitt 5.1.1](#).

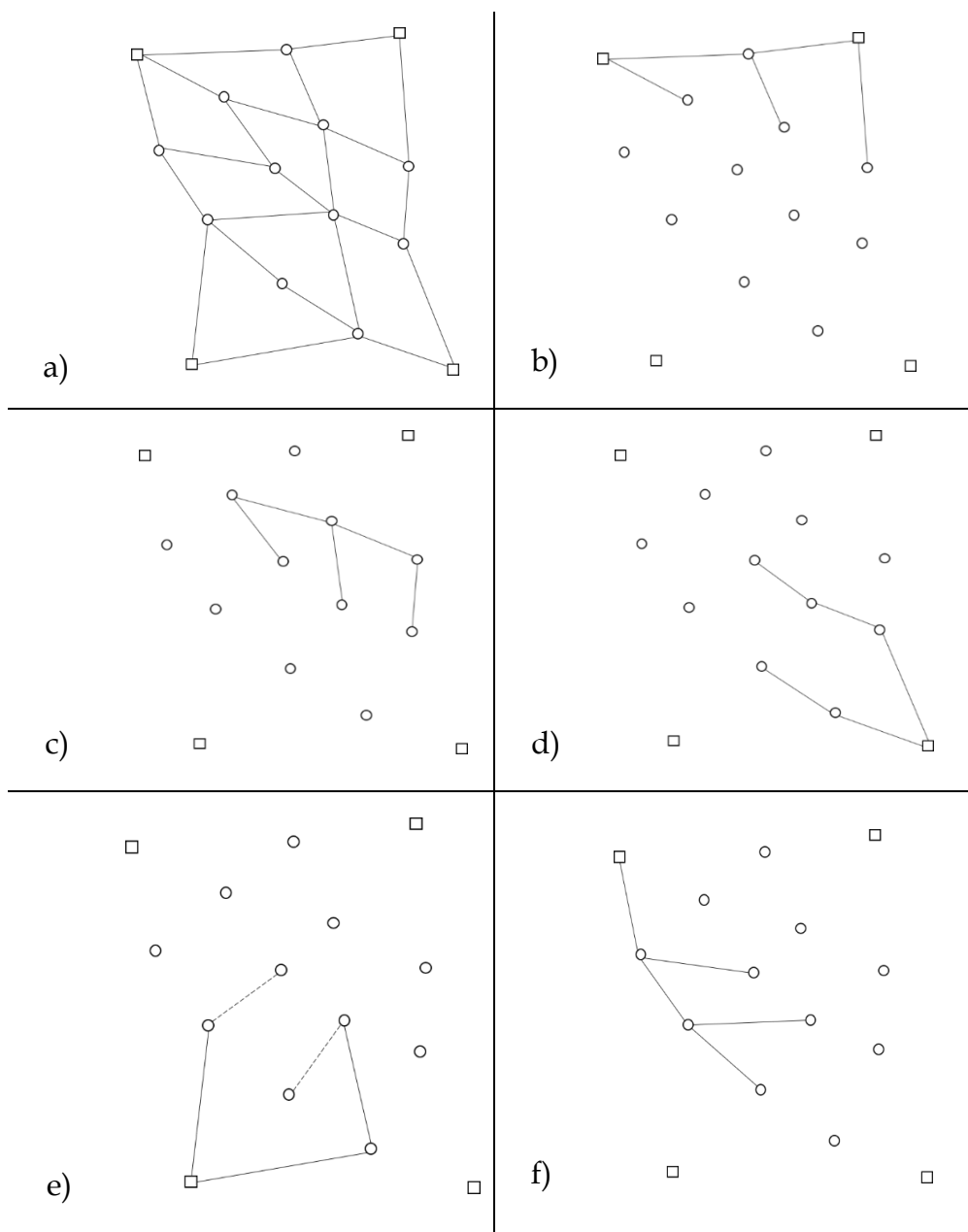
Det är också viktigt att planerade start- och sluttider för sessionerna ger tillräckliga marginaler för uppställning av instrument, centrerings, antennhöjds-mätning, samt avslutande av mätning och förflyttning till nästa punkt. En viss tidsförskjutning mellan sessionerna bidrar dessutom till att mätdata blir mindre korrelerade. Sessionsplaneringen redovisas lämpligen med hjälp av en nätkarta och ett sessionsschema:

- Nätkartan visar alla oberoende baslinjer och i vilken session de ingår.

- Sessionsschemat visar start- och sluttider för respektive session, vilken mätutrustning som ska användas på varje stompunkt, samt om/hur mätutrustningen ska flyttas mellan sessionerna.

Se exempel i [Figur 5.1.4.a-f](#), där mätsessionerna för ett GNSS-nät planeras för 6 st. mottagare. I princip kan sessionerna mätas i godtycklig ordning. En lämplig princip är dock att planera efterföljande sessioner med överlapp, så att några GNSS-mottagare står kvar på samma punkter.

**Figur 5.1.4.a-f.** Figur a) visar ett GNSS-nät med oberoende baslinjer som ska mätas in med 6 st. mottagare. Övriga figurer (b-f) visar hur mätningen kan utföras i fem sessioner med fem oberoende baslinjer i varje session, där även några "extra" baslinjer (streckade) erhålls i förhållande till nätskissen.



### 5.1.5 Instrumentinställningar

#### Rekommendation

- a) Mätdata från samtliga tillgängliga GNSS-system bör registreras.
- b) Epokintervallen bör vara 15 sekunder vid statisk mätning och 5-15 sekunder vid snabb-statisk mätning.
- c) Elevationsmasken bör sättas till 10 grader.

För att GNSS-mätningar ska registreras på lämpligt sätt för efterberäkning bör följande inställningar kontrolleras:

- **Observationstyper**, bör inkludera kod- och fasobservationer för alla satellitsystem och frekvenser som är gemensamma för tillgängliga mätinstrument.
- **Epokintervall**. De GNSS-mottagare som ingår i en mätsession bör ha kompatibla epokintervall för att observationer inte ska gå förlorade i efterberäkningen. Vid statisk mätning är 15 sekunder ett vanligt epokintervall, men kortare intervall kan användas vid kortare mättider.
- **Elevationsmask**. Sätts nära 0 grader över horisonten så att så många satelliter som möjligt kan observeras. Elevationsmask tillämpas istället vid beräkningen, se [avsnitt 5.2.1](#).
- **Dataloggning**. Mätdata kan sparas i ett fabrikspecifikt format om programvaran för efterberäkning kan läsa detta. Det är dock önskvärt att data kan konverteras till *RINEX*-format.

Utöver detta behöver inga särskilda inställningar göras i mätinstrumentet eftersom antennmodeller, antennhöjder, projektionsparametrar, geoidmodeller m.m. kan hanteras i samband med efterberäkningen.

### 5.1.6 Centrering, orientering och antennhöjder

#### Krav

- a) GNSS-antenner ska orienteras enligt tillverkarens instruktioner.
- b) Centrering av GNSS-antenner ska göras med stativ och justerat optiskt lod.
- c) Centrering av antenner ska kontrolleras före och efter GNSS-mätning.

- d) Antennhöjder ska mätas före och efter GNSS-mätning och dokumenteras i meter med tre decimaler.
- e) Antennhöjder ska dokumenteras så att både stompunktsmarkeringen och punkten på antennen dit höjdmätningen görs tydligt framgår.

### Rekommendation

- d) GNSS-antennen bör placeras på 1-2 meters höjd över marknivå.
- e) Upprepad antennhöjdsättning bör ske på alternativa sätt.

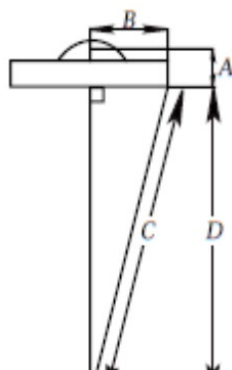
GNSS-nät beräknas i 3D, baserat på relationen mellan GNSS-antennernas respektive fascentrum. Noggrann centrering över stompunktsmarkeringen samt mätning av höjden från markeringen till antennens referenspunkt är avgörande för att stompunkten ska få välbestämda koordinater och höjder i förhållande till utgångspunkterna.

Antennen vrids i samband med uppställningen så att alla antenner i sessionen får ungefär samma horisontella orientering. Vid användning av azimutala antenncorrekationer framgår korrekt orientering av antenskiss eller liknande uppgift från tillverkaren.

Antennhöjdsättning utförs med minst två olika avläsningar, före respektive efter GNSS-mätningen. För att ytterligare minska risken för grova fel bör alternativa sätt att mäta tillämpas, t.ex. genom att

- höjden mäts både vertikalt och lutande
- avläsningen sker både i cm-skala och i tum-skala
- mätverktygets skala förskjuts vid ena mätningen.

**Figur 5.1.6.** Schematisk skiss som visar hur punktmarkering, lutande avstånd, ARP och fascentrum (för t.ex. GPS L1) förhåller sig till varandra. Alla dessa parametrar måste vara bestämda för den aktuella antennen. ARP för aktuell antenn framgår vanligen av produktspecifikation eller liknande.



- A = Vertikalt avstånd från ARP till fascentrum
- B = Antennens radie
- C = Lutande avstånd från punktmarkering till lämplig punkt på antennen (i samma plan som ARP)
- D = Vertikalt avstånd från stompunkt till ARP

Av dokumentation, t.ex. foto eller skiss, ska framgå hur antennhöjds-mätningen utförs. Det är särskilt viktigt att skilja mellan vertikal och lutande höjdmätning, samt att fastställa läget för ARP (Antenna Reference Point) i förhållande till den punkt dit höjdmätningen utförs. Se exempel i [Figur 5.1.6](#).

Vid behov av excentrisk bestämning av stompunkten utförs centre-ringsmätning enligt [avsnitt 4.2.5](#).

### 5.1.7 Dokumentation av mätsession

#### Krav

- a) Separata stationsprotokoll ska upprättas för varje GNSS-mätning, ett per punkt och session.

#### Rekommendation

- b) Om stationsprotokoll skrivs för hand bör dessa fotograferas eller skannas och lagras digitalt tillsammans med mätdata.

Fältdokumentation av mätsessionerna utförs för att underlätta senare datahantering, felsökning m.m. Protokollen bör alltid sparas digitalt, även när de skrivs för hand.

Innan uppstart av varje mätsession kontrolleras att ett unikt protokoll finns tillgängligt. Flera uppställningar ska alltså inte dokumenteras i samma protokoll, även om mätinstrumentet står kvar på samma stom-punkt i efterföljande session.

Sessionsprotokollet bör inkludera följande information:

- Punktbeteckning, enligt överenskommelse med beställare.
- Sessionsbeteckning, som endast bör inkludera parametrar som är oberoende av instrumentuppställning, t.ex. GPS-dygn och löpnummer (men inte instrument-ID eller punktnummer).
- Start- och sluttider för mätningen, där tidsformatet tydligt framgår.
- Namn på datafilen där GNSS-observationerna registreras.
- Serienummer eller motsvarande identifikation för använd GNSS-antenn, GNSS-mottagare (ett ID om antenn och mottagare är integrerade) och trefot.
- Kontroll av centrering före/under/efter mätsession.
- Antennhöjds-mätningar genomförda före/under/efter mätsession, enligt [avsnitt 5.1.7](#).

- Skiss/fotografi av markering, uppställning och omgivande miljö.
- Väderförhållanden - temperatur, vind, regn etc.
- Konstaterade problem/avvikelser under mätningen.
- Operatör/signatur.

## 5.2 Baslinjeberäkning

Innan baslinjerna beräknas kontrolleras att alla indata (observationsfiler, antennmodeller, *bandata* m.m.) är kompletta och i rätt format, se [avsnitt 5.2.1](#).

Den programvara som används för baslinjeberäkningen kontrolleras med avseende på inställningar och kriterier - t.ex. toleranser - för att godkänna baslinjeberäkningar, se [avsnitt 5.2.2](#).

Kontroller av beräknade sessioner utförs enligt mätplan, se [avsnitt 2.5](#).

### 5.2.1 Indata vid baslinjeberäkning

#### Krav

- Punktbeteckningar, antennhöjder och antenntyper i alla observationsfiler ska kontrolleras mot stationsprotokoll innan beräkning inleds.
- För varje antenntyp som används vid GNSS-mätningen ska motsvarande kvalitetssäkrade antennmodell finnas tillgänglig i programvaran.
- Utgångspunkternas koordinater och höjder ska kontrolleras mot aktuella uppgifter från nätförvaltaren.

#### Rekommendation

- Alla observationsfiler med GNSS-data bör konverteras till RINEX-format och sparas i både detta format och i originalformatet.
- Efterberäknade bandata bör användas när baslinjerna är längre än 10 km eller när observationsdata härstammar från olika satellitsystem.
- Absoluta antennmodeller bör användas.
- Manuellt definierade antennmodeller bör dokumenteras och helst redovisas i sin helhet.
- Meteorologiska data från väderstationer bör inte användas som indata vid baslinjeberäkning.

## Observationsfiler

Inför baslinjeberäkningen ska GNSS-data finnas i separata observationsfiler för alla utgångspunkter och nypunkter. Observationsfilerna sparas lämpligen i det fabriksberoende formatet RINEX för att möjliggöra direkt läsning/justering i observationsfilerna och efterberäkning i programvara som inte kan läsa mätinstrumentens originalformat. Metadata i RINEX-filerna (se [Tabell 5.2.1.a](#)) kontrolleras mot sessionsprotokoll eller aktuella uppgifter från nätförvaltare.

**Tabell 5.2.1.a.** Exempel på metadata i RINEX-filer som bör kontrolleras och vid behov justeras före användning.

Metadata	Benämning i RINEX-fil
Punktbezeichnung	MARKER NAME
Antennens serienummer och typ	ANT # / TYPE
Offset från markering till ARP	ANTENNA: DELTA H/E/N

För full spårbarhet dokumenteras och korrigeras eventuella fel i observationsfilernas metadata, även i de fall korrekta uppgifter kan anges direkt i programvaran i samband med beräkningen.

Observationstyperna per epok och satellit ska överensstämma med de förväntade för det aktuella mätinstrumentet. Dessutom bör tiderna för den första och sista observationsepoken kontrolleras.

Av praktiska skäl är det ibland önskvärt att dela upp stora observationsfiler. Detta förutsätter dock att de nya, mindre filerna uppfyller de observationslängder som specificerats i sessionsplaneringen.

Vid större stommätningssupdrag bör samtliga observationsfiler kontrolleras och efterberäknas fortlöpande – t.ex. efter en dags mätning – så att fel kan upptäckas i ett tidigt skede och eventuell ommätning planeras in.

## Antennmodeller

Varje unik antenntyp (med eventuell radom/antennskydd) som används vid GNSS-mätningen ska ha motsvarande antennmodell i beräkningsprogrammet så att fascentrumvariationerna beskrivs på ett så korrekt sätt som möjligt. Undantag gäller endast om GNSS-antennerna i båda ändar av baslinjen är av samma fabrikat och modell – dvs. har identiska fascentrumvariationer. Detta kan dock vara svårt att åstadkomma för samtliga baslinjer inom en mätsession.

Alla antennmodeller ska vara kvalitetssäkrade innan baslinjeberäkningen inleds. Antennmodeller kan betraktas som kvalitetssäkrade om:



- de innehåller både konstanta och elevationsberoende korrek- tioner för GPS L1/L2-frekvenserna.
- de baseras på kalibreringsdata från en känd källa (t.ex. International GNSS Service eller amerikanska geodesimyndigheten National Geodetic Survey)
- de har importerats i något av formaten ANTEX eller ANTINFO
- de är kompatibla med de banddata och koordinater för fasta referensstationer som används vid beräkningen.

I de fall där nya antennmodeller skapas manuellt av utföraren, t.ex. om hårdkodade modeller i programvaran behöver ersättas, bör dessa modeller dokumenteras och helst redovisas i sin helhet, se [Figur 5.2.1.a](#).

**Figur 5.2.1.a.** Antennmodell som bl.a. innehåller offset (medelposition) och va- riabla korrekationer för fascentrum i förhållande till ARP.

Antennbeteckning										
ASH701941.B			NONE Rev:B, D/M		element,chokerings,GPS+GLONAS					
-0.2			0.1		108.0					
0.0	-0.3	-0.5	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.1	
0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	0.0	0.0		
-0.3			0.2		126.7					
0.0	-2.2	-3.3	-3.5	-3.3	-2.9	-2.5	-2.2	-2.1	-2.2	
-2.5	-2.9	-3.2	-3.2	-2.7	-1.3	1.3	0.0	0.0		

Elevationsberoende korrektion, i det här fallet för elevation 35° på L2-frekvensen

Offset i N, E, U för GPS-frekvenserna L1 (övre) och L2 (nedre)

## Bandata

För att ange GNSS-satelliternas positioner vid mättillfället används antingen utsända banddata (Broadcast Ephemerides) eller efterberäknade banddata (Precise Ephemerides).

Utsända banddata ingår i GNSS-data och sparas som separata navigationsfiler för respektive satellitsystem i samband med konvertering av observationsdata till RINEX-format. Efterberäknade banddata kan laddas ned i det standardiserade sp3-formatet från flera internationella beräknings- och datacentra för GNSS, t.ex. [CDDIS](#).

Jämfört med utsända banddata, som går ut via satellitmeddelandet, är efterberäknade banddata mindre osäkra och bör vara förstahandsvalet, framför allt när baslinjerna är långa (> 10 km). Efterberäknade banddata förutsätter en beräkningsprocess, vilket medför en fördröjning från observationstillfället tills banddata är tillgängliga. Detta gör i sin tur att

det blir en eftersläpning vad gäller möjligheten att efterberäkna baslinjer, vilket bör tas i beaktande i uppdragets tidplan.

Den ungefärliga standardosäkerheten och den ungefärliga tiden tills bandata finns tillgängliga framgår av [Tabell 5.2.1.b](#).

**Tabell 5.2.1.b.** Exempel på metadata avseende bandatas standardosäkerhet och tidsfördröjning.

	Utsända bandata	Efterberäknade bandata		
		Ultra-rapids	Rapids	Final
GPS	1 m	0,05 m	0,025 m	< 0,025 m
GLONASS	> 2 m		0,1 m	0,030 m
Galileo	1 m		0,2 m	
Tidsfördröjning	realtid	3-9 timmar	1-2 dagar	2-3 veckor

För att få en uppfattning om hur mätosäkerheten i bandata bidrar till den totala mätosäkerheten för en baslinje, kan följande tumregel användas:

$$u(B) = B \frac{u(S)}{\rho}$$

där standardosäkerheten  $u(B)$  för en baslinje beskrivs som en funktion av baslinjens längd  $B$ , standardosäkerheten  $u(S)$  för bandata och avståndet  $\rho$  till satelliterna. I specialfallet där  $B \approx \rho \times 10^{-3}$  kan detta uttryck förklaras ytterligare till:

$$u(B) \text{ i mm} = u(S) \text{ i meter}$$

**Exempel:** Utsända bandata för GPS-satelliter används för att beräkna en 10 km baslinje. Eftersom satelliterna befinner sig på ~20 000 km avstånd, och standardosäkerheten för GPS är 1 meter enligt [Tabell 5.2.1.b](#), så blir satellitbanornas bidrag till baslinjens förväntade standardosäkerhet

$$u(B) = 10 \cdot \frac{1}{20000} = 0,5 \text{ mm}$$

Skillnaden mellan utsända och efterberäknade bandata kan således ignoreras för baslinjer kortare än 10 km.

### Väder- och atmosfärdata

Externa modeller som beskriver jonosfärens och troposfärens påverkan på mätningen kan i vissa fall importeras till programvaran. Detta bör dock endast ske i den mån dessa förväntas vara bättre än de interna modeller som beräknas utifrån aktuella observationsdata.

Meteorologiska data som härstammar från markbaserade väderstationer bör inte användas som direkt bidrag till beräkningen eftersom

de sällan beskriver atmosfärsskikten mellan satelliter och mottagare på ett representativt sätt.

### Startkoordinater

En startpunkt används alltid för att beräkna närmevärden för övriga punkters koordinater med hjälp av baslinjevektorerna. Om punkterna i GNSS-nätet får närmevärden utifrån dåligt bestämda startkoordinater, kan detta medföra skalfel och tippningsfel i hela nätet.

Genom att fixera koordinater och höjd för en punkt kan dessa fel lätt undvikas. Vilken punkt i GNSS-nätet som fixeras är i princip oväsentligt, men torde i de flesta fall vara en av utgångspunkterna för anslutningen.

Om observationsfilen för utgångspunkten innehåller aktuella koordinater i SWEREF 99 så kan dessa koordinater fixeras i programvaran. I annat fall anges de korrekta startkoordinaterna manuellt för startpunkten.

### 5.2.2 Programvara, programinställningar och kriterier för att godkänna beräkningar

#### Krav

- a) Baslinjeberäkningen ska baseras på dubbeldifferenser med heltalsfixering av periodobekanta.
- b) Programvaran ska kunna hantera/importera antenmodeller.
- c) Programvaran ska kunna hantera/importera efterberäknade banddata.
- d) Programvaran ska medge viktning av baslinjer, antingen med avståndsberoende schablonvärden eller med fullständig varians-kovariansmatris.
- e) Endast de baslinjer som får godkänd fixlösning ska gå vidare till utjämning.
- f) Kriterier för godkännande av baslinjeberäkningar ska dokumenteras.
- g) Alla ändringar av grundinställningar i programvaran ska dokumenteras.

#### Rekommendation

- h) Alla baslinjer i GNSS-nätet bör beräknas med samma programvara och programversion.
- i) Innan ny programvara används bör utföraren ha verifierat den på lämpligt sätt.

- j) Bestämning av periodobekanta (fixlösning) bör endast ske på baslinjer upp till ca 30 km.
- k) En elevationsmask på ca 10-15 grader bör tillämpas vid beräkningen.
- l) Standardmodeller för jonosfär och troposfär bör användas när observationstiden är under 30 minuter eller när baslinjen är kortare än 5 km.

### Val av programvara

Programvaran för baslinjeberäkning ska kunna hantera flerfrekvensobservationer från GPS och eventuella ytterligare GNSS. Baslinjeberäkningen ska baseras på dubbeldifferensbildning med heltalslösning av periodobekanta. Antennmodeller och efterberäknade banddata ska kunna importeras.

Innan ny programvara används bör utföraren ha verifierat den på lämpligt sätt, t.ex. genom mätning och efterberäkning av en känd (välbestämd) baslinje.

Om olika programvaror används för baslinjeberäkning respektive utjämning bör möjligheterna till export/import av fullständiga *varianskovariansmatriser* för alla beräknade baslinjer kontrolleras.

### Inställningar och beräkningsstrategier

Genom att justera gränsvärden eller andra inställningar i programvaran kan efterberäkningen anpassas till tillgängliga mätdata, t.ex.

- **Gränsvärde för minsta sessionslängd.** Om automatisk borttagning av för korta sessioner inte är möjligt görs detta manuellt genom egen kontroll.
- **Elevationsmask.** Satelliter på låga elevationer medför generellt brusigare mätdata och fler signalavbrott. Sådana data filtreras bort genom att definiera en elevationsmask för beräkningen. En lämplig mask ligger vanligen på ca 10–15 grader, men kan höjas eller sänkas efter behov.
- **Jonosfärmodellering.** Korta baslinjer hanteras vanligen via en standardmodell (Klobuchar) som anges i programmets grundinställningar. Vid längre baslinjer kan mer avancerad jonosfärmodellering användas, antingen genom att en modell importeras eller genom att en modell beräknas direkt i programmet baserat på mätdata. Inställningarna kan både avse minsta baslinjelängd och minsta mättid för sådan modellering.

- **Troposfärmodellering.** Vid kortare baslinjelängder hanteras troposfären vanligen via en standardmodell i programvaran, t.ex. Hopfield eller Saastamoinen. Skillnaden mellan standardmodellerna är i normalfallet liten, men vilken modell som används ska dokumenteras. För baslinjer längre än ca 10 km kan lösning av troposfärparametrar möjliggöra ett mindre avståndsberoende jämfört med användning av standardmodell, förutsatt att denna beräkning sker på ett beprövat sätt och med adekvat stöd i den programvara som används.

Eventuella ändringar av tillverkarens grundinställningar i programmet ska dokumenteras.

### Kriterier för godkänd baslinjeberäkning

Eftersom resultatredovisningen av baslinjeberäkning är programvaruspecifik bör de kriterier som används för att godkänna baslinjeberäkningen redovisas i uppdragsdokumentationen, vilket kan ske genom hänvisning till manual.

Följande kvalitetsparametrar är vanligt förekommande:

- **Typ av lösning (fix- eller flytlösning).** Endast baslinjer med godkänd fixlösning ska användas vid utjämning av ett GNSS-nät. Om data från både GPS och GLONASS används vid beräkningen är det möjligt att välja att lösa periodobekanta endast för GPS.
- **Testkvot mellan alternativa fixlösningar.** Detta avser vanligtvis förhållandet mellan RMS-värden (se nedan) för de två lösningar som programmet bedömer vara den näst mest respektive den mest sannolika. En hög testkvot tyder på att den korrekta uppsättningen heltal sannolikt har hittats.
- **RMS för fixlösningen.** RMS-värden redovisas i enheterna meter eller cykler och kan förväntas ligga på centimeternivå eller mindre (motsvarande en tiondels bärvågscykel) för en korrekt fixlösning. I de fall där absoluta RMS-värden är svårtolkade bör även RMS-skillnaden mellan flyt- och fixlösning jämföras. Skillnader på ett fåtal cm mellan flyt- och fixlösning tyder på en tillförlitlig fixlösning.
- **Uteslutna observationer.** En tillförlitlig baslinjeberäkning förutsätter att större delen av observationerna har utnyttjats. Andelen lösta periodobekanta kan därför vara en indirekt kvalitetsindikator. Om mätningen har genomförts enligt tidsrekommendationerna ska denna andel vara relativt hög.

Standardosäkerheterna för baslinjekomponenter är ibland optimistiskt skattade – med liten eller ingen hänsyn tagen till korrelationer mellan baslinjer och icke-modellerade systematiska effekter. De bör därför inte användas som kriterium för godkännande av baslinjeberäkningar.

Om en eller flera baslinjer inte har godkänts av programvaran, kan det finnas möjligheter att justera inställningar eller inaktivera observationer för respektive mätsession, t.ex.

- antennhöjd eller antenmodell (vid konstaterat fel)
- ändring av elevationsmask
- inaktivering av enstaka satellitobservationer, t.ex. sådana som endast förekommer under kortare del av mätsessionen eller innehåller försvagade signaler eller flervägsfel
- inaktivering av observationsintervall med flera periodbortfall.

### 5.3 Kontroller efter baslinjeberäkning

Följande kontroller används för grovfelssökning och en första kvalitetsbedömning av beräknade baslinjer:

- Upprepad mätning av baslinjer från minst två sessioner, [avsnitt 5.3.1](#).
- Beräkning av slutningsfel i slingor av baslinjer från minst två sessioner, [avsnitt 5.3.2](#).
- Längdmätning av baslinjer med EDM-instrument, [avsnitt 5.3.3](#).

Om toleransen enligt [Bilaga C.4](#) överskrids i någon av dessa kontroller krävs analys och eventuellt åtgärd. Kan inget grovt fel konstateras behålls baslinjen/sessionen om differenserna är mindre än  $ka$  (tolerans med täckningsfaktor = 3). I annat fall mäts baslinjen/sessionen ytterligare en gång och jämförs med det tidigare resultatet.

#### 5.3.1 Upprepad mätning av baslinjer

##### Krav

- a) Avvikelser mellan mätningar av samma baslinje i olika sessioner ska kontrolleras och redovisas.

Genom upprepade mätningar av vissa baslinjer i GNSS-nätet erhålls en inbördes kontroll mellan sessionerna innan utjämning. Upprepade mätningar åstadkoms naturligt om två eller fler GNSS-mottagare behålls på samma stompunkter i efterföljande session.

Toleransen definieras lämpligen så att den överensstämmer med den förväntade mätosäkerheten för de baslinjer som kontrolleras. Om

toleransen baseras på annan beräkning eller krav så ska detta anges i dokumentationen.

Förslag på toleranser vid jämförelse av upprepade mätningar av samma baslinje finns i [Bilaga C.4.5](#). Toleranserna baseras på HMK:s 3-nivåprincip.

### 5.3.2 Slutningsfel i baslinjeslingor

#### Krav

- a) Slutningsfel i baslinjeslingor ska kontrolleras och redovisas.
- b) Slingorna ska vara slutna och bestå av minst tre oberoende baslinjer.
- c) Alla baslinjer ska ingå i minst en slinga.

Beräkning av slutningsfel i baslinjeslingor utförs som kontroll före utjämning och ska redovisas i produktionsdokumentationen. Slutningsfel avser summan av respektive baslinjekomponent  $dX$ ,  $dY$  och  $dZ$  i slutna slingor av oberoende baslinjer, dvs. utan triviala baslinjer. Detta medför att en slinga alltid kommer att bestå av baslinjer från minst två sessioner.

Slingor som baseras på baslinjer från en och samma session är olämpliga som kontroll eftersom de är linjärt beroende (och slutningsfelet förväntas därmed bli nära noll). Större slingor kan däremot formas av flera mindre, vilket möjliggör analys liknande den som beskrivs för höjdnät i [avsnitt 4.4.1](#). Om GNSS-nätet har utformats med god kontrollbarhet finns det då goda möjligheter att identifiera vilka enskilda baslinjer som bidrar till ett signifikant slutningsfel.

Programvaror för baslinjeberäkning har ofta funktioner för att identifiera lämpliga slingor, med beräkning och redovisning av slutningsfel mot fördefinierade toleranser eller statistiska tester.

Förslag på toleranser för slutningsfel i baslinjeslingor vid GNSS-mätning (i 1D, 2D och 3D) finns i [Bilaga C.4.10](#). Toleranserna baseras på HMK:s 3-nivåprincip.

### 5.3.3 Kontroll av baslinje med totalstation

#### Krav

Vid kontroll av GNSS-baslinjer med totalstation

- a) ska de längdmätningar som utförs atmosfärskorrigeras.
- b) ska mätinstrument och signal centreras med stativ och trefot.

### Rekommendation

- c) Längdmätningen bör ske med en mätosäkerhet som är lika med eller lägre än GNSS-baslinjens förväntade mätosäkerhet.

Vid optisk sikt mellan ändpunkterna på en baslinje kan längdmätning med totalstation eller annat EDM-instrument utföras som en oberoende kontroll av baslinjens längd före utjämning. För att kunna jämföra kontrollmätningen med den beräknade baslinjen förutsätts

- att kontrollmätningen avser den lutande längden mellan markeringarna
- att längdmätningarna är atmosfärskorrigerade.

Ett alternativ till kontroll är att låta den observerade längden ingå i en kombinerad utjämning enligt [avsnitt 6.7.2](#). I båda fallen är det dock lämpligt att utföra längdmätningen med en mätosäkerhet som är lika med eller lägre än den förväntade mätosäkerheten i baslinjen. För att detta ska kunna uppnås förutsätts centrerings av totalstation och signal med hjälp av stativ och trefot med lod. Rutinkontroll av centreringen utförs före och efter mätning.

Utförd längdmätning ska redovisas i dokumentationen, med följande information:

- lutande längd
- vertikalvinkel (som mäts i minst en helsats)
- instrument- och signalhöjder
- lufttemperatur och lufttryck
- instrument-ID samt specificerad mätosäkerhet för det instrument som används.

Se [avsnitt 3.6.2](#) för information om totalstationer.

## 5.4 Alternativa metoder vid mätning av enstaka stompunkter

### 5.4.1 Användning av SWEPOS Beräkningstjänst

#### Krav

- a) SWEPOS Beräkningstjänst ska endast användas vid tillämpningar som inte kräver att närsamband bestäms via utjämning.



### Rekommendation

- b) Efterberäkning med SWEPOS Beräkningstjänst bör baseras på minst två timmars statisk GNSS-mätning.
- c) Stompunkter som bestäms med SWEPOS Beräkningstjänst bör avvägas om den ska utnyttjas som utgångspunkt i höjd.

SWEPOS beräkningstjänst är ett webbaserat alternativ till egen efterberäkning av insamlade GNSS-data som hanteras och beräknas punktvis. För närvarande finns dels en rikstäckande tjänst, dels projektanpassade tjänster. Informationen i avsnittet avser den rikstäckande tjänsten i nuvarande utformning.

Nypunktens koordinater i SWEREF 99 beräknas via Helmert-inpassning (se [Tabell 6.1.2.b](#)) mot fem närliggande fundamentalstationer. Övriga närliggande SWEPOS-stationer används för kontroll. Höjder i RH 2000 beräknas genom att konvertera ellipsoidhöjder via senaste nationella geoidmodell.

Användaren för över sina data till tjänsten med ett webbformulär och får resultatet i form av en textfil via e-post. Indata ska vara tvåfrekvens GNSS-data i RINEX-format. I den RINEX-fil som skickas in för beräkning ska antenntyp, mottagartyp och vertikal antennhöjd till ARP anges.

Vid användning av beräkningstjänsten bör observationstiden vara minst två timmar för att få ett tillförlitligt resultat, med osäkerheter på centimeternivå. Kortare mättider kan ge osäkerheter på decimeternivå. Beräkningstjänsten kan bearbeta sessioner som är 0,5–24 timmar långa.

Följande bör också beaktas:

- Vid beräkningen används data från satelliter ner till 10 graders elevation. Elevationsmasken i GNSS-mottagaren bör därför inte vara högre än 10°.
- Beräkningen görs med loggningsintervallet 30 sekunder. Om epoklängden i RINEX-filen är kortare än detta tunnas filen ut till 30 sekunders observationsintervall.

Observera att beräkningstjänsten endast hanterar beräkning av en nypunkt i taget. Den är därmed främst lämpad vid tillämpningar där när samband inte krävs – t.ex. vid komplettering av enstaka utgångspunkter, se [avsnitt 3.2.5](#).

För mer detaljerad information kring användning av beräkningstjänsten hänvisas till SWEPOS hemsida: [www.swepos.se](http://www.swepos.se).

## 5.4.2 Mätning med GNSS/RTK

### Krav

- a) GNSS/RTK-mätning ska endast användas för tillämpningar som inte kräver att närsamband bestäms via utjämning.
- b) Kvalitetssäkring av GNSS/RTK-mätning ska ske via upprepade mätning med tidsseparation.

### Rekommendation

- c) Stompunkter som etableras med GNSS/RTK bör höjdbestämmas via terrester mätning mot utgångspunkt i höjdnät.

GNSS/RTK är ingen egentlig stommätningsteknik eftersom ingen nätutjämning utförs. Rätt tillämpad kan dock tekniken användas för att bestämma enstaka utgångspunkter för t.ex. terrester detaljmätning, se [HMK - Terrester detaljmätning](#), senaste version.

Kvalitetssäkring kan exempelvis ske genom upprepade mätningar med tidsseparation. Riktlinjer för mätning med GNSS/RTK finns i [HMK - GNSS-baserad detaljmätning](#), senaste version.

I normalfallet utförs GNSS/RTK-mätning med nätverks-RTK, vilket innebär direkt anslutning mot det nationella referensstationsnätet. Den förväntade, absoluta lägesosäkerheten i SWEREF 99 är därmed relativt låg, i vissa fall jämförbar med statisk mätning. Den lokala osäkerheten blir däremot svårbedömd eftersom inga direkta mätningar utförs mot övriga punkter i stomnätet.

I bruksnät - med krav på liten lokal osäkerhet och hög kontrollerbarhet - bör därför komplettering av stompunkter i första hand utföras genom nätutjämning.

Höjder som bestäms med nätverks-RTK får en ökad osäkerhet - jämfört med avvägning - som förutom större mätosäkerhet i själva höjdmätningen också beror på osäkerheten i geoidmodellen.

Därför är rekommendationen att nya stompunkter som etableras med den beskrivna GNSS/RTK-metodiken höjdbestäms genom avvägning mot höjdfix.

## 6 Beräkning och analys av stomnät

### Krav

- a) Beräkning och analys av stomnät ska inkludera metodik för sökning av grova fel.
- b) Resultatredovisningen ska inkludera kvalitetsmått som möjliggör en bedömning av osäkerheten i de beräknade koordinaterna/höjderna.

Koordinat- och höjdvärden för nypunkterna i ett stomnät beräknas och kvalitetsskattas genom nätutjämning eller *koordinattransformation*. De analyser som genomförs i denna utjämningsprocess ska alltid inkludera grovfelssökning.

Ingångsdata består i första hand av stomnätsobservationer och koordinater/höjder för utgångspunkter. Observationerna utgörs av terrestra mätningar som har påförts korrektioner ([kapitel 4](#) och [Bilaga E](#)) eller beräknade GNSS-baslinjer ([kapitel 5](#)).

Innan själva utjämningsprocessen inleds vidtas ett antal förberedelser, som delvis är av administrativ karaktär:

- strukturering och anpassning av indata (namngivning, ev. uppdelning m.m.)
- inmatning av utgångspunkter, inklusive verifiering av koordinater, höjder och punktnummer
- programförberedelser (skapa projekt, mata in "administrativa" uppgifter, definiera/ändra programparametrar etc.).

### 6.1 Utjämningsprocessen

#### 6.1.1 Den generella processmodellen

All utjämning och analys av stomnät följer i princip samma stegvisa processmodell, oberoende av stomnätstyp:

1. **Förhandskontroll** innefattar verifiering och eventuell komplettering av ingångsdata och utgör ett lämpligt första steg i utjämningsprocessen. Omfattningen av detta steg beror bl.a. på i vilken utsträckning mätdata har kontrollerats redan i samband med stommätningen; kontroller från fält verifieras. Steget kan leda till ommätning.
2. **Viktsättningen** vid utjämning baseras i huvudsak på mätosäkerhetsfunktionerna i [Bilaga C.1](#).
3. **Preliminär beräkning** utförs främst för kontroll av observationer och för att möjliggöra senare kontroll av utgångspunkter.

Därför inkluderas normalt samtliga mätdata, men en mer begränsad del av utgångspunkterna ingår med sina kända koordinater/höjder. Om möjligt utförs detta steg som en *fri utjämnning*.

4. **Analysen** av den preliminära beräkningen varierar beroende på nättyp, men omfattar vanligen kontroll av samtliga observationer och utgångspunkter, eliminering av grova fel samt en första bedömning av mätosäkerhet och tillförlitlighet. Detta steg kan leda till förändringar i projektets förutsättningar: ommätning, modifierad viktsättning, nybestämning av utgångspunkter eller byte av utjämningsmodell.
5. **Slutgiltig beräkning** av koordinater/höjder och tillhörande kvalitetsmått utförs med samtliga ingångsdata och efter nödvändiga justeringar från analysen. Detta steg utförs vanligen som en *fast utjämnning*, men även andra anslutningsmetoder förekommer, t.ex. koordinattransformering.
6. **Resultatredovisning** är det sista steget i processen, även om annan uppföljning naturligtvis kan vara aktuell inom ramen för uppdraget/projektet. Redovisningen från utjämnningen och analysen innehåller bl.a. kvalitetsmått och andra metadata, som är avsedda att underlätta förståelsen för och användningen av beräkningsresultatet. Där bör även inkluderas eventuella problem som uppstått, och de åtgärder som vidtagits på grund av detta.

Avsnitt 6.2–6.4 följer ovanstående processbeskrivning för respektive nättyp. Läsaren bör dock först bekanta sig med de olika analysverktyg och delmoment som ingår i processen och beskrivs i [avsnitt 6.1.2](#). För kompletterande detaljer och exempel hänvisas till [Bilaga F](#) och den tekniska rapporten [HMK-TR 2018:3 \[4\]](#).

### 6.1.2 Några viktiga verktyg vid beräkning och analys

#### HMK:s 3-nivåprincip för toleranser

Beräkningen av toleranser baseras på HMK:s *3-nivåprincip*, som även används för översiktlig resultatredovisning – se [HMK-TR 2018:3](#), Kapitel 1. Den principen lyder:

- I. Minst 2/3 av mätmaterialen bör ha avvikelser som är mindre än motsvarande standardosäkerhet. Det är ett *fördelningstest* – ett test av att antagandet om normalfördelning är korrekt.
- II. Minst 95 % av mätmaterialen bör ha avvikelser som är mindre än dubbla standardosäkerheten, som därmed utgör en varningsgräns.

- III. Ingen mätning ska ha en avvikelse som är större än tre gånger sin standardosäkerhet. Det är därför en ren *kassationsgräns*.

Många kontroller – t.ex. samtliga fältkontroller – har dock endast toleranser enligt nivå II, dvs. 95 % täckningsgrad. (Se även [Bilaga F.3](#).)

### Fri vs. fast utjämning

Fri utjämning är ett viktigt verktyg i analysen av ett stomnät, särskilt i kombination med koordinattransformering.

I en fast utjämning är de kända utgångspunkterna låsta, dvs. deras läge påverkas inte av beräkningen. I en fri utjämning däremot låses bara **exakt** så många storheter som krävs för att ekvationssystemet ska vara lösbart. Även om fri nätutjämning normalt används som analysverktyg finns det tillämpningar där den fria utjämningen – ofta tillsammans med en inpassningstransformation – utgör slutresultatet (se nedan).

Minimiantalet storheter ( $d$ ) som måste låsas är

$$d = (3D - 2) \quad (6.1)$$

där  $D$  är den aktuella dimensionen (1, 2 eller 3), se [Tabell 6.1.2.a](#).

**Tabell 6.1.2.a.** Antal låsta storheter vid en fri utjämning i 1D, 2D resp. 3D.

Dimension	$d = (3D - 2)$	Storheter som måste låsas
1D	1	En nollnivå; höjden för en punkt
2D	4	Koordinaterna för en punkt (N,E) samt orientering och skala
3D	7	Koordinaterna för en punkt (X,Y,Z) samt tre orienteringsvinklar och skala

**Exempel:** I två dimensioner blir alltså  $d = (3 \cdot 2 - 2) = 4$ . De parametrar som då måste låsas vid en fri utjämning är en punkt (N,E), en orienterad riktning samt information om systemets skala:

- En av utgångspunkterna får stå kvar som "känd". Den orienterade riktningen kan åstadkommas genom att en fiktiv punkt läggs in i en riktningsserie från den "kända" utgångspunkten och skalan kan bestämmas via de utförda längdmätningarna.

Resten av utgångspunkterna "släpps fria" och bestäms i utjämningen.

Eftersom det inte finns något yttre tvång på mätningarna vid en fri utjämning kan dessa kontrolleras oberoende av utgångspunkterna. Det är dock inte alltid möjligt att inkludera samtliga mätningar i den fria utjämningen. Några punkter kan bli obestämda om inte extramätningar tillförs.

### Koordinattransformation som analysmetod

Som redan nämnts är inpassning/transformation av ett fritt utjämnat nät – med de kända utgångspunkterna som passpunkter – ett kompletterande analysverktyg. För detta väljs en transformationstyp med det antal parametrar som motsvarar antalet låsta storheter i den fria utjämnningen, se [Tabell 6.1.2.b](#). Denna metod används vanligen i samband med två- och tredimensionella stomnät.

**Tabell 6.1.2.b** Transformationstyper som motsvarar antal låsta storheter vid en fri utjämnning i 1D, 2D resp. 3D. I vissa transformationer fixeras skalförhållandet till 1:1, dvs. skalan blir oförändrad.

Dimension	$d = (3D - 2)$	Motsvarande transformationstyp
1D	1	Translation till en nollnivå (1 parameter)
2D	4	2D-Helmert (4 parametrar)
		Unitär (3 parametrar); oförändrad skala
3D	7	3D-Helmert (7 parametrar)
		6-parameters 3D-transformation; oförändrad skala

Inpassningen ger möjlighet till kontroll av såväl skalan som utgångspunkternas lägesosäkerhet. Vad gäller skalan finns dock som synes en valfrihet om den ska vara fast eller kunna förändras.

### Fri utjämnning och koordinattransformation som anslutningsmetod

Fri utjämnning + koordinattransformation kan även utgöra slutresultatet, t.ex. om ett nät med extremt låg lägesosäkerhet bara ska passas in ungefärligt i ett överordnat referenssystem utan att dess geometri påverkas. Det kan då ske med en Helmert-transformation på ett antal utgångspunkter – eller med en unitär, 3-parametertransformation om skalan ska hållas oförändrad.

På detta sätt kan en approximativ anslutning utföras utan att rucka på kvalitetskraven lokalt, i det aktuella projektet.

### Fast utjämnning vs. anslutning genom inpassning

Om anslutningen till överordnat referenssystem ska ske genom en fast utjämnning eller – approximativt – genom inpassning kan vanligen beslutas i förväg.

Har utgångspunkterna betydligt lägre osäkerhet väljs fast utjämnning, men i de fall det nybestämda nätet håller högre kvalitet kan inpassning vara att föredra. I beslutet av utjämningsmodell måste dock även de praktiska aspekterna vägas in: att hålla utgångspunkterna fasta ger stomnätet en större stabilitet över tid och minskar ”skarvproblemen” gentemot angränsande stomnät. Någonstans mitt emellan fri och fast utjämnning ligger *elastisk utjämnning*, se [avsnitt 6.7.1](#).

Om kvalitetsrelationen är okänd kan residualerna från inpassningen och skattningen av *viktsenhetens standardosäkerhet* därifrån användas som underlag för beslutet om anslutningsförfarande, se [TR 2018:3](#), kapitel 7.

### Beräkning och analys av tågformade nät

Som beskrivits i [avsnitt 3.2.1](#) brukar en litet annorlunda beräknings- och analysmodell tillämpas för tågformade nät – t.ex. avvägningarnät och polygonnät. Även den kan dock ses som en variant av den generella arbetsprocessen i [avsnitt 6.1.1](#) – men nu med **tåget**, och inte den enskilda mätningen, som minsta enhet.

Fri utjämning med koordinattransformering som analysmetod är därför vanligen inte tillämpbar på tågformade nät. Och även möjligheterna till detaljstudier av lägesosäkerhet och tillförlitlighet mellan knutpunkterna, dvs. inuti tågen, är begränsade. Det är därför som så mycket som möjligt av felsökningen bör ske före nätberäkningen, t.ex. genom jämförelse mellan upprepade mätningar och analys av slutningsfel i slingor, se [avsnitt 4.4](#).

Även utvärderingen av utjämningen baseras till största delen på slutningsfel – och tillämpning av den 3-nivåprincip som beskrevs inledningsvis i [avsnitt 6.1.2](#). Med hjälp av slutningsfelen kan slutsatsen dras **att** något är fel, men vanligen inte **var** i tåget felet ligger. Ofta krävs ommätning av hela tåget för att hitta ett grovt fel.

Lägesosäkerheten i punkter som ingår i tågformade nät (höjdnät/polygonnät) kan normalt inte skattas. Beräkningsmetoden ger helt enkelt inte underlag för en sådan beräkning. Därför är mätosäkerheten i sig ofta den bästa indikatorn även på lägesosäkerheten efter utjämning av tågformade nät.

## 6.2 Höjdnät

### Rekommendation

- a) Utjämning och analys av ett höjdnät bör följa processbeskrivningen i HMK – Stommätning 2020, Tabell 6.2.

Vid beräkning av höjdnät utgör alltså vanligen tåget minsta utjämningsenhet. Toleranserna – före och efter utjämning – baseras på standardosäkerheterna för **dubbelmätta** höjdtåg (tur- och returmätning).

Utjämningsprocessen sammanfattas i [Tabell 6.2](#), inklusive kontroller, föreslagna toleranser och möjliga åtgärder i de fall avvikelser kan konstateras.

**Tabell 6.2.** Arbetsprocessen vid beräkning och analys av höjdnät.

Moment	Kontroller/analyser, toleranser och åtgärder
<b>Förhandskontroll</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Jämförelse av tur- och returmätning, se <a href="#">Bilaga C.4.1.</a></li> <li>– Dubbelmätta höjdskillnader vid trigonometrisk höjdmätning, se <a href="#">Bilaga C.4.2.</a></li> <li>– Slutningsfel i slingor, se <a href="#">Bilaga C.4.7.</a> <u>Ev. åtgärd:</u> ommätning av höjdtåg.</li> </ul>
<b>Viktsättning</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Vid avvägning: vikt per tåg, omvänt proportionell mot tåglängden.</li> <li>– Vid trigonometrisk höjdmätning: vikter baserade på standardosäkerheten enligt <a href="#">Bilaga C.1.4.</a></li> </ul>
<b>Preliminär beräkning</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Inkluderar alla mätdata och så många utgångspunkter som möjligt.</li> </ul>
<b>Analys</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Viktsenhetens standardosäkerhet, se <a href="#">Bilaga C.4.11</a> och <a href="#">Bilaga C.1.5.</a></li> <li>– Slutningsfel i utjämnade tåg, se <a href="#">Bilaga C.4.12.</a> <u>Ev. åtgärd:</u> ommätning av höjdtåg.</li> <li>– Om möjligt: translation av fritt utjämnat höjdnät, med utgångspunkterna som passpunkter. <u>Ev. åtgärd:</u> nybestämning av utgångspunkt(er).</li> </ul>
<b>Slutgiltig beräkning</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fast utjämning för beräkning av höjder och tillhörande kvalitetsmått.</li> </ul>
<b>Resultatredovisning</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Beräknade höjder.</li> <li>– Viktsenhetens standardosäkerhet.</li> <li>– Slutningsfel i utjämnade höjdtåg.</li> <li>– Nätets k-tal.</li> <li>– Avstämning mot HMK:s 3-nivåprincip.</li> <li>– Eventuella problem/avvikelser och vidtagna åtgärder.</li> <li>– Övrig produktionsdokumentation enligt <a href="#">Bilaga B.</a></li> </ul>

### Förhandskontroll

Den viktigaste förhandskontrollen av höjdnät är jämförelse mellan tur- och returmätningar – om de inte redan är gjorda i fält – samt kontroll av slutningsfel i slingor och tåg mellan kända utgångspunkter enligt [avsnitt 4.4.1.](#) I detta steg ingår även verifiering av utförda fältkontroller.

### Viktsättning

Viktsättningen beror på om höjdskillnaderna bestämts via avvägning eller via trigonometrisk höjdmätning.



Vikterna vid utjämning av avvägda höjder sätts omvänt proportionella mot tåglängden – vanligen  $1/d$ , där  $d$  är tågets längd i km. Det innebär att viktsenhetens standardosäkerhet är ett mått på den **erhållna** mätosäkerheten – efter utjämning – för ett dubbelavvägt, kilometerlångt tåg, vilket kan kontrolleras mot motsvarande specificerade mätosäkerhet.

Vid trigonometrisk höjdmätning beräknas vikten  $p$  i stället som

$$p = \frac{1}{u^2(\Delta h)} \quad (6.2)$$

där  $u(\Delta h)$  är standardosäkerheten beräknad enligt formeln i [avsnitt C.1.4](#). Blandningar av avvägning och trigonometrisk höjdmätning – i samma höjdnät – kan vara svåra att hantera vad gäller viktsättningen.

### Preliminär beräkning

Den preliminära beräkningen inkluderar normalt alla mätdata och samtliga utgångspunkter. Fri utjämning är vanligen endast tillämpbar i de fall höjdnätet utgör en del av ett terrestert 3D-nät – eller om det uteslutande består av slutna slingor, se [Figur 4.4.1](#).

### Analys

Analysen av höjdnätet avser primärt kontroll av viktsenhetens standardosäkerhet mot specificerad mätosäkerhet, samt kontroll av höjdslutningsfel efter utjämningen av tågen. Detta kan i båda fallen leda till ommätning.

Analys av höjdslutningsfel illustreras här genom uppföljning av exemplet från [avsnitt 4.4.1](#).

Exempel: Utjämning av höjdnätet har gett följande resultat:

Tåg	Förbättring (mm)	tågvisa k-tal	I	II	III	Tåglängd (km)
1: A→B	-1,31	0,45	1	-1		3
2: A→C	-0,46	0,42	-1			3
3: A→D	+4,72	0,72		1		8
4: B→C	+2,85	0,47	1		-1	3
5: B→D	-2,77	0,29		-1	1	2
6: C→D	+4,78	0,65			-1	6
Slutningsfel (mm)			+2,0	+8,8	-10,4	

Som synes har det misstänkta tåget nr 5 (B→D) inte någon särskilt stor förbättring. Det beror på att tåget är kortast (2 km). Det får därför hög vikt i utjämningsresultatet och ett litet k-tal.

Eftersom tre slingor ger tre överbestämningar och antalet tåg är sex blir k-talet (enligt [Formel 3.1](#)):

$$k = 3/6 = 0,5$$

Dvs. det genomsnittliga k-talet för hela nätet är 0,5. Det är ganska bra för att vara ett höjdnät, men k-talet för tåg nr 5 är bara 0,29. Det innebär att den "synliga delen" av felet (= förbättringen) blir liten, se [Formel F.7](#). I stället flyttas problemet till andra tåg, vilket ger en allmän försämring av nätets kvalitet. Det blir alltså svårt att – enbart med ledning av utjämningsresultatet – peka ut tåg nr 5 som felaktigt.

Observera att slingslutningsfelen i exemplet är ograverade efter utjämningsresultatet, jfr. [Tabell 4.4.1](#). Att studera slutningsfel i slingor fungerar alltså lika bra som analysmetod före som efter utjämningsresultatet.

I undantagsfall kan analys av ett fritt utjämnat höjdnät ske genom en translation (1 parameter) med utgångspunkterna som passpunkter. Det kan då leda till nybestämning eller byte av utgångspunkter.

### Slutgiltig beräkning

Definitiva höjder på nypunkterna beräknas efter eventuell ommätning av tåg eller nybestämning/byte av utgångspunkter.

Denna slutgiltiga beräkning utförs i princip på samma sätt som den preliminära, med dokumentation av tillhörande kvalitetsmått. Translation i höjd (om sådan är möjlig) kan dock vara sista beräkningssteget – om den lokala lägesosäkerheten är viktigast och georefereringen av underordnad betydelse, dvs. om anslutningen skulle försämra närsambandet.

### Resultatredovisning

Resultatredovisningen omfattar beräknade höjder, viktsenhets standardosäkerhet, slutningsfel i utjämnade avvägningståg och k-tal. Där så är möjligt redovisas utvärdering enligt HMK:s 3-nivåprincip. Eventuella problem/avvikelser och vidtagna åtgärder bör också framgå av dokumentationen. I övrigt sker redovisningen enligt [Bilaga B](#).

## 6.3 Polygonnät

### Rekommendation

- a) Utjämningsresultat och analys av ett polygonnät bör följa processbeskrivningen i HMK – Stommätning 2020, Tabell 6.3.

Även vid beräkning av polygonnät är det normalt **tåget** som är minsta beräkningsenhet (se [avsnitt 6.1.2](#)). Beräkningen sker vanligen med en förenklad metod uppdelad i två steg: en utjämning av mätta vinklar följt av en koordinatutjämning – separat för Northing resp. Easting.

Utjämningsprocessen sammanfattas i [Tabell 6.3](#), inklusive kontroller, föreslagna toleranser och möjliga åtgärder om fel/avvikelse konstateras.

**Tabell 6.3.** Arbetsprocessen vid beräkning och analys av polygonnät.

Moment	Kontroller/analyser, toleranser och åtgärder
<b>Förhandskontroll</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Spridning mellan helsatser vid vinkelmätning, se <a href="#">Bilaga C.4.3</a>.</li> <li>– Dubbelmätta längder, se <a href="#">Bilaga C.4.4</a>.</li> <li>– Slutningsfel i slingor, se <a href="#">Bilaga C.4.8</a> (vinklar) och <a href="#">Bilaga C.4.9</a> (koordinater).</li> </ul> <p>Ev. åtgärd: ommätning av polygontåg.</p>
<b>Viktsättning</b>	<p>Schablonvikter anges per tåg:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Vid vinkelutjämning baseras vikterna på antalet vinkelmätningstationer i tåget.</li> <li>– Vid koordinatutjämning baseras vikterna på tåglängden.</li> </ul>
<b>Preliminär beräkning</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Inkluderar alla mätdata och så många utgångspunkter som möjligt.</li> <li>– Fri utjämning om polygonnätet består av slutna slingor.</li> </ul>
<b>Analys</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Slutningsfel (vinklar och koordinater) i utjämnade tåg, se <a href="#">Bilaga C.4.13</a>.</li> </ul> <p>Ev. åtgärd: ommätning av polygontåg – i undantagsfall nybestämning av utgångspunkter.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Fri utjämning analyseras som triangelnät, se <a href="#">avsnitt 6.4</a>.</li> </ul>
<b>Slutgiltig beräkning</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fast utjämning för beräkning av koordinater (2D) och tillhörande kvalitetsmått.</li> </ul>
<b>Resultatredovisning</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Beräknade koordinater.</li> <li>– Nätets k-tal.</li> <li>– Viktsenhetens standardosäkerhet från vinkelutjämnningen.</li> <li>– Slutningsfel i utjämnade polygontåg (vinklar, Northing, Easting, radiellt). Vid s.k. <i>sträng utjämning</i> även mått på nypunkternas lägesosäkerhet.</li> <li>– Avstämning mot HMK:s 3-nivåprincip.</li> <li>– Eventuella problem/avvikelse och vidtagna åtgärder.</li> <li>– Övrig produktionsdokumentation, se <a href="#">Bilaga B</a>.</li> </ul>

### Förhandskontroll

Kontrollen av indata bör inkludera jämförelse av dubbelmätta längder och spridningen mellan helsatser vid vinkelmätning, om detta inte redan är gjort; kontroller från fält verifieras.

Beräkning av slutningsfel i slingor utförs för vinklar och koordinater, var för sig enligt [avsnitt 4.4.2](#).

### Viktsättning

Schablonvikter används för varje tåg. Vid vinkelutjämning baseras vikten på antalet vinkelmätningstationer i tåget. Vid den efterföljande koordinatutjämningsen är vikterna omvänt proportionella mot tåglängden.

### Preliminär beräkning

På grund av tågformen blir den preliminära beräkningen ganska lik den slutgiltiga. Den inkluderar normalt samtliga mätdata och utgångspunkter. Precis som för höjdnät är fri utjämning endast tillämpbar i de fall polygonnätet uteslutande är uppbyggt av slutna slingor

### Analys

Kontrollerna avser slutningsfelen – i vinklar respektive koordinater – i utjämnade tåg och kan leda till ommätning. Eventuell fri utjämning analyseras som triangelnät.

Eftersom viktsättningen vid utjämning av tåg är schablonmässig – och inte direkt relaterad till mätosäkerheten – kan inte viktsenhetens standardosäkerhet utvärderas på något enkelt sätt.

### Slutgiltig beräkning

Den slutgiltiga beräkningen ger koordinater i 2D för nypunkterna. Denna utjämning utförs sedan eventuell ommätning har verkställts.

Transformation (om sådan är möjlig) kan vara sista beräkningssteget – om den lokala lägesosäkerheten är viktigast och georefereringen av underordnad betydelse, dvs. om anslutningen skulle försämra när sambandet.

Även *sträng utjämning* av polygonnät förekommer. De behandlas då beräkningsmässigt på samma sätt som triangelnät, se [avsnitt 6.4](#). Sträng utjämning hanterar dock ev. skalskillnader mellan nymätningen och utgångspunkterna sämre än den förenklade metoden och förutsätter en optimal viktsättning mellan mätta vinklar och avstånd. Bågformade tåg är särskilt kritiska.

En fördel med den stränga metoden är dock att nätet inte behöver bestå av "perfekta" tåg. Förstärkningar av nätet med t.ex. korssyfter – tvärs igenom nätet, eller mot avlägsna högpunkter – kan därför hanteras. I

övrigt är de förenklade utjämningsmetoderna tämligen robusta och ofta väl så bra som de stränga. Sträng utjämning ger dock direkta mått på nypunkternas lägesosäkerhet – det gör inte den förenklade tågutjämningsmetoden.

### Resultatredovisning

Resultatredovisningen omfattar beräknade koordinater, viktsenhetens standardosäkerhet från vinkelutjämnningen, slutningsfel i utjämnade polygontåg (vinklar, Northing, Easting och radiellt) samt k-tal.

Där så är möjligt redovisas en utvärdering enligt HMK:s 3-nivåprincip. Eventuella problem/avvikelser och vidtagna åtgärder bör också framgå av dokumentationen. I övrigt sker redovisningen enligt [Bilaga B](#).

## 6.4 Triangelnät

### Rekommendation

- a) Utjämning och analys av ett triangelnät bör följa processbeskrivningen i HMK – Stommätning 2020, Tabell 6.4.

Utjämning av triangelnät utförs vanligen med en variant av minsta-kvadratmetoden som benämns *elementutjämning*, där **den enskilda längd- och riktningsmätningen** utgör minsta beräkningsenhet.

Beräknings- och analysarbetet i samband med triangelnät har bildat skola för all beräkning av stomnät, som beskrivs utförligt i HMK-TR 2018:3 [4]. Arbetet följer processbeskrivningen i [Tabell 6.4](#) och denna nättyp ligger till grund för den detaljerade beskrivningen i [Bilaga F](#).

**Tabell 6.4.** Arbetsprocessen vid beräkning och analys av triangelnät.

Moment	Kontroller/analyser, toleranser och åtgärder
<b>Förhandskontroll</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Spridning mellan helsatser vid vinkelmätning, se <a href="#">Bilaga C.4.3</a>.</li> <li>– Dubbelmätta längder, se <a href="#">Bilaga C.4.4</a>.</li> <li>– Om möjligt, slutningsfel i slingor, se <a href="#">Bilaga C.4.7</a> och <a href="#">C.4.8</a>.</li> </ul> <p>Ev. åtgärd: ommätning av vinklar och längder.</p>
<b>Viktsättning</b>	<p>Beräknas från totalstationens specificerade mätosäkerhet och antalet upprepade mätningar.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– För vinkelmätning, se <a href="#">Bilaga C.1.1</a>.</li> <li>– För längdmätning, se <a href="#">Bilaga C.1.2</a>.</li> </ul>
<b>Preliminär beräkning</b>	Fri utjämning av samtliga observationer.

<b>Analys</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Viktsenhetens standardosäkerhet.</li> <li>- Standardiserade förbättringar med data-snooping.</li> <li>- Utgångspunkter och skalfaktor genom inpassning (Helmert/unitär) av fritt utjämnat nät i 2D.</li> </ul> <p><u>Ev. åtgärder:</u> ommätning/uteslutning av mätningar, modifierad viktsättning, byte av utjämningsmodell eller uteslutning/nybestämning av utgångspunkter.</p>
<b>Slutgiltig beräkning</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beräkning av koordinater (2D) och tillhörande kvalitetsmått via utjämning eller koordinattransformation.</li> <li>- Upprepad data-snooping.</li> </ul>
<b>Redovisning</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beräknade koordinater.</li> <li>- Viktsenhetens standardosäkerhet.</li> <li>- Resultatet från data-snooping.</li> <li>- Övriga tester samt uppgifter om lägesosäkerhet (t.ex. osäkerhetskällor) och tillförlitlighet.</li> <li>- Avstämning mot HMK:s 3-nivåprincip.</li> <li>- Eventuella problem/avvikelser och vidtagna åtgärder.</li> <li>- Övrig produktionsdokumentation, se <a href="#">Bilaga B</a>.</li> </ul>

### Förhandskontroll

I förhandskontrollen ingår jämförelse av dubbelmätta längder och helsatser vid vinkelmätning, om detta inte redan är gjort; alla fältkontroller verifieras. Om möjligt utförs beräkning och analys av slutningsfel i slingor.

### Viktsättning

Vikter beräknas från totalstationens specificerade mätosäkerhet och antalet upprepade mätningar (helsatser, dubbelmätta längder etc.), se [Bilaga C.1](#).

### Preliminär beräkning

Fri utjämning av triangelnätet utförs med samtliga mätdata och med minsta möjliga tvång från utgångspunkterna.

### Analys

Analys av triangelnät behandlas i detalj i [HMK-TR 2018:3](#), kapitel 7–8. Den bör inkludera kontroll av viktsenhetens standardosäkerhet och data-snooping samt redovisning av osäkerhets- och tillförlitlighetsmått, se redovisningen i [Bilaga F.6](#). Det mesta av analysen baseras på statistiska tester, som är anpassade till förutsättningarna för det aktuella nätet.

Utöver förhandskontrollerna är det därför inte möjligt att ställa upp generella toleranser annat än för kontroll av viktsenhetens standardosäkerhet.

Analysen kan leda till modifierad viktsättning, ommätning/uteslutning av mätningar, byte av utjämningsmodell eller uteslutning/nybestämning av utgångspunkter.

### Slutgiltig beräkning

Den slutgiltiga beräkningen innefattar koordinater och tillhörande kvalitetsmått samt upprepad data-snooping. Den utförs sedan eventuell ommätning/uteslutning av mätningar och uteslutning/nybestämning av utgångspunkter har verkställts – och sedan definitivt beslut om viktsättning och utjämningsmodell har tagits.

Koordinattransformering (med eller utan skalfaktor) kan vara sista beräkningssteget – om den lokala lägesosäkerheten är viktigast och georefereringen av underordnad betydelse, dvs. om anslutningen skulle försämra närsambandet.

### Resultatredovisning

Resultatredovisningen omfattar beräknade koordinater, viktsenhetens standardosäkerhet, resultat från data-snooping och övriga tester, uppgifter om lägesosäkerhet (t.ex. osäkerhetsellipser) och kontrollerbarhet/tillförlitlighet (t.ex. k-tal).

Där så är möjligt redovisas en utvärdering enligt HMK:s 3-nivåprincip. Eventuella problem/avvikelse och vidtagna åtgärder bör också framgå av dokumentationen. I övrigt sker redovisningen enligt [Bilaga B](#).

## 6.5 GNSS-nät

### Rekommendation

- a) Utjämning och analys av ett GNSS-nät bör följa processbeskrivningen i HMK – Stommätning 2020, Tabell 6.5.

Beräkningen av GNSS-nät utförs i 3D och har **baslinjer** som minsta beräkningsenhet.

Utjämningsprocessen sammanfattas i [Tabell 6.5](#), inklusive kontroller, föreslagna toleranser och möjliga åtgärder om avvikelser konstateras.

**Tabell 6.5.** Arbetsprocessen vid beräkning och analys av GNSS-nät.

Moment	Kontroller/analyser, toleranser och åtgärder
<b>Förhandskontroll</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Dubbelmätta baslinjer, se <a href="#">Bilaga C.4.5</a>.</li> <li>– Slutningsfel i 3D-slingor, se <a href="#">Bilaga C.4.10</a>.</li> <li>– Jämförelse med EDM-mätning, se <a href="#">Bilaga C.4.6</a>.</li> </ul> <p>Ev. åtgärd: ommätning av sessioner.</p>
<b>Viktsättning</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Varians-kovariansmatris från baslinjeberäkning, se <a href="#">avsnitt 5.2.2</a>, eller</li> <li>– förenklade schablonvärden, se <a href="#">Bilaga C.1.5</a>.</li> </ul>
<b>Preliminär beräkning</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fri utjämning av samtliga baslinjer.</li> </ul>
<b>Analys</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Viktsenhetens standardosäkerhet.</li> <li>– Standardiserade förbättringar med data-snooping.</li> <li>– Utgångspunkter och skalfaktor genom inpassning av fritt utjämnat nät på utgångspunkterna (i 3D eller 2D+1D).</li> </ul> <p>Ev. åtgärder: ommätning/uteslutning av baslinjer, modifierad viktsättning, byte av utjämningsmodell eller uteslutning/nybestämning av utgångspunkter.</p>
<b>Slutgiltig beräkning</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Beräkning av koordinater/höjder och tillhörande kvalitetsmått via utjämning eller koordinattransformation.</li> <li>– Upprepad data-snooping.</li> </ul>
<b>Redovisning</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Beräknade koordinater och höjder.</li> <li>– Viktsenhetens standardosäkerhet.</li> <li>– Resultat från data-snooping.</li> <li>– Övriga tester samt uppgifter om lägesosäkerhet och tillförlitlighet.</li> <li>– Avstämning mot HMK:s 3-nivåprincip.</li> <li>– Eventuella problem/avvikelser och vidtagna åtgärder.</li> <li>– Övrig produktionsdokumentation, se <a href="#">Bilaga B</a>.</li> </ul>

### Förhandskontroll

Innan beräkning och analys av GNSS-nät inleds förutsätts att de beräknade baslinjerna har kontrollerats med en eller flera av följande metoder:

- jämförelse av dubbelmätta baslinjer
- kontroll av slutningsfel i 3D-slingor
- jämförelse med terrester längdmätning.

Förhandskontroller utförs så tidigt som möjligt i arbetsprocessen, i nära anslutning till fältarbetet. Eventuell ommätning utförs sessionsvis.



## Viktsättning

Viktsättning av baslinjerna sker vanligtvis på ett av följande sätt:

- De enskilda observationerna (dvs. koordinatkomponenterna i varje baslinjevektor) får standardosäkerheter utifrån varians-kovariansmatrisen från baslinjeberäkningen, se [avsnitt 5.2.2](#).
- Standardosäkerheterna ges schablonvärden som baseras på tidigare kunskap om GNSS-mätningen, t.ex. från instrument-specifikationer eller liknande. Sådana schablonvärden uttrycks vanligen som en konstant plus en längdberoende del, enligt [Bilaga C.1.5](#).

Utöver själva baslinjerna anges standardosäkerheter för centrerings och antennhöjdsbestämning där så är möjligt. Dessa standardosäkerheter bör alltid ges ett värde  $> 0$ .

Viktsättning med varians-kovariansmatrisen innebär den teoretiskt mest korrekta hanteringen av korrelationer mellan baslinjekomponenterna. Viktsättning som sker enligt schablonmetoden innebär å andra sidan en slags teoretisk förenkling i och med att korrelationerna ignoreras. I praktiken blir det dock inte så stora skillnader i koordinatvärdena mellan de två metoderna, men den viktningsmetod som har använts ska dokumenteras.

I de fall vald viktsättningsmetod förväntas blir alltför optimistisk kan omskalning via en *à-priori*-faktor göras (se [HMK-TR 2018:3 \[4\]](#), kapitel 5), vilket då ska dokumenteras.

## Preliminär beräkning

Den preliminära beräkningen utförs vanligen som en fri 3D-utjämning av godkända baslinjer från efterberäkningen (se [kapitel 5](#)). Den fria utjämningen innebär att ett minimum av koordinater/höjder låses enligt [avsnitt 6.1.2](#), men sker i övrigt utan tvång från utgångspunkterna.

För att approximativt beakta korrelationerna mellan baslinjerna vid schablonviktsättning bör samtliga baslinjer tas med i beräkningen, även de triviala.

## Analys

Analysen bör inkludera test av viktsenhetens standardosäkerhet, standardiserade förbättringar med data-snooping och inpassning av fritt utjämnat nät på utgångspunkterna (i 3D eller 2D+1D).

Detta steg kan leda till ommätning/uteslutning av baslinjer, modifierad viktsättning, byte av utjämningsmodell eller uteslutning/nybestämning av utgångspunkter.

Efter den fria utjämnings utförs grovfelssökning av baslinjerna med test av viktsenhetens standardosäkerhet och data-snooping. Eftersom traditionell data-snooping endast testar enskilda baslinjekomponenter – och inte baslinjen som helhet – bör analysen om möjligt ske med kompletterande metoder, t.ex. statistiska tester där samtliga baslinjekomponenter ( $dX$ ,  $dY$ ,  $dZ$ ), eller den lokala höjdkomponenten ( $dU$ ), testas samtidigt.

Baslinjer med grova fel tas bort successivt. I frånvaro av kompletterande metoder enligt ovan bör dock detta ske med viss försiktighet. De toleranser som anges enligt 3-nivåprincipen bör tolkas som vägledande snarare än absoluta. Samtliga baslinjer som tas bort redovisas i resultatrapporten, tillsammans med anledningen till uteslutningen. Efter dessa inledande steg bör analys göras av om nätet fortfarande har en fullgod baslinjekonfiguration, eller om kompletterande mätning kan behövas.

Efter grovfelssökningen utförs inpassning av den fria utjämnings resultat som kontroll av utgångspunkterna. Det kan antingen ske med en 3D-Helmert-transformation (7 parametrar) eller en kombination av 2D-Helmerttransformation och separat höjdinpassning – det senare förutsatt att 3D-koordinaterna har konverterats till plana koordinater och höjder. Den geoidmodell som används för detta ska då dokumenteras.

Inpassningen kontrolleras med avseende på viktsenhetens standardosäkerhet (grundmedelfel), skala och vridning. Avvikelsena i passpunkterna – restfelen – analyseras med data-snooping. Utgångspunkter som tas bort från fortsatt beräkning redovisas i resultatrapporten.

### **Slutgiltig beräkning**

Slutgiltig beräkning utförs sedan eventuell ommätning/uteslutning av baslinjer och uteslutning/nybestämning av utgångspunkter har verkställts – och efter att definitivt beslut om viktsättning och utjämningsmodell har tagits.

Beräkningen av koordinater och höjder sker med fast eller elastisk utjämnings, se [avsnitt 6.7.1](#). Upprepad data-snooping utförs, som vid elastisk utjämnings även inkluderar utgångspunkterna.

Alternativt utgör koordinatstransformation det sista beräkningssteget om den lokala lägesosäkerheten är viktigast, och om anslutning via utjämnings med fasta utgångspunkter skulle försämra när sambandet.

### **Resultatredovisning**

Resultatredovisningen omfattar beräknade koordinater och höjder, viktsenhetens standardosäkerhet, resultat från data-snooping och övriga tester samt uppgifter om lägesosäkerhet och kontrollerbarhet/tillförlitlighet.

Där så är möjligt redovisas en utvärdering enligt HMK:s 3-nivåprincip. Eventuella problem/avvikelser och vidtagna åtgärder bör också framgå av dokumentationen. I övrigt sker redovisningen enligt [Bilaga B](#).

## 6.6 Terrestra 3D-nät

### Rekommendation

- a) Utjämning och analys av ett terrestert 3D-nät bör följa processbeskrivningen i [HMK – Stommätning 2020](#), Tabell 6.6.

Den typ av terrestra 3D-nät som avses i detta avsnitt består av fasta (vägg)markeringar som bestäms med hjälp av fria stationer, s.k. fri-stationsnät. Dessa kan i vissa fall vara separerade i plan och höjd, se vidare [avsnitt 3.2.4](#).

Hanteringen av dessa nät karaktäriseras av den speciella utformningen samt det sätt på vilket mätningarna utförs. Beräknings-/analysarbetet följer processbeskrivningen i [Tabell 6.6.](#), som även innehåller kontroller, toleranser och möjliga åtgärder i de fall avvikelser konstateras.

**Tabell 6.6.** Arbetsprocessen vid beräkning och analys av terrestra 3D-nät.

Moment	Kontroller/analyser, toleranser och åtgärder
<b>Förhandskontroll</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Dubbelmätta höjdskillnader vid trigonometrisk höjdmätning, se <a href="#">Bilaga C.4.2</a>.</li> <li>– Spridning mellan helsatser vid vinkelmätning, se <a href="#">Bilaga C.4.3</a>.</li> <li>– Dubbelmätta längder, se <a href="#">Bilaga C.4.4</a>.</li> </ul> <p>Ev. åtgärd: ommätning av vinklar och längder.</p>
<b>Viktsättning</b>	<p>Beräknas från totalstationens specificerade mätosäkerhet och antalet upprepade mätningar.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– För vinkelmätning, se <a href="#">Bilaga C.1.1</a>.</li> <li>– För längdmätning, se <a href="#">Bilaga C.1.2</a>.</li> </ul>
<b>Preliminär beräkning</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fri utjämning av alla observationer.</li> <li>– En instrumentuppställning utgör "hemsystem".</li> </ul>
<b>Analys</b>	<p>Analys i 3D eller separat i plan + höjd.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Viktsenhetens standardosäkerhet.</li> <li>– Standardiserade förbättringar med data-snooping.</li> <li>– Utgångspunkter och skalfaktor genom inpassning av fritt utjämnat nät på utgångspunkterna (i 3D eller 2D+1D).</li> </ul> <p>Ev. åtgärd: ommätning/uteslutning av mätningar, modifierad viktsättning, byte av utjämningsmodell eller uteslutning/nybestämning av utgångspunkter.</p>

<b>Slutgiltig beräkning</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beräkning av koordinater/höjder och tillhörande kvalitetsmått via utjämning eller koordinattransformation.</li> <li>- Upprepad data-snooping.</li> </ul>
<b>Redovisning</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beräknade koordinater och höjder.</li> <li>- Viktsenhetens standardosäkerhet.</li> <li>- Resultat från data-snooping.</li> <li>- Övriga tester samt uppgifter om lägesosäkerhet och tillförlitlighet.</li> <li>- Avstämning mot HMK:s 3-nivåprincip.</li> <li>- Eventuella problem/avvikelser och vidtagna åtgärder.</li> <li>- Övrig produktionsdokumentation, se <a href="#">Bilaga B</a>.</li> </ul>

### Förhandskontroll

Före utjämning av terrestra 3D-nät görs en analys av dubbelmätta längder och höjdskillnader samt av helsatser vid vinkelmätning. Kontroller som utförts i fält verifieras.

### Viktsättning

Viktsättningen följer helt mätosäkerheterna för totalstationer enligt [Bilaga C](#). Vikterna beräknas från specificerade mätosäkerheter och antalet upprepade mätningar (helsatser, dubbelmätta längder etc.).

### Preliminär beräkning

Den preliminära beräkningen utförs som fri utjämning och inkluderar alla mätdata. En av totalstationsuppställningarna utgör "hemsystemet" (jfr. terrester laserskanning) som övriga uppställningar ansluts till, vilket ger minsta möjliga yttre tvång.

### Analys

Analysen omfattar viktsenhetens standardosäkerhet, standardiserade förbättringar med data-snooping samt kontroll av skalfaktor och utgångspunkter med koordinattransformation.

Analysen kan göras i 3D eller separat för plan och höjd. Den kan leda till modifierad viktsättning, ommätning/uteslutning av mätningar, byte av utjämningsmodell eller uteslutning/nybestämning av utgångspunkter.

### Slutgiltig beräkning

Den slutgiltiga beräkningen innefattar koordinater och tillhörande kvalitetsmått samt upprepad data-snooping. Den utförs sedan eventuell ommätning/uteslutning av mätningar och uteslutning/nybestämning av utgångspunkter har verkställts – och sedan definitivt beslut om viktsättning och utjämningsmodell har tagits.

Koordinattransformation (med eller utan skalfaktor) kan vara sista beräkningssteget – om den lokala lägesosäkerheten är viktigast och georefereringen av underordnad betydelse, dvs. om anslutningen skulle försämra närsambandet.

### Resultatredovisning

Resultatredovisningen omfattar beräknade koordinater och höjder, viktsenhetens standardosäkerhet, resultat från data-snooping och övriga tester samt uppgifter om lägesosäkerhet och kontrollerbarhet/tillförlitlighet (t.ex. k-tal).

Där så är möjligt redovisas en utvärdering enligt HMK:s 3-nivåprincip. Eventuella problem/avvikelser och vidtagna åtgärder bör också framgå av dokumentationen. I övrigt sker redovisningen enligt [Bilaga B](#).

## 6.7 Speciella utjämningsmetoder

Det finns också speciella beräkningsmetoder som baseras på mer avancerade utjämningsmodeller. Dessa är mer komplexa än de traditionella modellerna men har i gengäld flera fördelar. Här tas två sådana metoder upp: "elastisk utjämning" ([avsnitt 6.7.1](#)) och "kombinerad utjämning" ([avsnitt 6.7.2](#)).

### 6.7.1 Elastisk utjämning

Som vi tidigare har sett skiljer man traditionellt på två utjämningsmodeller: fri respektive fast utjämning. Den fria utjämnningen följs ibland av en inpassningstransformation, som ansluter det nya nätet mot utgångspunkterna utan att deformera det.

Dessutom finns en utjämningsmodell där de fasta punkterna går in som observationer med en vikt som sätts i förhållande till punkternas lägesosäkerhet. Sådana "koordinatobservationer" brukar kallas pseudo-observationer och beräkningsmetoden som sådan är en sorts *elastisk utjämning* – inte helt fast, men inte heller fri:

- Hög vikt på pseudo-observationerna ger i princip samma resultat som en fast utjämning.
- Låg vikt på pseudo-observationerna motsvarar i stort sett en inpassningstransformation.

Mest intressant blir metoden i gränslandet däremellan, som också måste betraktas som den mest realistiska modellen.

Eftersom koordinaterna på utgångspunkterna då förändras varje gång de beräknas kan det tyckas att metoden ger vissa praktiska problem. Men tanken är inte att dessa koordinater ska ändras i arkivet – annat än om de visar sig vara helt felaktiga – utan de ska bara påverka den

aktuella utjämningsmetoden på ett mer realistiskt sätt. Inte heller vid anslutning av ett fritt utjämnat stornät med hjälp av en ren inpassnings-transformation är idén att utgångspunkternas koordinater ska ändras i arkivet.

En intressant koppling mellan fri och elastisk utjämningsmetod är att vikts-enhetens standardosäkerhet från inpassningen av den fria utjämningsmetoden kan användas vid viktningen av utgångspunkterna i en efterföljande elastisk utjämningsmetod.

I modeller med icke-felfria utgångspunkter och elastisk utjämningsmetod kan data-snooping även användas för att detektera grova fel i dessa punkters koordinater. Dessutom kan olika tillförlitlighetsmått – t.ex. reliability boxes (tillförlitlighetsboxar) – användas för att bedöma utgångspunkternas känslighet för kvarstående grova fel.

### 6.7.2 Kombinerad utjämningsmetod

Avvägning, terrester 2D-mätning och tredimensionell GNSS-mätning kan kombineras i en gemensam beräkning. Detta brukar benämnas *kombinerad utjämningsmetod*. Det skapar viss komplexitet – såväl vad gäller de geometriska aspekterna på ekvationssystemets formulering som på viktsättningen inom och mellan de olika mätningstyperna.

I dag finns dock flera kommersiella programvaror som kan hantera denna problematik på ett bra sätt. T.ex. innefattas såväl data-snooping-/tillförlitlighet som möjligheten att ta hänsyn till utgångspunkternas lägesosäkerhet – dvs. elastisk utjämningsmetod enligt föregående avsnitt.

Både användargränssnitten och grafiken är väl utvecklade. Vissa program kan även göra mer eller mindre automatiska förberedande kontroller, t.ex. beräkning av slutningsfel i slingor och formella kontroller av typen defekter i nätutformningen, numreringsfel m.m.

Ett steg som kan vara lämpligt att ta i samband med kombinerad utjämningsmetod är att utföra beräkningen på ellipsoiden i stället för i en *kartprojektion* (se [HMK – Geodetisk infrastruktur 2020](#), kapitel 2). Det kan i flera avseenden vara en mer lämpad modell för kombinerade terrestra och GNSS-bestämda stornät.

Vid utjämningsmetod i ett ellipsoidiskt *koordinatsystem* görs t.ex. inga höjd- och projektionskorrektioner – de utförs i efterhand, vid projiceringen till vald kartprojektion. Eftersom de ursprungliga observationerna därför ingår opåverkade i beräkningen så är det de som analyseras vid t.ex. data-snooping.

Ibland går det även att införa bivillkor i form av geometriska relationer (fasta vinkelförhållanden, givna koordinatdifferenser, linjer på ett visst

avstånd från en punkt, punkter på en rät linje, parallella linjer, vinkelräta linjer etc.). Detta kan vara särskilt intressant i samband med upprättande av vissa typer av terrestra 3D-nät, se [avsnitt 3.2.4](#).

En förutsättning som måste vara uppfylld – och som kan kännas litet underlig – är att i de fall höjdmätning/avvägning ingår i den kombinerade utjämnningen så måste även höjdfixar ha ett planläge – om än ett approximativt sådant.

## 7 Referenser/Läs mer

### 7.1 Referenser i löptext, figurer m.m.

- [1] JCGM (2008): *Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement*, [JCGM 100:2008](#), Working Group 1 of the Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM/WG 1).
- [2] Lantmäteriet m.fl. (2013): *Geodetisk och fotogrammetrisk mätning- och beräkningsteknik*, [Kurskompendium](#), Lantmäteriet, Gävle.
- [3] SIS (2016): *Byggmätning – Geodetisk mätning, beräkning och redovisning av byggnadsverk och infrastruktur*, [Teknisk specifikation SIS-TS 21143:2016](#), Swedish Standards Institute/TK 178.
- [4] Persson, C-G (2018): *Beräkning och analys av stornät - med tonvikt på plana, terrestra nät*, Teknisk rapport [HMK-TR 2018:3](#), Lantmäteriet, Gävle.
- [5] Persson C-G (2019): *Mätning och redovisning av bygg- och anläggningsobjekt - med tonvikt på långsträckta objekt i 3D*, Teknisk rapport [HMK-TR 2019:1](#), Lantmäteriet, Gävle.
- [6] Eriksson, P-O (2010): *Höjdmätning med GNSS – vägledning för olika mätsituationer*, [Lantmäterirapport 2010:4](#), Lantmäteriet, Gävle.
- [7] Eriksson, P-O (2010): *Anslutning av lokala höjdnät till RH 2000 med GNSS-stommätning*, [Lantmäterirapport 2010:5](#), Lantmäteriet, Gävle.
- [8] Engberg, L E & Persson, C-G (2010): *God mätsed eller "Hur man utnyttjar tidigare generationers samlade erfarenheter"*, SKMF:s tidskrift SINUS, 2010:1.

### 7.2 Branschspecifika riktlinjer

Av branschriktade dokument med råd eller riktlinjer för stommätning bör särskilt följande framhållas:

- **SIS-TS 21143:2016 [3]**, en teknisk specifikation för geodetisk mätning vid olika typer av infrastrukturprojekt, ofta av långsträckt natur, som har tagits fram av SIS tekniska kommitté för byggmätning och toleranser, SIS/TK 178. Specifikationen anger krav för olika användningsfall samt specialtillämpningar. Dokumentet innehåller rekommendationer som baseras på beprövad geodetisk teknik-, system- och metodutveckling. Användningen av SIS-TS 21143 är brett förankrad inom samhällsbyggnad, inte minst p.g.a. Trafikverkets regelverk för upphandling.



Viss samordning mellan SIS-TS och HMK sker i samband med revidering, huvudsakligen via referensgrupper för respektive dokument.

- **TDOK 2014:0571** och **TDOK 2014:0572** beskriver de krav respektive råd som gäller vid upphandling av geodetisk mätning i Trafikverkets regi. Även krav på tjänster och produkter inom teknikområdena fotogrammetri och laserskanning ingår. Dokumenten bygger i stor utsträckning på hänvisningar till SIS-TS 21143.
- **HMK-Bygg och anläggning (HMK-BA, del 1-4)** är ett fristående komplement till den äldre HMK-serien från 1990-talet, med inriktning mot olika delar av byggprocessen. Mycket av innehållet i handböckerna kan betraktas som allmängiltigt, medan andra delar blivit föråldrade p.g.a. inaktuella hänvisningar (standarder, lagstiftning, namn på myndigheter), teknik, referenssystem m.m. Det finns dock fortfarande hänvisningar till HMK-BA från AMA (Allmän material- och arbetsbeskrivning) och från ett antal SIS-standarder rörande bygg och anläggning. För en mer detaljerad aktualitetsbeskrivning hänvisas till den tekniska rapporten [HMK-TR 2018:2](#).

### 7.3 HMK-TR 2018:3

[HMK-TR 2018:3 \[4\]](#) är en teknisk rapport som tagits fram inom ramen för arbetet med [HMK - Stommätning 2020](#). Rapporten innehåller bakgrundsbeskrivningar och mer detaljerade redogörelser och utgör därmed ett viktigt – men ändå fristående – komplement till handboken.

[HMK-TR 2018:3](#) överensstämmer i sak med de äldre HMK-handböckerna för stommätning och (statisk) GNSS-mätning, men har anpassats till GUM-terminologi. Rapporten syftar till att ge en modern, svenskspråkig beskrivning av beräkning och analys av stomnät.

Den innehåller även en svensk-engelsk ordlista över de viktigaste termerna i sammanhanget.

### 7.4 Övriga rapporter, webbsidor m.m.

Förutom HMK-TR 2018:3 har följande tekniska rapporter särskild relevans för stomnät och stommätning:

- [Lantmäterirapport 2010:11](#), *Om behovet av nationell geodetisk infrastruktur och dess förvaltning i framtiden*. Lantmäteriet (Ågren J & Engberg L E), Gävle, 2010.

- [HMK-rapport 2016:2](#), *Standardosäkerheter, konfidensintervall m.m. vid positionsbestämning i 1D, 2D och 3D*. Teknisk rapport till HMK, Lantmäteriet (Persson, C-G), Gävle, 2016.

På Lantmäteriets webbplats finns bakgrundsinformation kring den svenska geodetiska infrastrukturen:

<http://www.lantmateriet.se/geodesi>

## Bilaga A: Krav och rekommendationer

Bilaga A kan användas som en checklista av utföraren, eller som ett underlag i en uppdragsdialog mellan beställare och utförare. I det sistnämnda fallet blir bilagan ett kvitto på att både beställare och utförare är överens om en lämplig arbetsprocess för att produktkraven i den tekniska specifikationen ska kunna uppfyllas.

- [Bilaga A.1](#) är en sammanställning av samtliga numrerade krav och rekommendationer för utförande, dvs. alla rosa respektive blå rutor i dokumentet.
- [Bilaga A.2](#) innehåller ett s.k. *grundutförande* för stommätning – en lista med hänvisningar till samtliga krav enligt [Bilaga A.1](#).

Grundutförandet enligt [Bilaga A.2](#) motsvarar en miniminivå för vad som i HMK anses förenligt med fackmannamässigt utförande. Det utgör därmed en lämplig utgångspunkt för utförarkraven i beställarens tekniska specifikation. Beställaren kan justera grundutförandet, t.ex. genom att upphöja vissa rekommendationer till krav eller vice versa. Utföraren har å sin sida möjlighet att föreslå avsteg från grundkraven, och har då ansvaret för att redovisa/dokumentera för beställaren varför detta är önskvärt eller nödvändigt.

Observera att kravställning enligt HMK bygger på frivillig överenskommelse mellan avtalsparter eller intern implementering inom en organisation eller ett företag. För hänvisningsregler, se [HMK - Introduktion 2017](#), avsnitt 1.7.

## A.1 Krav och rekommendationer

### 3 Planering inför stommätning

#### KRAV

- a) Ett stornät ska planeras utifrån tänkt användning, mätningstekniska och fysiska förutsättningar samt kvalitetskrav.

#### REKOMMENDATION

- b) Stommätningssuppdrag bör baseras på en teknisk specifikation eller motsvarande kravdokument.
- c) Genomförandet av stommätningssuppdrag bör ske i dialog med beställaren, t.ex. via stegvisa avstämningar.

### 3.2 Utformning av olika stornätstyper

#### KRAV

- a) Förslag på utformning och anslutning av stornät ska stämmas av med beställare innan markering och mätning påbörjas.
- b) Aktuella koordinat- och höjduppgifter för utgångspunkter, samt eventuella punktbeskrivningar, ska hämtas direkt från referensnätets huvudman.

#### REKOMMENDATION

- c) Nytt stornät bör anslutas till gällande nationella referenssystem, förutsatt att kraven på stornätets lokala lägesosäkerhet kan uppfyllas.

#### 3.2.1 Höjdnät

#### KRAV

- a) Alla höjdtåg i ett höjdnät ska börja och sluta i kända utgångspunkter eller knutpunkter och ha olika start- och slutpunkt.
- b) Anslutning av ett nytt höjdnät till RH 2000 ska ske via minst två utgångspunkter i riksnätet eller i ett anslutningsnät.

#### REKOMMENDATION

- d) Fixhåll i bruksnät bör vara högst 250 meter långa.
- e) Fixhåll i anslutningsnät bör vara högst 1 km långa.
- f) Enskilda höjdtåg i höjdnät bör vara ungefär lika långa.
- g) Kontrollerbarheten i höjdnät bör vara  $k \geq 0,3$ .

### 3.2.2 Terrestra 2D-nät

#### KRAV

- a) Terrestra 2D-nät ska anslutas via utgångspunkter som tillsammans omsluter nypunkterna.
- b) Terrestra 2D-nät med övervägande triangel- eller fackverksform ska ha en kontrollerbarhet  $k \geq 0,5$ .

#### REKOMMENDATION

- c) I terrestra 2D-nät bör sikt mot minst tre stompunkter eftersträvas i hela stomnätets användningsområde.
- d) Vid utformning av långsträckta, terrestra 2D-nät bör fackverksgeometri väljas framför tågformer.
- e) Polygontåg i polygonnät bör vara sträckta och av ungefär samma längd.
- f) Polygontåg bör innehålla högst fyra nypunkter.
- g) Avstånden mellan närliggande punkter i polygontåg bör vara minst 50 meter.

### 3.2.3 GNSS-nät

#### KRAV

- a) GNSS-nät ska anslutas via utgångspunkter som tillsammans omsluter nypunkterna.
- b) Baslinjerna i ett GNSS-nät ska ingå i slingor för att möjliggöra kontroll av slutningsfel.

#### REKOMMENDATION

- c) GNSS-nät bör planeras så att de byggs upp av oberoende baslinjer i en homogen nätgeometri bestående av fyrhörningar.
- d) Baslinjelängderna mellan nypunkter i ett GNSS-nät bör inte överstiga 20 km.
- e) Baslinjelängderna i ett GNSS-nät bör inte understiga 200 meter.
- f) Anslutning i höjd av ett GNSS-nät bör göras genom avvägning av ungefär var femte punkt i nätet - varav minst tre punkter som inte ligger på en rät linje.

### 3.2.4 Terrestra 3D-nät

#### KRAV

- a) Terrestra 3D-nät ska ha en kontrollerbarhet  $k \geq 0,5$ .

#### REKOMMENDATION

- b) Punkter i terrestra 3D-nät bör vara väl spridda i såväl plan som höjd.
- c) Terrestra 3D-nät bör mätas in med totalstation från fria uppställningar.

### 3.2.5 Förtätning, renovering och komplettering

#### KRAV

- a) Förtätning eller renovering som avser enstaka stompunkt ska utföras genom geodetisk mätning med överbestämning och utjämnning mot närmast omgivande stompunkter.
- b) Förtätning eller renovering som avser en sammanhängande grupp av flera stompunkter ska utföras på samma sätt som nyetablering av motsvarande nättyp.
- c) Komplettering av utgångspunkter ska utföras på ett sådant sätt att kraven på lägesosäkerhet, kontrollerbarhet och tillförlitlighet kan uppfyllas i det specifika uppdraget.

#### REKOMMENDATION

- d) Nybestämning av enstaka stompunkt i ett höjdnät bör ske med avvägningståg mellan två olika utgångspunkter i nätet.
- e) Nybestämning av enstaka stompunkt i ett terrestert 2D-nät bör ske genom polär mätning mot minst tre omgivande punkter i nätet.
- f) Nybestämning av enstaka stompunkt i ett GNSS-nät bör ske genom statisk mätning mot omgivande punkter i nätet.
- g) Nybestämning av enstaka stompunkt i ett terrestert 3D-nät bör ske på samma sätt som vid nyetablering, dvs. polär inmätning från fria stationer.

### 3.3 Analys av nätdesign

#### KRAV

- a) Analys av ett stomnäts homogenitet, lägesosäkerhet, kontrollerbarhet och tillförlitlighet ska utföras i planeringsskedet.

#### REKOMMENDATION

- b) Datorbaserad nätsimulering bör om möjligt ingå i analysen av stomnätets design.

### 3.4 Fältrekognosering

#### KRAV

- a) Alla planerade sikter ska verifieras och eventuella röjningsbehov undersökas.
- b) I höjdnät ska möjligheterna till markering i stabilt underlag särskilt undersökas.
- c) Vid kontroll av befintliga utgångspunkter ska utföraren rapportera skadade eller rubbade markeringar till stommätningsförvaltaren.

#### REKOMMENDATION

- d) I GNSS-nät bör stompunkterna placeras så att sikten över 15 graders elevation i förhållande till GNSS-antennen är fri i alla riktningar.
- e) I GNSS-nät bör stompunkterna placeras på tillräckligt avstånd från objekt som kan orsaka flervägsfel.
- f) I GNSS-nät bör stompunkterna placeras på tillräckligt avstånd från möjliga elektriska störningskällor.

### 3.5 Mätplan

#### KRAV

- a) Mätplan ska upprättas av mätansvarig eller någon med motsvarande roll i utförarorganisationen.
- b) Mätplanen ska baseras på analys av nätdesignen och genomförd fältrekognosering.
- c) I mätplanen definieras vilka egenkontroller – med tillhörande toleranser – som ska tillämpas vid mätning.
- d) Mätplanen ska stämmas av med beställaren innan markering och mätning inleds.

#### REKOMMENDATION

- e) Mätplanen bör ha det innehåll som specificeras i HMK-Stommätning 2020, Tabell 3.5.

### 3.6 Mätutrustning

#### KRAV

- a) All mätutrustning som används vid stommätning ska vara kalibrerad, kontrollerad och justerad.
- b) Kalibrering och kontroller ska dokumenteras så att alla mätinstrument kan identifieras genom tillverkningsnummer eller liknande.

- c) Mätinstrument och tillbehör ska acklimatiseras i den aktuella vädermiljön före användning.
- d) All mätutrustning som används vid stommätning ska dokumenteras på ett sådant sätt att det framgår vilken utrustning som har använts för respektive observation.

#### REKOMMENDATION

- e) Valet av mätutrustning bör baseras på instrumentspecifikationer från respektive tillverkare.

### 3.6.1 Vid avvägning

#### KRAV

- a) Avvägningsinstrument ska ha en specificerad standardosäkerhet som gör det möjligt att uppfylla kraven på slutprodukten.
- b) Avvägningsstänger ska vara kontrollerade med avseende på fotplatta, gradering och nominell längd.

#### REKOMMENDATION

- c) Vid stommätning i höjd bör invarstänger användas.

### 3.6.2 Vid totalstationsmätning

#### KRAV

- a) Totalstation ska ha en specificerad standardosäkerhet vid vinkelmätning som gör det möjligt att uppfylla kraven på slutprodukten.
- b) Totalstation ska ha en specificerad standardosäkerhet vid längdmätning som gör det möjligt att uppfylla kraven på slutprodukten.

### 3.6.3 Vid GNSS-mätning

#### KRAV

- a) GNSS-mottagare som används vid stommätning ska vara specificerad för statisk mätning av baslinjer.
- b) Service av GNSS-mottagare som används vid stommätning ska utföras minst en gång per år.

#### REKOMMENDATION

- c) GNSS-antennerna som används vid anslutning/inpassning av höjdnät bör vara av samma fabrikat och modell.
- d) GNSS-antennerna som används i samma mätsession bör vara av samma fabrikat och modell.



### 3.6.4 Övrig utrustning

#### KRAV

- a) Under pågående uppdrag ska instrumentstativ och trefötter kontrolleras dagligen avseende stabilitet, slitage och funktionalitet.

### 3.7 Markering av stompunkter

#### KRAV

- a) Markering ska utföras enligt [HMK-Geodesi, Markering](#), med gällande aktualitetsbeskrivning.

## 4 Genomförande av terrester mätning

### 4.1 Avvägning av höjdskillnader

#### KRAV

- a) Höjdtåg ska avvägas två gånger, en gång i vardera riktningen.
- b) Summan av siktlängderna bakåt och framåt ska vara lika i alla tåg.
- c) Inga siktlängder ska överstiga 40 m.
- d) Om dubbla avvägningsstänger används ska antalet uppställningar anpassas så att samma stång ställs på start- och slutpunkten i varje fixhåll.
- e) Avläsning ska ske automatiskt mot streckkodade stänger, alternativt okulärt med hjälp av planglasmikrometer mot graderade stänger.

#### REKOMMENDATION

- f) Siktlängderna vid varje uppställning bör vara ungefär lika långa.

### 4.2 Totalstationsmätning av längder och vinklar

#### KRAV

- a) Riktningmätning ska utföras i helsatser och spridningen mellan dessa ska kontrolleras.
- b) Satsmätningen ska anpassas så att längd- och riktningmätningen får ungefär samma mätosäkerhet för den genomsnittliga sidlängden i nätet.
- c) Längder ska mätas två gånger, en gång i vardera riktningen.
- d) Mätning av höjdskillnader med totalstation ska utföras med motsvarande mätosäkerhet som vid avvägning.

- e) Instrumentuppställningar ska säkerställas genom kontroller före och efter mätningens genomförande.

#### 4.2.5 Centrering och hantering av excentriciteter

##### KRAV

- a) Instrument- och signalhöjder ska bestämmas före och efter mätning och dokumenteras i meter med tre decimaler.
- b) Centrering av instrument, signaler och master ska kontrolleras före och efter mätning.
- c) Vid längd- och vinkelmätning i polygontåg ska tvångscentrering tillämpas.
- d) Masthöjds- och övriga excentricitetsmätningar ska dokumenteras så att avvikelserna från huvudmarkeringen – och hur den har beräknats – tydligt framgår.

##### REKOMMENDATION

- e) Upprepad mätning av instrument-, signal- och masthöjder bör ske på alternativa sätt.

#### 4.3 Korrektioner

##### KRAV

- a) Före utjämning ska mätta längder påföras:
  - atmosfärskorrektion
  - lutningskorrektion
  - höjdkorrektion
  - projektionskorrektion.
- b) Före utjämning ska jordkröknings- och refraktionskorrektion påföras trigonometriskt mätta höjdskillnader.

#### 4.4 Kontroll av slutningsfel i slingor

##### REKOMMENDATION

- a) Där så är möjligt bör förhandskontroll av slutningsfel i slingor genomföras före utjämning av stomnät.

### 5 Genomförande av GNSS-mätning

#### 5.1.1 Observationstid

##### KRAV

- a) Observationstiden för GNSS-mätningarna ska anpassas till baslinjernas längd och rådande mätförhållanden.

## REKOMMENDATION

- b) Snabb-statisk mätning bör endast tillämpas vid baslinjelängder kortare än 10 km.

### 5.1.2 Aktiva referensnät

#### KRAV

- a) Vid användning av fasta referensstationer ska tillgång till observationsdata säkerställas innan mätningen inleds.
- b) Aktuell koordinat- och kvalitetsinformation för fasta referensstationer ska hämtas direkt från tjänsteleverantören.

### 5.1.3 Mätförhållanden

#### KRAV

- a) GNSS-mätning ska planeras så att den tidsmässigt genomförs när satellitgeometrin är god.
- b) Om GNSS-mätning utförs under icke-optimala förhållanden ska de åtgärder som vidtagits för att uppnå specificerad kvalitet dokumenteras.

### 5.1.4 Sessionsplanering

#### KRAV

- a) Mätning av ett GNSS-nät ska planeras och mätas i sessioner.
- b) Sessionsplaneringen ska dokumenteras så att start- och slut-tider, mätutrustning, punktbeteckning och session framgår för varje GNSS-mätning.

#### REKOMMENDATION

- c) Cirka två tredjedelar av punkterna i ett GNSS-nät bör ingå i minst två sessioner.

### 5.1.5 Instrumentinställningar

#### REKOMMENDATION

- a) Mätdata från samtliga tillgängliga GNSS-system bör registreras.
- b) Epokintervallet bör vara 15 sekunder vid statisk mätning och 5–15 sekunder vid snabb-statisk mätning.
- c) Elevationsmasken bör sättas till 10 grader.

### 5.1.6 Centrering, orientering och antennhöjder

#### KRAV

- a) GNSS-antennerna ska orienteras enligt tillverkarens instruktioner.
- b) Centrering av GNSS-antennerna ska göras med stativ och justerat optiskt lod.
- c) Centrering av antenner ska kontrolleras före och efter GNSS-mätning.
- d) Antennhöjder ska mätas före och efter GNSS-mätning och dokumenteras i meter med tre decimaler.
- e) Antennhöjder ska dokumenteras så att både stoppunktsmarkeringen och punkten på antennen dit höjdmätningen görs tydligt framgår.

#### REKOMMENDATION

- f) GNSS-antennen bör placeras på 1-2 meters höjd över marknivå.
- g) Upprepad antennhöjds-mätning bör ske på alternativa sätt.

### 5.1.7 Dokumentation av mätsession

#### KRAV

- a) Separata stationskontroll ska upprättas för varje GNSS-mätning, ett per punkt och session.

#### REKOMMENDATION

- b) Om stationsprotokoll skrivs för hand bör dessa fotograferas eller skannas och lagras digitalt tillsammans med mätdata.

### 5.2.1 Indata vid baslinjeberäkning

#### KRAV

- a) Punktbeteckningar, antennhöjder och antenntyper i alla observationsfiler ska kontrolleras mot stationsprotokoll innan beräkning inleds.
- b) För varje antenntyp som används vid GNSS-mätningen ska motsvarande kvalitetssäkrade antennenmodell finnas tillgänglig i programvaran.
- c) Utgångspunkternas koordinater och höjder ska kontrolleras mot aktuella uppgifter från nätförvaltaren.

#### REKOMMENDATION

- d) Alla observationsfiler med GNSS-data bör konverteras till RINEX-format och sparas i både detta format och i originalformatet.

- e) Efterberäknade bandata bör användas när baslinjerna är längre än 10 km eller när observationsdata härstammar från olika satellitsystem.
- f) Absoluta antenmodeller bör användas.
- g) Manuellt definierade antenmodeller bör dokumenteras och helst redovisas i sin helhet.
- h) Meteorologiska data från väderstationer bör inte användas som indata vid baslinjeberäkning.

### 5.2.2 Programvara, programinställningar och kriterier för att godkänna beräkningar

#### KRAV

- a) Baslinjeberäkningen ska baseras på dubbeldifferenser med heltalsfixering av periodobekanta.
- b) Programvaran ska kunna hantera/importera antenmodeller.
- c) Programvaran ska kunna hantera/importera efterberäknade bandata.
- d) Programvaran ska medge viktning av baslinjer, antingen med avståndsberoende schablonvärden eller med fullständig varians-kovariansmatris.
- e) Endast de baslinjer som får godkänd fixlösning ska gå vidare till utjämning.
- f) Kriterier för godkännande av baslinjeberäkningar ska dokumenteras.
- g) Alla ändringar av grundinställningar i programvaran ska dokumenteras.

#### REKOMMENDATION

- h) Alla baslinjer i GNSS-nätet bör beräknas med samma programvara och programversion.
- i) Innan ny programvara används bör utföraren ha verifierat den på lämpligt sätt.
- j) Bestämning av periodobekanta (fixlösning) bör endast ske på baslinjer upp till ca 30 km.
- k) En elevationsmask på ca 10-15 grader bör tillämpas vid beräkningen.
- l) Standardmodeller för jonosfär och troposfär bör användas när observationstiden är under 30 minuter eller när baslinjen är kortare än 5 km.

### 5.3.1 Upprepad mätning av baslinjer

#### KRAV

- a) Avvikelser mellan mätningar av samma baslinje i olika sessioner ska kontrolleras och redovisas.

### 5.3.2 Slutningsfel i baslinjeslingor

#### KRAV

- a) Slutningsfel i baslinjeslingor ska kontrolleras och redovisas.
- b) Slingorna ska vara slutna och bestå av minst tre oberoende baslinjer.
- c) Alla baslinjer ska ingå i minst en slinga.

### 5.3.3 Kontroll av baslinje med totalstation

#### KRAV

- a) Vid kontroll av GNSS-baslinjer med totalstation ska de längdmätningar som utförs atmosfärskorrigeras.
- b) Vid kontroll av GNSS-baslinjer med totalstation ska mätinstrument och signal centreras med stativ och trefot.

#### REKOMMENDATION

- c) Längdmätningen bör ske med en mätosäkerhet som är lika med eller lägre än GNSS-baslinjens förväntade mätosäkerhet.

### 5.4.1 Användning av SWEPOS beräkningstjänst

#### KRAV

- a) SWEPOS Beräkningstjänst ska endast användas vid tillämpningar som inte kräver att närsamband bestäms via utjämning.

#### REKOMMENDATION

- b) Efterberäkning med SWEPOS Beräkningstjänst bör baseras på minst två timmars statisk GNSS-mätning.
- c) Stompunkter som bestäms med SWEPOS Beräkningstjänst bör avvägas om de ska utnyttjas som utgångspunkt i höjd.

### 5.4.2 Mätning med GNSS/RTK

#### KRAV

- a) GNSS/RTK-mätning ska endast användas för tillämpningar som inte kräver att närsamband bestäms via utjämning.

- b) Kvalitetssäkring av GNSS/RTK-mätning ska ske via upprepad mätning med tidsseparation.

#### REKOMMENDATION

- c) Stompunkter som etableras med GNSS/RTK bör höjdbestämmas via terrester mätning mot utgångspunkt i höjdnät.

## 6 Beräkning och analys av stomnät

#### KRAV

- a) Beräkning och analys av stomnät ska inkludera metodik för sökning av grova fel.
- b) Resultatredovisningen ska inkludera kvalitetsmått som möjliggör en bedömning av osäkerheten i de beräknade koordinaterna/höjderna.

### 6.2 Höjdnät

#### REKOMMENDATION

- a) Utjämning och analys av ett höjdnät bör följa processbeskrivningen i HMK - Stommätning 2020, Tabell 6.2.

### 6.3 Polygonnät

#### REKOMMENDATION

- a) Utjämning och analys av ett polygonnät bör följa processbeskrivningen i HMK - Stommätning 2020, Tabell 6.3.

### 6.4 Triangelnät

#### REKOMMENDATION

- a) Utjämning och analys av ett triangelnät bör följa processbeskrivningen i HMK - Stommätning 2020, Tabell 6.4.

### 6.5 GNSS-nät

#### REKOMMENDATION

- a) Utjämning och analys av ett GNSS-nät bör följa processbeskrivningen i HMK - Stommätning 2020, Tabell 6.5.

### 6.6 Terrestra 3D-nät

#### REKOMMENDATION

- a) Utjämning och analys av ett terrestert 3D-nät bör följa processbeskrivningen i HMK - Stommätning 2020, Tabell 6.6.

## A.2 Grundutförande

Denna bilaga innehåller ett grundutförande för stommätning – en lista med hänvisningar till samtliga krav enligt [Bilaga A.1](#) i [HMK – Stommätning 2020](#).

Krav 3 a i HMK-Stommätning 2020 gäller

Krav 3.2 a-b i HMK-Stommätning 2020 gäller

Krav 3.2.1 a-b i HMK-Stommätning 2020 gäller

Krav 3.2.2 a-b i HMK-Stommätning 2020 gäller

Krav 3.2.3 a-b i HMK-Stommätning 2020 gäller

Krav 3.2.4 a i HMK-Stommätning 2020 gäller

Krav 3.2.5 a-c i HMK-Stommätning 2020 gäller

Krav 3.3 a i HMK-Stommätning 2020 gäller

Krav 3.4 a-c i HMK-Stommätning 2020 gäller

Krav 3.5 a-d i HMK-Stommätning 2020 gäller

Krav 3.6 a-d i HMK-Stommätning 2020 gäller

Krav 3.6.1 a-b i HMK-Stommätning 2020 gäller

Krav 3.6.2 a-b i HMK-Stommätning 2020 gäller

Krav 3.6.3 a-b i HMK-Stommätning 2020 gäller

Krav 3.6.4 a i HMK-Stommätning 2020 gäller

Krav 3.7 a i HMK-Stommätning 2020 gäller

Krav 4.1 a-e i HMK-Stommätning 2020 gäller

Krav 4.2 a-e i HMK-Stommätning 2020 gäller

Krav 4.2.5 a-d i HMK-Stommätning 2020 gäller

Krav 4.3 a-b i HMK-Stommätning 2020 gäller

Krav 5.1.1 a i HMK-Stommätning 2020 gäller

Krav 5.1.2 a-b i HMK-Stommätning 2020 gäller

Krav 5.1.3 a-b i HMK-Stommätning 2020 gäller

Krav 5.1.4 a-b i HMK-Stommätning 2020 gäller

Krav 5.1.6 a-e i HMK-Stommätning 2020 gäller

Krav 5.1.7 a i HMK-Stommätning 2020 gäller



Krav 5.2.1 a-c i HMK-Stommätning 2020 gäller

Krav 5.2.2 a-g i HMK-Stommätning 2020 gäller

Krav 5.3.1 a i HMK-Stommätning 2020 gäller

Krav 5.3.2 a-c i HMK-Stommätning 2020 gäller

Krav 5.3.3 a-b i HMK-Stommätning 2020 gäller

Krav 5.4.1 a i HMK-Stommätning 2020 gäller

Krav 5.4.2 a-b i HMK-Stommätning 2020 gäller

Krav 6 a-b i HMK-Stommätning 2020 gäller

## Bilaga B: Produktionsdokumentation

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

Bilaga B är ett utgångsförslag på vilken dokumentation som ett stommättningsprojekt kan innefatta. Förslaget bör dock anpassas till beställarkraven och uppdragets omfattning. Dokumentationskrav kan formuleras av beställare i en teknisk specifikation, se [HMK - Kravställning vid geodetisk mätning 2017](#) (med aktualitetsbeskrivning från 2020). Se även [HMK-TR 2018:3 \[4\]](#), Bilaga B, och SIS-TS 21143:2016 [\[3\]](#), sid. 65.

### B.1 Planeringsrapport

Om en särskild planeringsrapport krävs av beställaren – för fastställelse innan stommätningen påbörjas – så bör den innehålla:

- a) Nätskiss med samtliga punkter inlagda.
- b) Rekognosering av punktlägen för nypunkter, markeringsätt och eventuella punktbeskrivningar,
- c) Val av mätmetod och mätutrustning i projektet.
- d) Bedömning av nätutformningens geometri, tillförlitlighet och lägesosäkerhet: erforderliga mätningar samt resultatet av eventuell nätsimulering.

### B.2 Stomnätsredogörelse

Stomnätsredogörelsen – produktionsdokumentationen från ett stommättningsprojekt – bör redovisa följande:

- a) rapport, i PDF/A-format om inte annat anges, som redovisar
  - skriftlig redogörelse för stomnätsprojektet (planering, genomförande och resultat samt eventuella avvikelser från beställarkraven i den tekniska specifikationen och motiv för dessa)
  - höjd- och koordinatsystem, kartprojektion och zon samt geoidmodell och ev. transformationssamband
  - mätmetoder och mätutrustning (fabrikat/typ/nr samt verifikat på kalibreringar/justeringar)
  - programvara för beräkning
  - egenkontroller och toleranser vid mätning och beräkning
  - särskilda överväganden och ställningstaganden (t.ex. vid underhandsavstämningar)
  - information om arkiverade data (t.ex. rådata från mätningar)

- beskrivning av levererade digitala data (dataformat, lagringsmedium etc.).
- f) resultatrapport (se nedan):
  - utskrifter av beräkningsresultat samt underlag för och resultatet av de kontroller som gjorts av mätosäkerhet, kontrollerbarhet/tillförlitlighet etc.
- g) nätkarta som visar:
  - utgångspunkter och nypunkter
  - utförda mätningar
  - ev. icke använda/bortviktade mätningar, som i så fall anges i avvikande manér.
- h) punktdokumentation:
  - markerings- och punktbeskrivningar
- i) datafiler avseende:
  - indata med alla observationer (inkl. standardosäkerhet/viktning)
  - övriga parametrar som använts vid beräkningen
  - utdata från beräkningsprogrammet.
- j) övrig redovisning enligt den tekniska specifikationen.

### **B.3 Resultatrapport från beräkning/analys**

Resultatrapporten från beräkningen är en viktig del av stomnätsredogörelsen. Den bör därför kunna användas direkt som en bilaga. I resultatrapporten ska det vara enkelt att hitta resultat och följa beräkningsgången. Rapporten ska även innehålla information om den använda programvaran.

Delar av rapporten består vanligen av utskrifter direkt från beräkningsprogram.

#### **Utskrifter från beräkningsprogram**

Användarmanualen för den programvara som används innehåller förklaringar av de kvalitetsmått som ingår i resultatredovisningen. Vad som redovisas av olika programvaror kan variera något – liksom hur de olika storheterna och parametrarna benämns i originalspråket och i översättning till svenska (som inte alltid är helt fackmannamässig).

För förståelse av dessa bör aktuell manual bifogas till programutskrifterna.

### B.3.1 Gemensam del

Gemensam del:

- a) uppdraget (typ av stomnät, syfte och tänkt användning, kvalitetskrav, kompetenskrav, leveransvillkor enligt tekniska specifikationen)
- b) uppdragsorganisation, dvs. beställare och utförare (projektansvarig, underleverantörer etc. inkl. kontaktuppgifter)
- c) underlagsmaterial (områdesavgränsning, tillgängliga utgångspunkter med bedömning av tillgänglighet/kvalitet)
- d) förteckning över levererat material, innehåll och format

### B.3.2 Höjdnät

Följande punkter är en sammanfattning av de storheter som normalt ingår i redovisningen av beräkning och analys av höjdnät:

- beräknade höjder
- nätets  $k$ -tal
- viktsenhetens standardosäkerhet
- slutningsfel i utjämnade avvägningståg
- ev. problem under beräknings- och analysfasen, t.ex. borttagna mätningar och borttagna/nyberäknade utgångspunkter
- redovisning enligt HMK:s 3-nivåprincip.

### B.3.3 Polygonnät

Följande punkter är en sammanfattning av de storheter som normalt ingår i redovisningen av beräkning och analys av polygonnät:

- beräknade koordinater
- nätets  $k$ -tal
- viktsenhetens standardosäkerhet från vinkelutjämnningen
- slutningsfel i utjämnade polygontåg (vinkel- och koordinatslutningsfel)
- ev. problem under beräknings- och analysfasen, t.ex. borttagna mätningar och borttagna/nyberäknade utgångspunkter
- redovisning enligt HMK:s 3-nivåprincip.

### B.3.4 Triangelnät

Följande punkter är en sammanfattning av de storheter som normalt ingår i redovisningen av beräkning och analys av triangelnät:

- beräknade koordinater
- nätets  $k$ -tal
- viktsenhetens standardosäkerhet

- standardosäkerhet i plan och osäkerhetsellipser
- standardosäkerhet i utjämnade avstånd (lokal lägesosäkerhet)
- individuella  $k$ -tal
- förbättringar
- resultat från data-snooping
- inre och yttre tillförlitlighet

samt motsvarande storheter från transformationer/inpassningar.

Dessutom bör följande ingå i redovisningen:

- ev. problem under beräknings- och analysfasen, t.ex. borttagna mätningar och borttagna/nyberäknade utgångspunkter
- redovisning enligt HMK:s 3-nivåprincip.

### **B.3.5 GNSS-nät**

Följande punkter är en sammanfattning av de storheter som normalt ingår i redovisningen av beräkning och analys av GNSS-nät:

- beräknade koordinater och höjder
- viktsenhetens standardosäkerhet
- standardosäkerhet i plan/höjd/3D
- resultat från data-snooping
- uppgifter om tillförlitlighet

samt motsvarande storheter från transformationer/inpassningar.

Dessutom bör följande ingå i redovisningen:

- ev. problem under beräknings- och analysfasen, t.ex. borttagna mätningar och borttagna/nyberäknade utgångspunkter
- redovisning enligt HMK:s 3-nivåprincip.

### **B.3.6 Terrestra 3D-nät**

Följande punkter är en sammanfattning av de storheter som normalt ingår i redovisningen av beräkning och analys av terrestra 3D-nät:

- beräknade koordinater och höjder
- viktsenhetens standardosäkerhet
- standardosäkerhet i plan/höjd/3D
- resultat från data-snooping
- uppgifter om tillförlitlighet

samt motsvarande storheter från ev. transformationer/inpassningar.

Dessutom bör följande ingå i redovisningen:

- ev. problem under beräknings- och analysfasen, t.ex. borttagna mätningar och borttagna/nyberäknade utgångspunkter
- redovisning enligt HMK:s 3-nivåprincip.

## Bilaga C: Mätosäkerheter och toleranser

Kunskap om mätosäkerheten behövs bl.a. vid planering/analys av stommätets utformning, vid viktsättning av observationerna i samband med nätutjämning samt för att definiera lämpliga toleranser för kontroll av att produktkraven har uppfyllts.

[Bilaga C.1](#) innehåller förslag på matematiska funktioner för att beskriva mätosäkerheten vid

- mätning av **horisontalriktning** och **vertikalvinkel**, med totalstation eller annat vinkelmätningssinstrument
- mätning av **längd**, med totalstation eller annat EDM-instrument
- mätning av **höjdskillnad**, genom avvägning eller trigonometrisk höjdmätning
- mätning av **baslinje** med GNSS-mottagare.

[Bilaga C.2](#) innehåller stöd för att skapa balans mellan längd- och riktningsmätningens mätosäkerhet vid utformning av terrestra 2D-nät.

[Bilaga C.3](#) innehåller schablonmässiga värden på lägesosäkerhet för olika typer av utgångspunkter som kan vara aktuella vid stommätning, t.ex. höjdfixar, SWEPOS-stationer, RIX95-punkter m.m. Se [HMK - Geodetisk infrastruktur 2020](#), Bilaga A.3.

[Bilaga C.4](#) innehåller riktlinjer för toleransbaserade kontroller som kan utföras i samband med resultatet från kvalitetsmätning samt före eller efter utjämning.

### C.1 Mätosäkerhetsfunktioner

Mätosäkerheten vid olika typer av stommätning kan beskrivas som matematiska funktioner med olika variabler och parametrar. Tillämpning av mätosäkerhetsfunktionerna nedan förutsätter att mätmetoder, kontroller, kalibreringar m.m. utförs enligt de riktlinjer som anges i dokumentet.

#### C.1.1 Riktningsmätning

Standardosäkerheten för medeltalet vid riktningsmätning kan beskrivas enligt:

$$u(\varphi) = \sqrt{\left(\frac{A}{\sqrt{n}}\right)^2 + \left(\frac{C}{L} \cdot \rho\right)^2} \text{ mgon}$$

där

- $A$  är mätinstrumentets specificerade standardosäkerhet för en helsats (mgon)

- $n$  är antalet mätta helsatser
- $C$  är standardosäkerheten i centreringen, samma för instrument och reflektor/signal (mm)
- $L$  är siktlängden (km)
- $\rho$  är omvandlingsfaktorn (mellan mgon och radianer)  
 $200 \times 10^{-3} / \pi \approx 0,063662$ .

Exempel: En totalstation har den specificerade standardosäkerheten 0,6 mgon vid horisontalvinkelmätning i en helsats. Om centreringsosäkerheten är 2 mm och siktlinjens längd 300 meter så blir standardosäkerheten för en riktningsmätning i två helsatser:

$$u(\varphi) = \sqrt{\left(\frac{0,6}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{2}{0,3} \cdot \rho\right)^2} = 0,8 \text{ mgon.}$$

Detta motsvarar ca 3 mm i tvärlängd för den 300 meter långa siktlinjen.

### C.1.2 Längdmätning

Standardosäkerheten vid längdmätning kan beskrivas enligt:

$$u(L) = \sqrt{(A + B \cdot L)^2 + C^2} \text{ mm}$$

där

- $A$  är den konstanta delen av mätinstrumentets specificerade standardosäkerhet (mm)
- $B$  är den längdberoende delen av instrumentets standardosäkerhet (ppm = mm/km)
- $C$  är standardosäkerheten i centreringen, samma för instrument och signal (mm)
- $L$  är längden (km).

Exempel: Ett EDM-instruments standardosäkerhet har en konstant del på 2 mm och en längdberoende del på 3 ppm. Om centreringsosäkerheten är 3 mm och siktlängden 300 meter så blir standardosäkerheten:

$$u(L) = \sqrt{(2 + 3 \cdot 0,3)^2 + 3^2} = 4 \text{ mm.}$$

### C.1.3 Avvägning

Standardosäkerheten vid dubbelavvägning av höjdskillnader i ett höjdtåg kan beskrivas enligt:

$$u(\Delta H) = A\sqrt{L} \text{ mm}$$

där

- $A$  definierar en avståndsberoende standardosäkerhet (mm/ $\sqrt{\text{km}}$ )
- $L$  är tåglängden (km).

Vid beräkning av standardosäkerheten för enkelmätta tåg – dvs. höjdtåg som bara har avvägs i den ena riktningen – ska ovanstående uttryck multipliceras med  $\sqrt{2}$ .

Exempel: En sträcka på 2 km enkelavvägs med ett instrument som har en specificerad standardosäkerhet vid dubbelmätning på  $2 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$ , vilket är lämpligt för ett bruksnät. Standardosäkerheten för den enkelmätta höjdskillnaden blir då:

$$u(\Delta H) = \sqrt{2} \cdot (2\sqrt{2}) = 4 \text{ mm.}$$

#### C.1.4 Trigonometrisk höjdmätning

Standardosäkerheten för en höjdskillnad vid **enkelsidig** trigonometrisk höjdmätning kan beskrivas enligt:

$$u(\Delta H) = \sqrt{A^2 \cdot \cos^2 Z + \left(\frac{B \cdot L}{\rho}\right)^2 \cdot \sin^2 Z + C_i^2 + C_s^2} \quad \text{mm}$$

där

- A är standardosäkerheten i längdmätningen enligt [Bilaga C.1.2](#) (mm)
- B är standardosäkerheten i vertikalvinkelmätningen (mgon)
- $C_i$  och  $C_s$  är standardosäkerheterna vid mätning av instrument- respektive signalhöjd (mm)
- Z är vertikalvinkeln; betecknad med Z för att tydliggöra att nollan ligger i zenit, dvs. rakt uppåt (gon)
- L är sidlängden (km)
- $\rho$  är omvandlingsfaktorn (mellan mgon och radianer)  
 $200 \times 10^{-3} / \pi \approx 0,063662$ .

$C_s$  bör vara  $\geq 1$  mm, annars blir osäkerheten i mätningen av vertikalvinkeln Z orealistisk för korta avstånd.

Observera att formeln för standardosäkerheten avser siktlinjer kortare än ca. 200 meter. För längre avstånd ökar mätosäkerheten, bl.a. på grund av refraktionens inverkan. (Dessutom ökar då jordkröknings-effekten, men den går att korrigera bort, se [Bilaga E.1](#).)

Exempel: Standardosäkerheten i instrument- och signalhöjden är  $C_i = C_s = 2$  mm. Vidare är standardosäkerheten i längdmätningen  $A = 2$  mm och standardosäkerheten i vertikalvinkelmätningen  $B = 1$  mgon. Längden  $L = 50$  meter och vertikalvinkeln  $Z = 90$  gon.

Det ger följande standardosäkerhet i höjdskillnaden

$$u(\Delta H) = \sqrt{2^2 \cdot \cos^2 90 + \left(\frac{1 \cdot 0,05}{\rho}\right)^2 \cdot \sin^2 90 + 2^2 + 2^2} = 2,95 \text{ mm}$$



där huvuddelen kommer från osäkerheten i instrument- och signalhöjdmätningen, dvs. från  $C_i$  och  $C_s$ .

Exemplet indikerar att det är just osäkerheten i instrument- och signalhöjdmätningen som är kritisk vid trigonometrisk höjdmätning. Om möjligt bör denna osäkerhet reduceras, t.ex. med fasta markeringar och/eller fri stationsetablering (jfr. [avsnitt 6.6](#)). Den mest noggranna metoden är korresponderande trigonometrisk höjdmätning, se [avsnitt 4.2.3](#).

### C.1.5 GNSS-mätning av baslinjer

Standardosäkerheten för den **horisontala** komponenten (längden) i en GNSS-baslinje kan beskrivas enligt

$$u(\Psi_h) = A_h + B_h \cdot L \text{ mm}$$

där

- $A_h$  är den konstanta delen av den specificerade standardosäkerheten i (mm)
- $B_h$  är den längdberoende delen av den specificerade horisontella standardosäkerheten (ppm = mm/km).
- $L$  är baslinjens längd (km).

Standardosäkerheten för den **vertikala** komponenten (höjdskillnaden) i en GNSS-baslinje kan på motsvarande sätt beskrivas

$$u(\Psi_v) = A_v + B_v \cdot L \text{ mm.}$$

Parametrarna  $A$  och  $B$  kan tas fram empiriskt, från instrumentspecifikation eller liknande, se [avsnitt 3.6.3](#). Totalt - i tre dimensioner - uttrycks standardosäkerheten för en baslinjelängd som

$$u(\Psi_{3D}) = \sqrt{u^2(\Psi_h) + u^2(\Psi_v)}$$

Exempel: I den tekniska specifikationen för en GNSS-mottagare anges standardosäkerheten för den horisontella längden som 3 mm + 0,5 mm/km och standardosäkerheten för höjdskillnaden som 5mm + 0,5 mm/km. Den specificerade standardosäkerheten i 3D för en 10 km lång baslinje kan då beräknas på följande sätt:

$$u(\Psi_h) = 3 + 0,5 \cdot 10 = 8 \text{ mm}$$

$$u(\Psi_v) = 5 + 0,5 \cdot 10 = 10 \text{ mm}$$

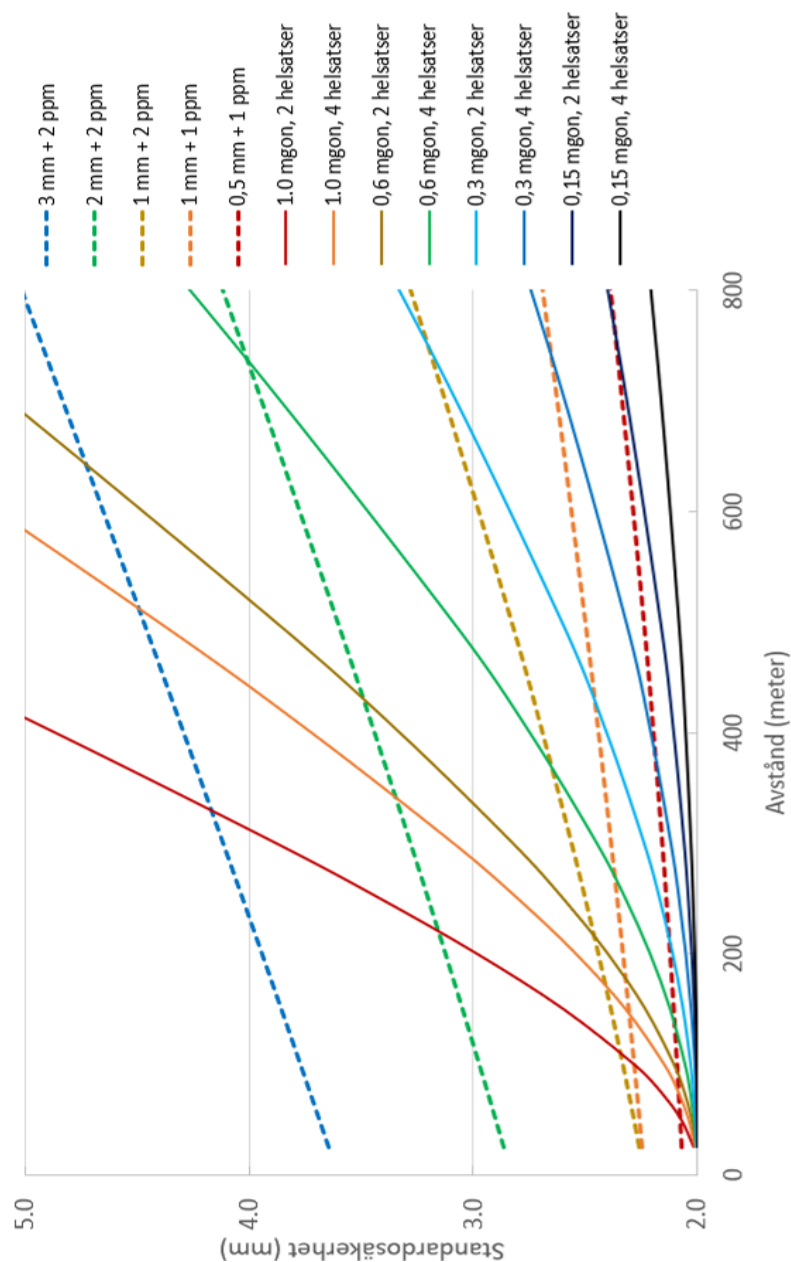
$$u(\Psi_{3D}) = \sqrt{8^2 + 10^2} = 12,8 \text{ mm}$$

Till detta kommer eventuell osäkerhet i centrering och antennhöjdmätning.

## C.2 Balansen mellan mätosäkerhet vid längd- och riktningsmätning

Vid stommätning med totalstation är det önskvärt att åstadkomma likvärdig mätosäkerhet vid längd- och riktningsmätning. [Figur C.2](#) visar när dessa mätosäkerheter är i balans vid olika siktlängder och olika antal helsatser. De enskilda kurvorna representerar typiska specificerade standardosäkerheter enligt [avsnitt 3.6.2](#). I figuren har standardosäkerheten för riktningsmätningen (mgon) översatts till tvärmått (mm). Centreringens standardosäkerhet antas vara 2 mm.

**Figur C.2.** Förhållandet mellan mätosäkerheten vid längd- och riktningsmätning.



Exempel: En totalstation har specificerade standardosäkerheter på 1 mm + 2 ppm respektive 0,6 mgon. Vid 200 meters siktlängd är dessa mätosäkerheter i balans om riktningsmätningen utförs i 2 helsatser. Vid längre sikter har längdmätningen lägre mätosäkerhet. Vid kortare sikter är förhållandet det omvända, dvs. riktningsmätningen har lägre osäkerhet.

### C.3 Lägesosäkerhet i utgångspunkter

Uppgifterna om lägesosäkerhet i detta avsnitt är i huvudsak hämtade från [HMK - Geodetisk infrastruktur 2020](#), Bilaga A.3. De avser att underlätta bedömningen av vilken osäkerhet som kan förväntas för tänkbara utgångspunkter i olika mätprojekt.

Lägesosäkerheten anges i form av absoluta standardosäkerheter, dvs. osäkerheten i lägesangivelser i förhållande till ett globalt anpassat referenssystem.

#### C.3.1 SWEREF 99

I [Tabell C.3.1](#) anges schablonuppskattade, absoluta standardosäkerheter för tänkbara utgångspunkter i SWEREF 99. Osäkerhetsmåttan kan anses gälla även för den lokala lägesosäkerheten – utom för bruksnät, där den lokala osäkerheten vanligen är lägre än den absoluta.

**Tabell C.3.1.** Uppskattade absoluta standardosäkerheter för stompunkter i SWEREF 99.

Kolumnen "höjd" avser höjden över ellipsoiden. Vid GNSS-mätning i RH 2000 tillkommer därför mätosäkerheten i geoidmodellen, se <a href="#">HMK - Geodetisk infrastruktur</a> , senaste version.	Absolut lägesosäkerhet i SWEREF 99 (mm)	
	Plan	Höjd
<b>Fasta referensstationer</b>		
SWEPOS, fundamentalstationer	1	1-2
SWEPOS, övriga klass A/B	2-3	3-5
<b>Nationella stompunkter</b>		
Klass 1 (försäkringspunkter)	5	5
Klass 2 (RIX 95)	10	-
<b>Anslutningspunkter</b>		
Bestämda med GNSS-teknik	6-8	10
Bestämda med terrester teknik	10-15	-
<b>Brukspunkter</b>		
Bestämda med GNSS-teknik	10	15
Bestämda med terrester teknik	15-20	-

### C.3.2 RH 2000

I [Tabell C.3.2](#) anges schablonuppskattade absoluta standardosäkerheter för stompunkter i RH 2000. Den lokala osäkerheten är vanligen något lägre än den absoluta.

**Tabell C.3.2.** Uppskattade standardosäkerheter i höjd för stompunkter i RH 2000.

	Absolut lägesosäkerhet, RH 2000 (mm)
Punkter i det nationella höjdnätet	3
Anslutningspunkter i höjd	5
Brukspunkter i höjd	5-10

## C.4 Toleransbaserade kontroller

Vid stommätning utförs en rad toleransbaserade kontroller för att verifiera att mätosäkerheten motsvarar den specificerade – men framför allt för att kunna upptäcka och åtgärda grova fel och stora avvikelser i ett så tidigt skede av arbetsprocessen om möjligt.

Följande kontroller beskrivs i detta avsnitt:

- kontroll av mätningar (C.4.1-C.4.6)
- kontroll av slingor (C.4.7-C.4.10)
- kontroll efter utjämning (C.4.11-C.4.13)
- kontroll vid användning av alternativa mätmetoder (C.4.14).

Resultatet av kontrollerna utgör en viktig del av kvalitetsbedömningen och ingår därför vanligen i dokumentationen. De föreslagna toleranserna baseras på mätosäkerhetsfunktionerna i [Bilaga C.1](#) och följer 3-nivåprincipen enligt [avsnitt 6.1.2](#).

De flesta toleranserna är angivna med en täckningsgrad på ca. 95 %, dvs. nivå II enligt denna princip. Detta bör tolkas som en varningsgräns, dvs. om toleransen överskrids vid kontroll ska det medföra någon form av åtgärd: ommätning, fördjupad analys, granskning av indata etc. Därutöver förekommer nivå I – ett fördelningstest – samt nivå III som är en ren kassationsgräns.

### C.4.1 Avvägda höjdskillnader

Kontrollen avser avvägning av höjdskillnader och utförs lämpligen i fält i samband med mätningen, se [avsnitt 4.1](#).

Dubbelmätta höjdskillnader i fixhåll ( $\Delta H_{AB}$  och  $\Delta H_{BA}$  – tur respektive retur) kontrolleras inbördes enligt följande:

$$|\Delta H_{AB}| - |\Delta H_{BA}| = |\Delta H_{AB} + \Delta H_{BA}| \leq 4 \cdot u(\Delta H)$$

Plus-tecknet i formelns andra led motiveras av att höjdskillnaderna har olika tecken beroende på mätriktningen. I [Tabell C.4.1](#) redovisas toleransen för olika tillämpningar, vilket motsvarar olika värden för parametern  $A$  enligt [Bilaga C.1.3](#). Observera att  $u(\Delta H)$  avser standardosäkerheten för **medeltalet** av tur- och returavvägningen, dvs. det som vanligen specificeras för avvägningsinstrument.

**Tabell C.4.1.** Toleranser (II) för avvikelser mellan dubbelmätta höjdskillnader vid avvägning i anslutnings- respektive bruksnät.  $L$  är fixhålllets längd i km. Standardosäkerheten avser dubbelavvägning. (Se även [Bilaga C.1.3](#))

Tillämpning	Standardosäkerhet $A$ (mm/ $\sqrt{\text{km}}$ )	Tolerans (II) (mm)
Finavvägning vid anslutning mot riksnät	1	$4\sqrt{L}$
Finavvägning vid etablering av brukspunkter	2	$8\sqrt{L}$

#### C.4.2 Trigonometriskt mätta höjdskillnader

Kontrollen avser trigonometrisk höjdmätning med totalstation eller annat EDM-baserat mätinstrument.

De dubbelmätta höjdskillnaderna  $\Delta H_{AB}$  och  $\Delta H_{BA}$  jämförs enligt

$$|\Delta H_{AB}| - |\Delta H_{BA}| = |\Delta H_{AB} + \Delta H_{BA}| \leq 2 \cdot \sqrt{2} \cdot u(\Delta H)$$

där  $u(\Delta H)$  avser en enkelsidigt mätt höjdskillnad och beräknas enligt [avsnitt C.1.4](#). Denna tolerans redovisas i [Tabell C.4.2](#). Plus-tecknet i formelns andra led motiveras av att höjdskillnaderna har olika tecken beroende på mätriktningen.

**Tabell C.4.2.** Tolerans (II) för avvikelser mellan två trigonometriskt mätta höjdskillnader.  $u(\Delta H)$  är standardosäkerheten i mm enligt [avsnitt C.1.4](#).

Tillämpning	Tolerans (II) (mm)
Trigonometriskt mätta höjdskillnader	$2,8 \cdot u(\Delta H)$

Ofta ingår detta moment som en del i bestämningen av terrestra 3D-nät, se [avsnitt 6.6](#). Vid trigonometrisk höjdmätning för lutningskorrektion av mätta längder ställs lägre krav på mätosäkerheten och siktlinjerna kan göras längre.

### C.4.3 Spridning mellan helsatser vid riktningsmätning

Kontrollen avser riktningsmätning med totalstation eller teodolit.

Mätta helsatser som används vid bestämning av medeltalet vid riktningsmätning kontrolleras inbördes mot en erfarenhetsbaserad tolerans. I stället för en strikt tillämpning av 95% täckningsgrad bygger denna tolerans på en pragmatisk anpassning till följande aspekter:

- Vid långa siktlängder och långa mättider ökar mätosäkerheten, bl.a. på grund av atmosfärens påverkan. Mättiden ökar i sin tur med antalet mätobjekt och antalet helsatser.
- Å andra sidan ökar mätosäkerheten (i vinkelmått räknat) när avståndet minskar, eftersom ett givet tvärmått ger större vinkel på korta avstånd.

I [Tabell C.4.3](#) redovisas toleranser – eller snarare ”tumregler” – baserade på den aktuella mätsituationen. De specificerade mätosäkerheterna kan betraktas som ytterligheter vid stommätning. Övriga parametrar kan associeras till följande tillämpningar:

- Polygontåg i 2D-nät: Få helsatser, korta avstånd
- Triangelnät: Många helsatser, långa avstånd
- Terrestra 3D-nät: Många helsatser, korta avstånd

Toleransen för spridningen mellan helsatserna bör alltså tolkas som en tumregel eftersom det i praktiken är svårt att kvantifiera förhållandena i olika tillämpningar.

**Tabell C.4.3.** Toleranser (”tumregler”) för spridningen mellan helsatser vid riktningsmätning.

Specificerad mätosäkerhet	Siktlängd	Antal objekt	Antal helsatser	Tolerans (II) (mgon)
1,0 mgon	100 m	2-3	2	3,0
		4-6	4	4,0
	200 m	2-3	2	2,5
		4-6	4	3,0
	500 m	3-4	4	2,5
	1 km	3-4	4	2,5
2 km	4-6	4	2,5	
0,15 mgon	100 m	2-3	2	1,5
		4-6	4	2,0
	200 m	2-3	2	1
		4-6	4	1,5
	500 m	3-4	4	1,0
	1 km	3-4	4	1,0
2 km	4-6	4	1,0	

#### C.4.4 EDM-mätta längder

Kontrollen avser mätning av längder med totalstation eller annat EDM-baserat mätinstrument. De dubbelmätta, horisonterade längderna ( $L_1$  och  $L_2$ ) jämförs inbördes enligt

$$|L_1 - L_2| \leq 2 \cdot \sqrt{2} \cdot u(L)$$

I [Tabell C.4.4](#) redovisas toleranser för olika specificerade mätosäkerheter för totalstation, vilket motsvarar olika värden för parametrarna  $A$  och  $B$  enligt [Bilaga C.1.2](#).

**Tabell C.4.4.** Toleranser (II) för dubbelmätta längder för olika mätosäkerheter. Standardosäkerheten i centrerings  $C = 2$  mm i samtliga fall.

Mätt längd	Tolerans (II) för specificerade mätosäkerheter (mm)		
	1 mm + 1 ppm	1 mm + 2 ppm	2 mm + 3 ppm
100 m	6	7	9
200 m	7	7	9
500 m	7	8	11
1 km	8	11	15

#### C.4.5 GNSS-baslinjer

Kontrollen avser dubbelmätta baslinjer från GNSS-mätning. De två 3D-bestämningarna av baslinjen ( $B_1$  och  $B_2$ ) jämförs inbördes enligt:

$$|B_1 - B_2| \leq 2\sqrt{2} \cdot u(\Psi_{3D}) = 2\sqrt{2} \cdot \sqrt{u^2(\Psi_h) + u^2(\Psi_v)}$$

där  $u(\Psi_{3D})$ , samt  $u(\Psi_h)$  och  $u(\Psi_v)$ , beskrivs i [Bilaga C.1.5](#). Toleranser II (varningsgräns) och III (kassationsgräns) för olika parametrar i mätosäkerhetsfunktionerna redovisas i [Tabell C.4.5](#).

**Tabell C.4.5.** Värden vid toleransberäkning för avvikelser mellan dubbelmätta baslinjers längd. Det första värdet i varje ruta avser tolerans II och det andra (inom parentes) tolerans III.

Baslinjens längd	Toleranser II och (III) för specificerade mätosäkerheter (mm)		
	Horisontell längd: 3 mm + 0,1 ppm Höjdskillnad: 3,5 mm + 0,4 ppm	Horisontell längd: 3 mm + 0,5 ppm Höjdskillnad: 5 mm + 0,5 ppm	Horisontell längd: 5 mm + 0,5 ppm Höjdskillnad: 10 mm + 0,5 ppm
1 km	14 (21)	18 (28)	38 (58)
2 km	15 (23)	20 (31)	39 (59)
5 km	18 (28)	26 (40)	42 (63)
10 km	24 (36)	36 (54)	47 (71)
20 km	35 (53)	56 (84)	57 (85)

### C.4.6 Kontroll av GNSS-baslinjer med EDM

Under vissa förutsättningar kan GNSS-baslinjer kontrolleras med ett EDM-instrument. Toleransens (II) för differensen ( $d$ ) mellan de två mätningarna blir då

$$d \leq 2 \cdot \sqrt{u^2(EDM) + u^2(GNSS)} = 2 \cdot \sqrt{u^2(L) + u^2(\Psi_{3D})}$$

där  $u(L)$  är standardosäkerheten i det EDM-mätta avståndet och  $u(\Psi_{3D})$  är standardosäkerheten i GNSS-baslinjens längd, se [Tabell C.4.6](#).

**Tabell C.4.6.** Tolerans (II) för avvikelserna mellan EDM-mätta och GNSS-mätta baslinjelängder.  $u(L)$  är standardosäkerheten i EDM-mätningen i mm ([Bilaga C.1.2](#)) och  $u(\Psi_{3D})$  är standardosäkerheten i GNSS-baslinjens längd i mm ([Bilaga C.1.5](#)).

Tillämpning	Tolerans (II) (mm)
Kontroll av GNSS-baslinjer genom EDM-mätning	$d \leq 2 \cdot \sqrt{u^2(L) + u^2(\Psi_{3D})}$

Om möjligt bör kontrollen utföras med en standardosäkerhet i EDM-mätningen som är  $\leq 1/3$  av GNSS-baslinjes standardosäkerhet. Då kan kontrollmetoden betraktas som felfri.

### C.4.7 Höjds slutningsfel i slingor

Kontrollen avser avvägning av höjdskillnader och utförs före utjämnning, se [avsnitt 6.2](#).

Slutningsfelet ( $S$ ) i höjd i slutna slingor kontrolleras mot toleransen (II) enligt

$$S \leq 2 \cdot u(\Delta H)$$

I [Tabell C.4.7](#) redovisas toleranser (II) för anslutnings- och bruksnät.

**Tabell C.4.7.** Toleranser (II) för slutningsfelet i slingor av dubbelmätta höjdskillnader vid avvägning.  $L$  är fixhålllets längd i km. (Se även [Bilaga C.1.3](#).)

Tillämpning	Standardosäkerhet $A$ (mm/ $\sqrt{\text{km}}$ )	Tolerans (II) (mm)
Finavvägning vid anslutning mot riksnät	1	$2\sqrt{L}$
Finavvägning vid etablering av brukspunkter	2	$4\sqrt{L}$



Kontrollen kan i undantagsfall användas även för tåg mellan kända utgångspunkter, men generellt sett bör man inte blanda in utgångspunkterna så tidigt i analysprocessen utan inskränka sig till kontroll av mätningarna.

#### C.4.8 Vinkelslutningsfel i slingor

Kontrollen avser en sammanhängande sekvens av riktningsmätningar (vinklar) i ett terrestert 2D-nät, vanligtvis polygonnät. Tvångscentrering förutsätts. Slutningsfelet för horisontalvinklarna kontrolleras mot toleransen enligt [Tabell C.4.8](#), vilket sker före utjämning.

**Tabell C.4.8.** Toleranser (II) för vinkelslutningsfel i slingor i terrestra 2D-nät.  $n$  är antalet brytpunkter i slingan. Tvångscentrering förutsätts.

Genomsnittlig siktlängd	Antal helsatser	Tolerans (II) (mgon)
200 m	2	$3\sqrt{n}$
500 m	4	$2\sqrt{n}$

Detta är särskilt viktigt att utvärdera i terrestra 2D-nät som innehåller tåg men som ska utjämnas med elementutjämning, på samma sätt som triangelformade 2D-nät. Detta eftersom kontrollerbarheten normalt är lägre i polygonnät än i triangelnät. Därigenom försvåras användningen av data-snooping och då är förhandskontroll av slingor ett bra komplement.

I en sluten slinga ska vinkelsumman av innervinklarna vara  $200 \cdot (n-2)$  gon och för yttrevinklarna  $200 \cdot (n+2)$  gon, se [Tabell 4.4.2](#).

De två alternativen i tabellen kan associeras till:

- Terrestra 2D-nät med siktlängder på 100–300 m
- Anslutning av 2D-nät med siktlängder på ca 500 m.

#### C.4.9 Koordinatslutningsfel i slingor för polygontåg i polygonnät

Kontrollen avser en sammanhängande sekvens av polärbestämningar – ett *flygande polygontåg* – som bildar en sluten slinga i ett polygonnät. Slutningsfelet ( $S$ ) i sådana slingor kan kontrolleras mot följande tolerans (II):

$$S \leq 10 + 1,5 \cdot n \sqrt{n} \text{ mm}$$

där  $n$  är antalet polygonpunkter i slingan. Kontrollmetoden avser terrestra 2D-nät med siktlängder på 100–300 m.

**Tabell C.4.9.** Toleranser (II) för koordinat Slutningsfel i slingor för polygontåg i polygonnät.

Tillämpning	Tolerans (II) (mm)
Kontroll av koordinat Slutningsfel i polygontåg	$S \leq 10 + 1,5 \cdot n\sqrt{n}$

Toleransen är en omräkning till dagens mätosäkerhet av Tabell A.4 i gamla [HMK-Stommätning](#).

#### C.4.10 Slutningsfel i baslinjeslingor

Kontrollen avser en sammanhängande sekvens av baslinjer som bildar en sluten slinga i ett GNSS-nät. Slutningsfelet ( $S$ ) i sådana slingor kan kontrolleras mot följande tolerans (II):

$$S \leq \frac{A \cdot n + B \cdot L}{\sqrt{n}} \text{ mm}$$

där  $n$  är antalet baslinjer i slingan och  $L$  är slingans totala längd i km.

I [Tabell C.4.10](#) redovisas toleranser (II och III) för olika specificerade värden på parametrarna  $A$  och  $B$ , se [Bilaga C.1.5](#).

**Tabell C.4.10.** Parametrar  $A$  (mm) och  $B$  (ppm = mm/km) vid beräkning av toleranser (II och III) för slutningsfel i baslinjeslingor.

	Tolerans (II)		Tolerans (III)	
	$A$ (mm)	$B$ (ppm)	$A$ (mm)	$B$ (ppm)
<b>Norr</b>	4	1	6	1,5
<b>Öster</b>	4	1	6	1,5
<b>Upp</b>	10	1	15	1,5
<b>Plan</b>	6	1	15	1,5
<b>3D</b>	12	1	18	1,5

#### C.4.11 Viktsenhetens standardosäkerhet

Kontrollen avser viktsenhetens standardosäkerhet. Toleranserna i [Tabell C.4.11.a](#) är anpassade till ett teoretiskt à-priorivärde = 1, för de fall där mätningarnas vikt  $P$  beräknas som

$$P = 1/u^2$$

där  $u$  är mätningens standardosäkerhet. Då förväntas viktsenhetens standardosäkerhet – beräknad i utjämnings – också ligga nära ett (1), eller i vart fall inte överskrida angivna toleranser.

**Tabell C.4.11.a.** Toleranser (II) för kontroll av viktsenhetens standardosäkerhet, när det teoretiska à-priori-värdet = 1.

Antal överbestämningar (ö)	Maxvärde för viktsenhetens standardosäkerhet
1	1,96
2	1,73
3	1,61
4	1,54
5	1,49
7	1,42
10	1,35
15	1,29
20	1,25
30	1,21
50	1,16
70	1,14
100	1,11
200	1,08

I nyss nämnda fall är standardosäkerheten enhetslös, men vid avvägning blir det annorlunda. Då anges i stället toleransen som "standardosäkerheten för en dubbelavvägd 1-kilometerssträcka", vilket innebär att tabellvärdena ska multipliceras med detta värde.

I [Tabell C.4.11.b](#) redovisas toleranser (II) – beräknade på detta sätt – för viktsenhetens standardosäkerhet i anslutnings- och bruksnät i höjd.

**Tabell C.4.11.b.** Toleranser (II) för viktsenhetens standardosäkerhet i anslutnings- och bruksnät i höjd.  $T(\ddot{o})$  – där  $\ddot{o}$  är antalet överbestämningar – anger tabellvärdet enligt [Tabell C.4.11.a](#).  $L$  är det aktuella, dubbelmätta tåggets längd i km.

Tillämpning	Standardosäkerhet $A$ (mm/ $\sqrt{\text{km}}$ )	Tolerans (II) (mm)
Finavvägning vid anslutning mot riksnät	1	$T(\ddot{o}) \cdot \sqrt{L}$
Finavvägning vid etablering av brukspunkter	2	$2 \cdot T(\ddot{o}) \cdot \sqrt{L}$

Exempel: För ett anslutningsnät i höjd med 15 överbestämningar blir toleransen

$$1,29 \cdot \sqrt{L}$$

För ett bruksnät i höjd med 30 överbestämningar kan toleransen på motsvarande sätt beräknas till

$$2 \cdot 1,21 \cdot \sqrt{L} = 2,42 \cdot \sqrt{L}$$

### C.4.12 Slutningsfel i höjdtåg efter utjämning

Kontrollen avser slutningsfel i höjdtåg efter utjämning av ett höjdnät. I [Tabell C.4.12](#) redovisas toleranser för anslutnings- och bruksnät.

**Tabell C.4.12.** Toleranser för slutningsfelet i höjdtåg efter utjämning.  $L$  är tåg-längden i km. (Se även [Bilaga C.1.3.](#))

Tillämpning	Standard-osäkerhet $A$ (mm/ $\sqrt{\text{km}}$ )	Tolerans (mm)		
		I	II	III
Finavvägning vid anslutning mot riksnät	1	$0,7\sqrt{L}$	$1,4\sqrt{L}$	$2,1\sqrt{L}$
Finavvägning vid etablering av brukspunkter	2	$1,4\sqrt{L}$	$2,8\sqrt{L}$	$4,2\sqrt{L}$

Tabellen är en omräkning till dagens mätosäkerhet av Tabell A.13-A.14 i gamla [HMK-Stommätning](#).

### C.4.13 Slutningsfel i polygontåg efter utjämning

Kontrollen avser slutningsfel i polygontåg i bruksnät.

I [Tabell 4.13.a](#) redovisas toleranser för vinkelslutningsfel och i [Tabell 4.13.b](#) toleranser för radiella koordinatslutningsfel.

**Tabell 4.13.a.** Toleranser för vinkelslutningsfel i polygontåg i bruksnät.  $n$  är antalet vinkelmätningstationer.

Maximalt slutningsfel (mgon)		
I	II	III
$1\sqrt{n}$	$2\sqrt{n}$	$3\sqrt{n}$

**Tabell 4.13.b.** Toleranser för radiella koordinatslutningsfel i polygontåg i bruksnät. Polygontågets längd  $L$  anges i km.

Maximalt slutningsfel (mm)		
I	II	III
$20\sqrt{L}$	$40\sqrt{L}$	$60\sqrt{L}$

Dessa båda tabeller är omräkningar till dagens mätosäkerhet av Tabell A.5-A.6 i gamla [HMK-Stommätning](#).

## Bilaga D: Kontroll/justering av mätinstrument

### D.1 Olika typer av instrumentfel

Vid all mätning ska eftersträvas att använda instrument och redskap är väl justerade och kalibrerade. Vid kalibrering kontrolleras hur instrumentavläsningarna förhåller sig till kända (korrekta) värden – dvs. hur instrumentet "slår". Vid behov justeras instrumentet för konstaterade fel. Följande indelning baseras på hur felen kan konstateras och åtgärdas:

- (1) Fel som kontrolleras vid varje mättillfälle. Beroende på felets art och inverkan på mätningarna justeras felet omedelbart eller vid behov.
- (2) Fel som konstateras i samband med mätning eller vid kontroll och som kan justeras av instrumentanvändaren själv, antingen i fält eller med hjälp av särskild enklare anordning för feljustering.
- (3) Fel som konstateras i samband med mätning eller vid kontroll och som kräver justering vid instrumentverkstad eller tillgång till speciell utrustning.

### D.2 Instrumentfel – åtgärdslista

Nedanstående tabeller redovisar olika instrumentfel med förslag till åtgärd. Angiven siffra i kolumnen "Typ av fel" avser indelning enligt [Bilaga D.1](#). I kolumnen "Tillåten storlek" har angivits värden som dels är realistiska att uppnå vid justering, dels är acceptabla vid detaljmätning. Vid stommätning gäller dock att alla instrumentfel som kan elimineras ska elimineras, dvs. kolumnen "Elimination" ska tillämpas vid stommätning, men behöver inte tillämpas vid detaljmätning om instrumentfelen är justerade till tillåten storlek.

#### D.2.1 Avvägningsinstrument

**Tabell D.2.1.a.** Instrumentspecifika fel vid avvägning.

Typ av fel	Tillåten storlek	Inverkan av fel	Elimination	Kontroll och justering
Kollimationsfel (2)	1 mm/50m med planplatta 3mm/50m utan planplatta	Fel höjdskillnad vid olika avläs- ningsavstånd bakåt/framåt	Samma av- stånd vid av- läsning bakåt/framåt	Kontrolleras före varje mätuppdrag och en gång per vecka
Kompensatorfel (3)	---	Siktlinjen är inte horisontell	Går inte. Instrumentet behöver åtgär- das	Kontroll vid varje instrument- uppställning

Typ av fel	Tillåten storlek	Inverkan av fel	Elimination	Kontroll och justering
Graderingsfel avvägningsstång (3)	Invarstång 0,01mm Övriga stänger 0,1-1mm	Felaktig avläsning	Kräver kalibreringstabell	Uppmätning av skalan
Lutande stång (1)	---	Felaktig avläsning	Går inte	Vattenpass kontrolleras dagligen, justeras vid behov

### D.2.2 Totalstation

Tabellerna [D.2.2.a](#) och [D.2.2.b](#) beskriver instrumentspecifika felkällor vid längd- respektive riktningsmätning med totalstation. Som framgår av [Tabell D.2.2.b](#) kan ett antal av dessa fel hanteras genom medeltalsbildning när riktningsmätningen utförs i båda cirkellägena. Av detta skäl tillämpas helsatsmätning vid all stommätning med totalstation.

**Tabell D.2.2.a.** Instrumentspecifika felkällor vid längdmätning.

Typ av fel	Tillåten storlek	Inverkan av fel	Elimination	Kontroll och kalibrering/justering
Nollpunktsfel (en instrumentkonstant) (2)	1 mm	Konstant avvikelse	Korrektion vid beräkning, t.ex. genom tillägg till prismakonstant	Kontroll vid auktoriserad service Kontroll genom mätning av kända längder
Frekvensfel (3)	1 ppm	Längdberoende avvikelse (skalfel)	Korrektion kan utföras vid beräkning	Kontroll vid auktoriserad service
Cykliskt fel (3)	Enligt instrumentets specifikation	Periodisk längdberoende avvikelse	Korrigeras oftast inte. Hanteras som slumpmässig osäkerhet	Kontrolleras i samband med kalibrering av nollpunktsfel
Pekfel (2)	2-3 mm	Slumpmässig osäkerhet vid slarvig inriktning	Mätning mot maximal retur-signal, eller upprepad inriktning med medeltalsbildning	Kontroll innan första användning.

**Tabell D.2.2.b.** Instrumentspecifika felkällor vid riktningsmätning

Typ av fel	Tillåten storlek	Inverkan av fel	Elimination	Kontroll och kalibrering/justering
Feljusterat vattenpass (1)	Ett skalstreck	Systematisk avvikelse vid mätning av horisontalvinkel (större vid branta sikter)	Blåsan ska stå i samma läge när instrumentet vrids runt	Vid varje uppställning
Feljusterat optiskt lod (2)	1 mm	Medför excentrisk uppställning	Går inte att justera i samband med mätning	Felet kontrolleras och justeras i kontrollbänk
Vridet trådkors (orienteringsfel) (3)	---	Systematisk avvikelse vid manuell inriktning	Använd centrum av trådkorset vid inriktning	Kontrolleras 2 ggr/år och justeras vid auktoriserad service
Kollimationsfel i sidled (2)	5 mgon	Systematisk avvikelse vid mätning av horisontalvinkel (vid höjdskillnad mellan instrument och signal)	Elimineras vid helsatsmätning	Kontrolleras vid varje mätning. Kontrolleras och justeras elektroniskt vid varje uppställning
Kollimationsfel i höjddled (indexfel) (1)	5 mgon	Systematisk avvikelse vid mätning av vertikalvinkel.	Elimineras vid helsatsmätning	Kontrolleras vid varje mätning. Kontrolleras och justeras elektroniskt vid varje uppställning
Excentrisk horisontalcirkel (3)	5 mgon	Systematisk avvikelse vid mätning av horisontalvinkel	Elimineras vid helsatsmätning	Kontrolleras 2 ggr/år Kan justeras elektroniskt vid uppställning
Lutande horisontalaxel (kippaxelfel) (3)	5 mgon vid vertikalvinkel 30 gon	Systematisk avvikelse vid mätning av horisontalvinkel, ökar med ökande vertikalvinkel	Elimineras vid helsatsmätning	Kontrolleras 2 ggr/år Kan justeras elektroniskt vid uppställning

## Bilaga E: Korrektioner vid stommätning

### E.1 Korrektion för jordkrökning och refraktion vid trigonometrisk höjdmätning

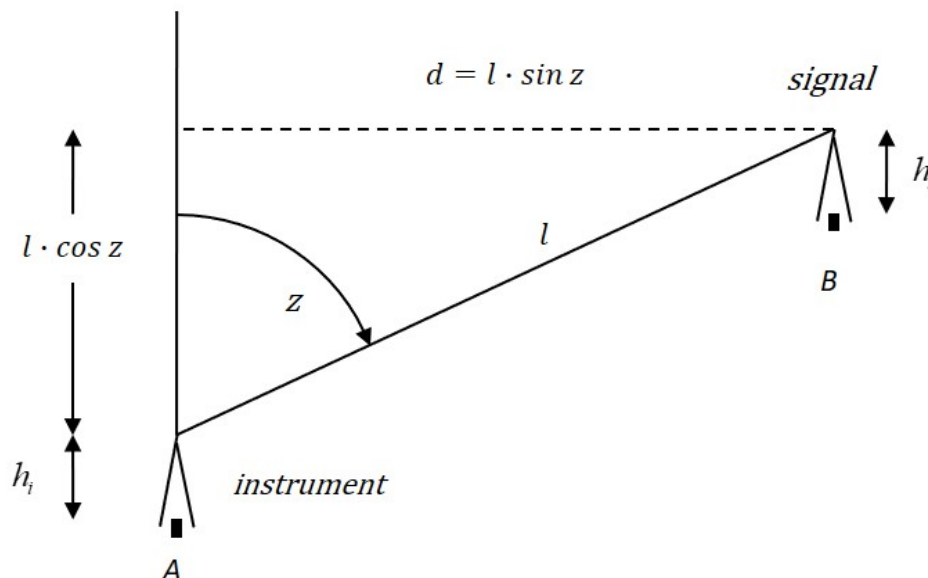
Vid trigonometrisk höjdmätning bestäms höjdskillnader genom mätning av lutande längd och vertikalvinkel. Fördelen med metoden är att den går betydligt snabbare än traditionell avvägning och att samma instrument (totalstation) kan användas till olika mätuppdrag.

[Figur E.1.a](#) ger uttrycket för höjdskillnaden mellan de markerade punkterna A och B, som instrumentet och signalen är uppställda över:

$$\Delta H_{AB} = H_B - H_A = (i_h - s_h) + l \cdot \cos z \quad (\text{E.1})$$

där  $i_h$  och  $s_h$  är instrumentets respektive signalens höjd över markeringarna i A och B,  $l$  är den lutande längden och  $z$  är vertikalvinkeln. Om i stället höjdskillnaden mellan instrument och signal ska beräknas så sätts  $i_h = s_h = 0$ . (Detta gäller såväl denna formel som de följande av samma typ.)

**Figur E.1.a.** Principen för trigonometrisk höjdmätning. Höjdskillnaden från A till B – och även det horisontella avståndet ( $d$ ), se [Bilaga E.3](#) – bestäms ur mätningar av vertikalvinkeln (betecknad  $z$  för att tydliggöra att nollan ligger i zenit, dvs. rakt uppåt) och den lutande längden ( $l$ ).

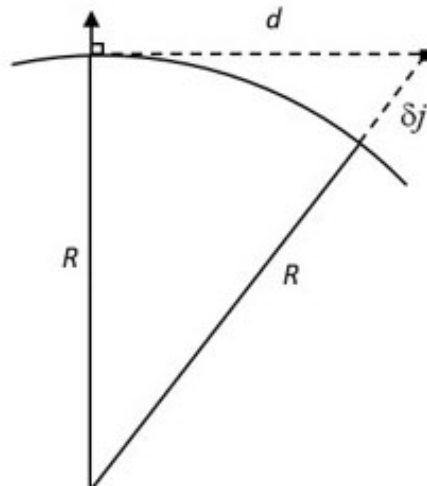


Vid trigonometrisk höjdmätning över avstånd längre än 150–200 meter ska hänsyn även tas till inverkan från jordkrökning och refraktion.



Jordkrökningseffekten innebär att objekten ser ut att vara på en lägre höjd än de egentligen är. I [Figur E.1.b](#) ser objektet ut att ligga i horisontalplanet, eftersom vertikalvinkeln är rät (100 gon), men egentligen ligger objektet på höjden  $\delta j$ .

**Figur E.1.b.** Effekten av jordkrökningen vid trigonometrisk höjdmätning.  $R$  är referensellipsoidens krökningsradie ("jordradien").



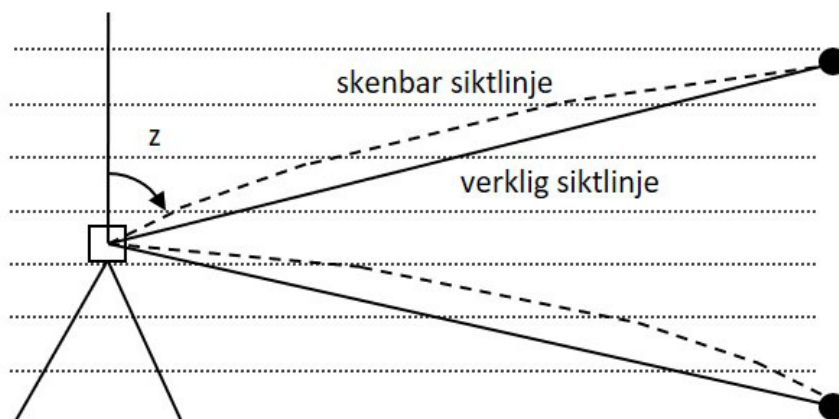
Detta blir alltså jordkrökningskorrektionen ( $\delta j$ ), som beräknas som

$$\delta j = \frac{d^2}{2R} \quad (\text{E.2})$$

där  $d$  är det horisontella avståndet och  $R$  är referensellipsoidens krökningsradie ("jordradien").

Refraktionen orsakas av variationer i luftlagrens täthet (ju närmare marken, desto högre täthet). Ljuset bryts **mot** normalen när det går från lägre till högre täthet. Därför får siktlinjen den form som visas för det övre objektet i [Figur E.1.c](#).

**Figur E.1.c.** Effekten av refraktionen vid trigonometrisk höjdmätning.



Eftersom ljuset bryts från normalen i det omvända fallet så får siktlinjen utseendet som för det nedre objektet i figuren. I båda fallen blir den uppmätta vertikalvinkeln för liten. En negativ korrektion till höjdskillnaden krävs alltså.

Erfarenhetsmässigt följer siktlinjen approximativt en cirkelbåge som är 7 gånger jordradien. Samma betraktelsesätt som för jordkrökningen ger därför refraktionskorrektionen ( $\delta r$ ), som beräknas som

$$\delta r = -\frac{d^2}{2(7R)} = -\frac{d^2(1/7)}{2R} = -\frac{0,14 \cdot d^2}{2R} \quad (\text{E.3})$$

Talet 0,14 är ett standardvärde på den s.k. refraktionskoefficienten. Det exakta värdet beror på väderförhållandena, t.ex. temperatur och lufttryck. Den totala effekten av jordkrökning och refraction ( $\delta jr$ ) kan därför uppskattas till:

$$\delta jr = \delta j + \delta r = \frac{d^2}{2R} - \frac{0,14 \cdot d^2}{2R} = \frac{d^2 \cdot 0,86}{2R} \quad (\text{E.4})$$

Om även jordkröknings- och refraktionskorrektionerna inkluderas erhålls följande kompletta formel för trigonometrisk höjdmätning ( $l \approx d$ ):

$$\Delta H_{AB} = (i_h - s_h) + l \cdot \cos z_A + l^2 \cdot \frac{0,86}{2R} \quad (\text{E.5})$$

$R$  (= 6390 km) är medelkrökningsradien för SWEREF 99:s referensellipsoid GRS 80. I [Tabell E.1](#) visas framräknade korrektioner för några olika avstånd.

**Tabell E.1.** Den totala effekten av jordkrökning och refraction. Refraktionskoefficienten är satt till 0,14 och jordens krökningsradie  $R$  till 6390 km.

Avstånd (m)	$\delta jr = \delta j + \delta r$ (m)
120	0,0010
150	0,0015
200	0,0027
300	0,0061
500	0,017
800	0,043
1200	0,097
2500	0,42
5000	1,7
7500	3,8
10 000	6,7

Som synes blir korrektionerna snabbt stora – och samtidigt osäkra, eftersom Formel E.3 är en approximation baserad på standardvärdet 0,14 på refraktionskoefficienten.

En bättre metod vid längre avstånd är samtidig mätning av vertikalvinkeln i båda ändpunkterna, s.k. korresponderande *trigonometrisk höjdmätning*. Därigenom elimineras jordkrökningseffekten helt och även effekten av refraktionen reduceras. Det senare eftersom refraktionens inverkan kan anses vara ungefär lika stor vid båda stationerna. Följande formler gäller då för medeltalet av de korresponderande mätningarna:

$$\overline{\Delta H_{AB}} = (i_h - s_h) + d \cdot \tan \frac{z_B - z_A}{2} \quad (\text{E.6})$$

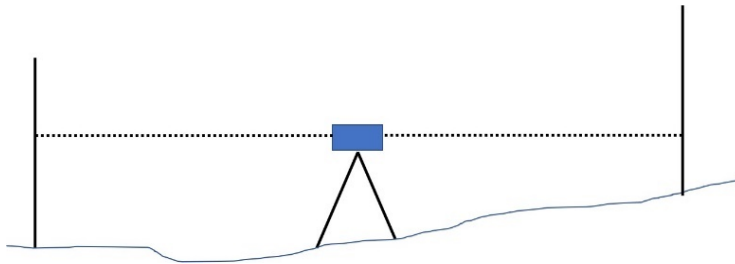
alternativt

$$\overline{\Delta H_{AB}} = (i_h - s_h) + l \cdot \sin \frac{z_B - z_A}{2} \sin \frac{z_B + z_A}{2} \quad (\text{E.7})$$

där  $l$  är mätt, lutande längd.  $z_A$  och  $z_B$  är vertikalvinklarna på station A respektive B.

Noteras bör att resultatet av avvägning inte påverkas på samma sätt av jordkrökning och refraktion – om instrumentet ställs upp mitt emellan avvägningsstängerna, se [Figur E.1.d](#). Därigenom elimineras också vissa andra, instrumentrelaterade fel.

**Figur E.1.d.** Genom att vid avvägning ställa upp instrumentet mitt emellan stängerna elimineras/reduceras inverkan från jordkrökning, refraktion, kollimationsfel m.m.



## E.2 Atmosfärskorrektion av mätta längder

Längdmätning med ett EDM-instrument bygger på ljushastigheten, vilken påverkas av lufttrycket och temperaturen vid mättillfället.

- Ljushastigheten **ökar** när temperaturen ökar och luften blir tunnare. Instrumentet ger då en längd som är för kort.
- Ljushastigheten **minskar** när lufttrycket ökar. Då blir den registrerade längden för lång.

Instrumentet ger korrekt längd vid en viss temperatur och ett visst lufttryck, som varierar med instrumenttypen/fabrikatet. Därför måste en korrektion göras om förhållandena vid mättillfället avviker från dessa normalvärden:

- 1 °C högre temperatur än instrumentets normalvärde ger en korrektionsfaktor på ungefär + 1 ppm (förlängning), och
- 4 mBar högre lufttryck än instrumentets normalvärde ger en korrektionsfaktor på - 1 ppm (förkortning).

De exakta korrektionsformlerna tillhandahålls av instrumentleverantören.

Exempel: En längd på 2000 meter har mätts vid temperaturen 20 °C och lufttrycket 1001 mBar. EDM-instrumentets normalvärden är 10 °C respektive 1013 mBar (760 mmHg). Beräkna atmosfärskorrektionen.

Temperaturskillnaden (10 °C **över** normalvärdet) ger korrektionen + 10 ppm och lufttrycksskillnaden (12 mBar **under** normalvärdet) ger korrektionen + 3 ppm. Den totala atmosfärskorrektionen blir alltså + 13 ppm (mm/km), dvs. det mätta avståndet (2 km) ska förlängas med 26 mm.

Som synes kan atmosfärskorrektionen vara betydligt större än mätningens standardosäkerhet, som för det aktuella avståndet i exemplet kan antas ligga kring 5 mm.

Vid stommätning bör atmosfärskorrektionen påföras i efterhand, dvs. den möjlighet som vanligen finns att ställa in korrektionen i instrumentet bör inte utnyttjas. Den inställningen är avsedd för detaljmätning och korrektionen i instrumentet bör alltså i stommätningssammanhang vara satt till 0 ppm.

Vid större avstånd - några kilometer - bör korrektionen baseras på temperatur- och lufttrycksmätning i båda ändpunkterna.

### **E.3 Lutningskorrektion av mätta längder**

Enkel geometri i [Figur E.1.a](#) ger formeln för den horisontella längden  $d$  (= avståndet) mellan instrument och signal som:

$$d = l \cdot \sin z \quad (\text{E.8})$$

där  $l$  är den mätta, lutande längden och  $z$  är vertikalvinkeln (betecknad  $z$  för att tydliggöra att nollan ligger i zenit, dvs. rakt uppåt).

Denna enkla formel är dock inte särskilt lämpad för stommätning, där punktavstånden och höjdskillnaderna normalt är större än vid t.ex. detaljmätning.

Problemet, som främst beror på jordkrökningseffekten, består i att resultatet kan variera beroende på från vilken ändpunkt som mätningen (och beräkningen) utförs. Dubbelmätning – från båda ändpunkterna – reducerar problemet men följande formel ger alltid en matematiskt korrekt och entydig korrektion:

$$b = \sqrt{l^2 - \Delta H_{AB}} \quad (\text{E.9})$$

Höjdskillnaden mellan instrumentet i punkt A och signalen i punkt B kan beräknas ur kända punkthöjder genom

$$\Delta H_{AB} = (H_B - H_A) + (s_h - i_h) \quad (\text{E.10})$$

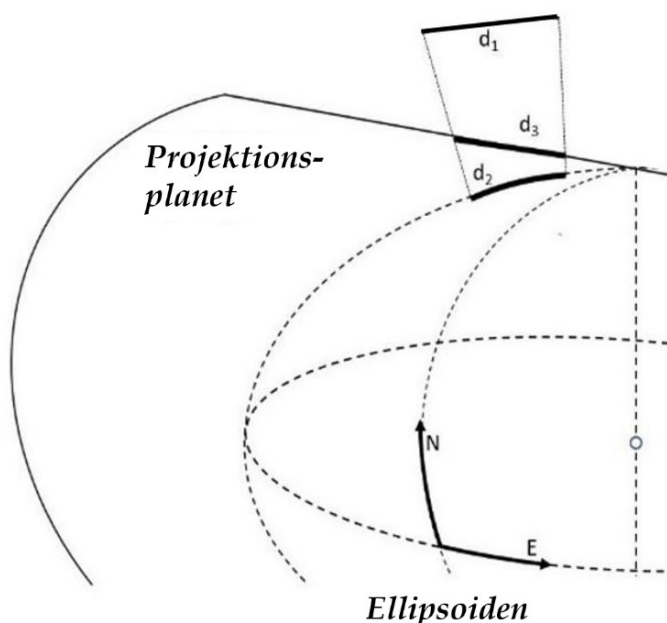
eller genom trigonometrisk höjdmätning med hjälp av formlerna i [Bilaga E.1](#) med  $i_h = s_h = 0$ .

Med detta förfarande refereras också avståndet automatiskt till medelhöjden mellan A och B, vilket är väsentligt i nästa korrektionssteg.

#### E.4 Höjd- och projektkorrektion av avstånd

Genom *höjdkorrektion* reduceras de mätta, lutningskorrigerade avstånden ned till referensellipsoiden. En *projektkorrektion* utförs sedan för att anpassa de höjdkorrigerade avstånden vidare till kartprojektionens projektningsplan. Se [Figur E.4.a](#) samt [HMK – Geodetisk infrastruktur](#), senaste version.

**Figur E.4.a.** Mätt avstånd ( $d_1$ ) reduceras ner till avstånd på ellipsoiden ( $d_2$ ) genom höjdkorrektion. Därefter projiceras det vidare till avstånd i projektningsplanet ( $d_3$ ) med hjälp av en projektkorrektion. Om  $d_1 = d_3$  så tar de två korrektionerna ut varandra.



## Höjdkorrektion

Höjdkorrektionen är alltid negativ och ändras linjärt med höjden över ellipsoiden. Korrektionen innebär alltså att de mätta avstånden blir nominellt kortare.

För avstånd  $< 10$  km kan följande förenklade formel användas:

$$b = d \left( 1 - \frac{h_A + h_B}{2R} \right) = d \left( 1 - \frac{h}{R} \right) \quad (\text{E.11})$$

där  $b$  är det höjdreducerade avståndet,  $d$  är avståndet efter lutningskorrektion,  $h_A$  och  $h_B$  är ändpunkterna A:s och B:s höjder över referensellipsoiden och  $h$  deras medelhöjd.  $R$  (ellipsoidens medelkrökningsradie) är som tidigare satt till 6390 km.

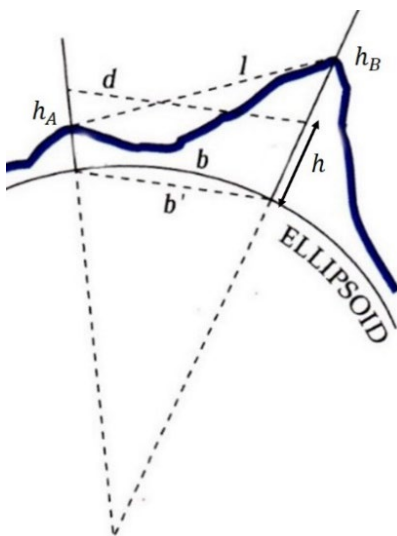
Observera att det är höjder över ellipsoiden ( $h$ ) som ska användas. Dessa erhålls genom att addera geoidhöjden ( $N$ ) i punkten till normalhöjden ( $H$ ):

$$h = H + N$$

Processen rörande lutnings- och höjdkorrektionen illustreras grafiskt i [Figur E.4.b](#):

- Först lutningskorrigeras den mätta längden ( $l$ ) från A till B och det så erhållna avståndet ( $d$ ) relateras till ändpunkternas medelhöjd  $h = \frac{h_A + h_B}{2}$ .
- Därefter höjdkorrigeras detta avstånd från  $h$  ned till avståndet  $b$  på referensellipsoiden.
- För avstånd  $> 10$  km tillkommer en *bågkorrektion* för att överföra det höjdkorrigerade avståndet – som egentligen är en korda ( $b$ ) – till bågen ( $b'$ ) på ellipsoiden.

Figur E.4.b. **Lutnings- och höjdkorrektion vid längdmätning.**



## Projektionskorrektion

Projektionskorrektion innebär alltså att längden på ellipsoiden överförs till kartprojektionsplanet. Korrektionen är vanligen positiv – dvs. avstånden blir längre – och den ändras kvadratisk med avståndet från projektionens medelmeridian. Detta leder till att skalan i projektionsplanet kommer att variera.

Om de mätta längderna i ett stornät är kortare än 8 km kan följande formel användas:

$$b_p = b \left( 1 + \left( \frac{E_A + E_B - 2\Delta E}{2R\sqrt{2}} \right)^2 \right) \quad (\text{E.12})$$

där

$b_p$  är det projicerade avståndet

$b$  är det höjdreducerade avståndet som beräknats i föregående steg

$E_A$  och  $E_B$  är Easting-koordinaterna för ändpunkterna A och B

$\Delta E$  är det tillägg som är gjort till Easting-koordinaterna (150 000 m i SWEREF 99:s lokala projektionszoner)

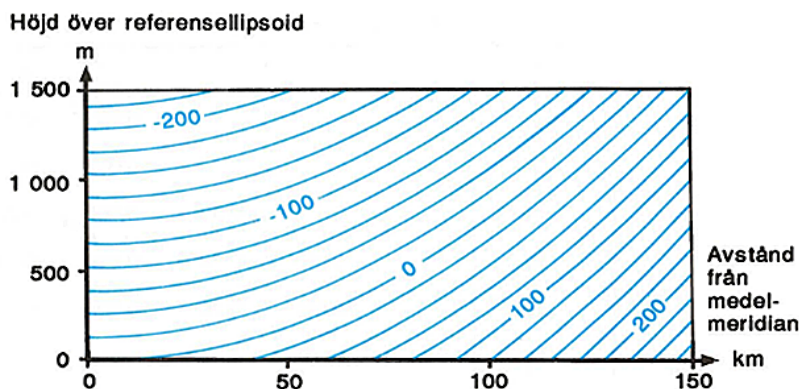
$R$  = GRS 80-ellipsoidens medelkrökningsradie 6390 km.

Denna korrektion är positiv i SWEREF 99:s lokala projektionszoner, där zonindelningen har gjorts smal för att projektionskorrektionerna inte ska överstiga 50 ppm (50 mm/km). Korrektioner som är större än så börjar nämligen bli opraktiska att hantera vid t.ex. detaljmätning.

I SWEREF 99 TM, som är en enda projektionszon för hela landet, blir deformationen nästan alltid ohanterlig för den här aktuella typen av tillämpningar. Korrektionen är också omväxlande positiv och negativ.

Som redan framgått så reduceras normalt totaleffekten av höjd- och projektionskorrektion av att den första förminskar och den andra (vanligen) förstorar. Den sammanlagda effekten redovisas i [Figur E.4.c](#).

**Figur E.4.c.** Sammanlagd inverkan av höjdkorrektion och projektionskorrektion (enhet ppm = mm/km). Förutsättningen är att skalfaktorn utefter medelmeridianen = 1,0, vilket den är i SWEREF 99:s lokala projektionszoner.



Höjd- och projektionskorrektioner kan alltså införa en skalskillnad mellan beräknade koordinater och mätningarna – en skillnad som dessutom varierar och är olika stor i olika områden.

Motsättningarna uppkommer av att koordinaterna är beräknade i en specificerad kartprojektion vid havsnivån (på referensellipsoiden) medan mätningarna utförs i "verkligheten" och på aktuell höjd. Det rör sig alltså om en skillnad mellan modell och verklighet.

Även om korrektionerna är nödvändiga för en entydig beräkning av stomnät så kan uppkomna skillnader ge problem i tillämpningar med höga kvalitetskrav, t.ex. vissa bygg- och anläggningsprojekt. Ofta krävs en "avprojicering" för att hantera dessa motsättningar i det praktiska mätarbetet. Dvs. korrektionen elimineras så att det verkliga avståndet – på marken – återskapas.



## Bilaga F: Planering, beräkning och analys av stornät – några grundbegrepp

Som stöd vid planering och genomförande av stommättningsprojekt finns ett antal termer, begrepp och parametrar som anger olika kvalitetsaspekter på ett stornät.

Termerna används i samband med kontroll, skattning och redovisning av mätosäkerhet, lägesosäkerhet och andra kvalitetsmått. De var ursprungligen tänkta för att redovisa **erhållen** kvalitet – efter mätning och beräkning – men flera av paramterarna kan beräknas i förväg och är därför minst lika viktiga vid planeringen och som kriterier för analys och simulering av stornät.

Beskrivningen fokuserar på triangelnät i 2D; det var i den kontexten som teorierna utvecklades. Vissa av storheterna kan dock beräknas även för nät i tågform – avväggningsnät/polygonnät – och för GNSS-nät baserade på baslinjer i 3D.

För detaljer hänvisas till [HMK-TR 2018:3 \[4\]](#) och [HMK-TR 2019:1 \[5\]](#).

### F.1 Stornätsutjämning

Stornätsberäkning – *nätutjämning* – sker genom lösning av ett ekvationssystem med *minsta-kvadratmetoden* (MK-metoden). Det utgår från ett antal kända *utgångspunkter* och baseras på sambandet mellan utförda mätningar (höjdskillnader, längder, riktningar, baslinjer etc.) och de sökta storheterna, t.ex. *nypunkternas* koordinater och höjder. Systemet ska vara överbestämt, dvs. det krävs fler mätningar än sökta storheter.

Utjämning där alla mätningar beräknas samtidigt benämns *sträng utjämning*. *Elementutjämning* är därvid den klart dominerande metoden – åtminstone för beräkning av triangelnät. En avgörande fördel med elementutjämning är dess förmåga att inte bara **detektera** grova mätfel, utan att även **lokalisera** dem.

För tågformade nät tillämpas vanligen approximativa utjämningsmetoder, där tåget – inte den enskilda mätningen – utgör den minsta enheten och är det som utjämnas. Därigenom försvåras i viss mån lokaliseringen av grova mätfel.

Vid sträng utjämning tilldelas mätningarna *vikter* i förhållande till mätosäkerheten. Vikten  $P_i$  beräknas vanligen som

$$P_i = \frac{1}{u^2(l_i)} \quad (\text{F.1})$$

där  $u(l_i)$  är mätningen  $l_i$ :s *standardosäkerhet*.

Osäkerheten i instrumenthöjdsättning, centrerings etc. måste också ingå vid viktning av observationerna och i hanteringen av GNSS-baslinjer

bör hänsyn även tas till de *korrelationer* – beroenden – som finns inom och mellan baslinjerna, vilket blir litet mer komplicerat.

Mätosäkerheten i kombination med att ekvationssystemet är överbestämt innebär att inte alla ekvationer kan uppfyllas exakt. Skillnaderna benämns *förbättringar* ( $v_i$ ) och är de korrektioner som görs av mätningarna för att dessa ska stämma överens med utjämningsresultatet. De beräknas som

$$v_i = \hat{l}_i - l_i \Leftrightarrow \hat{l}_i = l_i + v_i \quad (\text{F.2})$$

där  $l_i$  är mätvärdet och  $\hat{l}_i$  är motsvarande värde beräknat i utjämningsresultatet.

Minsta-kvadratmetoden innebär minimering av "den viktade kvadratsumman av förbättringarna", dvs.

$$\sum_{i=1}^n v_i^2 P_i = v_1^2 P_1 + v_2^2 P_2 + \dots + v_n^2 P_n \text{ är minimum} \quad (\text{F.3})$$

Det är förbättringarna som sedan används för att analysera utjämningsresultatet.

Antalet överbestämningar, eller *frihetsgrader* ( $f$ ), i nätet beräknas som

$$f = n - m \quad (\text{F.4})$$

dvs. antalet mätningar ( $n$ ) minus antalet obekanta parametrar ( $m$ ). Det är det som gör det möjligt att detektera grova mätfel – samt att skatta lägesosäkerheten – i ett stamnät.

Den första indikationen på hur utjämningsresultatet har gått ges av *viktens standardosäkerhet* (tidigare benämnt "grundmedelfel"):

$$u_o = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2 P_i}{n-m}} = \sqrt{\frac{\sum v_i^2 P_i}{f}} \quad (\text{F.5})$$

Det är en skattning av standardosäkerheten för en mätning med vikten ett (1) och ger en uppfattning om den faktiska mätosäkerheten i förhållande till den antagna. Avvikelse från  $u_o = 1$  (uppåt eller nedåt) indikerar att mätosäkerheten är högre respektive lägre än vad som antagits i Formel F.1, se vidare [Tabell F.3.a](#).

## F.2 Kontrollerbarhet och k-tal

*Kontrollerbarhet* är ett grovt mått på möjligheterna att hitta grova mätfel i en stamnätsberäkning.

Det s.k. *k-talet* (*kontrollerbarhetstalet*) definieras som

$$k = \frac{n-m}{n} = \frac{f}{n} \quad (\text{F.6})$$

dvs. antalet överbestämningar i förhållande till antalet mätningar. Det ger vägledande information om hur enskilda mätningar kontrolleras av övriga mätningar i nätet.

Värdet på  $k$  beräknas på litet olika sätt i olika typer av nät, och de framräknade siffervärdena är inte helt kompatibla. De ska därför bara jämföras inom en och samma nättyp, dvs. höjdnät mot höjdnät, polygonnät mot polygonnät, triangelnät mot triangelnät etc.

$k$ -talet ligger mellan noll och ett ( $0 - 1$ ) och är ett mått på ett näts **genomsnittliga** kontrollerbarhet. Ett litet  $k$ -värde innebär att det är svårt att hitta grova fel och ju högre  $k$ -tal desto bättre kontroll.  $k = 0,5$  kan sägas vara gränsen mellan bra och dålig kontrollerbarhet. Det betyder att varje obekant i nätet i genomsnitt har observerats dubbelt – eller med ”en överbestämning per obekant”, vilket är en gammal tumregel.

Kontrollerbarheten i en enskild mätning ( $k_i$ , individuellt  $k$ -tal) kan också beräknas, och totalt sett bör kontrollerbarheten vara så jämnt fördelad som möjligt inom nätet. Dvs. såväl de enskilda  $k_i$ -värdena som genomsnittet ( $k$ -talet) bör vara  $\geq 0,5$ .

I beräkningen av  $k$ -tal ska inte upprepade mätningar av samma storhet tas med. Vid t.ex. helsatsmätning av riktningar och dubbelmätning av längder är det **medeltalen** och inte de **enskilda mätningarna** som ska gå vidare till beräkningen. Och det är antalet sådana medeltal ( $n$ ) som ska användas vid beräkningen av antalet överbestämningar och  $k$ -talet.

### Relationen mellan förbättring och grovt fel

Mellan en mätnings förbättring och det bakomliggande mätfelet ( $e_i$ ) råder följande ungefärliga samband

$$e_i \approx -\frac{v_i}{k_i} \quad \Leftrightarrow \quad v_i \approx -k_i e_i \quad (\text{F.7})$$

dvs. i förbättringen  $v_i$  (se [Formel F.2](#)) ”syns” bara andelen  $k_i e_i$  av mätfelet, som beror på det individuella  $k$ -talet  $k_i$ . Resten  $(1 - k_i)e_i$  brukar benämnas ”den osynliga delen” av felet.

[Formel F.7](#) gäller framför allt för **grova** mätfel. Observera att skattningen av  $e_i$  inte är en **statistisk** skattning – med en inbyggd osäkerhet – utan det entydiga resultatet av en rent **algebraisk** operation.  $e_i$  är helt enkelt den motsägelse som skulle uppstå om denna mätning hade uteslutits ur utjämningen och storheten i stället hade beräknats med hjälp av övriga mätningar.

**Exempel:** Om  $k_i = 0,5$  kommer bara hälften ( $0,5 = 50\%$ ) av ett grovt mätfel att synas i motsvarande förbättring. Den andra halvan av felet – den osynliga delen – kommer att ”slukas upp” av utjämningen och påverka beräkningen av koordinater/höjder menligt. För  $k_i = 0,1$  blir den synliga delen av det grova felet endast  $10\%$  ( $0,1 = 10\%$ ) och resterande  $90\%$  kommer att fördärva beräkningsresultatet.

Förbättringarna som sådana är därför inget bra verktyg för sökning efter grova fel, åtminstone inte då  $k$ -talet är litet.

### F.3 Sökning efter grova fel

#### Test av viktsenhetens standardosäkerhet

Den vanligaste orsaken till att  $u_o$  är för stort är grova mätfel, dvs. att kontrollera  $u_o$  är en lämplig första åtgärd.

Ett sådant test baseras på följande noll-hypotes:

- det finns inga grova fel
- den statistiska modellen, dvs. viktsättningen enligt [Formel F.1](#), beskriver observationernas statistiska egenskaper korrekt
- den matematiska modellen beskriver relationen mellan observationerna och de okända parametrarna korrekt.

$u_o$  ska varken vara för stort ( $u_o \gg 1$ ) eller för litet ( $u_o \ll 1$ ). Vilka avvikelser som är statistiskt signifikanta anges av toleranserna i [Tabell F.3.a](#).

**Tabell F.3.a.** Maximala och minimala värden för viktsenhetens standardosäkerhet (täckningsgrad 95 %) vid utjämning av stomnät.

Antal överbestämningar ( $f$ )	Maxvärde för viktsenhetens standardosäkerhet	Minvärde för viktsenhetens standardosäkerhet
1	1,96	0,51
2	1,73	0,58
3	1,61	0,62
4	1,54	0,65
5	1,49	0,67
7	1,42	0,71
10	1,35	0,74
15	1,29	0,77
20	1,25	0,79
30	1,21	0,82
50	1,16	0,86
70	1,14	0,88
100	1,11	0,89
200	1,08	0,93
500	1,05	0,96

En approximativ formel för denna tabell ges av uttrycken

$$\max \approx 0,96 + f^{-0,4}; \quad \min \approx 1/(0,96 + f^{-0,4}) \quad (\text{F.8})$$

Signifikant avvikelse uppåt visar vanligen att det finns grova fel i mätningarna eller att viktsättningen är alltför optimistisk, dvs. att mätosäkerheten är större än vad som antagits. Om så är fallet bör fortsatt analys genomföras.

Om  $u_o$  är avsevärt **mindre än** ett ( $u_o \ll 1$ ) så är det inget problem vad avser beräkningen av de sökta storheterna, men felsökningen ges inte

rätt förutsättningar om den verkliga mätosäkerheten är väsentligt lägre än den antagna. Data-snooping (nästa avsnitt) kommer t.ex. att släppa igenom fler grova mätfel.

Som första åtgärd rekommenderas då en uppdatering av mätosäkerheterna. Det sker genom att den antagna mätosäkerheten, före utjämningsen, multipliceras/reduceras med det skattade  $u_o$ -värdet enligt:

$$u_{\text{korrigerad}}(l_i) = u_o \cdot u_{\text{antagen}}(l_i) \quad (\text{F.9})$$

varefter utjämningsen upprepas med mer korrekta förutsättningar.

### Data-snooping

I felsökningsmetoden *data-snooping* jämförs varje förbättring med sin egen standardosäkerhet

$$u(v_i) = u(l_i)\sqrt{k_i} \quad (\text{F.10})$$

och mätningar för vilka storheten (den *standardiserade förbättringen*)

$$|w_i| = \frac{|v_i|}{u(v_i)} = \frac{|v_i|}{u(l_i)\sqrt{k_i}} > 1,96 \approx 2 \quad (\text{F.11})$$

flaggas för misstänkt grovt fel. (Med "grovt fel" avses - i strikt mening - avvikelser som inte följer normalfördelningen.) | | betecknar *absolutbelopp*, för att undvika negativa värden.

Data-snooping bör ske i en iterativ process där högst en mätning tas bort i varje iteration: den som har högst testkvot  $|w_i|$ . Därefter upprepas beräkningen av stomnätet och processen avbryts när ingen mätning överskrider testkvoten.

Vid användning av beräkningsprogram som så tillåter bör "flaggade" mätningar inte tas bort fysiskt utan viktas ned. På så sätt går det att i efterhand se hur stor avvikelserna är, och kanske enklare förstå dess orsak.

Beträffande standardiserade förbättringar bör totalt sett, för hela nätet, gälla att:

- I. För merparten av mätningarna (minst 68 %, 2/3) ska  $|w_i|$  vara 1 eller mindre.
- II. För minst 95 % av mätningarna ska  $|w_i|$  vara 2 eller mindre.
- III. Om  $|w_i|$  ligger mellan 2 och 3 bör mätningen kontrolleras. Hittas inget grovt fel, godkänns mätningen. Om  $|w_i|$  är större än 3 ska mätningen uteslutas.

Detta är en specialtillämpning av HMK:s trenivåprincip, se [avsnitt 6.1.2](#).

Ursprungligen utförde man data-snooping endast om testet av  $u_o$  enligt [Formel F.5](#) "slog larm", men numera utförs analysen oavsett vad utfallet av detta test blev.

Om de grova felen inte är så många och/eller om de ligger i olika delar av ett nät så fungerar data-snooping ganska bra – åtminstone om  $k$ -talet är rimligt. I ett mätmaterial med flera grova fel är dock tillämpningen av metoden problematisk och kräver erfarenhet vid användningen.

Vid test av 2- och 3-dimensionella observationer – t.ex. GNSS-baslinjer – bör inte komponenterna testas var för sig. Då är det lämpligare att använda 2- eller 3-dimensionell data-snooping.

### Pope's kriterium och 2-dimensionell data-snooping

Utöver klassisk, holländsk data-snooping finns det ytterligare två användbara varianter av denna metod för sökning av grova fel:

- Pope's kriterium, som använder skattad mätosäkerhet i stället för den i förväg antagna vid beräkningen av standardiserade förbättringar.
- 2-dimensionell data-snooping, som tillämpas vid sökning av grova fel i **punkter** (koordinater i 2D eller 3D) snarare än i enskilda mätningar.

Pope's felsökningstest lyder

$$|w_i| \leq \frac{|v_i|}{u_o \cdot u(l_i) \sqrt{k_i}} \quad (\text{F.12})$$

att jämföras med [Formel F.11](#). Skillnaden är som synes att skattningen  $u_o$  ingår, se [Formel F.5](#).

Problemet är att den förbättring som ska analyseras även ingår i  $u_o$ -skattningen. Därför beror toleranserna för de standardiserade förbättringarna på antalet frihetsgrader – se [Tabell F.3.b](#), som ersätter data-snoopingens 1,96.

**Tabell F.3.b.** Pope's kriterium - toleranser för standardiserade förbättringar.

Antal frihetsgrader	Tolerans
2	1,410
3	1,645
4	1,757
5	1,814
6	1,848
7	1,870
8	1,885
9	1,896
10	1,904
15	1,926
25	1,941
40	1,949
900	1,960

Som synes närmar sig toleranserna 1,96 allt eftersom antalet frihetsgrader ökar och den enskilda förbättringens påverkan på  $u_o$  minskar. Pope's metod har den stora fördelen att mätosäkerheten inte behöver vara känd utan kan skattas inom ramen för utjämningen.

2-dimensionell data-snooping används vanligen i samband med koordinattransformationer, för att söka fel i passpunkterna. Även om 2-dimensionella transformationer är den vanligaste tillämpningen – därav namnet – så fungerar metoden på motsvarande sätt även i 1D och 3D. I det 1-dimensionella fallet – translation – övergår metoden i Pope's kriterium, med toleranser enligt [Tabell F.3.b](#).

Lantmäteriets transformationsprogram GTRANS använder denna felsökningsmetod – se exempel i [HMK-TR 2018:3](#), kapitel 7. Även här beror toleranserna på antalet frihetsgrader, dvs. de varierar med typen av transformation och antalet passpunkter – och avvikelsen i varje punkt relateras till det skattade  $u_o$ -värdet. Kunskap om de ingående punkternas lägesosäkerhet behövs alltså inte.

Metoden används med fördel för analyser i samband med utjämning av stomnät i plan – genom transformation av ett fritt utjämnat nät med de kända utgångspunkterna som passpunkter.

## F.4 Tillförlitlighet

### Inre och yttre tillförlitlighet

*Tillförlitlighet* är ett alternativ till kontrollerbarhet för att uttrycka ett stomnäts känslighet för grova mätfel. Denna nya term – som i sig bygger på kontrollerbarhet – ger ofta ett bättre analysunderlag eftersom den kan relateras till mätosäkerheten och baseras på vissa explicita sannolikhetsantaganden.

Stomnät i vilka man, med hjälp av data-snooping, kan hitta även ganska små grova fel sägs ha en stor *inre tillförlitlighet*. Om dessutom de grova fel som **inte** upptäcks bara påverkar utjämningsresultatet i begränsad omfattning så sägs nätet även ha en stor *yttre tillförlitlighet*. Måtten på tillförlitligheten ges som regel i samma enheter som mätningarna eller som multiplar av mätningarnas standardosäkerheter.

Den inre tillförlitligheten kan skattas med hjälp av gränsvärdena för *Minsta Upptäckbara Fel*.

$$MUF = \frac{\delta_o}{\sqrt{k_i}} \cdot u(l_i) \quad (\text{F. 13})$$

som alltså är  $\frac{\delta_o}{\sqrt{k_i}}$  gånger motsvarande mätning standardosäkerhet. *MUF* anger det **minsta** grova fel som kan detekteras med hjälp av data-snooping.

Storheten  $\delta_o$  bestäms utifrån vissa sannolikhetsmässiga antaganden och är inte en allmängiltig "sanning". I HMK tillämpas  $\delta_o = 2,80$ , men andra värden är tänkbara (se nedan).

Den yttre tillförlitligheten anger sedan hur mycket  $MUF$  påverkar resultatet och kan skattas med måttet

$$YT = (1 - k_i) \cdot MUF = \frac{\delta_o(1 - k_i)}{\sqrt{k_i}} \cdot u(l_i) \quad (\text{F. 14})$$

som alltså är  $(1 - k_i)$  gånger  $MUF$  eller  $\frac{\delta_o(1-k_i)}{\sqrt{k_i}}$  gånger mätningens standardosäkerhet.

I terrena 2D-nät - med både längd- och vinkelmätningar - är vanligen de värden på  $MUF$  och  $YT$  som avser längdmätningar av störst intresse i analysen. Det beror främst på att längdmått är lättare att intuitivt förstå än vinkelmått. Men om balans råder mellan längd- och riktningsmätningens mätosäkerhet så blir förhållandena, vad gäller grovfelssökning och tillförlitlighet, likartade även för riktningsmätningen.

#### Beräkning av $\delta_o$

Storheten  $\alpha$  anger risknivån vid data-snooping. Den anger sannolikheten att förkasta en mätning som **inte** innehåller ett grovt fel. En sådan mätning har en helt naturlig, normalfördelad mätosäkerhet som karakteriseras av dess standardosäkerhet. Om toleransen minskas så ökar  $\alpha$ , vilket alltså ökar risken att en korrekt mätning förkastas.

Storheten  $\beta$  anger sannolikheten för det minsta grova fel som kan detekteras med data-snooping.

Parametern  $\delta_o$  bestäms sedan som

$$\delta_o = \lambda_{\alpha/2} + \lambda_{1-\beta} \quad (\text{F.15})$$

där  $\lambda_{\alpha/2}$  och  $\lambda_{1-\beta}$  är normalfördelningens tabellvärden för sannolikheterna  $\alpha/2$  resp.  $1-\beta$ .  $\delta_o$  används för att skatta den inre och yttre tillförlitligheten, dvs. för att beräkna  $MUF$  och  $YT$ .

Eftersom det finns ett visst godtycke i valen av  $\alpha$  och  $\beta$  krävs viss "standardisering", och i HMK har sannolikheterna satts till  $\alpha = 5\%$  respektive  $\beta = 80\%$ . Det kan sägas vara litet av statistisk praxis.

Dessa värden ger

$$\delta_o = \lambda_{2,5\%} + \lambda_{20\%} = 1,96 + 0,84 = 2,80 \quad (\text{F.16})$$

Andra kombinationer ger andra  $\delta_o$ -värden, se [Tabell F.4](#).



**Tabell F.4.** Parametern  $\delta_o$  beräknad för olika sannolikheter  $\alpha$  och  $\beta$ .

	$\beta = 70\%$ ( $\lambda_{30\%} = 0,52$ )	$\beta = 80\%$ ( $\lambda_{20\%} = 0,84$ )	$\beta = 90\%$ ( $\lambda_{10\%} = 1,28$ )
$\alpha = 1\%$ ( $\lambda_{0,5\%} = 2,58$ )	$\delta_o = 3,10$	$\delta_o = 3,42$	$\delta_o = 3,86$
$\alpha = 5\%$ ( $\lambda_{2,5\%} = 1,96$ )	$\delta_o = 2,48$	$\delta_o = 2,80$	$\delta_o = 3,24$
$\alpha = 10\%$ ( $\lambda_{5\%} = 1,64$ )	$\delta_o = 2,16$	$\delta_o = 2,48$	$\delta_o = 2,92$

Uppskattningen av Minsta Upptäckbara Felet (MUF)

$$MUF = \frac{2,8}{\sqrt{k_i}} \cdot u(l_i) \quad (\text{F.17})$$

enligt HMK-konventionen vad gäller  $\alpha$  och  $\beta$ , betyder alltså:

- "Det minsta upptäckbara (grova) fel som med 80% sannolikhet kommer att upptäckas med data-snooping på risknivån 5%".

## F.5 Osäkerheten i utjämnade storheter

Med data-snooping kontrolleras alltså att resultatet i möjligaste mån är fritt från grova fel. Tillförlitlighetsmåttan ger sedan en uppfattning om (eventuella) kvarstående grova fels storlek och påverkan på resultatet, och med olika osäkerhetsmått beskrivs nätets lägesosäkerhet.

De viktigaste osäkerhetsmåttan är standardosäkerheter för nypunkter och utjämnade mätningar. Det är svårt att ge råd om storleken på dessa mått, annat än att de inte bör variera alltför mycket - till storlek och form - inom ett nät.

Standardosäkerheter i beräknade koordinater, höjder m.m. skattas som

$$u(x) = \sqrt{Q_{xx}} \quad (\text{F18})$$

där  $x$  är den beräknade storheten och  $Q_{xx}$  hämtas från utjämnings *varians-kovariansmatris*. Denna matris avspeglar det aktuella nätets geometri och den antagna mätosäkerheten.

I höjdnät (1D) kan på detta sätt

$$\text{standardosäkerheten i höjden } H: u(H) \quad (\text{F.19})$$

för en höjdfix beräknas. Ett vanligare mått är dock

$$\text{standardosäkerheten i höjdskillnaden } \Delta H: u(\Delta H) \quad (\text{F.20})$$

I triangelnät (2D) beräknas t.ex.

$$\text{standardosäkerheten i } \textit{Northing}: u(N) \quad (\text{F.21})$$

$$\text{standardosäkerheten i } \textit{Easting}: u(E) \quad (\text{F.22})$$

På motsvarande sätt och, ur dessa storheter, skattas sedan

$$\text{standardosäkerheten i plan: } u(\text{plan}) = \sqrt{u^2(N) + u^2(E)} \quad (\text{F.23})$$

I 3D GNSS-nät beräknas t.ex.

$$\text{standardosäkerheten i X: } u(X) \quad (\text{F.24})$$

$$\text{standardosäkerheten i Y: } u(Y) \quad (\text{F.25})$$

$$\text{standardosäkerheten i Z: } u(Z) \quad (\text{F.26})$$

Samtliga dessa mått (F.19-F.26) beror i huvudsak på

- de utförda mätningarnas (antagna) mätosäkerhet
- nätgeometrin
- antalet mätningar i förhållande till antalet nypunkter.

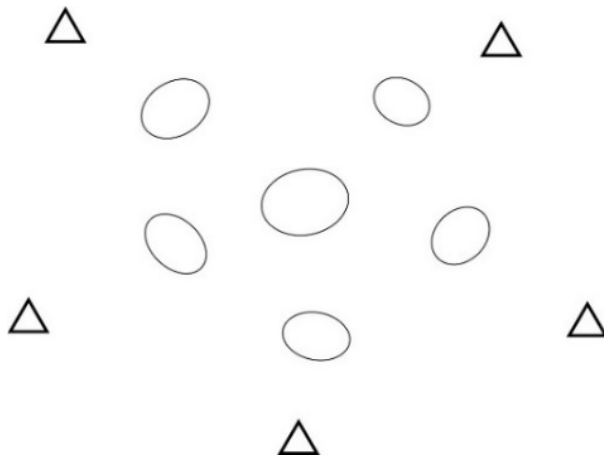
Men de påverkas även i hög grad av

- nypunkternas läge i förhållande till utgångspunkterna (om de senare behålls som fasta i utjämnings).

### Osäkerhetsellipser

I 2D kan lägesosäkerheten även redovisas med hjälp av *osäkerhetsellipser*. Den typen av grafisk redovisning kan snabbt – och visuellt – visa på styrkor och svagheter i lägesbestämningarna, både geometriska och mätningstekniska sådana. Osäkerhetsellipserna bör liksom standardosäkerheterna inte variera alltför mycket inom ett nät. De bör även vara nära cirkulära till sin form. Se exemplet i [Figur F.5](#).

**Figur F.5.** Redovisning av osäkerhetsellipser i ett plant stomnät. Utgångspunkterna – som betraktas som felfria – redovisas i form av trianglar.



**Men:** En stor eller oval osäkerhetsellips beror **inte** på felanhopningar i anslutning till den aktuella punkten, dvs. på fel i de **faktiskt** utförda mätningarna; och det gör inte heller stora standardosäkerheter.

Dessa mått beskriver endast vad som sker "i det långa loppet" – baserat på den **antagna** mätosäkerheten och nätgeometrin – samt, vi påminner om det, på avståndet till närmaste utgångspunkt. De blir därför litet svårtolkade – eller stereotypa – om dessutom utgångspunkterna förutsätts vara felfria. I nästa avsnitt visas dock att det finns bättre metoder.

### Lokal lägesosäkerhet

Även om den *absoluta lägesosäkerheten* har blivit allt viktigare i en tid med ett gemensamt nationellt referenssystem (SWEREF 99) – och där det går att mäta med nätverks-RTK mot fasta referensstationer som ligger flera mil bort – finns det fortfarande många tillämpningar där den *lokala lägesosäkerheten* är viktigast.

En lösning ligger då i att gå över till olika typer av **relativa** osäkerhetsmått, t.ex. standardosäkerheten i utjämnade avstånd. Detta mått är inte lika beroende på placeringen av, och avstånden till, utgångspunkterna och förutsätter inte heller att dessa är felfria.

Det är därför användbart som mått på den lokala lägesosäkerheten i en punkt i förhållande till **närliggande** stompunkter (till vilka mätningar gjorts) och har även den fördelen att det knyter ihop kontrollerbarhet och lägesosäkerhet.

Exempelvis kan ett övergripande mått på den lokala lägesosäkerheten i plan skattas som ([HMK-TR 2018:3](#), kapitel 6):

$$u(\text{lokal}) = u(\bar{l}) \cdot \sqrt{1 - k} \quad (\text{F.27})$$

där  $u(\bar{l})$  är standardosäkerheten för en "fiktiv" längdmätning av det **genomsnittliga** avståndet mellan punkterna i nätet. Denna storhet kan alltså beräknas om mätosäkerheten och  $k$ -talet är kända. Måttet bedöms ligga mycket nära den intuitiva uppfattningen om vad lägesosäkerhet är och är främst avsett för överslagsberäkningar.

Exempel: Om  $k$  sätts till det rekommenderade gränsvärdet 0,5 erhålls följande skattning av den genomsnittliga, lokala lägesosäkerheten i plan för nätets nypunkter:

$$u(\text{lokal}) \approx u(\bar{l}_i) \cdot \sqrt{1 - 0,5} = 0,71 \cdot u(\bar{l}_i)$$

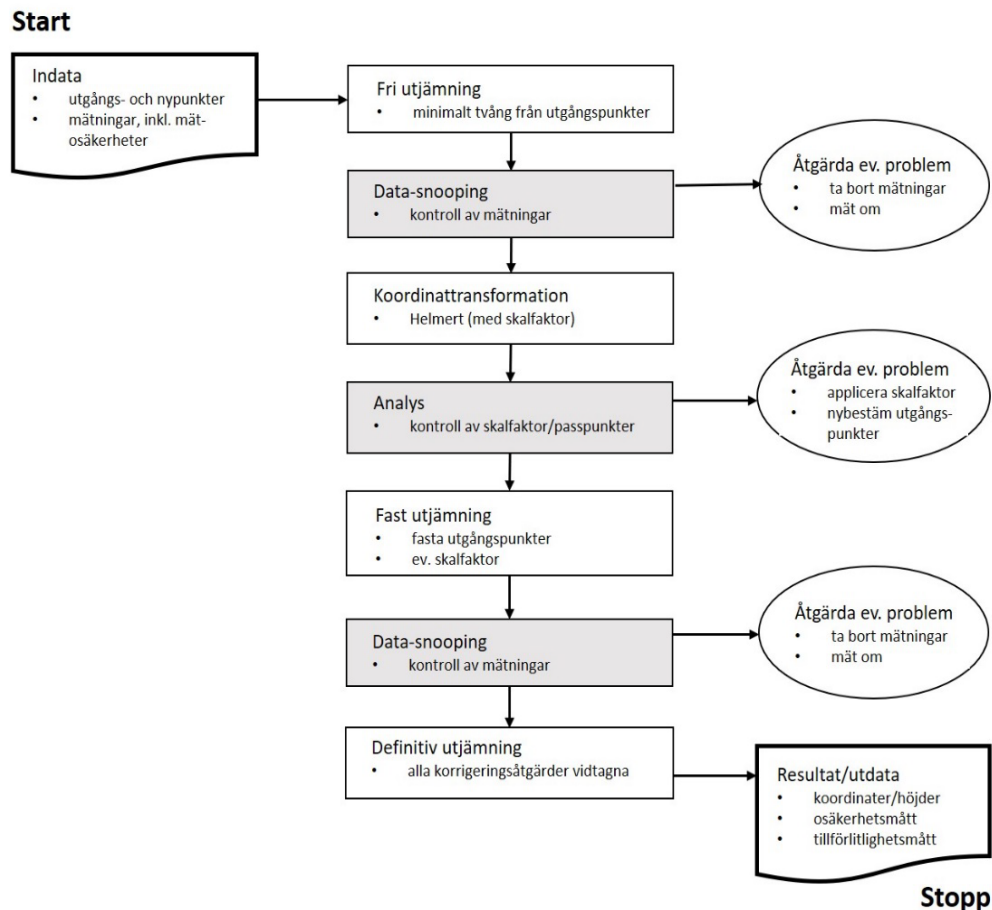
En genomsnittlig längdosäkerhet i det aktuella nätet på 10 mm skulle alltså ge en lokal lägesosäkerhet i plan (2D) på ca. 7 mm.

### Fri station - stomnätskomplettering

Om nätet bara består av en nypunkt, med direkta sikter till omgivande utgångspunkter, är dock standardosäkerheten i plan och osäkerhetsellipser bra mått på nypunktens lägesosäkerhet i plan – i förhållande till dessa utgångspunkter. Så är fallet vid etablering av en fri station mot kända utgångspunkter, vid t.ex. terrester detaljmätning eller förtätning/komplettering av ett stomnät, se [avsnitt 3.2.5](#).

## F.6 Sammanfattning – exempel på beräkning och analys av triangelnät (2D)

Figur F.6. Flödesschema för beräkning och analys av triangelnät.



Beräknings- och analysprocessen i samband med 2D-nät kan sammanfattas i följande steg (se [Figur F.6](#)):

1. Gör en fri utjämnung av nätet genom att låsa exakt så många storheter som krävs för att få ett beräkningsresultat utan yttre tvång.
2. Genomför en grovfelssökning med data-snooping för att detektera och åtgärda eventuella grova mätfel. Upprepa om flera fel upptäcks.
3. Gör en koordinattransformation av det fria nätet genom inpassning på de fasta utgångspunkterna (Unitär transformation + Helmerttransformation, se [HMK-TR 2018:3 \[4\]](#), kapitel 7.)

4. Analysera den beräknade skalfaktorns signifikans och utgångspunkternas avvikelser.
5. Lås koordinaterna för de utgångspunkter som klarat kontrollen i punkt 4. Är skalfaktorn signifikant skild från ett (1) skalas samtliga avstånd om med den nybestämda faktorn.
6. Gör en fast utjämning av nätet.
7. Genomför en ny grovfelssökning med data-snooping för att detektera och åtgärda eventuella "nyttillkomna" grova mätfel. Upprepa om flera fel upptäcks.
8. När allt verkar OK, gå vidare till resultatredovisningen.

## Bilaga G: God mätsed

*God mätsed* (Engberg & Persson, 2010, [8]) är inte knuten till någon viss mätmetod eller mätutrustning utan avser "sanningar" som är mer eller mindre allmängiltiga. (Smärre förändringar ha gjorts i förhållande till den angivna referensen.)

### Information

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

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