

HMK
- handbok i mät- och kartfrågor

Stommätning

2024



Förord till version 2024

HMK - Stommätning 2024 har tagits fram av en arbetsgrupp på enheten för geodetisk infrastruktur, Lantmäteriet, med stöd av intressenter inom mätbranschen. Lantmäteriets arbetsgrupp har bestått av Linda Ahlm, Fredrik Dahlström, Tomas Holmberg, Lars Jämtnäs, Emil Mårtensson och Kent Ohlsson.

Den nya versionen av handboken har varit tillgänglig för granskning via öppen remiss på Lantmäteriets webbplats från december t.o.m. februari 2024. Information om remissen har delgivits i HMK-nyhetsbrev och via HMK:s grupper för intressentsamverkan. Noterbara förändringar i den nya versionen är bl.a.

- en ny typ av hänvisningsbara textutor med rubriken "Grundutförande"; dessa är riktlinjer som i normalfallet följs vid fackmässigt utförande av stommätning,
- kompletterande beskrivning av de systematiska effekter som påverkar vertikalvinklar, samt en metod för att kunna hantera sådana effekter i vissa stomnätstillämpningar (från Bagherbandi m.fl., 2023 och Shirazian m.fl, 2021- se referensförteckning i kapitel 7),
- kompletterande text, figurer och mallar som stöd för planering och genomförande av stommätning med GNSS,
- förtydliganden kring olika kalibreringsförfaranden för mätinstrument,
- exempel, där text nu anges i gråfärgade rutor.

I övrigt är stora delar av handboken intakt sedan version 2020 som ingick i en samlad revidering av alla geodesihandböckerna inom HMK. Arbetsgruppen som tog fram 2020 års version bestod av Ronny Andersson (Sweco), Matti Horn (Trafikverket) samt Clas-Göran Persson, Kent Ohlsson och Lars Jämtnäs (samtliga Lantmäteriet).

Vi vill tacka alla engagerade intressenter som inkommit med synpunkter före och under remisstiden och som därmed bidragit till den nya versionen.

2024-05-30

Lars Jämtnäs, Lantmäteriet

Innehållsförteckning

Förord till version 2024	2
1 Inledning	9
1.1 Om dokumentet.....	9
1.1.1 Syfte och avgränsningar.....	9
1.1.2 Disposition.....	9
1.1.3 Terminologi	11
1.1.4 Texttrutor i handboken.....	11
1.1.5 Relation till andra handböcker och specifikationer	12
1.2 Om Handbok i mät- och kartfrågor	14
1.2.1 Publicering och förvaltning av HMK.....	14
1.2.2 Målgrupp	15
1.2.3 Tillämpning av HMK	15
2 Om stommätning.....	17
3 Planering inför stommätning.....	19
3.1 Arbetsprocessen vid stommätning	20
3.2 Utformning av olika stommätstyper.....	21
3.2.1 Höjdnät.....	24
3.2.2 Terrestra 2D-nät	28
3.2.3 Terrestra 3D-nät	33
3.2.4 GNSS-nät.....	37
3.2.5 Förtätning, reovering och komplettering.....	45
3.3 Analys av nätdesign.....	48
3.3.1 Nätsimulering av plana 2D-nät	51
3.4 Fältrekognosering.....	52
3.5 Redovisning av planerad stommätning.....	54
3.6 Mätutrustning	56
3.6.1 Vid avvägning	58
3.6.2 Vid totalstationsmätning	59
3.6.3 Vid GNSS-mätning	61
3.6.4 Övrig utrustning	63
3.7 Markering av stompunkter	65
4 Genomförande av terrester stommätning	69
4.1 Avvägning av höjdskillnader	71
4.2 Totalstationsmätning av längder och vinklar.....	73
4.2.1 Riktningsmätning med totalstation.....	74
4.2.2 Längdmätning med totalstation	74
4.2.3 Trigonometrisk höjdmätning	75
4.2.4 Fri station som stommätningssmetod.....	78
4.2.5 Centrerung och hantering av excentriciteter.....	79
4.3 Korrektioner	81
4.4 Kontroll av slutningsfel i slingor.....	82
4.4.1 Förhandskontroll av höjdnät – ett exempel	82

4.4.2	Kontroll av andra typer av nät.....	84
5	Genomförande av stommätning med GNSS	85
5.1	Statisk GNSS-mätning.....	85
5.1.1	Sessionsplanering och observationstider	86
5.1.2	Mätförhållanden.....	89
5.1.3	Instrumentuppställning och sessionsdokumentation	92
5.2	Baslinjeberäkning.....	94
5.2.1	Indata vid baslinjeberäkning.....	95
5.2.2	Val av programvara och programinställningar.....	99
5.2.3	Kriterier för godkänd baslinjeberäkning	101
5.3	Kontroller efter baslinjeberäkning.....	102
5.3.1	Upprepad mätning av baslinjer	102
5.3.2	Slutningsfel i baslinjeslingor	103
5.3.3	Kontroll av baslinje med totalstation	104
5.4	Alternativa GNSS-metoder för enstaka utgångspunkter.....	105
5.4.1	Mätning med GNSS/RTK	105
5.4.2	Användning av Swepos beräkningstjänst.....	106
6	Beräkning och analys av stornät.....	109
6.1	Utjämningsprocessen.....	109
6.1.1	Den generella processmodellen.....	109
6.1.2	Några viktiga verktyg vid beräkning och analys.....	110
6.2	Höjdnät.....	114
6.2.1	Förhandskontroll	115
6.2.2	Viktsättning	115
6.2.3	Preliminär beräkning.....	115
6.2.4	Analys.....	115
6.2.5	Slutgiltig beräkning	117
6.2.6	Resultatredovisning.....	117
6.3	Polygonnät.....	117
6.3.1	Förhandskontroll	118
6.3.2	Viktsättning	118
6.3.3	Preliminär beräkning.....	119
6.3.4	Analys.....	119
6.3.5	Slutgiltig beräkning	119
6.3.6	Resultatredovisning.....	119
6.4	Triangelnät.....	120
6.4.1	Förhandskontroll	121
6.4.2	Viktsättning	121
6.4.3	Preliminär beräkning.....	121
6.4.4	Analys.....	121
6.4.5	Slutgiltig beräkning	122
6.4.6	Resultatredovisning.....	122
6.5	Terrestra 3D-nät.....	122
6.5.1	Förhandskontroll	124

6.5.2	Viktsättning	124
6.5.3	Preliminär beräkning.....	124
6.5.4	Analys.....	124
6.5.5	Slutgiltig beräkning	124
6.5.6	Resultatredovisning.....	124
6.6	GNSS-nät.....	125
6.6.1	Förhandskontroll	126
6.6.2	Viktsättning	126
6.6.3	Preliminär beräkning.....	127
6.6.4	Analys.....	127
6.6.5	Slutgiltig beräkning	128
6.6.6	Resultatredovisning.....	128
6.7	Speciella utjämningsmetoder.....	128
6.7.1	Elastisk utjämning.....	128
6.7.2	Kombinerad utjämning.....	129
7	Referenser/Läs mer	131
7.1	Referenser i löptext, figurer m.m.....	131
7.2	Lästips.....	132
Bilaga A	: Handbokens numrerade rikt- linjer	133
A.1	Samtliga grundutföranden och rekommendationer.....	134
A.2	Användning av grundutförande vid kravställning.....	148
Bilaga B	: Produktionsdokumentation.....	151
B.1	Planeringsrapport.....	151
B.2	Stomnätsredogörelse	151
B.3	Resultatrapport från beräkning/analys	152
B.3.1	Höjdnät.....	153
B.3.2	Polygonnät	153
B.3.3	Triangelnät.....	153
B.3.4	GNSS-nät.....	154
B.3.5	Terrestra 3D-nät	154
Bilaga C	: Mätosäkerheter och toleranser	156
C.1	Mätosäkerhetsfunktioner.....	156
C.1.1	Riktningmätning	156
C.1.2	Längdmätning	157
C.1.3	Avvägning	158
C.1.4	Trigonometrisk höjdmätning	159
C.1.5	GNSS-mätning av baslinjer	160
C.2	Balansering av mätosäkerhet vid längd- och riktningmätning.....	161
C.3	Lägesosäkerhet i utgångspunkter	162
C.3.1	SWEREF 99	162
C.3.2	RH 2000	163
C.4	Toleransbaserade kontroller.....	163
C.4.1	Avvägda höjdskillnader.....	164
C.4.2	Trigonometriskt mätta höjdskillnader	164

C.4.3	Spridning mellan helsatser vid riktningsmätning	165
C.4.4	EDM-mätta längder	166
C.4.5	GNSS-baslinjer	167
C.4.6	Kontroll av GNSS-baslinjer med EDM	168
C.4.7	Höjdslutningsfel i slingor	168
C.4.8	Vinkelslutningsfel i slingor.....	169
C.4.9	Koordinatslutningsfel i slingor för polygontåg i polygonnät... 169	
C.4.10	Slutningsfel i baslinjeslingor	170
C.4.11	Viktsenhetens standardosäkerhet.....	171
C.4.12	Slutningsfel i höjdtåg efter utjämning.....	172
C.4.13	Slutningsfel i polygontåg efter utjämning.....	173
Bilaga D : Kalibrering och kontroll av mätinstrument		174
D.1	Kalibrering.....	174
D.1.1	Systemkalibrering.....	174
D.1.2	Fältkalibrering.....	174
D.2	Olika typer av instrumentfel.....	175
D.2.1	Avvägningsinstrument	176
D.2.2	Totalstation	176
Bilaga E : Hantering av olika systematiska effekter vid stommätning.....		178
E.1	Korrektion för jordkrökning och refraktion vid trigonometrisk höjdmätning	178
E.2	Atmosfärskorrektion av mätta längder	182
E.3	Lutningskorrektion av mätta längder.....	183
E.4	Höjd- och projektionskorrektion av avstånd.....	183
E.4.1	Höjdkorrektion.....	184
E.4.2	Projektionskorrektion.....	185
E.5	Metod för att hantera de systematiska effekterna på vertikalkvinklar i 2D-nät.....	187
Bilaga F : Planering, beräkning och analys av stornät – några grundbegrepp		190
F.1	Stornätsutjämning	190
F.2	Kontrollerbarhet och k-tal	191
F.2.1	Relationen mellan förbättring och grovt fel.....	192
F.3	Sökning efter grova fel.....	193
F.3.1	Test av viktsenhetens standardosäkerhet.....	193
F.3.2	Data-snooping	194
F.3.3	Pope's kriterium och 2-dimensionell data-snooping.....	195
F.4	Tillförlitlighet	197
F.4.1	Inre och yttre tillförlitlighet.....	197
F.4.2	Beräkning av δo	198
F.5	Osäkerheten i utjämnade storheter	199
F.5.1	Osäkerhetsellipser.....	200
F.5.2	Lokal lägesosäkerhet	200

F.5.3	Fri station - stomnätskomplettering	201
F.6	Sammanfattning – exempel på beräkning och analys av triangelnät (2D).....	202
	Bilaga G: Exempel på protokoll för GNSS-mätning.....	204
	Bilaga H: Kort ordlista till handboken	206
	Bilaga I: God mätsed	210

1 Inledning

1.1 Om dokumentet

Information

- Handboken *HMK – Stommätning 2024* innehåller stöd för planering och utförande av geodetisk stommätning med de vanligast förekommande mätteknikerna – höjdavvägning, totalstationsmätning och statisk GNSS-mätning av baslinjer.
- Innehållet i handboken är huvudsakligen riktat mot utförare, men även beställare kan få visst stöd för kravställning.
- Handboken innehåller hänvisningsbara textrutor med olika rubriker och manér/färger. Vid hänvisning till textrutorna i kravställning, upphandlingsunderlag eller motsvarande är det viktigt att beställare och utförare är överens om hur de olika typerna av rutor ska tolkas och tillämpas.

1.1.1 Syfte och avgränsningar

HMK – Stommätning 2024 innehåller råd och riktlinjer för utförande av geodetisk stommätning. Syftet med handboken är framför allt att bidra till fackmässig hantering av stommätning och ett förhållningssätt där kvalitet beaktas i alla delar av arbetsprocessen – det som i vissa sammanhang kallas ”god mätsed”. Fokus i handboken ligger på utförarens arbetsprocess, även om handboken också kan ge visst stöd för kravställning.

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

För information om specifika mätningstekniska produkter och tjänster hänvisas till manualer, specifikationer m.m. från respektive tillverkare eller tjänsteleverantör.

1.1.2 Disposition

Här följer en sammanfattning av innehållet i handbokens kapitel och bilagor:

- Kapitel 1 (detta kapitel) innehåller en kort introduktion till handboken och till HMK i allmänhet.

- Kapitel 2 ger en översiktlig beskrivning av stommätning och introducerar flera av de grundläggande begreppen inom området.
- Kapitel 3 tar upp aspekter som bör ingå i planering och förberedelser, bl.a. utformning av olika stomnätstyper, rekognosering i fält och hantering av mätutrustning.
- Kapitel 4 beskriver genomförande av terrester stommätning, dvs. avvägning och totalstationsmätning.
- Kapitel 5 beskriver genomförande av stommätning med GNSS-teknik.
- Kapitel 6 beskriver beräkning och analys av de olika stomnätstyperna.
- Kapitel 7 redovisar referenser i handboken och lästips. Referenser som finns i löptext, figurer m.m. anges med hakparenteser.
- Bilaga A innehåller en sammanställning av samtliga grundutförande- och rekommendationsrutor som förekommer i handboken, samt exempel på hur dessa kan tillämpas vid 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 kalibrering av mätinstrument.
- Bilaga E tar upp hur olika systematiska effekter kan hanteras vid stommätning, t.ex. genom korrektioner av mätdata.
- Bilaga F redovisar grundbegreppen i samband med beräkning och analys av stomnät.
- Bilaga G innehåller mallar som kan vara användbara vid planering och genomförande av GNSS-mätning i sessioner.
- Bilaga H innehåller en ordlista med de viktigaste termerna och förkortningarna i handboken.
- Bilaga I, slutligen, innehåller en sammanfattande beskrivning av "god mätsed".

1.1.3 Terminologi

De viktigaste termerna och förkortningarna i handboken förklaras i ordlistan i Bilaga H. Den första gången dessa termer förekommer i handbokens löptext (fr.o.m. kapitel 2) finns länk till förklaringen i ordlistan. Fler ord och begrepp som kan vara relevanta för ämnesområdet finns i handboken *HMK – Ordlista och förkortningar*, senaste version.

Terminologin i handboken har i möjligaste mån anpassats till övriga HMK för att alla handböcker kunna tolkas och användas på ett entydigt sätt. Det finns ingen ambition att denna terminologi ska vara normerande utanför HMK-sammanhang. Däremot försöker handboken följa standardiserad eller vedertagen terminologi där sådan finns.

Ett exempel är den tvärvetenskapliga GUM-terminologin [1] som tillämpas genomgående inom HMK. Viss svenskspråkig anpassning av denna terminologi har gjorts inom geodesi- och geografiområdet – exempelvis termen "lägesosäkerhet".

1.1.4 Texttrutor i handboken

Tre olika typer av texttrutor förekommer i inledningen av numrerade handboksavsnitt:

- *Gula texttrutor* med rubriken "Grundutförande" är hänvisningsbara riktlinjer som i normalfallet följs. Grundutförande kan ses som en branschgemensam miniminivå för utförandet, baserat på beprövade och etablerade arbetsmetoder.
- *Blå texttrutor* med rubriken "Rekommendation" är hänvisningsbara riktlinjer som utföraren bör beakta. Rekommendationerna kan ses som råd eller tips utöver grundutförandet. I vissa situationer behöver både grundutförande och rekommendationer följas för att utförandet ska anses fackmässigt. Rekommendationerna kan då vara en lämplig utgångspunkt för dialog mellan beställare och utförare.
- *Vita texttrutor* med rubriken "Information" innehåller beskrivningar eller sammanfattningar som inte är normerande.

Utöver dessa förekommer även *grå texttrutor* som ger exempel på sådant som beskrivs i löptext och figurer. Texttrutor med rubriken "Krav" förekommer inte i *HMK-Stommätning 2024*. Kravställning kan dock ske med stöd av handboken, till exempel genom att hänvisa till grundutförande, kompletterat med vissa rekommendationer. Se Bilaga A.2 för instruktioner och exempel. Se även under rubriken *Tillämpning av HMK* i avsnitt 1.2.3.

1.1.5 Relation till andra handböcker och specifikationer

Flera handböcker och specifikationer figurerar i stommätningssammanhang. För att tydliggöra hur *HMK – Stommätning 2024* förhåller sig till dessa följer här en kort beskrivning:

HMK – Geodetisk infrastruktur 2021

...beskriver de grundläggande stomnätstyperna och deras typiska användningsområden. Klassificeringen av stomnätstyper definierades ursprungligen i projektet Svensk geoprocess och har i stora delar även anammats i NS Stompunkt (se nedan). Det är framför allt etableringen av dessa stomnätstyper som tas upp i *HMK – Stommätning 2024*.

HMK: Geodesi, Stommätning (äldre HMK, 1993)

...är en av handböckerna som ingick i Lantmäteriets ursprungliga HMK-serie från 1990-talet, dvs. "Handbok till Mätningkungörelsen". Den utgör därmed en tidig föregångare till denna handbok, *HMK-Stommätning 2024*.

Eftersom SIS-TS 21143:2016 (se nedan) hänvisar till *HMK: Geodesi, Stommätning* är det viktigt att känna till att denna äldre handbok inte ingår i nuvarande HMK-förvaltning, även om handboken finns tillgänglig via Lantmäteriets webbplats. Handboken har inte uppdaterats sedan 1990-talet – så när som på en aktualitetsbeskrivning som inkluderades 2009 i samband med att mätningkungörelsen upphörde.

HMK: Geodesi, Markering (äldre HMK, 1996)

...är en av handböckerna som ingick i den ursprungliga HMK-serien från 1990-talet, dvs. "Handbok till Mätningkungörelsen". Handboken innehåller riktlinjer för markering, vilket omfattar både stompunkter och gränspunkter. Vissa riktlinjer är fortfarande relevanta, även om flera markeringstyper/-produkter naturligtvis har tillkommit sedan publiceringen.

HMK- Geodesi, Markering ingår i Lantmäteriets nuvarande förvaltning av HMK, bl.a. eftersom *HMK-Stommätning 2024* hänvisar till denna. Se även 1.2.2. Liksom för övriga handböcker i den äldre HMK-serien är det viktigt att notera den inledande aktualitetsbeskrivningen. Den senaste aktualitetsbeskrivningen gjordes 2020.

HMK-Bygg och anläggning (HMK-BA, del 1–4)

...är en äldre fristående handboksserie som behandlar byggsektorns mät- och kartfrågor och kompletterade den äldre HMK-serien från

1990-talet. Mycket av innehållet i handböckerna kan betraktas som allmängiltigt, medan andra delar blivit föråldrade p.g.a. inaktuella hänvisningar (specifikationer, lagstiftning, namn på myndigheter), teknik, referenssystem m.m. För en mer detaljerad aktualitetsbeskrivning hänvisas till den tekniska rapporten [HMK-TR 2018:2 \(pdf 2.0 Mb, nytt fönster\)](#).

SIS-TS 21143

... är en teknisk specifikation för geodetisk mätning vid olika typer av bygg- och anläggningsprojekt, ofta av långsträckt natur, som har tagits fram av SIS (Svenska institutet för standarder) tekniska kommitté för byggmätning och toleranser, SIS/TK 178. Den fullständiga beteckningen är: *Teknisk specifikation, SIS-TS 21143:2016, Byggmätning – Geodetisk mätning, beräkning och redovisning av byggnadsverk och infrastruktur.*

Denna specifikation anger krav för olika användningsfall samt specialtillämpningar. Dokumentet innehåller rekommendationer som baseras på beprövad geodetisk teknik-, system- och metodutveckling, bl.a. med hänvisning till *HMK-Geodesi, Stommätning* (se rubrik ovan). Specifikationen saknar dock hänvisningar till mer moderna HMK-handböcker, dvs. från 2013 och framåt.

TDOK 2014:0571 och TDOK 2014:0572

...innehåller de krav och råd som gäller för geodetiska mätningar och geografisk lägesbestämning inom Trafikverkets verksamhet. Dokumenten har en stark koppling till SIS-TS 21143:2016. Trafikverket bör kontaktas vid frågor som gäller eventuell tillämpning av SIS-specifikationer inom ramen för deras uppdrag/upphandlingar.

Nationell specifikation för Stompunkt

En nationell specifikation (NS) för det geografiska temat "stompunkt" lanseras i en första version under 2024, se <https://www.lantmateriet.se/sv/nationella-geodataplattformen/datamangder/stompunkter/>.

Specifikationen kommer att ligga till grund för utbyte av stompunktsinformation mellan olika aktörer i samhällsbyggnadsprocessen via den Nationella Geodataplattformen (NGP). Specifikationen kan även användas av stompunktsägande organisationer som stöd till vilken information som bör lagras kring stompunkter efter ett genomfört stomnätsprojekt eller vid ajourhållningsinsatser.

Specifikationen kommer till stora delar att följa samma terminologi om stomnät som HMK, men med en viss nyansskillnad:

- I HMK-Stommätning används termen *stompunkt* om markerade punkter som har mätts, beräknats och utjämnats gemensamt. Sådana stompunkter utgör tillsammans ett *stomnät*. Undantag från denna definition anges i förekommande fall, t.ex. i de avsnitt som handlar om komplettering eller renovering av stomnät.
- I Nationell specifikation används termen *stompunkt* lite friare och kan även inkludera markerade punkter där koordinaterna har bestämts vid senare tillfälle (t.ex. med GNSS/RTK) och där äldre (utjämnade) koordinater således inte längre används. *Stomnät* ska här mer ses som en pragmatisk kategori, med mer fokus på förvaltning och informationshantering än på tillkomst.

1.2 Om Handbok i mät- och kartfrågor

Information

- Notera att olika versioner av handböcker i HMK-serien betecknas med unika årtal.
- Eventuella justeringar av den här handboksversionen kommer att redovisas i en separat bilaga.
- Frågor och synpunkter som avser handboken eller HMK i stort kan skickas till HMK-brevlådan: hmk@lm.se

1.2.1 Publicering och förvaltning av HMK

HMK – Handbok i mät- och kartfrågor – publiceras i syfte att bidra till ökad enhetlighet, samordning och kvalitet inom geodataområdet.

Samtliga HMK-handböcker publiceras i PDF-format och finns tillgängliga avgiftsfritt via Lantmäteriets webbplats: lantmateriet.se/hmk. På webbplatsen finns även

- tekniska rapporter som innehåller ämnesfördjupning, omvärldsbevakning, etc. som komplement till handböckerna
- frågor och svar, både om HMK generellt och om specifika handböcker,
- exempel på tillämpningar av HMK.

Utöver detta finns webbutbildningar inom HMK via [Lantmäteriet lärplattform \(nytt fönster\)](#).

HMK förvaltas av Lantmäteriet, med stöd av olika intressenter inom geodata- och mätningområdet. Den viktigaste samverkansformen för detta är HMK:s referensgrupp. Referensgruppen utför fackgranskning

av HMK-dokumenten inför publicering samt ger förslag till framtida revideringar och nya dokument.

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

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

1.2.2 Målgrupp

HMK riktar sig till yrkesverksamma inom geodata- och samhällsbyggnadsområdet, främst som stöd vid kravställning/beställning eller genomförande av geodatainsamling, eller vid framtagande av geodataprodukter.

Vissa handböcker är skraddarsydda för att stödja utformning och användning av tekniska specifikationer vid upphandling. I övrigt är mycket av innehållet i HMK av allmän karaktär och kan användas i valfri utsträckning vid egen utformning av kravspecifikationer, regelverk eller arbetsrutiner.

Vid geodetisk mätning och övrig användning av geodetisk infrastruktur hänvisas till handböcker enligt Tabell 1.

Tabell 1. Senaste versionerna av HMK-handböckerna inom geodesi.

Fullständigt dokumentnamn	Kortform
HMK – Geodetisk infrastruktur 2021 (pdf)	HMK-GeInfra 2021
HMK – Stommätning 2024 (pdf)	HMK-Stom 2024
HMK – Terrester detaljmätning 2021 (pdf)	HMK-TerDet 2021
HMK – GNSS-baserad detaljmätning 2021 (pdf)	HMK-GnssDet 2021
HMK- Terrester laserskanning 2021 (pdf)	HMK-TerLas 2021
HMK-Geodesi: Markering (publicerad 1996, med senaste aktualitetsbeskrivning från 2020)	HMK-Ge: M

1.2.3 Tillämpning av HMK

HMK är ingen myndighetsföreskrift, utan publiceras som ett allmänt stöd för yrkesverksamma och studerande inom geodataområdet.

HMK kan dock stödja kravställning på olika sätt:

- Krav som baseras på föreskrift/förordning återges i handböckerna. Dessa krav ska alltid följas, oavsett vilka övriga krav som specificeras av beställare.
- Krav kan formuleras inom ramen för en teknisk specifikation, med hänvisning till HMK. Vissa HMK-handböcker ger stöd för upprättande av en teknisk specifikation, vilket inkluderar förslag på krav vid utförande.
- Krav kan också formuleras via hänvisning till *grundutförande* och *rekommendationer* enligt en eller fler HMK-handböcker. Grundutförande kan ses som en miniminivå vad gäller utförandet – en ”minsta branschgemensamma nämnare” som baseras på beprövad erfarenhet. Grundutförandet är dock inga bransch- eller myndighetskrav. I vissa fall behöver grundutförandet kompletteras med rekommendationer för att nå upp till fackmässig nivå.

Krav som definieras med stöd av HMK blir juridiskt bindande endast i den mån de inkluderas i upphandlingsunderlag, avtal eller regelverk som hänvisar till HMK. I dessa fall förutsätts korrekt tillämpning av hänvisningsregler enligt [HMK – Introduktion 2017](#), avsnitt 1.7.

Generella frågor om upphandling, tillstånd och sekretess behandlas i [HMK – Introduktion 2017](#), kapitel 3.

2 Om stommätning

Information

- Stommätning avser geodetisk mätning i syfte att etablera, komplettera, renovera eller kontrollera stomnät.
- Stommätning utförs med GNSS-mottagare, totalstation eller avvägningsinstrument.
- Stommätning utförs alltid med överbestämning för att möjliggöra kontroller och kvalitetsbedömning.
- Fackmässigt 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 i ett sammanhang genom geodetisk mätning och **nätutjämning**. Denna process benämns **stommätning** och kan också avse komplettering eller renovering av befintliga stomnät.

Stomnätets utformning – punktplacering, utbredning m.m. – beror på tänkt användning. För att ett stomnät ska kunna mätas in och användas på ett ändamålsenligt sätt förutsätts stabil och varaktig **markering** av stompunkterna på platser som är åtkomliga för framtida geodetisk mätning eller geodatainsamling.

Anslutning av stomnätet 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 som endast går att använda i ett begränsat område (t.ex. så kallade 1000/1000-system inom äldre förrättningsverksamhet).

Stommätning sker med totalstation, avvägning eller **GNSS**-teknik. Mätdata utgörs då 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 **nypunkternas** plan- och höjdlägen med god **kontrollerbarhet** och **tillförlitlighet**. Observationernas **mätosäkerhet** och utgångspunkternas

lägesosäkerhet påverkar den kvalitet med vilket stornätets nypunkter kan bestämmas. Goda **närsamband** etableras genom observationer mellan närliggande punkter.

Dokumentation, **egenkontroller** och instrumentkalibrering är viktiga inslag i arbetsprocessen, och förutsätts ingå i fackmässigt utförande av stommätning;

- Fortlöpande dokumentation av planering, mätningar, beräkningar, analyser m.m. underlättar felsökning och kvalitetsbedömning, och ger möjlighet till framtida uppföljning eller komplettering av stornätet.
- Egenkontroller utför utföraren på eget initiativ för att kvalitetssäkra olika delar av sin arbetsprocess. Egenkontroller kompletterar de verifierande kontroller som syftar till redovisning och utvärdering av produktionsresultatet.
- Mätinstrument och övrig viktig utrustning som används vid stommätning förutsätts vara kontrollerade och vid behov kalibrerade. Instrumentkalibrering omfattar både **systemkalibrering** i samband med auktoriserad service och **fältkalibrering** av användare för att minimera systematiska effekter och mätfel.

HMK – Geodetisk infrastruktur, senaste version, innehåller en generell beskrivning av grundläggande stornätstyper: typiska användningsområden, relation till de nationella referenssystemen, förvaltningsmässiga frågeställningar m.m.

3 Planering inför stommätning

Information

- Nya stomnät planeras utifrån tänkt användning, mätningstekniska förutsättningar samt kvalitetskrav.
- God planering, oberoende kontroller och fortlöpande dokumentation underlättar arbetsprocessen vid etablering av stomnät.
- Fortlöpande dokumentation av mätprocessen är en förutsättning för spårbarhet, egenkontroll och kvalitetsbedömning av resultatet.

Rekommendation

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

En väl genomförd planering gör det möjligt att genomföra och dokumentera stommätningen på ett resurseffektivt sätt. Vid planeringen utgår utföraren från beställarens önskemål och beaktar bl.a.

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

Stomnätets tänkta användning styr vilken utformning som kan vara aktuell; därefter sker en anpassning till de mätningstekniska förutsättningarna och kvalitetskraven.

Val av mätmetodik, egenkontroller och dokumentation är några av de redskap som utföraren använder för att hantera och balansera dessa aspekter så att det fortsatta arbetet löper smidigt ger ett gott resultat.

Arbetsprocessen underlättas också av en fortlöpande dialog mellan utföraren och beställaren. Regelbundna avstämningar minskar risken för

olika tolkningar av den tekniska specifikationen och eventuella alternativ kan bedömas i god tid (t.ex. föreslagna avvikelser från [grundutförande](#), se Bilaga A.2). 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. Sätta sig in i 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 stommätprojekt m.m. Komplettera vid behov.
5. Ta fram ett preliminärt förslag för utformning och anslutning av stomnätet. Se avsnitt 3.2.

→ Avstämning med beställare

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 genomförande.
9. Dokumentera planerat genomförande av stommätning - vilka markeringar, mätningar och egenkontroller som ska utföras ("vad?"), vilka mätrutiner och toleranser som ska tillämpas ("hur?"), samt tidsmässiga aspekter ("när?"). Se avsnitt 3.5.

→ Avstämning/förankring 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, transformationer 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 stomnätredogörelse.

→ **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 egen arbetsprocess, t.ex. för internkommunikation.

3.2 Utformning av olika stomnätstyper

Grundutförande

- a) Förslag på utformning och anslutning av nytt stomnät stäms av med beställare innan punktmarkering och mätning påbörjas.
- b) Aktuella koordinat- och höjduppgifter för stomnätets utgångspunkter, samt var de härstammar från, tas med i resultatredovisningen.

Rekommendation

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

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

- Höjdnät (1D), se avsnitt 3.2.1
- Terrestra 2D-nät, se avsnitt 3.2.2

- Terrestra 3D-nät, se avsnitt 3.2.3
- GNSS-nät (beräknas i 3D, men kan tillämpas i 2D), se avsnitt 3.2.4.

I dessa avsnitt finns sedan hänvisningar till riktlinjer för den fortsatta arbetsprocessen – dvs. mätning, beräkning och analys för respektive stomnätstyp. Förslag på vilken information som bör dokumenteras och redovisas ges fortlöpande, och sammanfattas även i Bilaga B.

Olika stomnätstyper kombineras ibland via gemensamma markeringar. I dessa fall kan det dock fortfarande vara lämpligt att följa riktlinjerna för varje stomnätstyp separat.

Vissa av de beskrivna stomnätstyperna är relativt ovanliga vid nyetablering idag. Att dessa typer ändå tas upp i handboken kan motiveras med att de kan ligga till grund för viktig geodata och att kunskap om deras uppbyggnad och kvalitet därmed fortfarande kan behövas.

Tabell 2 ger en översikt av vilka mätmetoder som används vid etablering av de grundläggande stomnätstyperna. För fördjupning och illustration av olika stomnätstyper och nätformer hänvisas till [HMK – Geodetisk infrastruktur 2021 \(pdf, nytt fönster\)](#), kapitel 4.1 och underliggande avsnitt.

Tabell 2. Vanliga mätmetoder för olika stomnätstyper.

Stomnätstyp	Mätmetod
Höjdnät	Avvägning av höjdskillnader genom dubbelavvägning. Korresponderande trigonometrisk höjdmätning (eller motsvarande).
Terrestra 2D-nät	Riktningmätning i helsatser samt dubbelmätning av längder, med instrument- och signaluppställning över markering.
GNSS-nät	Statisk GNSS-mätning i sessioner, med beräkning av baslinjer. Antennuppställning över markering.
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. Se *HMK – Geodetisk infrastruktur*, senaste version, för mer information om de nationella referenssystemen SWEREF 99 och RH 2000, samt referensnät som kan användas för anslutning.

Den preliminära nätutformningen ger en bild av ungefärliga punkt-lägen och vilka mätningar som behövs. Analys av nätdesignen kan där-efter 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 ana-lysen. 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 mark-arbeten.
- kontroll av förekomsten av nedgrävda ledningar i arbets-området.
- 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 eventu-ella tjänster som finns för aktiva referensnät.
- möjliga siktlinjer mellan stompunkterna, utifrån ändamålet med stomnätet.
- om miljön är lämplig för tänkt mätmetod, t.ex. med avseende på sikthinder, refraktion, flervägsfel m.m.
- säkerhets- och arbetsmiljöaspekter för utföraren.

Nätutformningen och analysen utmynnar i ett planeringsunderlag 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 mot satelliter i GNSS-nät.
- Möjlighet till markering. Kontroll av att de lokala förhållandena medger stabil och varaktig markering som uppfyller kraven i den tekniska specifikationen.
- Mätningstekniska risker. Bedömning av sannolikheten för 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

Grundutförande

- Alla höjdtåg i ett höjdnät påbörjas och avslutas i kända utgångspunkter eller knutpunkter, med olika start- och slutpunkt.
- Anslutning av ett nytt höjdnät till RH 2000 sker via minst två kända utgångspunkter.

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 denna metod 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 \(pdf, nytt fönster\)](#).

Avsnittshänvisningar för riktlinjer beträffande mätutrustning, genomförande av mätning samt beräkning och analys finns i Tabell 3.

Tabell 3. Övriga avsnitt i HMK-Stommätning 2024 som tar upp etablering av höjdnät.

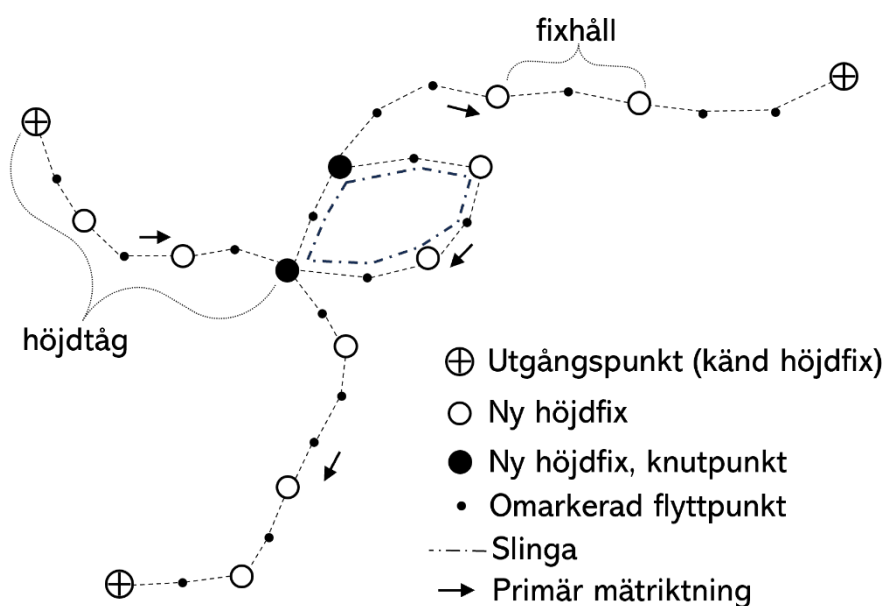
Mätutrustning	Avsnitt 3.6.1
Genomförande av mätning	Avsnitt 4
Beräkning och analys	Avsnitt 6.2

Nätutformning

Höjdnät byggs upp av ett eller flera höjdtåg, se Figur 1. 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.

I höjdtåg utgör *fixhåll* sträckorna mellan markerade höjdfixar. Höjdskillnaden i fixhållen 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.

Figur 1. Principiell utformning av höjdnät: Mätningen mellan två höjdfixar utgör ett fixhåll och flera fixhåll bildar tillsammans ett höjdtåg. Höjdtågens ändar består av knutpunkter och/eller kända utgångspunkter i överordnat höjdnät.



Höjdtåg avvägs normalt tur- och retur, s.k. dubbelavvägning, dvs. alla sträckor mäts två gånger – en gång i vardera riktningen (se avsnitt 4.1). Lika långa siktlängder bakåt och framåt i varje uppställning eftersträvas för att minimera systematiska effekter. Än viktigare är att summan av siktlängderna bakåt och framåt överensstämmer inom fixhålet. Vidare ger jämna avstånd mellan markerade höjdfixar bra förutsättningar för ett höjdnät av homogen kvalitet.

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

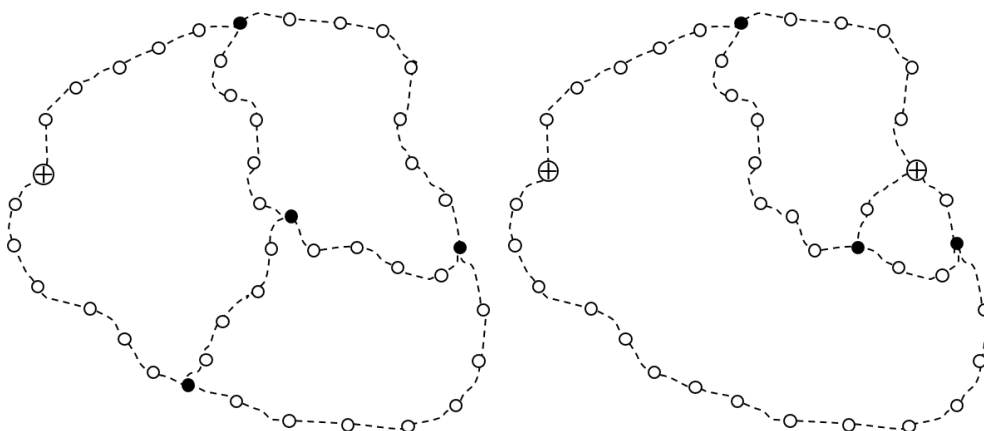
Kontrollerbarheten i ett höjdnät som bygger på avvägning via höjdtåg kan skattas enligt följande (se även Bilaga F.2):

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

där \ddot{o} är antalet överbestämningar, n är antalet observationer, t är antalet tåg, och p_k är antalet knutpunkter. k -tal i höjdnät beror alltså i första hand på antalet knutpunkter och deras fördelning/position i nätet; enskilda nypunkter inom höjdtåg har mycket låg kontrollerbarhet.

På grund av den låga kontrollerbarheten i höjdtåg och höjdnät är det viktigt att flera oberoende kontroller utförs före utjämningen, t.ex. av dubbelmätta höjdskillnader eller av slutningsfel. Slutningsfel kontrolleras antingen i slutna höjdslingor eller mellan utgångspunkter (som i sin tur är inbördes kontrollerade), se avsnitt 6.2.

Figur 2. 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 2 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 absolut lägesosäkerhet är lägre ställda [2].

Approximativ anslutning av höjdnät genom inpassning på punkter inmätta med GNSS-teknik 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 [3] kan användning av en efterberäkningstjänst vara ett alternativ till konventionell baslinjeberäkning, beroende på vilken absolut 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

Grundutförande

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

Rekommendation

- c) I terrestra 2D-nät bör sikt mot minst tre stompunkter eftersträvas i hela stomnätets användningsområde.
- d) I terrestra 2D-nät bör stompunkterna – om möjligt – placeras på ungefär samma höjd.
- e) Vid utformning av långsträckta, terrestra 2D-nät bör fackverksgeometri väljas framför tågformer.
- f) Polygontåg i polygonnät bör vara sträckta och av ungefär samma längd.
- g) Polygontåg bör innehålla högst fyra nypunkter.
- h) 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 4.

Tabell 4. Övriga avsnitt i *HMK-Stommätning 2024* som är relaterade till etablering av terrestra 2D-nät.

Mätutrustning	Avsnitt 3.6.2
Genomförande av mätning	Avsnitt 4.2
Utjämning och analys	Avsnitt 6.3-6.4

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) och dubbelmätning av längder. Horisontalriktningar, vertikalkvinklar och lutande längder kontrolleras/korrigeras separat innan observationerna utjämnas med minsta-kvadratmetoden för att erhålla koordinater i 2D.

Även om stomnätet avser 2D-tillämpning behöver ibland vissa 3D-aspekter beaktas i nätutformningen för att reducera påverkan från refraktion, jordkrökning och lodavvikelse vid mätning. Detta gäller särskilt vertikalkvinklar som används för att reducera de lutande längderna till horisontella avstånd mellan punkterna. Vid stora höjdskillnader och/eller långa mätsträckor kan ovannämnda systematiska effekter ha signifikant påverkan på vertikalkvinkelmätningarna, och därmed försämra stomnätets förväntade kvalitet. Se vidare i bilaga E.4.

Ett sätt att hantera detta redan vid nätutformningen kan därför vara att – om möjligt – placera stompunkterna på ungefär samma höjd. Om detta inte är möjligt eller rationellt finns istället mättnings- och beräkningsmässiga metoder för att minska behovet av vertikalkvinklar. Se vidare i avsnitt 4.2 samt bilaga E.4.

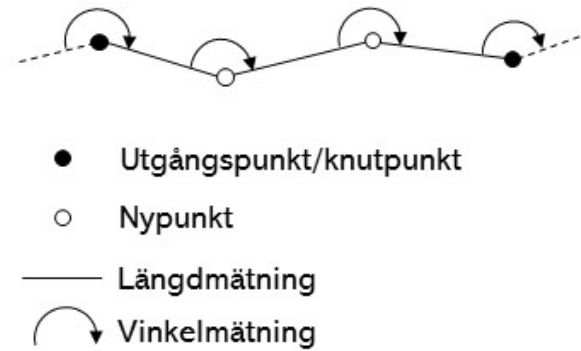
I undantagsfall används polygonnät när ett yttäckande triangelnät är mindre lämpligt p.g.a. begränsningar i miljön – t.ex. längs gatu- och vägnät eller genom byggnader. Polygonnät byggs upp av enskilda polygontåg, på motsvarande sätt som höjdnät byggs upp av höjdtåg.

Polygontåg utgörs alltså av kedjor av punkter, där stommätningen sker genom successiv polärmätning (längd- och riktningsmätning) från en punkt till nästa, se Figur 3.

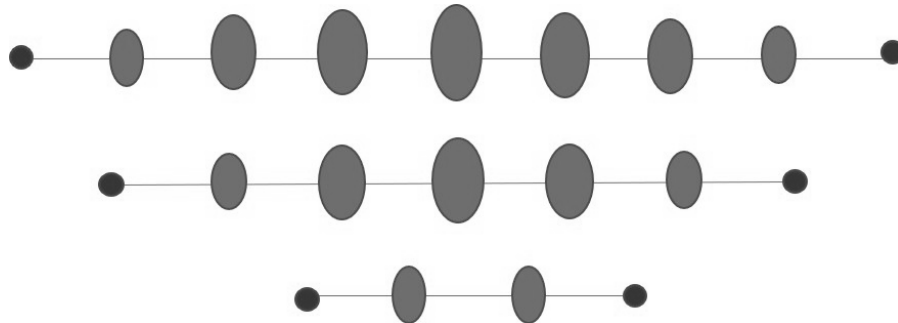
Kontrollerbarheten minskar med ökat antal punkter i polygontåget, och den förväntade lägesosäkerheten är som störst i mitten av tåget, se Figur 4. Polygonnät bör därför utformas så att de enskilda tågen blir relativt korta, alternativt sammankopplade med tvärtåg om avståndet

mellan parallella polygontåg är kort jämfört med tåglängderna, se Figur 5. Korsryfter, mätning tvärs genom nätet, kan också användas för att ge polygonformade stomnät ytterligare stabilitet. Beräkning av enskilda polygontåg beskrivs i [9].

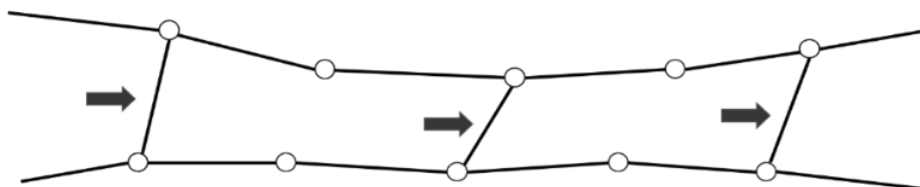
Figur 3. Polygontåg med successiva polärmätningar från en punkt till nästa. Anslutna polygontåg börjar och slutar i kända utgångspunkter och/eller knutpunkter.



Figur 4. Schematisk bild av hur osäkerhetsellipserna ser ut i polygontåg av olika längd.



Figur 5. Tvärtåg mellan parallella polygontåg bidrar till ökad kontrollerbarhet i en annars svag nätgeometri.



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

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

där \ddot{o} är antalet överbestämningar, n är antalet observationer, t är antalet tåg, och p_k är antalet knutpunkter.

I yttäckande terrestra 2D-nät, dvs. där polygonformen **inte** överväger, skattas kontrollerbarheten enligt:

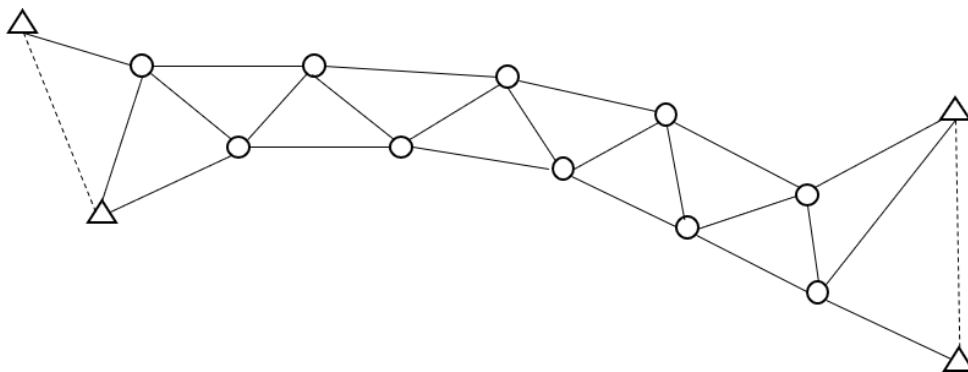
$$k = \frac{\ddot{o}}{n} = \frac{l+r-2p_n-o}{l+r} \quad (3.3)$$

där l är antalet mätta längder, r är totala antalet mätta riktningar i alla riktningsserier, p_n är antalet nypunkter och o är antalet orienteringsriktningar (en för varje riktningsserie/station). Observera att det alltså är inte är antalet brytvinklar som ska anges som r i formeln.

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 6.

Figur 6. 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 riktningmätning (streckade linjer).



Exempel

I det fackverksnät som illustreras i Figur 6 är antalet nypunkter $p_n=10$, antalet mätta längder $l=23$, antalet mätta riktningar $r=50$ och antalet orienteringsvinklar $o=14$. Fackverksnätets kontrollerbarhetstal blir då, enligt Formel (3.3):

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

Anslutningsalternativ

Terrestra 2D-nät kan anslutas till SWEREF 99 via överordnat passivt stomnät, t.ex. befintliga kommunala/nationella stompunkter, eller anslutningsnät som etablerats med GNSS-teknik. Anslutningsnätet har då vanligen realiserats via mätning direkt mot det aktiva Swepos-nätet. För vidare information om GNSS-nät, se avsnitt 3.2.4 för information om aktiva och passiva referensnät samt HMK – Geodetisk infrastruktur, senaste version ().

I sådana långsträckta tillämpningar som beskrivs i SIS-TS 21143:16 [6] och i HMK TR 2019:1 [7] utgörs anslutningsnäten vanligtvis av parvis placerade stompunkter med inbördes sikt för att möjliggöra orientering vid terrester riktningsmätning (se exempel i Figur 6).

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 lägesosäkerheter för ovanstående anslutningsalternativ finns angivna i Bilaga C.3.

3.2.3 Terrestra 3D-nät

Grundutförande

- a) Terrestra 3D-nät utformas med en kontrollerbarhet $k \geq 0,5$.
- b) Terrestra 3D-nät mäts in med totalstation från fria uppställningar.

Rekommendation

- c) Punkter i terrestra 3D-nät bör vara väl spridda i såväl plan som höjd.

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 projektionskorrektioner 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 [7] 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 [6], där näten dock hanteras separat i plan och höjd. Avsnittshänvisningar för riktlinjer beträffande mätutrustning, mätning samt utjämning och analys finns i Tabell 5.

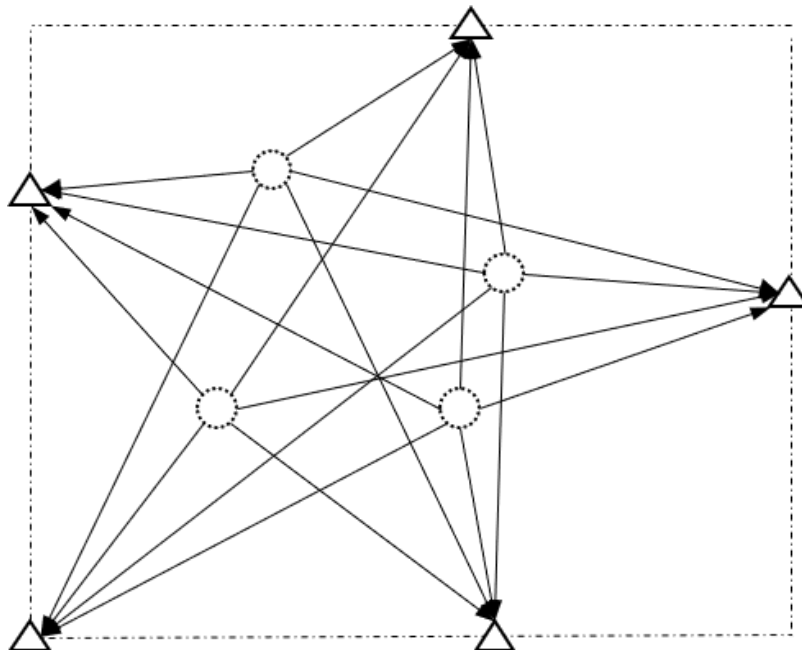
Tabell 5. Övriga avsnitt i HMK-Stommätning 2024 som tar upp etablering av terrestra 3D-nät.

Mätutrustning	Avsnitt 3.6.2
Mätning	Avsnitt 4.2
Utjämning och analys	Avsnitt 6.6

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.

Figur 7. 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 svarta rutor med vita siffror i Tabell 6 och Tabell 7).



Som namnet antyder används fria stationer såväl vid stornätets 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.

Istället består fristationsnätets punkter av fasta markeringar/signaler 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 7. Se även kapitel 11 i HMK-TR 2018:3 [8].

Trots att markeringarna är fasta så är det vid beräkningen nödvändigt att ta med en liten centreringsosäkerhet för att riktningsvinklerna ska bli realistiska – enligt diskussionen i HMK-TR 2018:3 [8], Tabell 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 noll-

riktning 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 6) blir

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

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.

Kontrollerbarheten i höjd vid fri utjämning (se Tabell 7) blir:

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

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

s \ p	3	4	5	6	7	8	20
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0,25	0,31	0,35	0,37	0,39	0,41	0,46
3	0,33	0,42	0,47	0,50	0,52	0,54	0,62
4	0,37	0,47	0,52	0,56	0,59	0,61	0,69
5	0,40	0,50	0,56	0,60	0,63	0,65	0,74
6	0,42	0,52	0,58	0,62	0,65	0,68	0,77
7	0,43	0,54	0,60	0,64	0,67	0,70	0,79
20	0,48	0,59	0,66	0,71	0,75	0,77	0,88

Tabell 7. Kontrollerbarheten (k -tal enligt formel 3.9) i **höjd** för ett fristationsnät med p st. punkter, inmätta från s st. fria stationer.

$s \backslash p$	2	3	4	5	6	7	20
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0,25	0,33	0,37	0,40	0,42	0,43	0,48
3	0,33	0,44	0,50	0,53	0,56	0,57	0,63
4	0,37	0,50	0,56	0,60	0,62	0,64	0,71
5	0,40	0,53	0,60	0,64	0,67	0,69	0,76
6	0,42	0,56	0,62	0,67	0,69	0,71	0,79
7	0,43	0,57	0,64	0,69	0,71	0,73	0,81
20	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 23.

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 mätningstekniska 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.

3.2.4 GNSS-nät

Grundutförande

- a) GNSS-nät planeras så att alla baslinjer kan kontrolleras, t.ex. via upprepade mätningar i flera sessioner eller via baslinjeslingor.
- b) Anslutning av GNSS-nät sker via minst tre utgångspunkter som inte ligger på en rät linje.
- c) Anslutning planeras så att det finns en redundans av utgångspunkter med kända koordinater, dvs. fler än minimumantalet.
- d) Vid användning av fasta referensstationer säkerställs tillgång till observationsdata innan mätprogram/sessionsplanering fastställs.

Rekommendation

- e) En bra praxis vid planering av yttäckande GNSS-nät är att bygga upp en homogen nätgeometri av oberoende baslinjer i fyrsidiga figurer.
- f) Avstånden mellan närliggande stompunkter och/eller utgångspunkter i ett GNSS-nät bör inte överstiga 20 km.
- g) Data från fasta referensstationer i Swepos-nätet kan användas för anslutning av GNSS-nätet till SWEREF 99.
- h) Vid optisk sikt mellan punkterna i ett GNSS-nät kan terrestra längdmätningar övervägas – antingen för oberoende kontroll av baslinjer eller som kompletterande observationer.
- i) Vid tillgång till närliggande höjdfixar kan lämpliga punkter i GNSS-nätet avvägas för att få bättre höjdkvalitet.

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.

Eftersom GNSS-nät i grunden bygger på 3D-teknik med stark inbördes geometri så kan den här stomnätstypen också passa tillämpningar där ett kombinerat anslutningsnät i plan och höjd är önskvärt. Ett glest

GNSS-nät kan t.ex. höjdvägas på av ett urval av punkterna för att hela nätet ska få god kvalitet i både plan och höjd. Ett sådant stomnät kan möjliggöra behovsanpassad förtätning till anslutningsnät eller bruksnät i plan och höjd (beroende på punktsavstånd).

Avsnittshänvisningar för riktlinjer beträffande mätutrustning, mätning och baslinjeberäkning samt utjämning och analys finns i Tabell 8.

Tabell 8. Övriga avsnitt i HMK-Stommätning 2024 som tar upp etablering av GNSS-nät.

Mätutrustning	Avsnitt 3.6.3
Mätning och baslinjeberäkning	Avsnitt 5.1-5.2
Utjämning och analys	Avsnitt 6.5

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 baslinjer även användas för att beräkna höjd- och planlägen i en- och tvådimensionella referenssystem.

Vid GNSS-mätning förutsätts fri sikt uppåt, från mottagare mot satelliter. 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. GNSS-nät bör dock vara så homogena som möjligt med avseende på baslinjelängd eftersom det underlättar de senare delmomenten – mätning, vikt-sättning och nätutjämning.

Längre baslinjer ökar behovet av andra mät- och beräkningsmetoder och modellering av osäkerhetskällor. Av det skälet bör baslinjer längre än 20 km undvikas i ett GNSS-nät. Vid kortare baslinjer 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 lägesosäkerheten och kontrollerbarheten i nätet överskattas. Vid planeringen bör man därför ta hänsyn till om baslinjer är oberoende eller beroende (triviala), dvs. om de kan bildas med hjälp av andra baslinjer, se Figur 8.

Exakt vilka baslinjer som definieras som oberoende respektive beroende är viss mån godtyckligt och bestäms i samband med sessionsplaneringen. En vanlig praxis är dock att de kortaste avstånden mellan nypunkter får styra vilka baslinjer som blir oberoende. Exempelvis väljs då inte de längre baslinjerna 1-3 och 2-4 i Figur 8.

Antalet baslinjer i en session där m st. mottagare används kan beräknas enligt följande:

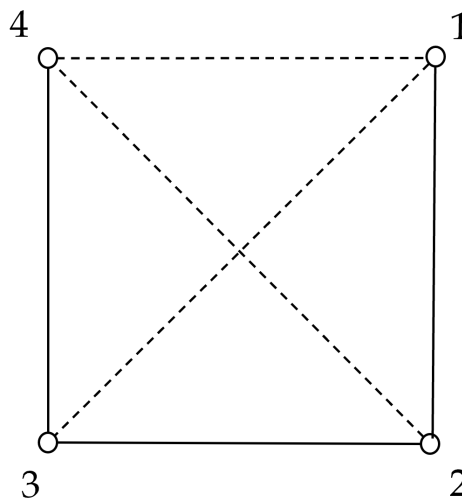
$$b = m - 1 \quad (3.4)$$

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

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 1. En session som mäts med fyra GNSS-mottagare har 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.

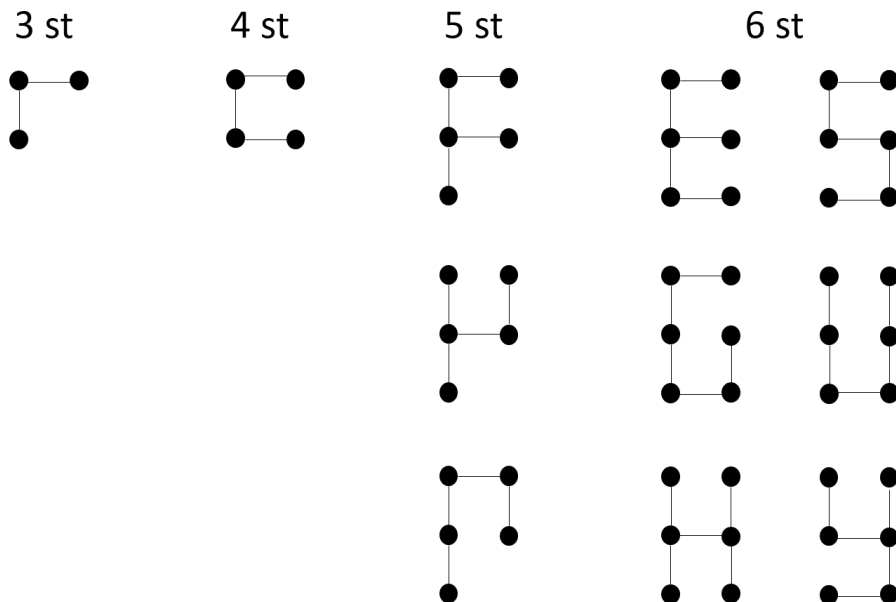


Vid tillgång till minst tre mottagare kan GNSS-nätet planeras så att oberoende baslinjer bygger upp en yttäckande geometri av fyrsidiga for-

mer – gärna så homogena/kvadratiska som möjligt – se Figur 9. Fyrhörningsformerna ger möjlighet till oberoende kontroll av de mätta och beräknade baslinjerna innan de utjämnas:

- 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.

Figur 2. Alternativa grundformer vid uppbyggnad av GNSS-nät med oberoende baslinjer. Antalet oberoende baslinjer är en färre än antalet stompunkter/GNSS-mottagare (som visas i figuren).



Om uppbyggnaden av GNSS-nätet sker med denna typ av fyrsidiga former 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 former 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:

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

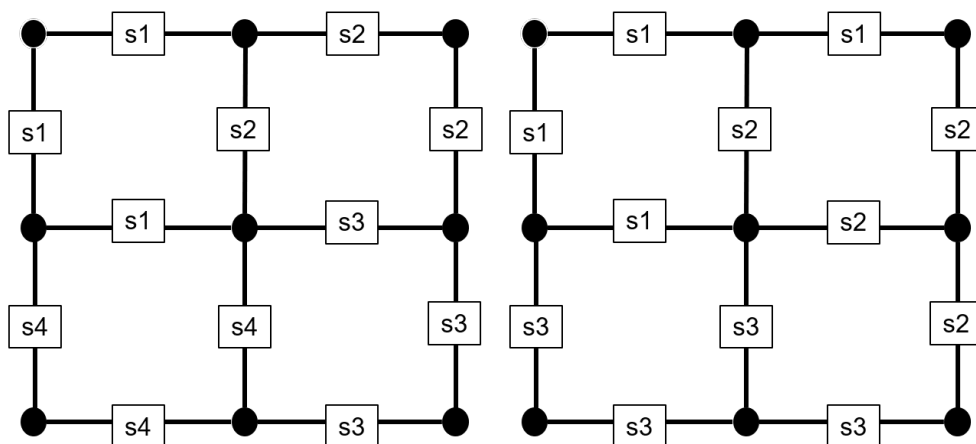
där p är antalet punkter (nya + kända) och m är antalet tillgängliga mottagare. Om s blir ett decimaltal avrundas det uppåt till närmaste heltal. När detta appliceras på det idealiserade GNSS-nätet i Figur 10 (med $m = 4$) erhålls:

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

De firsidiga formerna 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 5.1.1 finns ytterligare beskrivningar och exempel på sessionsplanering inför mätning av GNSS-nät.

Figur 3. Idealiserat GNSS-nät med 9 punkter, som mäts med 4 eller 5 GNSS-mottagare (vänster resp. höger). De numererade sessionerna planeras med oberoende baslinjer i fyrhörningsformer.



Anslutningsalternativ

GNSS-nätet är en mycket flexibel stomnätstyp, som både kan användas som anslutningsnät i plan (2D) eller kombinerat anslutningsnät i plan och höjd. GNSS-nät kan också användas som bruksnät i plan och höjd, om den kvalitet som kan förväntas för de ingående stompunkterna är godtagbar för ändamålet.

Anslutningsnät möjliggör vidare utbyggnad/förtätning av stomnät som realiserar de nationella referenssystemen. Anslutning av sådana GNSS-nät bör då ske på högsta möjliga nivå, dvs. direkt mot de nation-

ella referensnäten, alternativt mot utgångspunkter där koordinater respektive höjder bedöms ha låg lägesosäkerhet i SWEREF 99 och RH 2000.

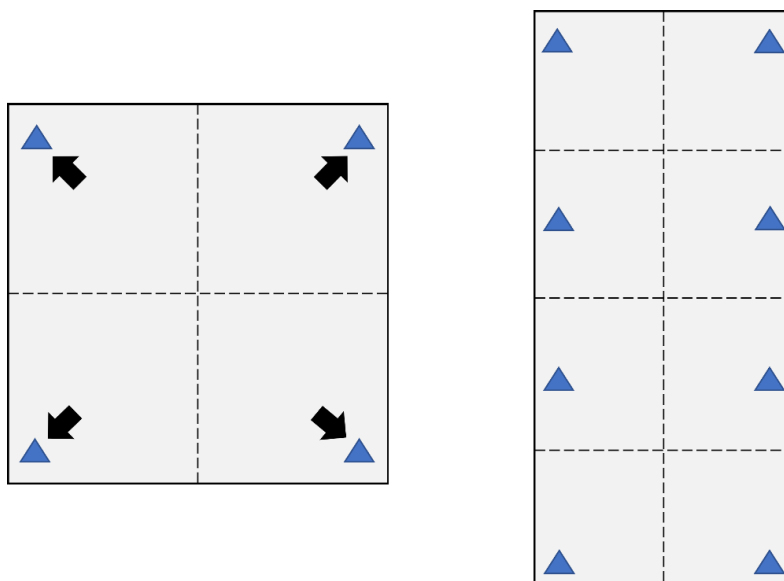
GNSS-nät som används som bruksnät är ofta en följd av förtätning/nedväxling från anslutningsnät, dvs. ett glesare GNSS-nät. Anslutningen är i sådana fall redan genomförd. I de fall där ett GNSS-nät med korta punktavstånd (dvs. ett bruksnät) saknar givna utgångspunkter i befintliga anslutningsnät kan olika anslutningsalternativ övervägas. Beroende på de potentiella utgångspunkterna, deras inbördes lägen och med vilken kvalitet deras koordinater (eller höjder) är kända (eller går att bestämma) kan fast utjämning eller inpassning mot dessa punkter vara mest lämpligt.

I de flesta fall är det önskvärt att inte försämra GNSS-nätets goda 3D-geometri genom att använda utgångspunkter som har koordinater/höjder av sämre kvalitet (lägesosäkerhet) eller befinner sig på så långa avstånd att GNSS-nätet blir inhomogent.

Minst tre utgångspunkter med kända plankoordinater och höjder behövs för anslutning, men fyra eller fler utgångspunkter rekommenderas för redundans.

I ett yttäckande GNSS-nät kan man som enkel tumregel dela in det område som stomnätet ska täcka i fyra kvadranter, se figur 11. Minst en utgångspunkt bör då eftersträvas i varje kvadrant – gärna placerad mot ytterkanten av stomnätet enligt den vänstra delen av figuren.

Figur 11. Lämplig placering av utgångspunkter i yttäckande GNSS-nät (till vänster) och i långsträckta GNSS-nät (till höger). Utgångspunkterna bör vara jämnt fördelade i nätet, men placering nära hörn/ytterkant är att föredra.



Om GNSS-nätet istället är långsmalt kan man tillämpa motsvarande princip genom att fylla på med "extra" kvadranter/utgångspunkter längs med sträckningen (den högra delen av figuren) så att nätets homogenitet bibehålls. Utgångspunkterna kommer i båda fallen att bilda en fyrsidig figur som ringar in övriga stompunkter, vilket ger goda förutsättningar för geodetisk utjämning och koordinattransformation.

Här är några exempel på utgångspunkter som kan utnyttjas för anslutning av GNSS-nätet i SWEREF 99:

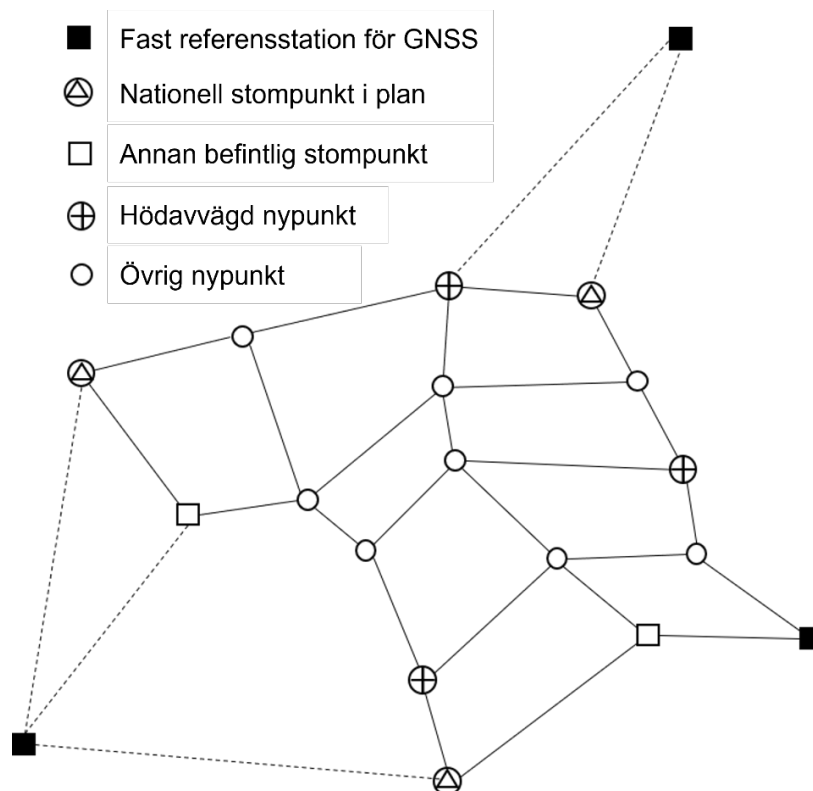
- Om fasta referensstationer i Swepos-nätet finns tillgängliga där GNSS-nätet etableras kan anslutningen göras genom att använda RINEX-data från stationerna i baslinjeberäkningen.
- Egen GNSS-mätning kan utföras på Sweref-punkter eller andra stompunkter som har bestämts noggrant i förhållande till Swepos-nätet, t.ex. intakta Rix95 punkter eller kommunala stompunkter med känd kvalitet i SWEREF 99. Se vidare i HMK - Geodetisk infrastruktur, senaste version.
- Om ovanstående alternativ innebär långa eller mycket varierande avstånd till utgångspunkter kan GNSS-mätning utföras på kompletterande punkter som nyetableras på platser som ger homogena avstånd. Stompunkterna - de befintliga och de kompletterande - kan utformas som ett eget mindre anslutningsnät eller hanteras som enstaka (separata) utgångspunkter, beroende på om stegvis förtätning/nedväxling är nödvändig eller inte.
- Enstaka utgångspunkter kan exempelvis beräknas med Swepos beräkningstjänst, se avsnitt 5.4. Ett urval av de nya stompunkterna (eller samtliga) kan också koordinatbestämmas med överbestämd nätverks-RTK eller virtuell RINEX. Se *GNSS-baserad detaljmätning 2021* för mer ingående beskrivning av mätmetodik och kvalitetssäkring.

I samtliga dessa fall ingår rutinmässig kontroll av utgångspunkternas koordinater i beräknings- och utjämningsprocessen.

För anslutning i höjd (RH 2000) kan nypunkter samlokaliseras med höjdfixar, och bilda kombipunkter. Ett mer realistiskt alternativ för att förbättra höjdkvalitet i GNSS-nätet kan dock vara att avväga ett urval av stompunkterna mot närliggande höjdfixar. Ett riktmärke är att ca var femte punkt i GNSS-nätet avvägs, med god spridning över nätets täckningsyta. Efter avvägningen räknas punkternas normalhöjder över till ellipsoidhöjder via en geoidmodell. På detta sätt kan då vissa stompunkter fixeras i 2D (fasta referensstationer och övriga utgångspunkter i SWEREF 99) och andra stompunkter i 1D (avvägda punkter i RH 2000), även om GNSS-beräkningen på sedvanligt sätt utförs i 3D. Den

starka 3D-geometrin bidrar till att hela GNSS-nätet skiftas höjd i förhållande till de avväga punkterna. Det är därför viktigt att dessa punkter inte ligger på en linje så att nätet "tippar" runt denna på grund av osäkerhet i GNSS-mätningarna eller i antennhöjdsbestämningarna – som troligen är den allra vanligaste felkällan!

Figur 12. Exempel på hur ett GNSS-nät med huvudsakligen firsidiga former kan anslutas via olika utgångspunkter i plan respektive höjd.



Exempel

Ett GNSS-nät (figur 12) utformas baserat på fyrhörningsprincipen. Punktavstånden är ca 2-5 km. Några av nypunkterna är höjdavvägda mot närliggande höjdfixar.

Anslutningen till SWEREF 99 sker här via en fast referensstation, tre nationella/kommunala stompunkter i plan och två andra stompunkter från ett glesare anslutningsnät mätt med GNSS. Vid senare utjämning kan dessa utgångspunkter hållas fasta eller viktas i förhållande till sin skattade lägesosäkerhet i plan.

De tre höjdavvägda nypunkterna kan hållas fasta eller viktas i höjd vid utjämning av GNSS-nätet, 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.

3.2.5 Förtätning, reovering och komplettering

Grundutförande

- a) Förtätning eller reovering som avser enstaka stompunkt utförs genom överbestämd geodetisk mätning och utjämning mot närmast omgivande stompunkter.
- b) Förtätning eller reovering som avser en sammanhängande grupp av flera stompunkter utförs på samma sätt som vid nyetablering av motsvarande stomnätstyp.
- c) Komplettering av utgångspunkter utförs på ett sådant sätt att kraven på lägesosäkerhet, kontrollerbarhet och tillförlitlighet uppfylls i det specifika uppdraget.

Rekommendation

- d) Nybestämning av enstaka stompunkt i ett höjdnät bör ske med avvägningståg, tur och retur, 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 helt nya stomnät, men som utgör viktiga verktyg i förvaltningen av stomnät:

- **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 beräkningsmetodiken – 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. Reovering innefattar även nyberäkning för att upprätthålla eller förbättra ett stomnäts kvalitet.

Nätreoveringen 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 reoveringsåtgärd 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 stomnätets 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 punktbezeichnung/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.

Vid behov 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- istället 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 i 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 eftersträva kontrollerbarhet och att undvika extrapolering. Anslutning av nya

stompunkter mot endast en utgångspunkt är inte förenligt med stommätning – vare sig det gäller GNSS-mätning mot en referensstation eller konventionell mätning från en terrester utgångspunkt.

Vid mindre förtätning eller renovering, dvs. vid nybestämning av enskilda 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.

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.

3.3 Analys av nätdesign

Grundutförande

- a) Vid planering av ett nytt stomnät utförs analys av nätets homogenitet, samt dess förväntade lägesosäkerhet, kontrollerbarhet och tillförlitlighet.

Rekommendation

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

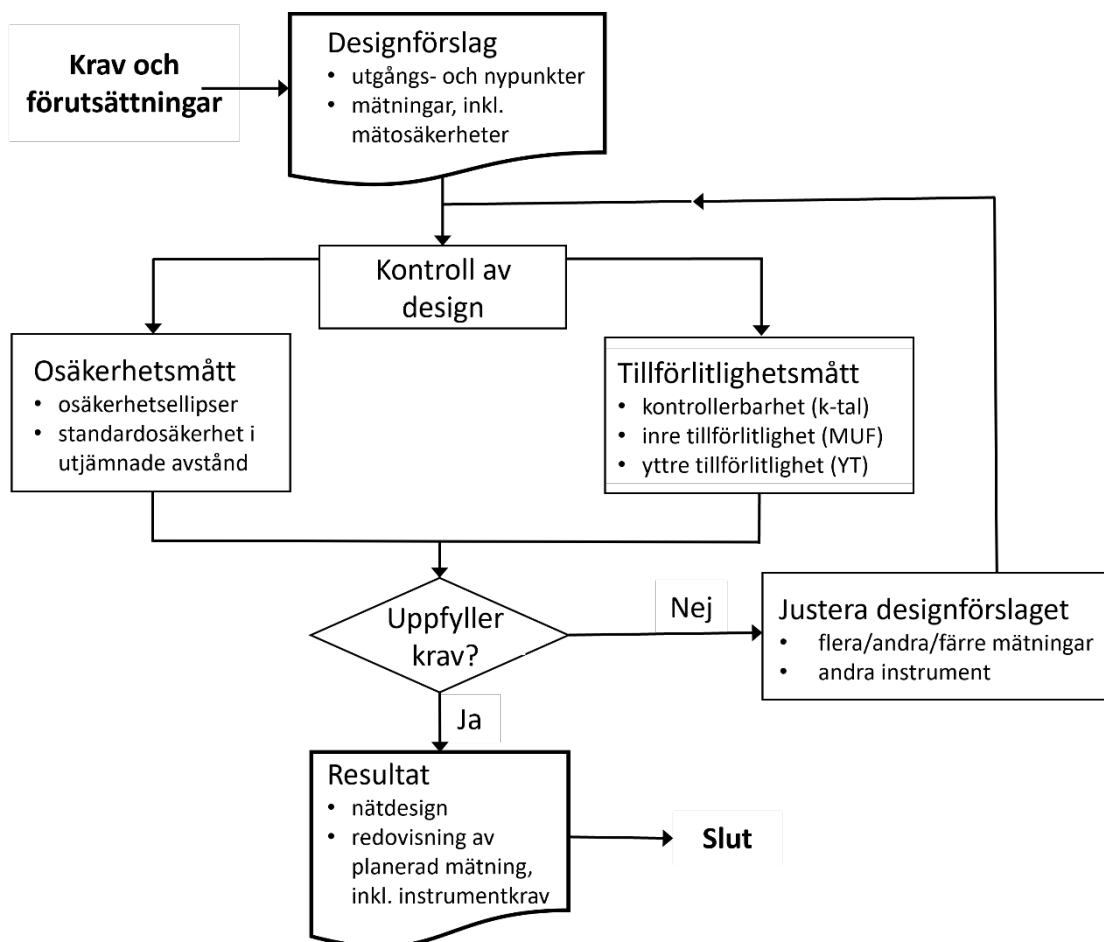
Genom analys av nätdesignen kan stomnätets kvalitet bedömas på förhand, utan tillgång till faktiska mätdata. Analysen syftar till att undersöka eventuella svagheter i nätets utformning och kan bl.a. påvisa hur effektivt grova fel kommer att kunna detekteras. Teorin bakom de osäkerhets- och tillförlitlighetsmått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

För att möjliggöra analys kompletteras den preliminära stomnätsutformningen 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.

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 [8]). Simuleringar kan dock ge mer detaljerade numeriska indikatorer och grafiska illustrationer som underlag för denna analys. En schematisk beskrivning av analysen för ett stornät i plan redovisas i Figur 13. Resultatet används för verifiering och eventuell justering av stornätsförslaget – som i sin tur utgör underlag för mätprogram enligt avsnitt 3.5.

Figur 4. Arbetsflödet vid analys av nätdesign för stornät i plan.



Tabell 9. Sammanfattning av designprinciper för olika stornätstyper.

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 $\geq 0,5$ i mindre nät och $\geq 0,35$ i större nät.	Planeringsmetoden som baseras på fyrhörningar är konstruerad för $k \geq 0,5$
	Närbelägna punkter bör vara belägna på ungefär samma höjd (se avsnitt 3.2.2)	
Nätet bör vara homogent, dvs. regelbundet och med en jämn fördelning av såväl utgångs- och nypunkter som mätningar.		

Höjdnät (1D)	Terrestra 2D-nät	GNSS-nät (3D)
Utgångspunkterna bör mättningsmässigt omsluta nypunkterna och -avstånden mellan nypunkterna bör vara ungefär desamma.	Utgångspunkterna bör lägesmässigt omsluta samtliga nypunkter och avstånden 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 osäkerhetsellipserna bör vara nära cirkulära.	

En viktig tumregel – eller snarare grundprincip – vid stommätanalys är att stommäten bör vara homogent utformade. Detta innebär bl.a. att såväl punkter som mätningar fördelas jämnt över täckningsområdet.

Detta kan sammanfattas i följande punkter (samt i tabell 9):

- I tågformade stommät eftersträvas lika långa tåg, med lika många ingående punkter.
- I yttäckande stommät eftersträvas regelbundna geometriska figurer, t.ex. trianglar (mätta riktningar och längder) eller fyrhörningar (mätta baslinjer).
- Avstånden mellan nypunkterna bör vara ungefär desamma.
- Utgångspunkternas läge bör vara sådant att extrapolering av nypunkter undviks, dvs. att de omsluter nypunkterna (över respektive under nypunkterna i höjdfallet)

Homogenitet karakteriseras kvantitativt av (se Bilaga F):

- **att** måtten för kontrollerbarhet (k-talet) och tillförlitlighet (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. osäkerhetsellipser 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.

Om nätutformningen i utgångsförslaget inte uppfyller ovanstående principer kan en justering av mätprogrammet 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". Det kan även inträffa att ställda krav visar sig vara svåra att uppfylla. I de fall förslaget avviker från avtalade krav eller att krav inte går att uppfylla bör dialog med beställare ske.

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.

3.3.1 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 rekommenderade toleranser för dessa storheter:

- individuella k -tal $\geq 0,5$ i mindre nät och $\geq 0,35$ i större nät, vilket innebär att det genomsnittliga k -talet – för hela nätet – kan förväntas ligga gott och väl över dessa gränser.
- $MUF \leq 4 \cdot u(l_i)$; 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 utjämnningen med halva detta belopp. K -talen, MUF och YT bör inte variera alltför mycket inom nätet.

Toleranserna för k -tal bör ses som ungefärliga riktmärken som beror på nätets storlek. Att individuella k -tal $\geq 0,5$ ska kunna uppnås i större nät får anses orealistiskt eftersom triangelformer sällan kan användas genomgående. Vid vinkelmätningar på korta avstånd är det dessutom rimligt att ha överseende med lägre individuella k -tal eftersom det i praktiken har mycket liten påverkan på nypunkternas koordinater.

3.4 Fältrekognosering

Grundutförande

- a) Nypunkter placeras så att det finns goda förutsättningar för fortsatt mätning, samt att arbete vid punkterna kan utföras på ett säkert sätt.
- b) Alla planerade sikter verifieras och eventuella röjningsbehov undersöks.
- c) Förutsättningar för stabil markering av nypunkter bedöms – för höjdnät gäller bedömningen särskilt i höjddled.
- d) Vid kontroll av befintliga utgångspunkter rapporterar utföraren skadade eller rubbade markeringar till stomnätsförvaltaren.

Rekommendation

I GNSS-nät

- e) bör stompunkterna placeras så att sikten över 15 graders elevation i förhållande till GNSS-antennen är fri i alla riktningar.
- f) bör stompunkterna placeras på tillräckligt avstånd från objekt som kan orsaka flervägsfel.
- g) 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 stornätsförvaltaren, 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.
- Förutsättningar för stabil markering. För punkter i höjdnät bedöms särskilt risk för rörelser i höjd.
- Behov av extraordinära markeringar, t.ex. väggmarkeringar eller *excentriska* markeringar i ett i övrigt markmarkerat nät.
- Behov av signaleringstyper, och behov av extraordinära signalhöjder eller uppställningsplatser.
- Eventuella åtkomstproblem: vägbommar, spårområden, inhägnader m.m.
- Avstånd från bilväg, där tillstånd att köra finns. Särskilt viktigt att känna till om/när flera transporter ska ske vid specifika tidpunkter (t.ex. när GNSS-mottagare flyttas mellan de planerade mätsessionerna).
- Restider, bl.a. för att möjliggöra mätplanering och upprättande av sessionsschema.
- 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.
- Eventuella arbetsmiljörisker, regelverk eller krav på behörigheter, t.ex. elsäkerhet, arbete vid väg eller inom spårområde.

3.5 Redovisning av planerad stommätning

Grundutförande

- a) Utföraren beaktar beställarens krav på hur den planerade stommätningen ska redovisas.
- b) Den planerade stommätningen beskrivs av utföraren och förankras med beställaren innan markering och mätning inleds.

Rekommendation

Dokumentation av planerad stommätning bör

- c) baseras på nätutformning, analys av nätdesign och genomförd fältrekognosering.
- d) beskriva vilka mätningar som ska utföras.
- e) beskriva vilka mätinstrument som ska användas.
- f) beskriva vilka egenkontroller och toleranser som ska tillämpas vid mätning.

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 tidsplanering.

Den planerade stommätningen dokumenteras så att det tänkta genomförandet blir tydligt redovisat och förankrat hos alla inblandade, dvs. hos beställaren samt internt med den personal som ska utföra stommätningen. Redovisningen blir alltså den planeringsmässiga länken mellan kraven/specifikationen och själva utförandet av stommätningen.

Förutom en beskrivning av vilka mätningar (med tillhörande kontroller) som planeras bör redovisningen 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. De olika delmomentens tidsmässiga inplacering i arbetsprocessen och logistik bör även finnas med i redovisningen.

Redovisningen av den planerade stommätningen bör, generellt sett, ha det innehåll som anges i Tabell 10 – med viss anpassning till aktuell stommätstyp, tillämpning och huruvida det finns behov av detaljerade beskrivningar för beställaren samt personal i utförarorganisationen. Detaljplanering av statisk GNSS-mätning i sessioner (baslinjemätning) – som bör ingå i redovisningen – beskrivs mer utförligt i kapitel 5.

Även ställda krav bör ingå i redovisningen – antingen inskrivet i dokumentationen, bifogat eller via referens till den tekniska specifikationen.

Observera att "mätprogram" är en särskild dokumentationsform för t.ex. stommät och rörelsemätningar. Mätprogram har i dessa sammanhang ett mer specificerat innehåll än den generella redovisning som beskrivs här. Se även [6].

Tabell 10. Generellt innehåll i redovisning av planerad stommätning.

- 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 och dokumentation 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 riktnings- och längdmätning.
- Vilka kontroller som ska genomföras i samband med mätning och vid behov specificering av de toleranser som då ska tillämpas, se Bilaga C.4.

3.6 Mätutrustning

Grundutförande

- a) Mätinstrument väljs med en specificerad standardosäkerhet som gör det möjligt att uppfylla kraven (inklusive tillhörande mätutrustning som avvägningsstänger och signaler).
- b) Mätinstrument funktionskontrolleras och fältkalibreras inför stommätning.
- c) Fältkalibrering dokumenteras så att mätinstrument kan identifieras genom serienummer eller liknande.
- d) Före fältkalibrering och stommätning acklimatiseras mätinstrument med tillbehör i den aktuella miljön, i enlighet med tillverkarens rekommendationer.
- e) All mätutrustning som används vid stommätning dokumenteras så det framgår vilken utrustning som har använts för respektive observation.

Rekommendation

- f) Utföraren bör vara väl insatt i vald mätutrustnings funktionalitet, teknik och prestanda.
- g) För information om specifika mätinstrument och tillbehör hänvisas till manualer och specifikationer från respektive tillverkare.

Stommätning förutsätter väl fungerande mätutrustning. Moderna geodetiska mätinstrument är tekniskt avancerade, med funktioner som möjliggör effektiv mätning om de hanteras och sköts väl. Det är därför viktigt att utföraren känner till hur mätinstrument och övrig utrustning fungerar och hur de ska kalibreras, kontrolleras och underhållas. Det tillhör också utförarens ansvar att känna till mätutrustningens olika begränsningar och vad som kan bidra till mätosäkerhet eller mätfel. För att nå denna kunskap finns bl.a. de olika leverantörernas manualer och instrumentspecifikationer.

God skötsel av mätinstrument och övrig utrustning innebär bl.a. att mätutrustningen servas, kalibreras och kontrolleras regelbundet, med fasta tidsintervaller, samt efter transport eller när mätresultaten indikerar instrumentfel. Kalibrering av mätinstrument innefattar både systemkalibrering och fältkalibrering:

- Systemkalibrering innebär kontrollåtgärder och justeringar av mätinstrument som utförs och dokumenteras i samband med

auktoriserad service. Respektive instrumentleverantör tillhandahåller rekommendationer såväl som certifikat för serviceintervall och utförande.

- Fältkalibrering utförs periodiserat, vid stora temperaturomslag, efter systemkalibrering eller inför precisionsmätning av användaren för att minimera systematiska mätfel. Notera att olika fabrikat kan hantera korrigerings av instrumentfel på olika sätt. Fältkalibrering utförs i relevant miljö, vid goda förhållanden och enligt förfarande samt mjukvara avsedd för respektive instrument. Se Bilaga D och tillverkarens instruktioner.

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 akklimatiseras 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 akklimatiseringstid.

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 redovisad planering, se avsnitt 3.5. Övrig relevant information kring använd mätutrustning – t.ex. fältkalibrering och genomförda kontroller före mätning – tas upp i uppdragsdokumentationen, se Bilaga B.

3.6.1 Vid avvägning

Grundutförande

- a) Vid stommätning i höjd väljs typ av avvägningstång beroende på tillämpning.
- b) Avvägningsstänger kontrolleras med avseende på fotplatta, gradering och nominell längd.

Specificerad mätosäkerhet

Den specificerade mätosäkerheten för avvägningssinstrument anges schablonmässigt för 1 km dubbelavvägd sträcka, vilket motsvarar parametern *A* i Bilaga C.1.3. Tabell 11 ([6], något omarbetad) ger en vägledning till vilken mätosäkerhet som är lämplig för olika tillämpningar.

Tabell 11. Specificerad mätosäkerhet för olika tillämpningar.

	Standardosäkerhet vid 1 km dubbelavvägning	Lägsta krav på avvägningstång
Anslutning i höjd. Sättningsmätning.	≤ 1 mm	Kontrollerad invarstång
Bruksnät i höjd	2 mm	Kontrollerad invarstång
Kontroll vid spåranläggning och brokonstruktion	2 mm	Kontrollerad trä-, metall-, glasfiberstång
Detaljmätning av spåranläggning. Kontroll av övriga konstruktioner	3 mm	Kontrollerad trä-, metall-, glasfiberstång
Detaljmätning och kontroll av terrängmodell och nivåkontroll vid vägbyggnad	5 mm	Kontrollerad trä-, metall-, glasfiberstång

De redovisade mätosäkerheterna förutsätter att instrumenten har kontrollerats och justerats för eliminering av förekommande instrumentfel.

Kontroll av instrument och tillbehör

Vid stommätning i höjd bör i första hand invarstänger användas vid etablering och anslutning med avvägning. Invar är en legering av järn och nickel med extremt låg längdvidgningskoefficient och används för mätbandet i en invarstång. Invarstänger är i dag vanligtvis försedda med mätband med streckodsgradering för digital avläsning. Äldre utrustning med optisk avläsning av en analogt graderad skala kräver att

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

Fältkalibrering, för att minimera fel i avvägningsinstrument och avvägningsstång, utförs innan stommätning och när instrumentet är acklimatiserat till omgivande temperatur. Se även Bilaga D.

3.6.2 Vid totalstationsmätning

Specificerad mätosäkerhet

Specificerad mätosäkerhet vid vinkelmätning med totalstation kan anges i enheterna sekunder eller mgon, där det är viktigt att notera skillnaden, se Tabell 12. Observera att viss tillhörande mätutrustning kan påverka möjligheten att uppfylla den specificerade mätosäkerheten, se avsnitt 3.6.4.

Tabell 13 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 12. 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 5. Specificerad mätosäkerhet för olika tillämpningar (tabellen baserad på SIS-TS 21143:2016, [6]).pm = mm/km.

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

	Standard- osäkerhet i horisontal- vinkel (1 helsats)	Standard- osäkerhet i vertikal- vinkel (1 helsats)	Standard- osäkerhet i längdmätning
Terrestra nät för bygg- och anläggningsprojekt, t.ex. för detalj- och kontrollmätning av bro- och tunnelkonstruktioner	0,30–0,60 mgon	0,30–0,60 mgon	1 mm + 2 ppm
Övrig stommätning för utsättning och inmätning inom detaljplanelagda områden	0,60–1,0 mgon	0,60–1,0 mgon	2 mm + 3 ppm

Hantering av instrumentfel

Inriktningsfel är ett vanligt fel vid totalstationsmätning. Verkan av dessa kan endast minskas genom att rutiner utformas så att upprepade mätningar och andra överbestämningar byggs in i mätningförfarandet, t.ex. att vinkelmätning utförs i helsatser. Se även avsnitt 4.2.

Vid automatiserad helsatsmätning med moderna totalstationer sker vanligtvis inriktning och vinkelavläsning mot objektens prismor genom en kombination av flera metoder. Här ingår dels en motordriven inriktning av kikaren mot prismet, dels en avläsning av inriktningsfelet med en fotosensor där prismats avvikelser från kikarcentrum registreras. Då det förekommer att dessa metoder används på olika sätt i olika cirkellägen är det inte alltid som kollimationsfelet fullständigt elimineras med helsatsmätning när metoderna kombineras. Vid automatiserad riktningmätning med helsatser är det därför av vikt att instrumentet kalibreras regelbundet för att minimera effekten av det beskrivna problemet, dvs. fältkalibrering.

Fältkalibrering utförs innan stommätning och efter att totalstationen och tillhörande utrustning acklimatiserats till omgivande temperatur, se Bilaga D. En omsorgsfullt utförd fältkalibrering inklusive kalibreringskontroll förbättrar förutsättningarna för en framgångsrik stommätning.

3.6.3 Vid GNSS-mätning

Grundutförande

GNSS-utrustning som används vid stommätning

- a) ska vara specificerad för geodetisk mätning, alternativt för statisk fas- och kodmätning.
- b) ska genomgå service 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.
- e) GNSS-mottagare bör konfigureras för att registrera mätdata från samtliga tillgängliga GNSS-system.
- f) Epokintervallen kan sättas till 15 sekunder vid statisk mätning och 5–15 sekunder vid snabb-statisk mätning.
- g) Elevationsmasken bör vara nära 0 grader.

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 antennmodeller finns tillgängliga för samtliga antenntyper som ska användas
- att GNSS-mottagaren har korrekta inställningar; se nedan under rubriken "Inställningar i GNSS-mottagare"

- 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.

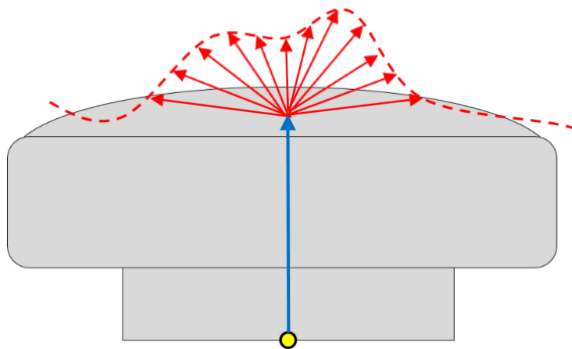
Antenntyper och antenmodeller

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 14.

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](https://www.nationalgeodetic.gov/).

Figur 5. 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 antennberoende 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 minimeras eventuella systematiska fel som förekommer i antennmodellen.

Inställningar i GNSS-mottagare

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 för att inte få orimligt stora mätfiler, 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.

3.6.4 Övrig utrustning

Grundutförande

- a) Övrig utrustning som kan förväntas påverka mätresultatet underhålls, kontrolleras och kalibreras så att dess påverkan minimeras.

Rekommendation

- b) Under pågående uppdrag bör de instrumentstativ, trefötter och övrig utrustning som används för mätning kontrolleras dagligen.

En ofta förbisedd aspekt på stommätning är status och funktionalitet på de tillbehör som används vid exempelvis instrumentuppställning och centrering över stompunkten, dvs. instrumentstativ, trefot och lod. Genom att underhålla, kontrollera och vid behov kalibrera tillbehören minimeras dess påverkan på mätresultatet.

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 ett instrumentstativ som är tillverkat i ett material som inte utvidgas vid temperaturförändringar, t.ex. trä. Slitna och instabila instrumentstativ byts ut.

Trefot med 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 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 millimeter vid normala uppställningshöjder (upp till ca 2 meter). 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 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.

- prismor, mätreflexer och signaltavlor
- trefotsadapttrar (inklusive ev. libeller) för signaler och/eller GNSS-antenn
- libeller för avvägningsstänger
- 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

Grundutförande

- a) Markering av stompunkter utförs enligt handboken 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. Nämnda 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 för att lösa en viss mätsituation. Behovet av beständig markering är självfallet begränsat för denna punkttyp.

Här följer en lista över aspekter 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.
- Undvik, om möjligt, att etablera nya markeringar på ett sådant sätt att dessa riskerar att förväxlas med befintliga närliggande markeringar.

- 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, markerade i mark, förutsätter att uppställning av ett instrumentstativ eller en lodstång kan ske över punkten.
- S.k. kombimarkeringar utnyttjas vid etablering av kombinerade stommät 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 4.2.5)
- 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 planerad stommätning har redovisats 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 kalibrerats enligt avsnitt 3.6 och bilaga D.
- 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 mätobservationerna hör även vissa kompletterande uppgifter, som dokumenteras och lagras tillsammans med mätdata. De behövs som identifiering 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 14 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 påförs mätningarna korrektioner i den mån detta behövs för att systematiska avvikelser inte ska kvarstå i mät- och beräkningsprocessen. En bedömning av huruvida korrektioner behövs baseras på korrektionernas storlek i förhållande till den förväntade mätosäkerheten, samt på eventuella beställarkrav. Se vidare avsnitt 4.3 och Bilaga D.

Tabell 6. Redovisning av mätdata och kringuppgifter vid terrester stommätning.

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

4.1 Avvägning av höjdskillnader

Grundutförande

- a) Höjdtåg avvägs två gånger, en gång i vardera riktningen, s.k. dubbelavvägning.
- b) Summan av siktlängderna bakåt respektive framåt ska vara lika i alla fixhåll.
- c) Inga siktlängder ska överstiga 40 meter.
- d) Om dubbla avvägningsstänger används anpassas antalet uppställningar så att samma stång ställs på start- respektive slutpunkten i varje fixhåll.
- e) Avläsning görs automatiskt mot streckkodade stänger, alternativt manuellt genom okulär avläsning med hjälp av planglasmikrometer mot graderade stänger.
- f) Varje registrering av höjd ska bestå av ett medelvärde av flera avläsningar.

Rekommendation

- g) Siktlängderna bakåt och framåt bör vara lika vid varje uppställning.
- h) Stöd bör användas för noggrann lodning av avvägningsstänger, t.ex. gångstavar.
- i) Två oberoende avläsningar Bakåt (B) och Framåt (F) bör göras vid varje uppställning enligt mätmetoden BFFB.
- j) Instrumentens inbyggda funktioner bör användas för att ställa in gränsvärden för siktlängder, lägsta tillåtna avläsning på stång, höjdskillnader (BF-FB) och standardosäkerhet för flera registreringar.

För höjdmätning är avvägning den teknik som har den lägsta förväntade mätosäkerheten. Det är därför den vanligaste vid etablering av höjdnät, även om trigonometrisk höjdmätning förekommer.

Mätning av höjdskillnader i avvägningståg mellan höjdfixar utförs från omarkerade uppställningar av ett avvägningsinstrument, se Figur 15.

För att minska mätosäkerheten, reducera de systematiska effekterna och uppnå hög kvalitet vid stommätning i höjd beaktas

- genomförandet av mätningarna; noggrann lodning av avvägningsstänger, upprepade avläsningar mot stängerna, eventuell visuell markering av flyttpunkter, tur- och returavvägning

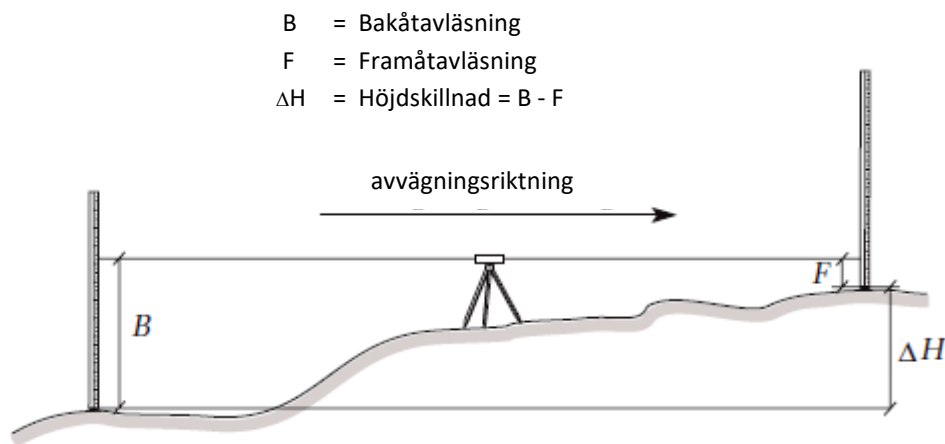
längs samma vägar, begränsning av siktlängderna samt att avstånden bakåt och framåt ska vara lika långa.

- utrustningen; fältkalibrerat och justerat instrument i förhållanden som liknar mätningen, kontrollerade avvägningsstänger (lämpligen av invar), samt upplösning i avläsning/mätskala enligt krav, se avsnitt 3.6.1.
- yttre påverkan på mätningarna; risk för temperaturförändringar under pågående mätning, extremtemperaturer, direkt soljus och värmedaller, markvibrationer.

Flera avläsningar vid varje registrering minskar risken för felaktiga registreringar orsakade av till exempel vibrationer eller värmedaller och möjliggör även beräkning av en standardosäkerhet.

Gränsvärden kan tillämpas i avvägningsinstrumentet för maximal siktlängd, maximal avståndskillnad (bakåt och framåt), lägsta/högsta tillåtna avläsning på stång och samt standardosäkerhet för avläsningar inom en registrering.

Figur 6. Principen för avvägning. Den sökta höjdskillnaden ΔH beräknas som skillnaden mellan bakåt- och framåtavläsningen av stängerna.



För att minska mätosäkerheten och öka kontrollerbarheten i varje uppställning kan mätmetoden BFFB tillämpas. Det innebär att för varje uppställning görs först avläsningar Bakåt och Framåt (BF), sedan flyttas instrumentet något och horisonteras om följt av nya avläsningar Framåt och Bakåt (FB), vilket ger två oberoende mätningar av höjdskillnaden vid varje uppställning. Ett gränsvärde för hur mycket dessa får skilja kan ställas in i det digitala instrumentet. Medeltalet ger sedan höjdskillnaden givet att gränsvärdet inte överskrids. Denna mätmetod kräver två avvägningsstänger och tre personer för ett effektivt utförande.

Observera att mätmetoden BFFB ökar tillförlitligheten i en enkelavvägning (tur) och ska inte ersätta dubbelavvägning (tur och retur).

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 görs vid avvikelser som konstateras i fält, eller vid avvikelser som konstateras vid beräkning i efterhand.

4.2 Totalstationsmätning av längder och vinklar

Grundutförande

- a) Uppställning av totalstation kontrolleras genom inriktning mot bakåtomjekt före och efter själva stommätningen.

Rekommendation

- b) Satsmätningen bör anpassas så att längd- och riktningsmätningen får ungefär samma mätosäkerhet för den genomsnittliga sidlängden i nätet.

Vid terrester stommätning i plan och höjd mäts horisontalriktningar, vertikalvinklar och längder med totalstation. Vid stommätning placeras instrument och signaler på stativ eller liknande, se avsnitt 4.2.5.

Vertikalvinklar används vid trigonometrisk höjdmätning och i terrestra 3D-nät, samt för att reducera mätta längder i terrestra 2D-nät. Mätning av vertikalvinklar är särskilt känsliga för refraktion, jordkrökning och lodavvikelse. För att dessa systematiska effekter inte ska försämra observationernas – och därmed också stommätets – kvalitet behöver detta hanteras genom att antingen:

- påföra korrektioner till mätningarna i efterhand (se avsnitt 4.3),
- mäta korresponderande i båda riktningarna (se avsnitt 4.2.3), förutsatt att höjdskillnaden mellan ändpunkterna inte är för stor,
- använda en annan mät- och beräkningsmetodik där vertikalvinkeln inte används vid slututjämnning i 2D (se bilaga E.5)

Instrumentuppställningen kan säkerställas genom:

- upprepad mätning och registrering mot det första bakåtobjektet efter slutförd totalstationsmätning.
- kontroll av anslutningsriktningar, avstånd och ev. höjdskillnader mot bakåtobjekten, vid stationsetablering över känd utgångspunkt.
- att antal helsatser för riktningsmätningen balanseras så att mätosäkerheten i riktning blir ungefär densamma som för längdmätningen. Detta kan bedömas med stöd av Bilaga C.2, givet mätinstrumentets specificerade mätosäkerhet i längd- och riktningsmätning samt den genomsnittliga siktlängden i stommätet. Se även kapitel 4 i referens [8].

4.2.1 Riktningsmätning med totalstation

Grundutförande

- a) Riktningsmätning utförs i helsatser och spridningen mellan helsatserna kontrolleras och redovisas.

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.

Riktningsmätning vid stommätning sker i två eller fler helsatser, där antalet bestäms av vilka krav på mätosäkerhet som gäller, vilka siktlängder 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 riktningsmätning kan uppnås genom att välja lämpliga mätinstrument och anpassa antalet helsatser till de aktuella punktavstånden, se Bilaga C.2.

4.2.2 Längdmätning med totalstation

Grundutförande

- a) Längder mäts två gånger, en gång i vardera riktningen om så är möjligt (s.k. dubbelmätta längder).

Ojämnheter i sändar- och mottagardioder medför s.k. inriktningsfel som i ogynnsamma fall uppgå till flera millimeter. För att minimera sådan 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 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.

Alla längder mäts en gång i vardera riktningen, såvida inte markerings- typerna medför begränsningar för instrument- och signaluppställning.

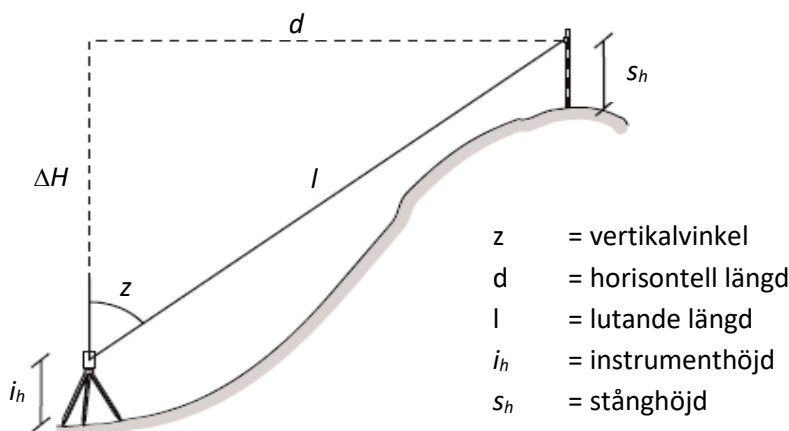
Toleranser för dubbelmätning av avstånd finns i Bilaga C.4.4. Ommätning utförs direkt, om möjligt, om avvikelser konstateras redan i fält.

4.2.3 Trigonometrisk höjdmätning

Höjdmätning med totalstation benämns *trigonometrisk höjdmätning*. Från mätning av lutande längd, vertikalvinkel och signalhöjd kan höjdskillnaden mellan instrumentet och mätpunkten bestämmas, se Figur 16.

För beräkning av höjdskillnaden mellan markeringarna måste även instrumenthöjden mätas, vilket tillsammans med signalhöjden ofta utgör den svaga länken i denna mätmetod, se Bilaga C.1.4.

Figur 7. 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.



I vissa tillämpningar är avvägning och trigonometrisk höjdmätning likvärdiga, men normalt är avvägning den mätmetod som är att föredra vid etablering av stornät i höjd. Vid mycket långa avstånd eller kupe-rad/otillgänglig terräng – t.ex. över vattendrag, trafikerade spår/vägar etc. – kan dock trigonometrisk mätning vara det enda rimliga alternativet ur praktisk eller säkerhetsmässig synvinkel.

Kombinerade plan- och höjdnät etableras också ofta genom trigonometrisk höjdmätning. I övrigt används metoden främst för lutningskorrektion 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 stornätskomplettering, se avsnitt 3.2.5.

Höjder i plana stornät kan också behövas för beräkning av höjdkorrek tioner, 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.

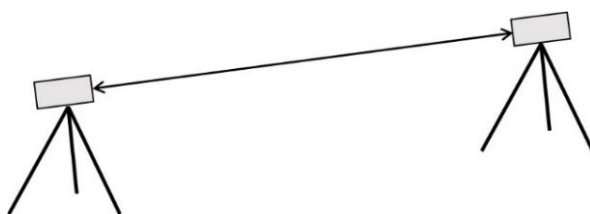
- Toleranser för skillnaden mellan två bestämningar av en höjdskillnad vid sådan **enkelsidig** trigonometrisk höjdmätning finns i Bilaga C.4.2.

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

Korresponderande trigonometrisk höjdmätning

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 17.

Figur 8. Principen vid korresponderande trigonometrisk höjdmätning (till vänster). Mätningen utförs samtidigt – kikare mot kikare eller mot en särskild måltavla placerad i förlängningen av totalstationens horisontalaxel (till höger).



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):

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

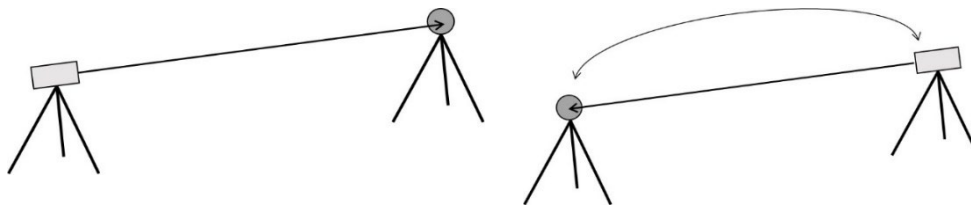
$$\overline{\Delta H_{AB}} = d \cdot \tan \frac{z_B - z_A}{2} \quad (4.1.b)$$

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 19); 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 18.

Figur 9. "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.



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.

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 stommätningss metod

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 instrumenthöjd mäts.

4.2.5 Centrerings och hantering av excentriciteter

Grundutförande

- a) Instrument- och signalhöjder bestäms före och efter mätning och dokumenteras i meter med tre decimaler.
- b) Centrerings av instrument och signaler görs med stativ och någon lodningsmetod (fysiskt lod eller annan fast anordning, optiskt- eller laserlod).
- c) Centrerings av instrument, signaler och master kontrolleras före och efter mätning.
- d) Vid längd- och vinkelmätning där minimering av centreringsosäkerheten är särskilt viktig tillämpas tvångscentrerings.
- e) Masthöjds- och övriga excentricitetsmätningar dokumenteras så att avvikelserna från huvudmarkeringen – och hur den har beräknats – tydligt framgår.

Rekommendation

- f) 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. Såväl instrument som signaler ska då vara placerade på stativ – eller på fast konsol, adapter eller liknande. Noggrann centrerings och mätning av höjden över markeringen är då avgörande för de inmätta punkternas lägesosäkerhet och handhållna prismastänger undviks vid stommätning.

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

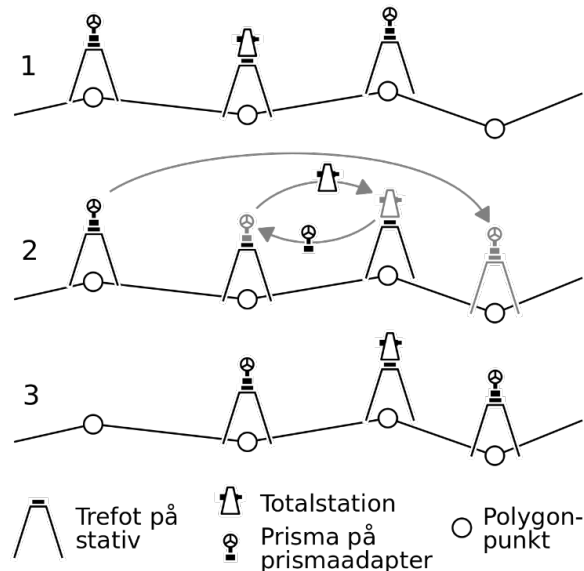
Tvångscentrerings

Tvångscentrerings används vid mätning av polygontåg men kan tillämpas även i andra sammanhang där minimering av centreringsosäkerheten är prioriterad. Detta är t.ex. fallet vid trigonometrisk höjdmätning, se avsnitt 4.2.3, men kan även vara aktuellt i vissa tillämpningar med triangelnät där oberoende uppställningar av instrument och signaler inte anses kritisk.

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 19. Därigenom kan mätningen utföras utan omcentrering.

Figur 10. 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>.



Alla mätningar blir alltså relaterade till samma fysiska punkt. På så sätt elimineras centreringsfelen, vilket ger en gynnsammare felortplantning och bättre resultat vid de efterföljande beräkningarna. Tvångscentreringens kvalitet står och faller med att utrustningen – inte minst trefötterna och de optiska loden – 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

Grundutförande

- a) Före utjämning i plan påförs alla mätta längder
 - atmosfärskorrektion
 - lutningskorrektion
 - prismakorrektion
 - höjdkorrektion
 - projektionskorrektion
- b) Före utjämning påförs trigonometriskt mätta höjdskillnader jordkröknings- och refraktionskorrektion.

Före beräkning korrigeras terrestra stommätningar enligt följande:

- Atmosfärskorrektion av mätta längder.
- Lutningskorrektion av mätta längder.
- Prismakorrektion av mätta längder.
- Reducering av avstånd till ellipsoiden (höjdkorrektion).
- Överföring av höjdkorrigerade avstånd till projektionsplanet (projektionskorrektion).
- Korrektion för jordkrökning och refraction vid trigonometrisk höjdmätning.

Atmosfärskorrektioner påförs på mätta längder i efterhand. Automatisk korrigerings genom användning av skalfaktor i instrumentet vid mätning (vanligen som tryck- och temperaturberoende ppm-värde) är avsedd för detaljmätning och tillämpas inte vid stommätning.

Övriga korrektioner kan påföras observationerna i olika skeden av mätning- och beräkningsprocessen. Datorprogrammen för beräkning och

nätutjämnings 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 mer ingående beskrivning av korrektionerna och hur de hanterar olika systematiska effekter vid stommätning 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 utjämnings av stornät.

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

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 höjds slutningsfel 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 utjämnings.

4.4.1 Förhandskontroll av höjdnät – ett exempel

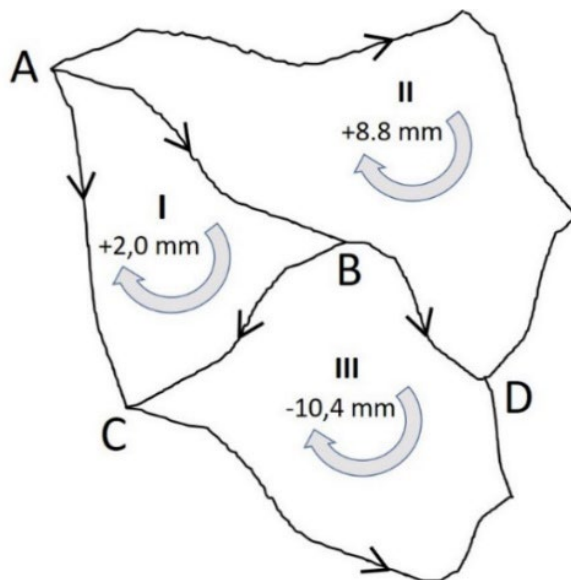
I Figur 20 redovisas slutningsfelen för tre slingor i ett höjdnät. Alla slutningsfel beräknas medurs, med hänsyn tagen till tågriktning. T.ex. består slinga I av tågen $(A \rightarrow B) + (B \rightarrow C) - (A \rightarrow C)$, vilket symboliseras med tecknen 1/-1 i Tabell 15. Vid beräkning av slutningsfelen används sedan dessa teckenkonventioner. Beräkning/analysen kan göras före eller efter utjämnings – resultaten och tolkning blir desamma, se avsnitt 6.2.

De tåg som ingår i slinga I och II+III verkar vara felfria (gröna). Kvar blir tåget $B \rightarrow D$, 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 höjdslutningsfel i slingor finns i Bilaga C.4.7.

Figur 11. Kontroll av slutningsfel i slingor i ett höjdnät. Pilar mellan knutpunkter anger tågriktningen. Slutningsfelen - och omloppsriktningen - redovisas inuti respektive slinga.



Tabell 7. Sammanställning av slutningsfelen för höjdnätet i Figur 20.

Tåg	Slinga						Tåglängd (km)
	I	II	III	I+II	I+III	II+III	
1: A→B	1	-1			1	-1	3
2: A→C	-1			-1	-1		3
3: A→D		1		1		1	8
4: B→C	1		-1	1		-1	3
5: B→D		-1	1	-1	1		2
6: C→D			-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	

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 koordinatdifferenserna, *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; de inre och yttre vinkelsummorna i en triangel är t.ex. exakt 200 respektive 1000 gon (dvs. med decimalerna "00000 ..." osv.). Därför är det helt relevant att tala om slutningsfel om detta villkor inte är uppfyllt. För andra polygoner gäller vinkelsummor enligt Tabell 16.

Toleranser för slutningsfel i slingor i polygonnät finns i C.4.8 (vinkelslutningsfel) och Bilaga C.4.9 (koordinat Slutningsfel).

Tabell 8. 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	$(n+2) \times 200$ gon	$(n-2) \times 200$ gon

Triangelnät och GNSS-nät

Slingor för kontroll kan även skapas i andra typer av nät – t.ex. triangelnät. 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 karaktäriserar triangelnät gör dock att det ofta går att gå direkt på en preliminär utjämning 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.

5 Genomförande av stommätning med GNSS

I detta kapitel beskrivs statistisk GNSS-mätning med efterberäkning av baslinjer och tillhörande egenkontroller. Dessa arbetsmoment utförs innan GNSS-observationerna används i nätutjämning, koordinattransformation eller liknande.

Principerna om kontrollerbarhet/tillförlitlighet och lägesosäkerhet – även mellan nypunkterna – innebär att kapitlet har huvudsakligt fokus på mätning av baslinjer i GNSS-nät. Alternativ GNSS-metodik tas dock upp i avsnitt 5.4, främst för bestämning av koordinater eller höjder för enstaka utgångspunkter.

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 samtliga nypunkter har rekognoserats och markerats enligt avsnitt 3.5.
- att geodetisk infrastruktur och övriga förutsättningar för anslutning har kontrollerats
- att planerad stommätning har redovisats enligt avsnitt 3.5 och att en sessionsplan finns tillgänglig för medverkande personal
- att samtliga mätinstrument har rätt intällningar och att all nödvändig utrustning har kontrollerats 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, centrerung, antennhöjds-mätning m.m.

5.1.1 Sessionsplanering och observationstider

Grundutförande

- a) Sessionsplaneringen ska visa vilka samtidiga mätningar som utförs i varje session och vilka förflyttningar med nya instrumentuppställningar som utförs mellan sessioner.
- b) Sessionslängden anpassas till de längsta observationstiderna.
- c) Observationstiden för GNSS-mätningarna anpassas till baslinjernas längd och rådande mätförhållanden.
- d) Sessionsplaneringen stäms av med beställaren innan mätningen inleds.

Rekommendation

- e) Sessionsplaneringen kan redovisas som en översiktlig karta/skiss för beställare och som ett mer detaljerat sessionsschema för utförande personal.
- f) En nätkarta kan visa beställaren vilka punkter som ska mätas i respektive session.
- g) Ett mer detaljerat sessionsschema kan visa utförande personal uppgifter om punktbezeichnung, nominella start- och sluttider för sessionen och vilken mätutrustning som ska användas för varje enskild GNSS-mätning.
- h) Cirka två tredjedelar av punkterna i ett GNSS-nät bör ingå i minst två sessioner.
- i) Snabb-statisk mätning bör endast tillämpas vid baslinjelängder kortare än 10 km.

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 stompunkter under samma tidsintervall.

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

Lämplig 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, förutsatt att GNSS-mottagarna är specificerade för detta, se avsnitt 3.6.3. Tabell 17 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.

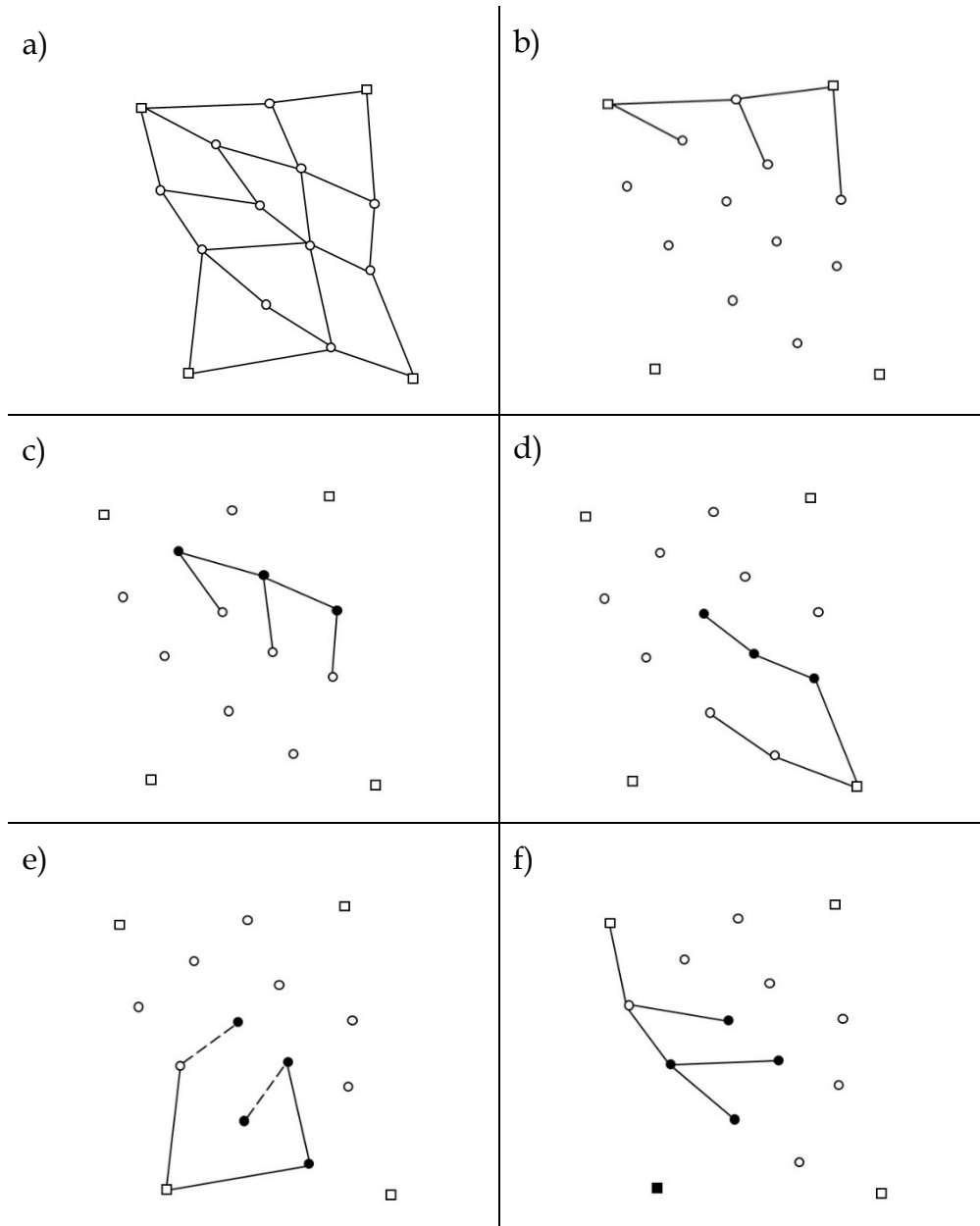
Tabell 9. Riktmärken för minsta observationstider baserat på baslinjens längd.

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

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 är ingen nackdel, eftersom det bidrar till att mätdata blir mindre korrelerade. Sessionsplaneringen redovisas lämpligen med hjälp av en nätkarta och ett sessionsschema:

- Nätkartan/sessionsskissen visar alla oberoende baslinjer och i vilken session de ingår. Denna karta är lämplig att visa för beställare, förslagsvis inom ramen för redovisning av planerad stommätning (se avsnitt 3.6). Se exempel i Figur 21, där mätsessionerna för ett GNSS-nät planeras för 6 st. mottagare. En lämplig princip är dock att planera efterföljande sessioner med överlapp, så att några GNSS-mottagare står kvar på samma punkter.
- Sessionsschemat visar start- och sluttider för respektive session, vilken mätutrustning som ska användas på varje stompunkt, samt om/hur mätutrustningen ska flyttas mellan sessionerna. Schemat är främst stöd för utförande personal och bör anpassas till uppdraget. Se exempel på utformning i Figur 22.

Figur 12. Ett GNSS-nät med oberoende baslinjer (a) ska mätas in med 6 st. GNSS-mottagare. Övriga figurer (b-f) visar hur mätningen kan utföras i fem sessioner, med fem oberoende baslinjer i varje session. Fyllda cirkular visar punkter där mottagare lämnas kvar. Observera att några "extra" oberoende baslinjer (streckade) erhålls i förhållande till nätsskissen i a).



Figur 22. Exempel på sessionsschema för GNSS-mätning.

	Session 1	Paus	Session 2	Paus	Session 3	Paus	Session 4	Paus	Session 5
Starttid	10:00		11:00		13:00		14:00		15:00
Sluttid	10:30		11:30		13:30		14:30		15:30
Mottagare 1 Modell Serienummer Operatör	P01	Flytta	P08	Stanna	P08	Stanna	P08	Stanna	P08
Mottagare 2 Modell Serienummer Operatör	P02	Flytta	P09	Stanna	P09	Stanna	P09	Stanna	P09
Mottagare 3 Modell Serienummer Operatör	P03	Flytta	P10	Stanna	P10	Flytta	P11	Stanna	P11
Mottagare 4 Modell Serienummer Operatör	P04	Stanna	P04	Flytta	P12	Stanna	P12	Stanna	P12
Mottagare 5 Modell Serienummer Operatör	P05	Stanna	P05	Flytta	P13	Stanna	P13	Flytta	P07
Mottagare 6 Modell Serienummer Operatör	P06	Stanna	P06	Flytta	P14	Flytta	P15	Flytta	P01

5.1.2 Mätförhållanden

Grundutförande

- GNSS-mätning planeras så att den tidsmässigt genomförs när satellitgeometrin är god.
- Om GNSS-mätning utförs under icke-optimala förhållanden redovisas de åtgärder som vidtagits för att uppnå den kvalitet som specificerats för uppdraget.

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 18 och Tabell 19.

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 10. Riktmärken för acceptabla mätförhållanden med avseende på tillgängliga satelliter.

Antal satelliter	Minst sex satelliter under hela den rekommenderade observationstiden.
Satellitgeometri, DOP-tal	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 19. 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 19. Riktmärken för justering av observationstider vid förhöjd jonosfärs- och troposfärsaktivitet.

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

5.1.3 Instrumentuppställning och sessionsdokumentation

Grundutförande

- a) Separata mätprotokoll upprättas för varje GNSS-mätning, ett per punkt och session.
- b) Centrerings och horisontering av GNSS-antennerna görs med stativ, trefot och lod och kontrolleras före och efter GNSS-mätning.
- c) Samtliga GNSS-antennerna i sessionen grovorienteras på samma sätt, t.ex. mot norr.
- d) Antennhöjder mäts före och efter GNSS-mätningen och dokumenteras i meter med tre decimaler.
- e) Metoden för antennhöjds-mätning ska framgå av mätprotokoll, inklusive vilken punkt på antennen som höjden bestämts för.
- f) Instrumentuppställning utförs oberoende i varje session, även när mätinstrumentet ska användas på samma punkt som i föregående session.

Rekommendation

- g) GNSS-antennen bör placeras på 1-2 meters höjd över marknivå.
- h) GNSS-antennen bör orienteras enligt tillverkarens instruktioner, om sådana finns.
- i) Upprepad antennhöjds-mätning bör ske på alternativa sätt.
- j) Om mätprotokoll skrivs för hand bör dessa fotograferas eller skannas och lagras digitalt tillsammans med mätdata
- k) En redogörelse och sammanställning av genomförda mätningar kan underlätta senare datahantering, felsökning m.m.

GNSS-nät beräknas i 3D, baserat på relationen mellan GNSS-antennernas respektive fascentrum. Noggrann centrerings och horisontering 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, t.ex. mot norr, mot solen, eller enligt tillverkarens rekommendation. Vid användning

av azimutala antennkorrektioner framgår korrekt orientering av antenskiss eller liknande uppgift från tillverkaren.

Antennhöjdmätning 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.

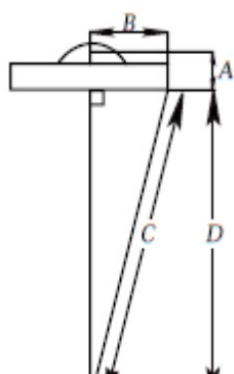
Av dokumentation, t.ex. foto eller skiss, ska framgå hur antennhöjdmätningen utförs. Det är särskilt viktigt att skilja mellan vertikal och lutande höjdmätning, samt att fastställa läget för ARP (Antenna Reference Point) i förhållande till den punkt dit höjdmätningen utförs. Se exempel i Figur 23. Se avsnitt 3.6.3 för vidare beskrivning av GNSS-antennerna och ARP.

Vid behov av excentrisk bestämning av stompunkten utförs centreringsmätning enligt avsnitt 4.2.5.

Dokumentation av GNSS-mätningen utförs direkt i fält att underlätta senare datahantering, felsökning m.m. Mätprotokollen bör alltid sparas digitalt, även när de skrivs för hand.

Även om samma mätinstrument används i efterföljande sessioner på samma punkt utförs ny uppställning för att få oberoende centrering. Centreringsfel riskerar annars att förbli oupptäckta - alternativt göra flera sessioner oanvändbara.

Figur 13. 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 detta exempel i samma plan som ARP)
- D = Vertikalt avstånd från punktmarkering till ARP

Innan uppstart av varje ny mätsession på en viss punkt ska ett nytt mätprotokoll påbörjas. Flera uppställningar på samma punkt ska alltså inte dokumenteras i samma mätprotokoll.

Mätprotokollet 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.
- Unik identifikation – t.ex. serienummer – för använd GNSS-antenn, GNSS-mottagare (ett ID om antenn och mottagare är integrerade) och trefot.
- Kontroll av centrering före och efter mätsession.
- Antennhöjdmätningar genomförda före och efter mätsession, enligt avsnitt 5.1.7.
- Skiss/fotografi av markering, uppställning och omgivande miljö.
- Väderförhållanden – temperatur, vind, nederbörd etc.
- Konstaterade problem/avvikelser under mätningen.
- Operatör/signatur.

Efter genomförda mätningar kan den viktigaste informationen i mätprotokollen sammanställas i en sessionslista för att underlätta senare datahantering, felsökning m.m. Detta är särskilt viktigt i större stomnätprojekt och/eller där flera personer är inblandade i både mätning och beräkning. Se mall/exempel på en sådan sessionslista i Bilaga G.

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.

Programvara för baslinjeberäkningen väljs och kontrolleras med avseende på viktiga inställningar, se avsnitt 5.2.2. Lämpliga kriterier – t.ex. toleranser – för att godkänna baslinjeberäkningar tillämpas, se avsnitt 5.2.3.

Kontroller av beräknade sessioner utförs enligt redovisad plan, se avsnitt 3.5.

5.2.1 Indata vid baslinjeberäkning

Grundutförande

- a) Punktbezeichnungar, antennhöjder och antenntyper i alla observationsfiler kontrolleras mot stationsprotokoll innan beräkningen inleds.
- b) För varje antenntyp som används vid GNSS-mätningen ska motsvarande antenmodell finnas tillgänglig i programvaran.
- c) Utgångspunkternas koordinater och höjder samt dess referenssystem hämtas från – eller 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 banddata 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.

Observationsfiler

Inför baslinjeberäkningen ska GNSS-data finnas i separata observationsfiler för alla utgångspunkter och nypunkter. Observationsfilerna sparas lämpligen även 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 20) kontrolleras mot sessionsprotokoll eller aktuella uppgifter från nätförvaltare.

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.

Tabell 11. Exempel på metadata i RINEX-filer som bör kontrolleras och vid behov justeras före användning.

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

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 stommätningssuppdrag 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:

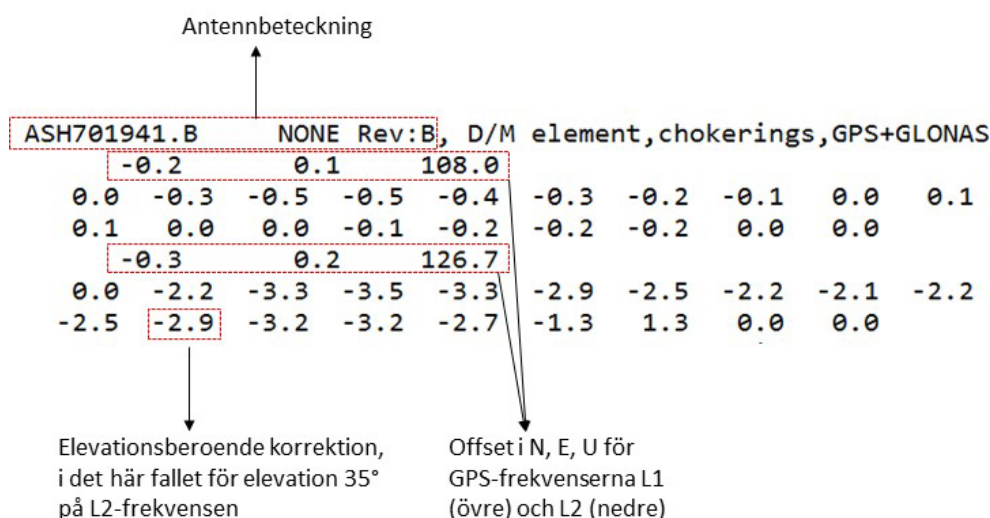
- de innehåller både konstanta och elevationsberoende korrekationer för GPS L1/L2-frekvenserna
- de baseras på kalibreringsdata från en känd källa (t.ex. International GNSS Service eller amerikanska geodesimyndigheten National Geodetic Survey)
- de har importerats i något av formaten ANTEX eller ANTINFO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

För fasta referensstationer innebär det att samma antennmodell som använts vid beräkningen av kända koordinater för stationen, används även vid nyberäkningar av stornät som involverar referensstationen. Har de kända koordinaterna för referensstationen bestämts med en individkalibrerad antennmodell används individmodellen för stationen även vid nyberäkning för bästa överrensstämmelse. Vice versa gäller

om den fasta referensstationens koordinater har bestämts med en typmodell, då används typmodellen även om det skulle finnas en individmodell för antennen. Tjänsteleverantören tillfrågas för uppgifter om individkalibrerad antennenmodell har använts för beräkning av referensstationens kända koordinater.

I de fall där nya antennenmodeller 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 24.

Figur 14. Antennenmodell som bl.a. innehåller offset (medelposition) och variabla korrekationer för fascentrum i förhållande till ARP.



Bandata

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

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

Jämfört med utsända bandata, som går ut via satellitmeddelandet, är efterberäknade bandata mindre osäkra och bör vara förstahandsvalet, framför allt när baslinjerna är långa (> 10 km). Efterberäknade bandata förutsätter en beräkningsprocess, vilket medför en fördröjning från observationstillfället tills bandata 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 21.

Tabell 12. 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 ρ till satelliterna. I specialfallet där $B \approx \rho \times 10^{-3}$ kan detta uttryck förenklas ytterligare till:

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

Som framgår av exemplet nedan kan skillnaden mellan utsända och efterberäknade bandata ignoreras för baslinjer kortare än 10 km.

Exempel

Utsända bandata för GPS-satelliter används för att beräkna en 10 km baslinje. Eftersom satelliterna befinner sig på $\sim 20\,000$ km avstånd, och standardosäkerheten för GPS är 1 meter enligt Tabell 22, så blir satellitbanornas bidrag till baslinjens förväntade standardosäkerhet

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

Väder- och atmosfärsdata

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 Val av programvara och programinställningar

Grundutförande

- a) Vid baslinjeberäkningar prioriteras dubbeldifferenser med heltalsfixering av periodobekanta.
- b) Beräkningsprogramvaran ska kunna hantera/importera antennmodeller och efterberäknade banddata.
- c) Beräkningsprogramvaran ska medge viktning av baslinjer, antingen med avståndsberoende schablonvärden eller med fullständig varians-kovariansmatris.

Rekommendation

- d) Alla baslinjer i GNSS-nätet bör beräknas med samma programvara och programversion.
- e) Innan ny programvara används bör utföraren ha verifierat den på lämpligt sätt.
- f) Bestämning av periodobekanta (fixlösning) bör endast ske på baslinjer upp till ca 30 km.
- g) En elevationsmask bör tillämpas vid beräkningen.
- h) 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 *varians-kovariansmatriser* 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.

5.2.3 Kriterier för godkänd baslinjeberäkning

Grundutförande

- a) Endast baslinjer med godkänd fixlösning går vidare till utjämning.
- b) Kriterier för godkännande av baslinjeberäkningar redovisas.
- c) Alla ändringar av grundinställningar i beräkningsprogramvaran redovisas.

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 antennenmodell (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

Grundutförande

- a) Avvikelse mellan mätningar av samma baslinje i olika sessioner 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. Rådatafilen delas då upp i flera filer enligt sessionschemat inför beräkningen, se avsnitt 5.1.4.

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

Grundutförande

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

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

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 kontrollerbarhet 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

Grundutförande

Vid kontroll av GNSS-baslinjer med totalstation

- a) mäts den lutande längden mellan punktmarkeringarna.
- b) atmosfärskorrigeras de mätta längderna.
- c) centreras mätinstrument och signal med stativ och trefot.

Rekommendation

- d) 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 punktmarkeringarna
- 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 centrering av totalstation och signal med hjälp av stativ och trefot med lod. Rutinkontroll av centreringsen utförs före och efter mätning.

Utförd längdmätning 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 GNSS-metoder för enstaka utgångspunkter

5.4.1 Mätning med GNSS/RTK

Rekommendation

- a) GNSS/RTK-mätning kan användas för koordinatbestämning som inte kräver närsamband mellan nypunkter via utjämning.
- b) Om möjligt bör GNSS/RTK-mätning utföras parallellt med den statiska baslinjemätningen.
- c) Vid användning av GNSS/RTK bör kvalitetssäkring ske enligt *HMK – GNSS-baserad detaljmätning*, senaste version.
- d) Stompunkter som etableras med GNSS/RTK-mätning 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 eller kontrollpunkter.

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 GNSS/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.

GNSS-mätning med PPP-baserade metoder kan också vara ett alternativ, framför allt om nätverks-RTK-tjänst med nationell täckning ej finns tillgänglig. Vid användning av PPP-tjänst tillkommer dock behov av

hantering – och kvalitetssäkring – av PPP-tjänstens referenssystem i förhållande till SWEREF 99.

5.4.2 Användning av Swepos beräkningstjänst

Rekommendation

- a) Swepos beräkningstjänst kan användas vid tillämpningar som inte kräver närsamband mellan nypunkter via utjämning.
- 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 utgångspunkter i höjd.

Swepos beräkningstjänst är ett webbaserat alternativ till egen efterberäkning av insamlade GNSS-data som hanteras och beräknas punktvis. Dels finns en rikstäckande tjänst, dels projektanpassade tjänster. Informationen i avsnittet avser den rikstäckande tjänsten i nuvarande utformning (mars 2024). De projektanpassade tjänsterna beskrivs i separata handledningar som har tagits fram för respektive projekt. Under 2024 fick beräkningstjänsten en större uppdatering, inklusive stöd för fler satellitsystem (förutom GPS och Glonass, även Galileo), stöd för RINEX version 3 och 4, förbättrad kvalitetskontroll och en utökad resultatrapport.

Nypunktens koordinater i SWEREF 99 beräknas via Helmert-inpassning (se Tabell 24) mot upp till närliggande SWEPOS klass A-stationer. Höjder i RH 2000 beräknas genom att konvertera ellipsoidhöjder via den senaste nationella geoidmodellen, se Geodetisk infrastruktur, senaste version.

Användaren laddar upp sina statistiska mätningar till tjänsten med ett webbformulär och får resultatet i form av en textfil och en PDF 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. Innan beräkningen startas görs en kvalitetskontroll av RINEX-filen så att den uppfyller vissa minimikrav. I resultatet ingår även en omfattande rapport av RINEX-filens datainnehåll i form av kvalitetsmått och diagram

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 3 graders elevation. Elevationsmasken i GNSS-mottagaren bör därför inte vara högre än 3 grader.

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 ny-punkt 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 [Lantmäteriets webbplats](#).

6 Beräkning och analys av stomnät

Grundutförande

- a) Sökning av grova fel inkluderas i beräkning och analys av stomnät.
- b) Kvalitetsmått som möjliggör en bedömning av lägesosäkerheten i de beräknade koordinaterna/höjderna tas med i redovisningen.

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

Ingångsdata består i första hand av stommätningsobservationer 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 och fältprotokoll (namngivning, korrektioner, instrument- och signalhöjder m.m.)
- inmatning av utgångspunkter, med kontroll av koordinater, höjder och punkbeteckningar
- programförberedelser (skapa projekt, mata in "administrativa" uppgifter, definiera/ändra programparametrar etc.).

6.1 Utjämningsprocessen

6.1.1 Den generella processmodellen

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

1. **Förhandskontroll** innefattar verifiering av ingångsdata (och vid behov komplettering) 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 utjämnning baseras i huvudsak på mätosäkerhetsfunktionerna i Bilaga C.1.

3. **Preliminär beräkning** utförs 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 eller 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, identifiering och 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. koordinattransformation.
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 6.2-6.6 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 [8].

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 [8], kapitel 1. Den principen lyder:

- I. Minst 2/3 av mätmaterialet 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 utjämnning

Fri utjämnning är ett viktigt verktyg i analysen av ett stornät, särskilt i kombination med koordinattransformation.

I en fast utjämnning är de kända utgångspunkterna låsta, dvs. deras läge påverkas inte av beräkningen. I en fri utjämnning däremot låses bara **exakt** så många storheter som krävs för att ekvationssystemet ska vara lösbart. Även om fri nätutjämnning normalt används som analysverktyg finns det tillämpningar där den fria utjämnningen – 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 22.

Tabell 13. Antal låsta storheter vid en fri utjämnning 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 utjämnning 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 utjämningsprocessen.

Eftersom det inte finns något yttre tvång på mätningarna vid en fri utjämningsprocess kan dessa kontrolleras oberoende av utgångspunkterna. Det är dock inte alltid möjligt att inkludera samtliga mätningar i den fria utjämningsprocessen. Några punkter kan bli obestämbara 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 utjämningsprocessen, se Tabell 23. Denna metod används vanligen i samband med två- och tredimensionella stomnät.

Tabell 14. Transformationstyper som motsvarar antal låsta storheter vid en fri utjämningsprocess 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 utjämningsprocess och koordinattransformation som anslutningsmetod

Fri utjämningsprocess + 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 utjämning vs. anslutning genom inpassning

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

Har utgångspunkterna betydligt lägre osäkerhet väljs fast utjämning, 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 utjämning ligger *elastisk utjämning*, 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 HMK-TR 2018:3 [8], 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. avvägningsnät 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 koordinattransformation 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 2024*, Tabell 24.

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 24, inklusive kontroller, föreslagna toleranser och möjliga åtgärder i de fall avvikelser kan konstateras.

Tabell 15. Arbetsprocessen vid beräkning och analys av höjdnät.

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

	<ul style="list-style-type: none"> - Avstämning mot HMK:s 3-nivåprincip. - Eventuella problem/avvikelser och vidtagna åtgärder. - Övrig produktionsdokumentation enligt Bilaga B.
--	--

6.2.1 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.

6.2.2 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 bilaga C.1.4. Blandningar av avvägning och trigonometrisk höjdmätning – i samma höjdnät – kan vara svåra att hantera vad gäller viktsättningen.

6.2.3 Preliminär beräkning

Den preliminära beräkningen inkluderar normalt alla mätdata och samtliga utgångspunkter. Fri utjämning är vanligen endast tillämplig i de fall höjdnätet utgör en del av ett terrestert 3D-nät – eller om det uteslutande består av slutna slingor, se Figur 20.

6.2.4 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

Utjämnning 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
Slutnings fel (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 utjämnningen 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 utjämnningen, jfr. Tabell 16. Att studera slutningsfel i slingor fungerar alltså lika bra som analysmetod före som efter utjämnning.

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.

6.2.5 Slutgiltig beräkning

Definitiva höjder på nypunkterna beräknas efter att mätdata och utgångspunkter har kontrollerats och eventuell ommätning av tåg eller byte/nymätning av utgångspunkter har skett.

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.

6.2.6 Resultatredovisning

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

6.3 Polygonnät

Rekommendation

- a) Utjämning och analys av ett polygonnät bör följa processbeskrivningen i *HMK – Stommätning 2024*, Tabell 25.

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 25, inklusive kontroller, föreslagna toleranser och möjliga åtgärder om fel/avvikelse konstateras.

Tabell 16. Arbetsprocessen vid beräkning och analys av polygonnät.

Moment	Kontroller/analyser, toleranser och åtgärder
Förhandskontroll	<ul style="list-style-type: none">– Spridning mellan helsatser vid vinkelmätning, se Bilaga C.4.3.– Dubbelmätta längder, se Bilaga C.4.4.– Slutningsfel i slingor, se Bilaga C.4.8 (vinklar) och Bilaga C.4.9 (koordinater). <p><u>Ev. åtgärd</u>: ommätning av polygontåg.</p>

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

6.3.1 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.

6.3.2 Viktsättning

Schablonvikter används för varje tåg. Vid vinkelutjämnning baseras vikten på antalet vinkelmätstationsstationer i tåget. Vid den efterföljande koordinatutjämnningen är vikterna omvänt proportionella mot tåglängden.

6.3.3 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.

6.3.4 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.

6.3.5 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.

6.3.6 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 2024*, Tabell 26.

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 [8]. Arbetet följer processbeskrivningen i Tabell 26 och denna nättyp ligger till grund för den detaljerade beskrivningen i Bilaga F.

En alternativ beräkningsmetodik är att använda nätverksstödd reducering av mätta längder som beskrivs i referens [5]. Detta beräkningsförfarande undviker att använda vertikalvinklarna direkt i beräkningen och är ett alternativ till att påföra korrekationer för refraktion, jordkrökning och lodavvikelse för mätningarna. Metoden kan främst vara användbart vid beräkning av småskaliga nät med höga krav på den interna lägesosäkerheten.

Tabell 17. Arbetsprocessen vid beräkning och analys av triangelnät.

Moment	Kontroller/analyser, toleranser och åtgärder
Förhandskontroll	<ul style="list-style-type: none"> – Spridning mellan helsatser vid vinkelmätning, se Bilaga C.4.3. – Dubbelmätta längder, se Bilaga C.4.4. – Om möjligt, slutningsfel i slingor, se Bilaga C.4.7 och C.4.8. <p>Ev. åtgärd: ommätning av vinklar och längder.</p>
Viktsättning	<p>Beräknas från totalstationens specificerade mätosäkerhet och antalet upprepade mätningar.</p> <ul style="list-style-type: none"> – För vinkelmätning, se Bilaga C.1.1. – För längdmätning, se Bilaga C.1.2.
Preliminär beräkning	Fri utjämning av samtliga observationer.
Analys	<ul style="list-style-type: none"> – Viktsenhetens standardosäkerhet. – Standardiserade förbättringar med data-snooping. – Utgångspunkter och skalfaktor genom inpassning

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

6.4.1 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.

6.4.2 Viktsättning

Vikter beräknas från totalstationens specificerade mätosäkerhet och antalet upprepade mätningar (helsatser, dubbelmätta längder etc.), se Bilaga C.1. Viktning utifrån specificerade krav på instrument bör endast användas i undantagsfall eftersom de troligen överensstämmer sämre med den faktiska mätsituationen.

6.4.3 Preliminär beräkning

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

6.4.4 Analys

Analys av triangelnät behandlas i detalj i HMK-TR 2018:3 [8], 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.

6.4.5 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.

6.4.6 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/avvikelser och vidtagna åtgärder bör också framgå av dokumentationen. I övrigt sker redovisningen enligt Bilaga B.

6.5 Terrestra 3D-nät

Rekommendation

- a) Utjämning och analys av ett terrestert 3D-nät bör följa processbeskrivningen i *HMK – Stommätning 2024*, Tabell 27.

Den typ av terrestert mätta 3D-nät som avses i detta avsnitt består av fasta signaler (t.ex. väggmarkeringar) som bestäms med hjälp av fria stationer på ej markerade punkter, s.k. fristationsnät. I den här definitionen utesluts inte att mätningar sker mellan stationer, dvs. att signal placeras på vissa uppställningar.

Stationerna kan i vissa fall vara separerade i plan och höjd, se vidare avsnitt 3.2.4. Detta kan t.ex. vara en fördel i nät med branta sikter, där fel i signalhöjder även påverkar horisontella längder och planutjämning.

Hanteringen av dessa nät karaktäriseras av den speciella utformningen samt det sätt på vilket mätningarna utförs. Beräknings-/analysarbetet följer processbeskrivningen i Tabell 27, som även innehåller kontroller, toleranser och möjliga åtgärder i de fall avvikelser konstateras.

Tabell 18. Arbetsprocessen vid beräkning och analys av terrestra 3D-nät.

Moment	Kontroller/analyser, toleranser och åtgärder
Förhandskontroll	<ul style="list-style-type: none"> - Dubbelmätta höjdskillnader vid trigonometrisk höjdmätning (om mätning sker mellan stationer), se Bilaga C.4.2. - Spridning mellan helsatser vid vinkelmätning, se Bilaga C.4.3. - Dubbelmätta längder (om mätning sker mellan stationer), se Bilaga C.4.4. <p><u>Ev. åtgärd:</u> ommätning av vinklar och längder.</p>
Viktsättning	<p>Beräknas från totalstationens specificerade mätosäkerhet och antalet upprepade mätningar.</p> <ul style="list-style-type: none"> - För vinkelmätning, se Bilaga C.1.1. - För längdmätning, se Bilaga C.1.2.
Preliminär beräkning	<ul style="list-style-type: none"> - Fri utjämning av alla observationer. - En instrumentuppställning utgör det lokala referenssystem som övriga uppställningar relateras till.
Analys	<p>Analys i 3D eller separat i plan + höjd.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Viktsenhetens standardosäkerhet. - Standardiserade förbättringar med data-snooping. - Utgångspunkter och skalfaktor genom inpassning av fritt utjämnat nät på utgångspunkterna (i 3D eller 2D+1D). <p><u>Ev. åtgärd:</u> ommätning/uteslutning av mätningar, modifierad viktsättning, byte av utjämningsmodell eller uteslutning/nybestämning av utgångspunkter.</p>
Slutgiltig beräkning	<ul style="list-style-type: none"> - Beräkning av koordinater/höjder och tillhörande kvalitetsmått via utjämning eller koordinattransformation. - Upprepad data-snooping.
Redovisning	<ul style="list-style-type: none"> - Beräknade koordinater och höjder. - Viktsenhetens standardosäkerhet. - Resultat från data-snooping. - Övriga tester samt uppgifter om lägesosäkerhet och tillförlitlighet. - Avstämning mot HMK:s 3-nivåprincip. - Eventuella problem/avvikelser och vidtagna åtgärder. - Övrig produktionsdokumentation, se Bilaga B.

6.5.1 Förhandskontroll

Före utjämning av terrestra 3D-nät görs en analys av helsatser vid vinkelmätning. Vid eventuell mätning mellan uppställningar tillkommer kontroll av dubbelmätta längder och höjdskillnader. Kontroller som utförts i fält verifieras.

6.5.2 Viktsättning

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

6.5.3 Preliminär beräkning

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

6.5.4 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.

6.5.5 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.

6.5.6 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.

6.6 GNSS-nät

Rekommendation

- a) Utjämnings och analys av ett GNSS-nät bör följa processbeskrivningen i *HMK – Stommätning 2024*, Tabell 28.

Beräkningen av GNSS-nät utförs i 3D med **baslinjer** som minsta enhet. Utjämningsprocessen sammanfattas i Tabell 28, inklusive kontroller, föreslagna toleranser och möjliga åtgärder om avvikelser konstateras.

Tabell 19. Arbetsprocessen vid beräkning och analys av GNSS-nät.

Moment	Kontroller/analyser, toleranser och åtgärder
Förhandskontroll	<ul style="list-style-type: none"> – Dubbelmätta baslinjer, se Bilaga C.4.5. – Slutningsfel i 3D-slingor, se Bilaga C.4.10. – Jämförelse med EDM-mätning, se Bilaga C.4.6. <p><u>Ev. åtgärd:</u> ommätning av sessioner.</p>
Viktsättning	<ul style="list-style-type: none"> – Varians-kovariansmatris från baslinjeberäkning, se avsnitt 5.2.2, eller – förenklade schablonvärden, se Bilaga C.1.5.
Preliminär beräkning	<ul style="list-style-type: none"> – Fri utjämnings av samtliga baslinjer.
Analys	<ul style="list-style-type: none"> – Viktsenhetens standardosäkerhet. – Standardiserade förbättringar med data-snooping. – Utgångspunkter och skalfaktor genom inpassning av fritt utjämnat nät på utgångspunkterna (i 3D eller 2D+1D). <p><u>Ev. åtgärder:</u> ommätning/uteslutning av baslinjer, modifierad viktsättning, byte av utjämningsmodell eller uteslutning/nybestämning av utgångspunkter.</p>
Slutgiltig beräkning	<ul style="list-style-type: none"> – Beräkning av koordinater/höjder och tillhörande kvalitetsmått via utjämnings eller koordinattransformation. – Upprepad data-snooping.

Redovisning	<ul style="list-style-type: none"> - Beräknade koordinater och höjder. - Viktsenhetens standardosäkerhet. - Resultat från data-snooping. - Övriga tester samt uppgifter om lägesosäkerhet och tillförlitlighet. - Avstämning mot HMK:s 3-nivåprincip. - Eventuella problem/avvikelser och vidtagna åtgärder.
--------------------	--

6.6.1 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.

6.6.2 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 centrering 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 [8], kapitel 5), vilket då ska dokumenteras.

6.6.3 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.

6.6.4 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 utjämningen 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 utjämningsresultat 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. Avvikelserna i passpunkterna – restfelen – analyseras med data-snooping. Utgångspunkter som tas bort från fortsatt beräkning redovisas i resultatrapporten.

6.6.5 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 utjämning, se avsnitt 6.7.1. Upprepad data-snooping utförs, som vid elastisk utjämning även inkluderar utgångspunkterna.

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

6.6.6 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.

6.7 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 läges-

osäkerhet. 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 utjämningen på ett mer realistiskt sätt. Inte heller vid anslutning av ett fritt utjämnt stomnät med hjälp av en ren inpassningstransformation är idén att utgångspunkternas koordinater ska ändras i arkivet.

En intressant koppling mellan fri och elastisk utjämning är att viktsenhetsens standardosäkerhet från inpassningen av den fria utjämningen kan användas vid viktningen av utgångspunkterna i en efterföljande elastisk utjämning.

I modeller med icke-felfria utgångspunkter och elastisk utjämning 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 utjämning

Avvägning, terrester 2D-mätning och tredimensionell GNSS-mätning kan kombineras i en gemensam beräkning. Detta brukar benämnas *kombinerad utjämning*. 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 utjämning 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 utjämning är att utföra beräkningen på ellipsoiden i stället för i en *kartprojektion* (se HMK – Geodetisk infrastruktur 2021, kapitel 2). Det kan i flera avseenden vara en mer lämpad modell för kombinerade terrestra och GNSS-bestämda stomnät.

Vid utjämning i ett ellipsoidiskt *koordinatsystem* görs t.ex. inga höjd- och projektkorrektioner – 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 utjämningen 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 \(pdf 1.8 Mb, nytt fönster\)](#), Working Group 1 of the Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM/WG 1).
- [2] Eriksson, P-O (2010): *Anslutning av lokala höjdnät till RH 2000 med GNSS-stommätning*, [Lantmäterirapport 2010:5 \(pdf 0.7 Mb, nytt fönster\)](#), Lantmäteriet, Gävle.
- [3] Eriksson, P-O (2010): *Höjdmätning med GNSS – vägledning för olika mätsituationer*, [Lantmäterirapport 2010:4 \(pdf 0.7 Mb, nytt fönster\)](#), Lantmäteriet, Gävle.
- [4] Bagherbandi M, Shirazian M, Ågren J & Horemuz M (2023): [Physical and Geometric Effects on the Classical Geodetic observations in Small-Scale Control Networks](#), Journal of Surveying Engineering, Volume 149, Issue 1, February 2023
- [5] Shirazian M, Bagherbandi M, & Karimi H (2021): [Network-Aided Reduction of Slope Distances in Samll-Scale Geodetic Control Networks](#), Journal of Surveying Engineering, Volume 147, Issue 4, November 2021
- [6] SIS (2016): *Byggmätning – Geodetisk mätning, beräkning och redovisning av byggnadsverk och infrastruktur*, [Teknisk specifikation SIS-TS 21143:2016](#), Swedish Standards Institute/TK 178.
- [7] Persson C-G (2019): *Mätning och redovisning av bygg- och anläggningsobjekt - med tonvikt på långsträckta objekt i 3D*, Teknisk rapport [HMK-TR 2019:1 \(pdf 3.8 Mb, nytt fönster\)](#), Lantmäteriet, Gävle.
- [8] Persson, C-G (2018): *Beräkning och analys av stornät - med tonvikt på plana, terrestra nät*, Teknisk rapport [HMK-TR 2018:3 \(pdf 2.0 Mb, nytt fönster\)](#), Lantmäteriet, Gävle.
- [9] Lantmäteriet m.fl. (2021): *Geodetisk och fotogrammetrisk mätnings- och beräkningsteknik*, [Kurskompendium \(pdf 13 Mb, nytt fönster\)](#), Lantmäteriet, Gävle.
- [10] 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 Lästips

HMK-TR 2018:3

HMK-TR 2018:3 [8] är en teknisk rapport som togs fram inom ramen för arbetet med HMK – Stommätning 2021. 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, svensk-språkig beskrivning av beräkning och analys av stomnät.

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

Övriga rapporter, webbsidor m.m.

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

- [Lantmäteriet 2010:11 \(pdf 0.6 Mb, nytt fönster\)](#), *Om behovet av nationell geodetisk infrastruktur och dess förvaltning i framtiden*. Lantmäteriet (Ågren J & Engberg L E), Gävle, 2010.
- [HMK-rapport 2016:2 \(pdf 0.8 Mb, nytt fönster\)](#), *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 information om referenssystem och övrig nationell geodetisk infrastruktur:

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

På Lantmäteriets webbplats finns information om nationella geodataplattformen (NGP) och nationell specifikation för Stompunkt:

<https://www.lantmateriet.se/sv/nationella-geodataplattformen/damangder/stompunkter/>

Bilaga A: Handbokens numrerade riktlinjer

Bilaga A kan användas som stöd för att specificera hur planering, arbetsprocess och leverans ska se ut i ett stomnätsprojekt, t.ex. i en kravspecifikation eller i annan avstämning/dialog mellan beställare och utförare.

Bilagan innehåller två avsnitt:

- Bilaga A.1 är en sammanställning av samtliga grundutföranden och rekommendationer i handboken, dvs. alla gula respektive blå textutor som förekommer i början av numrerade avsnitt.
- Bilaga A.2 ger stöd för kravställning med hänvisning till grundutföranden i handboken.

Observera att HMK inte är en myndighetsföreskrift. All tillämpning av HMK bygger på frivilliga överenskommelser mellan berörda intressenter, t.ex. det som avtalas mellan parterna i en upphandling eller beslut som fattas internt av en organisation. För hänvisningsregler, se [HMK - Introduktion 2017](#), avsnitt 1.7.

A.1 Samtliga grundutföranden och rekommendationer

3 Planering inför stommätning

REKOMMENDATION

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

3.2 Utformning av olika stommätstyper

GRUNDUTFÖRANDE

- a) Förslag på utformning och anslutning av nytt stommät stäms av med beställare innan punktmarkering och mätning påbörjas.
- b) Aktuella koordinat- och höjduppgifter för stommätets utgångspunkter, samt var de härstammar från, tas med i resultatredovisningen.

REKOMMENDATION

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

3.2.1 Höjdnät

GRUNDUTFÖRANDE

- a) Alla höjdtåg i ett höjdnät påbörjas och avslutas i kända utgångspunkter eller knutpunkter, med olika start- och slutpunkt.
- b) Anslutning av ett nytt höjdnät till RH 2000 sker via minst två utgångspunkter i riksnätet eller i ett anslutningsnät.

REKOMMENDATION

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

3.2.2 Terrestra 2D-nät

GRUNDUTFÖRANDE

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

REKOMMENDATION

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

3.2.3 Terrestra 3D-nät

GRUNDUTFÖRANDE

- a) Terrestra 3D-nät utformas med en kontrollerbarhet $k \geq 0,5$.
- b) Terrestra 3D-nät mäts in med totalstation från fria uppställningar.

REKOMMENDATION

- c) Punkter i terrestra 3D-nät bör vara väl spridda i såväl plan som höjd.

3.2.4 GNSS-nät

GRUNDUTFÖRANDE

- a) GNSS-nät planeras så att alla baslinjer kan kontrolleras, t.ex. via upprepade mätningar i flera sessioner eller via baslinjeslingor.
- b) Anslutning av GNSS-nät sker via minst tre utgångspunkter som inte ligger på en rät linje.

- c) Anslutning planeras så att det finns en redundans av utgångspunkter med kända koordinater, dvs. fler än minimiantalet.
- d) Vid användning av fasta referensstationer säkerställs tillgång till observationsdata innan mätprogram/sessionsplanering fastställs.

REKOMMENDATION

- e) En bra praxis vid planering av yttäckande GNSS-nät är att bygga upp en homogen nätgeometri av oberoende baslinjer i fyrsidiga figurer.
- f) Avstånden mellan närliggande stompunkter och/eller utgångspunkter i ett GNSS-nät bör inte överstiga 20 km.
- g) Data från fasta referensstationer i Swepos-nätet kan användas för anslutning av GNSS-nätet till SWEREF 99.
- h) Vid optisk sikt mellan punkterna i ett GNSS-nät kan terrestra längdmätningar övervägas – antingen för oberoende kontroll av baslinjer eller som kompletterande observationer.
- i) Vid tillgång till närliggande höjdfixar kan lämpliga punkter i GNSS-nätet avvägas för att få bättre höjdkvalitet.

3.2.5 Förtätning, reovering och komplettering

GRUNDUTFÖRANDE

- a) Förtätning eller reovering som avser enstaka stompunkt utförs genom överbestämd geodetisk mätning och utjämning mot närmast omgivande stompunkter.
- b) Förtätning eller reovering som avser en sammanhängande grupp av flera stompunkter utförs på samma sätt som vid ny-etablering av motsvarande stomnätstyp.
- c) Komplettering av utgångspunkter utförs på ett sådant sätt att kraven på lägesosäkerhet, kontrollerbarhet och tillförlitlighet uppfylls i det specifika uppdraget.

REKOMMENDATION

- d) Nybestämning av enstaka stompunkt i ett höjdnät bör ske med avvägningståg, tur och retur, 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 statistisk 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

GRUNDUTFÖRANDE

- a) Vid planering av ett nytt stamnät utförs analys av nätets homogenitet, samt dess förväntade lägesosäkerhet, kontrollerbarhet och tillförlitlighet.

REKOMMENDATION

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

3.4 Fältrekognosering

GRUNDUTFÖRANDE

- a) Nypunkter placeras så att det finns goda förutsättningar för fortsatt mätning, samt att arbete vid punkterna kan utföras på ett säkert sätt.
- b) Alla planerade sikter verifieras och eventuella röjningsbehov undersöks.
- c) Förutsättningar för stabil markering av nypunkter bedöms – för höjdnät gäller bedömningen särskilt i höjddled.
- d) Vid kontroll av befintliga utgångspunkter rapporterar utföraren skadade eller rubbade markeringar till stamnätsförvaltaren.

REKOMMENDATION

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

3.5 Redovisning av planerad stommätning

GRUNDUTFÖRANDE

- a) Utföraren beaktar beställarens krav på hur den planerade stommätningen ska redovisas.
- b) Den planerade stommätningen beskrivs av utföraren och förankras med beställaren innan markering och mätning inleds.

REKOMMENDATION

Dokumentation av planerad stommätning bör

- c) baseras på nätutformning, analys av nätdesign och genomförd fältrekognosering.
- d) beskriva vilka mätningar som ska utföras.
- e) beskriva vilka mätinstrument som ska användas.
- f) beskriva vilka egenkontroller och toleranser som ska tillämpas vid mätning.

3.6 Mätutrustning

GRUNDUTFÖRANDE

- a) Mätinstrument väljs med en specificerad standardosäkerhet som gör det möjligt att uppfylla kraven (inklusive tillhörande mätutrustning som avvägningsstänger och signaler).
- b) Mätinstrument funktionskontrolleras och fältkalibreras inför stommätning.
- c) Fältkalibrering dokumenteras så att mätinstrument kan identifieras genom serienummer eller liknande.
- d) Före fältkalibrering och stommätning aklimatiseras mätinstrument med tillbehör i den aktuella miljön, i enlighet med tillverkarens rekommendationer.
- e) All mätutrustning som används vid stommätning dokumenteras så det framgår vilken utrustning som har använts för respektive observation.

REKOMMENDATION

- f) Utföraren bör vara väl insatt i vald mätutrustnings funktionalitet, teknik och prestanda.
- g) För information om specifika mätinstrument och tillbehör hänvisas till manualer och specifikationer från respektive tillverkare.

3.6.1 Vid avvägning

GRUNDUTFÖRANDE

- a) Vid stommätning i höjd väljs typ av avvägningsstång beroende på tillämpning.
- b) Avvägningsstänger kontrolleras med avseende på fotplatta, gradering och nominell längd.

3.6.3 Vid GNSS-mätning

GRUNDUTFÖRANDE

- a) GNSS-utrustning som används vid stommätning ska vara specificerad för geodetisk mätning, alternativt för statisk fas- och kodmätning.
- b) GNSS-utrustning som används vid stommätning ska genomgå service 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.
- e) GNSS-mottagare bör konfigureras för att registrera mätdata från samtliga tillgängliga GNSS-system.
- f) Epokintervallen kan sättas till 15 sekunder vid statisk mätning och 5–15 sekunder vid snabb-statisk mätning.
- g) Elevationsmasken bör vara nära 0 grader.

3.6.4 Övrig utrustning

GRUNDUTFÖRANDE

- a) Övrig utrustning som kan förväntas påverka mätresultatet underhålls, kontrolleras och kalibreras så att dess påverkan minimeras

REKOMMENDATION

- b) Under pågående uppdrag bör de instrumentstativ, trefötter och övrig utrustning som används för mätning kontrolleras dagligen.

3.7 Markering av stompunkter

GRUNDUTFÖRANDE

- a) Markering ska utföras enligt *HMK-Geodesi, Markering*, med gällande aktualitetsbeskrivning.

4 Genomförande av terrester mätning

4.1 Avvägning av höjdskillnader

GRUNDUTFÖRANDE

- a) Höjdtåg avvägs två gånger, en gång i vardera riktningen, s.k. dubbelavvägning.
- b) Summan av siktlängderna bakåt respektive framåt ska vara lika i alla fixhåll.
- c) Inga siktlängder ska överstiga 40 meter.
- d) Om dubbla avvägningsstänger används anpassas antalet uppställningar så att samma stång ställs på start- respektive slutpunkten i varje fixhåll.
- e) Avläsning görs automatiskt mot streckkodade stänger, alternativt manuellt genom okulär avläsning med hjälp av planglasmikrometer mot graderade stänger.
- f) Varje registrering av höjd ska bestå av ett medelvärde av flera avläsningar.

REKOMMENDATION

- g) Siktlängderna bakåt och framåt bör vara lika vid varje uppställning.
- h) Stöd bör användas för noggrann lodning av avvägningsstänger, t.ex. gångstavar.
- i) Två oberoende avläsningar Bakåt (B) och Framåt (F) bör göras vid varje uppställning enligt mätmetoden BFFB.
- j) Instrumentens inbyggda funktioner bör användas för att ställa in gränsvärden för siktlängder, lägsta tillåtna avläsning på stång, höjdskillnader (BF-FB) och standardosäkerhet för flera registreringar.

4.2 Totalstationsmätning av längder och vinklar

GRUNDUTFÖRANDE

- a) Uppställning av totalstation kontrolleras genom inriktning mot bakåtojekt före och efter själva stommätningen.

REKOMMENDATION

- b) Satsmätningen bör anpassas så att längd- och riktningsmätningen får ungefär samma mätosäkerhet för den genomsnittliga sidlängden i nätet.

4.2.1 Riktningsmätning med totalstation

GRUNDUTFÖRANDE

- a) Riktningsmätning utförs i helsatser och spridningen mellan dessa kontrolleras och redovisas.

4.2.2 Längdmätning med totalstation

GRUNDUTFÖRANDE

- a) Längder mäts två gånger, en gång i vardera riktningen om så är möjligt (s.k. dubbelmätta längder).

4.2.5 Centrering och hantering av excentriciteter

GRUNDUTFÖRANDE

- a) Instrument- och signalhöjder bestäms före och efter mätning och dokumenteras i meter med tre decimaler.
- b) Centrering av instrument och signaler görs med stativ och någon lodningsmetod (fysiskt lod eller annan fast anordning, optiskt- eller laserlod).
- c) Centrering av instrument, signaler och master kontrolleras före och efter mätning.
- d) Vid längd- och vinkelmätning där minimering av centreringsosäkerheten är särskilt viktig tillämpas tvångscentrering.
- e) Masthöjds- och övriga excentricitetsmätningar dokumenteras så att avvikelserna från huvudmarkeringen – och hur den har beräknats – tydligt framgår.

REKOMMENDATION

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

4.3 Korrektioner

GRUNDUTFÖRANDE

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

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 Sessionsplanering och observationstider

GRUNDUTFÖRANDE

- a) Sessionsplaneringen ska visa vilka samtidiga mätningar som utförs i varje session och vilka förflyttningar med nya instrumentuppställningar som utförs mellan sessioner.
- b) Sessionslängden anpassas till de längsta observationstiderna.
- c) Observationstiden för GNSS-mätningarna anpassas till baslinjernas längd och rådande mätförhållanden.
- d) Sessionsplaneringen stäms av med beställaren innan mätningen inleds.

REKOMMENDATION

- e) Sessionsplaneringen kan redovisas som en översiktlig karta/skiss för beställare och som ett mer detaljerat sessions-schema för utförande personal.
- f) En nätkarta kan visa beställaren vilka punkter som ska mätas i respektive session.

- g) Ett med detaljerat sessionsschema kan visa utförande personal uppgifter om punktbezeichnung, nominella start- och sluttider för sessionen och vilken mätutrustning som ska användas för varje enskild GNSS-mätning.
- h) Cirka två tredjedelar av punkterna i ett GNSS-nät bör ingå i minst två sessioner.
- i) Snabb-statisk mätning bör endast tillämpas vid baslinjelängder kortare än 10 km.

5.1.2 Mätförhållanden

GRUNDUTFÖRANDE

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

5.1.3 Instrumentuppställning och sessionsdokumentation

GRUNDUTFÖRANDE

- a) Separata mätprotokoll upprättas för varje GNSS-mätning, ett per punkt och session.
- b) Centrering och horisontering av GNSS-antennerna görs med stativ, trefot och lod och kontrolleras före och efter GNSS-mätning.
- c) Samtliga GNSS-antennerna i sessionen grovorienteras på samma sätt, t.ex. mot norr.
- d) Antennhöjder mäts före och efter GNSS-mätningen och dokumenteras i meter med tre decimaler.
- e) Metoden för antennhöjds-mätning ska framgå av mätprotokoll, inklusive vilken punkt på antennen som höjden bestämts för.
- f) Instrumentuppställning utförs oberoende i varje session, även när mätinstrumentet ska användas på samma punkt som i föregående session.

REKOMMENDATION

- g) GNSS-antennen bör placeras på 1-2 meters höjd över marknivå.
- h) GNSS-antennen bör orienteras enligt tillverkarens instruktioner, om sådana finns.
- i) Upprepad antennhöjds-mätning bör ske på alternativa sätt.

- j) Om mätprotokoll skrivs för hand bör dessa fotograferas eller skannas och lagras digitalt tillsammans med mätdata
- k) En redogörelse och sammanställning av genomförda mätningar kan underlätta senare datahantering, felsökning m.m

5.2.1 Indata vid baslinjeberäkning

GRUNDUTFÖRANDE

- a) Punktbeteckningar, antennhöjder och antenntyper i alla observationsfiler kontrolleras mot stationsprotokoll innan beräkningen inleds.
- b) För varje antenntyp som används vid GNSS-mätningen ska motsvarande antenmodell finnas tillgänglig i programvaran.
- c) Utgångspunkternas koordinater och höjder samt dess referenssystem hämtas från – eller 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 banddata 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 Val av programvara och programinställningar

GRUNDUTFÖRANDE

- a) Vid baslinjeberäkningar prioriteras dubbeldifferenser med heltalsfixering av periodobekanta.
- b) Beräkningsprogramvaran ska kunna hantera/importera antenmodeller och efterberäknade banddata.
- c) Beräkningsprogramvaran ska medge viktning av baslinjer, antingen med avståndsberoende schablonvärden eller med fullständig varians-kovariansmatris.

REKOMMENDATION

- d) Alla baslinjer i GNSS-nätet bör beräknas med samma programvara och programversion.
- e) Innan ny programvara används bör utföraren ha verifierat den på lämpligt sätt.
- f) Bestämning av periodobekanta (fixlösning) bör endast ske på baslinjer upp till ca 30 km.
- g) En elevationsmask bör tillämpas vid beräkningen.
- h) Standardmodeller för jonosfär och troposfär bör användas när observationstiden är under 30 minuter eller när baslinjen är kortare än 5 km.

5.2.3 Kriterier för godkänd baslinjeberäkning

GRUNDUTFÖRANDE

- a) Endast baslinjer med godkänd fixlösning går vidare till utjämnning.
- b) Kriterier för godkännande av baslinjeberäkningar redovisas.
- c) Alla ändringar av grundinställningar i beräkningsprogramvaran redovisas.

5.3.1 Upprepad mätning av baslinjer

GRUNDUTFÖRANDE

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

5.3.2 Slutningsfel i baslinjeslingor

GRUNDUTFÖRANDE

- a) Slutningsfel i baslinjeslingor 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

GRUNDUTFÖRANDE

Vid kontroll av GNSS-baslinjer med totalstation

- a) mäts den lutande längden mellan punktmarkeringarna.

- b) atmosfärskorrigeras de mätta längderna.
- c) centreras mätinstrument och signal 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 Mätning med GNSS/RTK

REKOMMENDATION

- a) GNSS/RTK-mätning kan användas för koordinatbestämning som inte kräver närsamband mellan nypunkter via utjämning.
- b) Om möjligt bör GNSS/RTK-mätning utföras parallellt med den statiska baslinjemätningen.
- c) Vid användning av GNSS/RTK bör kvalitetssäkring ske enligt HMK – GNSS-baserad detaljmätning, senaste version.
- d) Stompunkter som etableras med GNSS/RTK-mätning bör höjdbestämmas via terrester mätning mot utgångspunkt i höjdnät.

5.4.2 Användning av Swepos beräkningstjänst

REKOMMENDATION

- a) Swepos beräkningstjänst kan användas vid tillämpningar som inte kräver närsamband mellan nypunkter via utjämning.
- 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 utgångspunkter i höjd.

6 Beräkning och analys av stomnät

GRUNDUTFÖRANDE

- a) Sökning av grova fel inkluderas i beräkning och analys av stomnät.
- b) Kvalitetsmått som möjliggör en bedömning av lägesosäkerheten i de beräknade koordinaterna/höjderna tas med i redovisningen.

6.2 Höjdnät

REKOMMENDATION

- a) Utjämning och analys av ett höjdnät bör följa processbeskrivningen i *HMK – Stommätning 2024*, Tabell 24.

6.3 Polygonnät

REKOMMENDATION

- a) Utjämning och analys av ett polygonnät bör följa processbeskrivningen i *HMK – Stommätning 2024*, Tabell 25.

6.4 Triangelnät

REKOMMENDATION

- a) Utjämning och analys av ett triangelnät bör följa processbeskrivningen i *HMK – Stommätning 2024*, Tabell 26.

6.5 Terrestra 3D-nät

REKOMMENDATION

- a) Utjämning och analys av ett terrestert 3D-nät bör följa processbeskrivningen i *HMK – Stommätning 2024*, Tabell 27.

6.6 GNSS-nät

REKOMMENDATION

- a) Utjämning och analys av ett GNSS-nät bör följa processbeskrivningen i *HMK – Stommätning 2024*, Tabell 28.

A.2 Användning av grundutförande vid kravställning

Den här bilagan innehåller en lista med hänvisningar till samtliga grundutföranden (bokstavsnumrerade gula textutor) i *HMK – Stommätning 2024* för möjlig användning i samband med kravställning. Samtliga grundutföranden redovisas även i Bilaga A.1.

Listan kan kopieras och bifogas, t.ex. som underlag vid upphandling eller annan typ av specifikation. Eventuella tillägg till eller avsteg från grundutförandet måste vara tydligt angivna, antingen i klartext eller via hänvisning. Exempel på tillägg kan vara handbokens blå rutor (rekommendationer), som då anges på motsvarande sätt som grundutföranden.

Exempel

Avsteg från grundutförande kan t.ex. anges genom

- genomstruken text:

Grundutförande 1 a) i HMK – Stommätning 2024 gäller som ~~krav~~.

- omformulering:

Grundutförande 1 a) i HMK – Stommätning 2024 gäller endast som rekommendation.

Tillägg till grundutförande kan t.ex. anges enligt följande:

Rekommendation 1 a) i HMK – Stommätning 2024 gäller som krav.

Här följer listan med hänvisningar till grundutföranden i handboken

Grundutförande 3.2 a) – b) i *HMK – Stommätning 2024* gäller som krav

Grundutförande 3.2.1 a) – b) i *HMK – Stommätning 2024* gäller som krav

Grundutförande 3.2.2 a) – b) i *HMK – Stommätning 2024* gäller som krav

Grundutförande 3.2.3 a) – b) i *HMK – Stommätning 2024* gäller som krav

Grundutförande 3.2.4 a) – d) i *HMK – Stommätning 2024* gäller som krav

Grundutförande 3.2.5 a) – c) i *HMK – Stommätning 2024* gäller som krav

Grundutförande 3.3 a) i *HMK – Stommätning 2024* gäller som krav

Grundutförande 3.4 a) – d) i *HMK – Stommätning 2024* gäller som krav

Grundutförande 3.5 a) – b) i *HMK – Stommätning 2024* gäller som krav
Grundutförande 3.6 a) – e) i *HMK – Stommätning 2024* gäller som krav
Grundutförande 3.6.1 a) – b) i *HMK – Stommätning 2024* gäller som krav
Grundutförande 3.6.3 a) – b) i *HMK – Stommätning 2024* gäller som krav
Grundutförande 3.6.4 a) i *HMK – Stommätning 2024* gäller som krav
Grundutförande 3.7 a) i *HMK – Stommätning 2024* gäller som krav
Grundutförande 4.1 a) – f) i *HMK – Stommätning 2024* gäller som krav
Grundutförande 4.2 a) i *HMK – Stommätning 2024* gäller som krav
Grundutförande 4.2.1 a) i *HMK – Stommätning 2024* gäller som krav
Grundutförande 4.2.2 a) i *HMK – Stommätning 2024* gäller som krav
Grundutförande 4.2.5 a) – e) i *HMK – Stommätning 2024* gäller som krav
Grundutförande 4.3 a) – b) i *HMK – Stommätning 2024* gäller som krav
Grundutförande 5.1.1 a) – d) i *HMK – Stommätning 2024* gäller som krav
Grundutförande 5.1.2 a) – b) i *HMK – Stommätning 2024* gäller som krav
Grundutförande 5.1.3 a) – f) i *HMK – Stommätning 2024* gäller som krav
Grundutförande 5.2.1 a) – c) i *HMK – Stommätning 2024* gäller som krav
Grundutförande 5.2.2 a) – c) i *HMK – Stommätning 2024* gäller som krav
Grundutförande 5.2.3 a) – c) i *HMK – Stommätning 2024* gäller som krav
Grundutförande 5.3.1 a) i *HMK – Stommätning 2024* gäller som krav
Grundutförande 5.3.2 a) – c) i *HMK – Stommätning 2024* gäller som krav
Grundutförande 5.3.3 a) – c) i *HMK – Stommätning 2024* gäller som krav
Grundutförande 6 a) – b) i *HMK – Stommätning 2024* gäller som krav

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 med hänvisning till denna bilaga. Se även HMK-TR 2018:3 [8], Bilaga B, och SIS-TS 21143:2016 [6], sid. 65.

Nationella specifikationen för Stompunkt kan också användas som referens för vilken information som kan vara till nytta vid utbyte av stompunktsinformation mellan olika aktörer i samhällsbyggnadsprocessen.

B.1 Planeringsrapport

Dokumentation av planering utförs enligt avsnitt 3.5. Om en särskild planeringsrapport/genomförandebeskrivning krävs av beställaren – för fastställelse innan stommätningen påbörjas – 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 inledas med en gemensam del som redovisar:

- a) uppdraget (typ av stamnät, 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

Därefter redovisas följande:

- e) en 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 – eller från stomnätsplaneringen – och motiv för dessa)
 - höjd- och koordinatsystem, kartprojektion och zon samt geoidmodell och ev. transformationssamband
 - mätmetoder och mätutrustning med tillhörande instrumentkontroller (fabrikat/typ/nr samt verifikat på kalibreringar/justeringar)
 - programvara för beräkning (inklusive versionsnummer)
 - verifierande kontroller samt toleranser vid mätning och beräkning
 - särskilda överväganden och ställningstaganden (t.ex. vid underhandsavstämningar)
- 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 (icke använda/bortviktade mätningar kan redovisas separat i textform).
- 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. Användarmanualen för de programvaror som används kan

ge förklaringar av innehållet i de olika resultatrapporter som är tillgängliga i respektive programvara. Vad som redovisas av olika programvaror kan variera något – liksom hur de olika storheterna och parametrarna benämns i programvarans originalspråk och i dess översättning, som inte alltid stämmer med svenska vedertagna och etablerade begrepp. För förståelse av dessa bör aktuell manual bifogas till programutskriften.

B.3.1 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.3.2 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.3.3 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.3.4 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.3.5 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 stornätets utformning, vid viktsättning av observationerna i samband med nätutjämnning 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 vinkelmättningsinstrument
- 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 2021, Bilaga A.3.

Bilaga C.4 innehåller riktlinjer för toleransbaserade kontroller som kan utföras i samband med resultatet från kvalitetsmätning samt före eller efter utjämnning.

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)
- ρ 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:

$$u(\varphi) = \sqrt{\left(\frac{0,6}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{2}{0,3} \cdot \rho\right)^2} = 0,6 \text{ mgon}$$

Detta motsvarar ca 3 mm i tvärlid 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).

Observera att beräkningen av standardosäkerhet vid längdmätning ej tar hänsyn till antalet helsatser. Till skillnad från riktningsmätning (se C.1.1 ovan) har upprepade längdmätningar på kort tid ett starkt inbördes beroende. Flera helsatser bidrar därför inte till en minskad standardosäkerhet.

Exempel

Ett EDM-instruments standardosäkerhet har en konstant del på 2 mm och en längdberoende del på 3 ppm. Om centreringssäkerheten 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).

Exempel

En sträcka på 4 km dubbelavvägs med ett instrument som har en specificerad standardosäkerhet vid dubbelavvägning på 1 mm/ $\sqrt{\text{km}}$. Standardosäkerheten för den dubbelmätta höjdskillnaden blir då:

$$u(\Delta H) = 1\sqrt{4} = 2 \text{ mm.}$$

Vid beräkning av standardosäkerheten för enkelmätta tåg - dvs. höjdtåg som bara har avvägts i den ena riktningen - ska ovanstående uttryck för dubbelavvägning multipliceras med $\sqrt{2}$.

Exempel

En sträcka på 2 km enkelavvägs med ett instrument som har en specificerad standardosäkerhet vid dubbelavvägning på 2 mm/ $\sqrt{\text{km}}$. 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 **enkelmätt** höjdskillnad vid 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 siktlängden (km)
- ρ är omvandlingsfaktorn (mellan mgon och radianer)
 $200 \times 10^{-3} / \pi \approx 0,063662$.

C_s bör vara ≥ 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 refractionens 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. Siktlängden $L = 50$ meter och vertikalvinkeln $Z = 90$ gon.

Det ger följande standardosäkerhet i den enkelmätta 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 signalhöjds mätningen, dvs. från C_i och C_s .

Exemplet indikerar att det är just osäkerheten i instrument- och signalhöjds mätningen 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 5 mm + 0,5 mm/km. Den specificerade standardosäkerheten i 3D för en 10 km lång baslinje kan då beräknas på följande sätt:

$$u(\Psi_h) = 3 + 0,5 \cdot 10 = 8 \text{ mm}$$

$$u(\Psi_v) = 5 + 0,5 \cdot 10 = 10 \text{ mm}$$

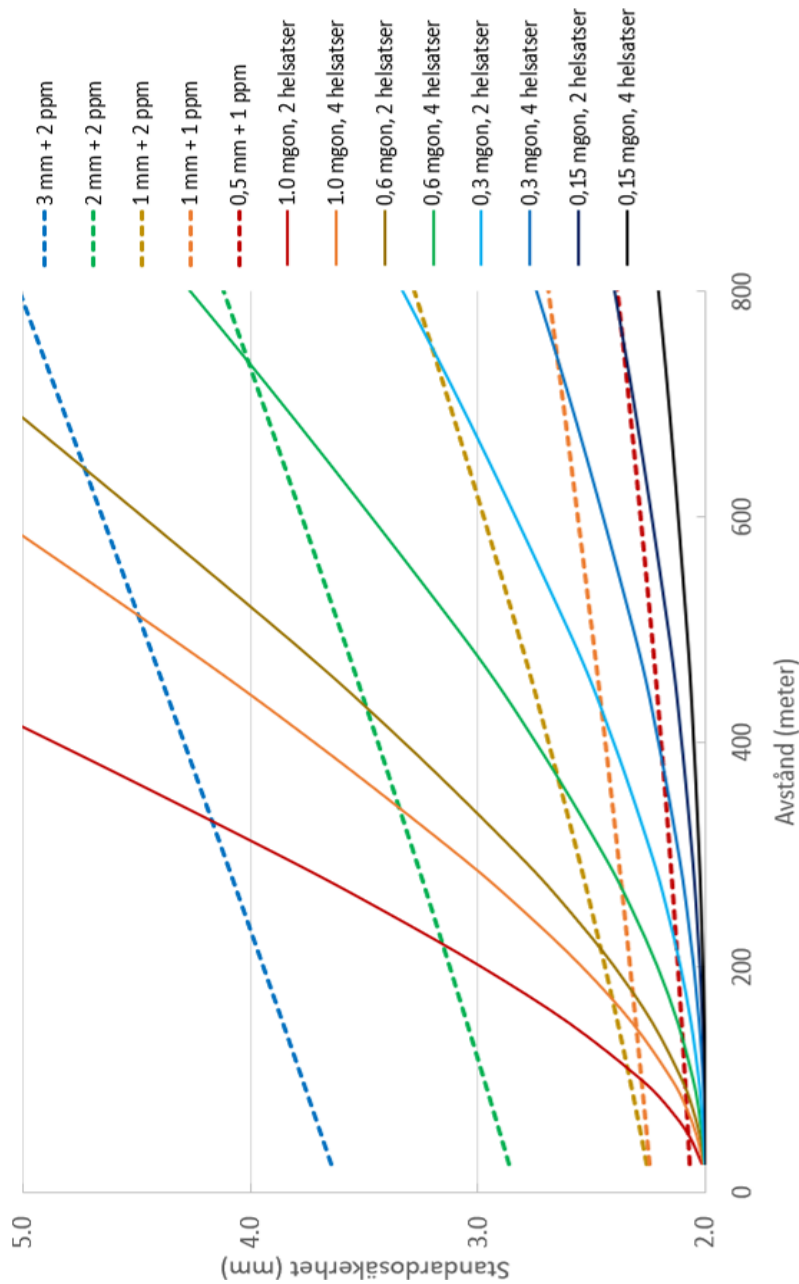
$$u(\Psi_{3D}) = \sqrt{8^2 + 10^2} = 12,8 \text{ mm}$$

Till detta kommer eventuell osäkerhet i centrerings och antennhöjdmätning.

C.2 Balansering av mätosäkerhet vid längd- och riktningsmätning

Vid stommätning med totalstation är det önskvärt att åstadkomma likvärdig mätosäkerhet vid längd- och riktningsmätning. Figur 24 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 15. 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 2021, 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 29 anges schablonuppskattade, absoluta standardosäkerheter för tänkbara utgångspunkter i SWEREF 99. Osäkerhetsmåten kan anses gälla även för den lokala lägesosäkerheten – utom för bruksnät, där den lokala osäkerheten vanligen är lägre än den absoluta.

Tabell 29: Skattade 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 HMK – Geodetisk infrastruktur, senaste version.	Absolut lägesosäkerhet i SWEREF 99 (mm)	
	Plan	Höjd
Fasta referensstationer		
SWEPOS, fundamentalstationer	1	1-2
SWEPOS, övriga klass A/B	2-3	3-5
Nationella stompunkter		
Klass 1 (försäkringspunkter)	5	5
Klass 2 (RIX 95)	10	-
Anslutningspunkter		
Bestämda med GNSS-teknik	6-8	10
Bestämda med terrester teknik	10-15	-

Brukspunkter		
Bestämda med GNSS-teknik	10	15
Bestämda med terrester teknik	15-20	-

C.3.2 RH 2000

I Tabell 30 anges schablonuppskattade absoluta standardosäkerheter för stompunkter i RH 2000. Den lokala osäkerheten är vanligen något lägre än den absoluta.

Tabell 20. Uppskattade standardosäkerheter i höjd för stompunkter i RH 2000.

Punkttyp	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)

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 in-data 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.

Dubbelavvägda höjdskillnader i fixhåll (ΔH_{AB} och ΔH_{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 31 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 21. Toleranser (II) för avvikelser mellan dubbelavvägda höjdskillnader 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 etablering av anslutningsnät	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 mätinstrument som möjliggör motsvarande observationer.

De dubbelmätta höjdskillnaderna ΔH_{AB} och ΔH_{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 Bilaga C.1.4. Denna tolerans redovisas i Tabell 32. Plus-tecknet i formelns andra led motiveras av att höjdskillnaderna har olika tecken beroende på mätriktningen.

Ofta ingår detta moment som en del i bestämningen av terrestert mätta 3D-nät, se avsnitt 6.6. Vid trigonometrisk höjdmätning för lutningskorrektion av mätta längder ställs lägre krav på mätosäkerheten och siktlinjerna kan göras längre.

Tabell 22. Tolerans (II) för avvikelsen mellan två trigonometriskt mätta höjdskillnader. $u(\Delta H)$ är standardosäkerheten i mm enligt Bilaga C.1.4.

Tillämpning	Tolerans (II) (mm)
Trigonometriskt mätta höjdskillnader	$2,8 \cdot u(\Delta H)$

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 33 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
- Terrestert mätta 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 23. Toleranser ("tumregler") för spridningen mellan helsatser vid riktningsmätning.

Specificerad mätosäkerhet	Siktlängd	Antal mätobjekt	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 34 redovisas toleranser för olika specificerade mätosäkerheter för totalstation, vilket motsvarar olika värden för parametrarna A och B enligt Bilaga C.1.2.

Tabell 24. Toleranser (II) för dubbelmätta längder för olika mätosäkerheter. Standardosäkerheten i centrerung $C = 2$ mm i samtliga fall.

	Tolerans (II) för specificerade mätosäkerheter (mm)		
Mätt längd	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 35.

Tabell 25. Värderna vid toleransberäkning för avvikelserna mellan dubbelmätta baslinjers längd. Det första värdet i varje ruta avser tolerans II och det andra (inom parentes) tolerans III.

	Toleranser II och (III) för specificerade mätosäkerheter (mm)		
Baslinjens längd	Horisontell längd: 3 mm + 0,1 ppm	Horisontell längd: 3 mm + 0,5 ppm	Horisontell längd: 5 mm + 0,5 ppm
	Höjdskillnad: 3,5 mm + 0,4 ppm	Höjdskillnad: 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 36.

Tabell 26. Tolerans (II) för avvikelser 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-baslinjens standardosäkerhet. Då kan kontrollmetoden betraktas som felfri.

C.4.7 Höjdslutningsfel i slingor

Kontrollen avser avvägning av höjdskillnader och utförs före utjämnings, 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 37 redovisas toleranser (II) för anslutnings- och bruksnät.

Tabell 27. Toleranser (II) för slutningsfelet i slingor av dubbelavvägda höjdskillnader. L är höjdslingans längd i km. (Se även Bilaga C.1.3.)

Tillämpning	Standardosäkerhet A (mm/ $\sqrt{\text{km}}$)	Tolerans (II) (mm)
Finavvägning vid etablering av anslutningsnät	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 mätt 2D-nät, vanligtvis polygonnät. Tvångscentrering förutsätts. Slutningsfelet för horisontalvinklarna kontrolleras mot toleransen enligt Tabell 38, vilket sker före utjämning.

Tabell 28. 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 yttervinklarna $200 \cdot (n+2)$ gon, se Tabell 17.

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 39. 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 40 redovisas toleranser (II och III) för olika specificerade värden på parametrarna A och B , se Bilaga C.1.5.

Tabell 29. 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)
Norr	4	1	6	1,5
Öster	4	1	6	1,5
Upp	10	1	15	1,5
Plan	6	1	15	1,5
3D	12	1	18	1,5

C.4.11 Viktsenhetens standardosäkerhet

Kontrollen avser viktsenhetens standardosäkerhet. Toleranserna i Tabell 41 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 utjämningen – också ligga nära ett (1), eller i vart fall inte överskrida angivna toleranser.

Tabell 30. 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 42 redovisas toleranser (II) – beräknade på detta sätt – för viktsenhetens standardosäkerhet i anslutnings- och bruksnät i höjd.

Tabell 31. Toleranser (II) för viktsenhetens standardosäkerhet i anslutnings- och bruksnät i höjd. $T(\ddot{o})$ – där \ddot{o} är antalet överbestämningar – anger tabellvärdet enligt Tabell 41. L är det aktuella, dubbelmätta tågets längd i km.

Tillämpning	Standardosäkerhet A (mm/ $\sqrt{\text{km}}$)	Tolerans (II) (mm)
Finavvägning vid etablering av anslutningsnät	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 43 redovisas toleranser för anslutnings- och bruksnät.

Tabell 32. Toleranser för slutningsfelet i höjdtåg efter utjämning. L är tåglängden i km. (Se även Bilaga C.1.3.)

Tillämpning	Standardosäkerhet A (mm/ $\sqrt{\text{km}}$)	Tolerans (mm)		
		I	II	III
Finavvägning vid etablering av anslutningsnät	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 44 redovisas toleranser för vinkelslutningsfel och i Tabell 45 toleranser för radiella koordinatslutningsfel.

Tabell 33. Toleranser för vinkelslutningsfel i polygontåg i bruksnät. n är antalet vinkelmättningsstationer.

Maximalt slutningsfel (mgon)		
I	II	III
$1\sqrt{n}$	$2\sqrt{n}$	$3\sqrt{n}$

Tabell 34. 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: Kalibrering och kontroll av mätinstrument

D.1 Kalibrering

Kalibrering omfattar både systemkalibrering och fältkalibrering, vilka beskrivs i avsnitt D.1.1 respektive D.1.2.

D.1.1 Systemkalibrering

Systemkalibrering innebär kontrollåtgärder och justeringar av mätinstrument som utförs och dokumenteras i samband med auktoriserad service. För metod, innehåll och periodicitet för systemkalibrering hänvisas till rekommendationer från respektive återförsäljare eller leverantör. Efter utförd systemkalibrering, eller i vardagligt tal service, utfärdas i regel ett certifikat eller annan dokumentation som bör sparas som spårbarhet för respektive instrument och teknisk utrustning.

Efter utförd systemkalibrering behövs en fältkalibrering för att färdigställa instrumentet för ordinarie användningsområden. Detta eftersom systemkalibreringen företrädesvis utförs i laboratoriemiljö, ofta under förhållanden som inte liknar dem vid traditionell fältmätning. Även andra nollställningar kan förekomma vid servicen.

D.1.2 Fältkalibrering

Fältkalibrering utförs periodiserat, vid stora temperaturomslag, efter systemkalibrering eller inför precisionsmätning av användaren för att minimera systematiska mätfel. Beträffande moderna elektroniska mätinstrument gäller att vissa instrumentfel elimineras (eller minimeras) matematiskt efter korrekt utförd fältkalibrering. Utförande av fältkalibrering kan vara specificerat inom ramen för en verksamhet, projekt eller uppdrag men några allmänna riktlinjer kan vara:

- Rätt utrustning för uppgiften; stativ, mätstänger, prismor och trefötter
- Goda väder- och markförhållanden; undvik sol och vind samt var observant på t.ex. värmedaller
- Utförande vid representativ temperatur för årstiden
- Bra rutiner för hur kalibreringen genomförs; utgå från instrumentens manualer och leverantörens rekommendationer
- Dokumentation av kalibreringsvärden för respektive instrument över tid; instrumentets kalibreringshistorik finns då bevarat såväl som att eventuella avvikelser går att följa

- Att rutinsätta kalibrering och ge utförandet tid och utrymme; en noggrann och väl utförd fältkalibrering ger förutsättningar för goda mätresultat
- Att vid fältkalibrering av totalstation inför satsmätning utföra kalibreringen med minst samma antal helsatser som för planerade satsmätningen
- Att följa upp med ett återkommande kontrollförfarande; för totalstation genom återkommande kontrollmätningar mot stabilt monterat prisma alternativt jämförelser före och efter utförd kalibrering
- God insikt i vilka parametrar i tekniken som påverkas av kalibreringen; här kan instrumentspecifikationer och handlingar vara ett bra stöd.

D.2 Olika typer av instrumentfel

Vid all stommätning eftersträvas att mätinstrument med tillhörande utrustning och är väl justerade, kalibrerade och funktionskontrollerade. Systemkalibrering av mätinstrument utförs i samband med auktoriserad service medan fältkalibrering utförs av användaren genom kontroll och justering. 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 användaren själv, antingen via fältkalibrering 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.

Nedanstående tabeller redovisar olika instrumentfel med förslag till åtgärd. Angiven siffra i kolumnen "Typ av fel" avser indelningen ovan. I kolumnen "Acceptabel storlek" har angivits värden som dels är realistiska att uppnå vid fältkalibrering eller annan 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 35. Instrumentspecifika fel vid avvägning.

Typ av fel	Acceptabel storlek	Inverkan av fel	Elimination	Föreslagen åtgärd
Kollimationsfel (2)	3 mm/50 m utan planplatta	Fel höjdskillnad vid olika avläsningsavstånd bakåt/framåt	Samma avstånd vid avläsning bakåt/framåt	Kontrolleras dagligen innan avvägning påbörjas och vid markant förändring av temperatur
Kompensatorfel (3)	---	Siktlinjen är inte horisontell	Går inte. Instrumentet behöver åtgärdas	Kontroll vid auktoriserad service
Graderingsfel avvägningsstång (3)	Invarstång 0,01 mm Övriga stänger 0,1-1 mm	Felaktig avläsning	Kräver kalibreringstabell	Uppmätning av skalan
Lutande stång (1)	---	Felaktig avläsning	Går inte	Vattenpass kontrolleras dagligen, justeras vid behov

D.2.2 Totalstation

Tabell 36. Instrumentspecifika felkällor vid längdmätning.

Typ av fel	Acceptabel storlek	Inverkan av fel	Elimination	Föreslagen åtgärd
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 retursignal, eller upprepad inriktning med medeltalsbildning	Kontroll innan användning.

Tabell 37. Instrumentspecifika felkällor vid riktningsmätning.

Typ av fel	Acceptabel storlek	Inverkan av fel	Elimination	Föreslagen åtgärd
Feljusterat vattenpass (1)	Ett skalstreck	Systematisk avvikelse vid mätning av horisontalvinkel (större vid branta sikter)	Går inte att justera i samband med mätning	Kontrolleras dagligen. Felet kontrolleras och justeras i kontrollbänk
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: Hantering av olika systematiska effekter vid stommätning

E.1 Korrektion för jordkrökning och refraktion vid trigonometrisk höjdmätning

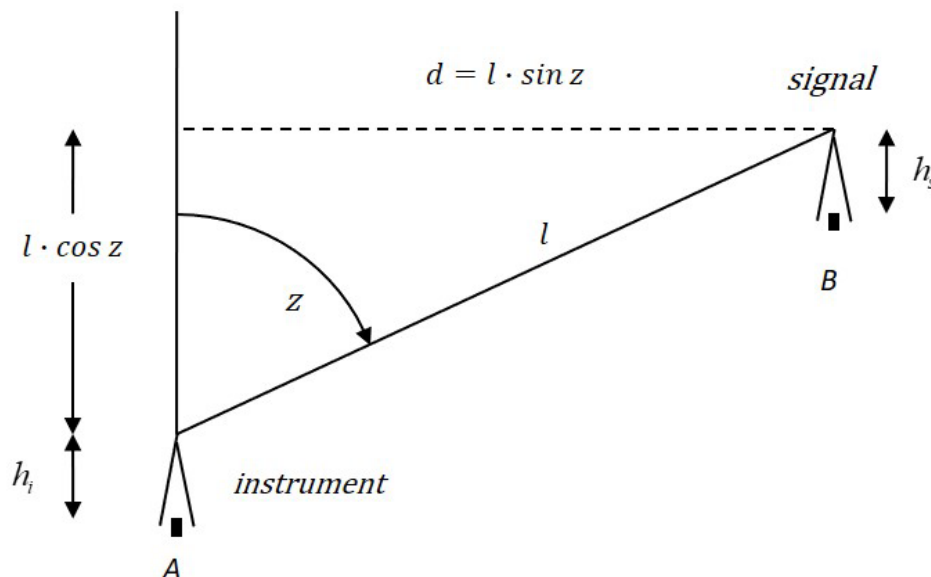
Vid trigonometrisk höjdmätning bestäms höjdskillnader genom mätning av lutande längd och vertikalvinkel. Fördelen med metoden är att den går betydligt snabbare än avvägning och att samma instrument (totalstation) kan användas till olika mätuppdrag.

Figur 25 ger uttrycket för höjdskillnaden mellan de markerade punkterna A och B, som instrumentet och signalen är uppställda över:

$$\Delta H_{AB} = H_B - H_A = (h_i - h_s) + l \cdot \cos z \quad (\text{E.1})$$

där h_i och h_s 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 $h_i = h_s = 0$. (Detta gäller såväl denna formel som de följande av samma typ.)

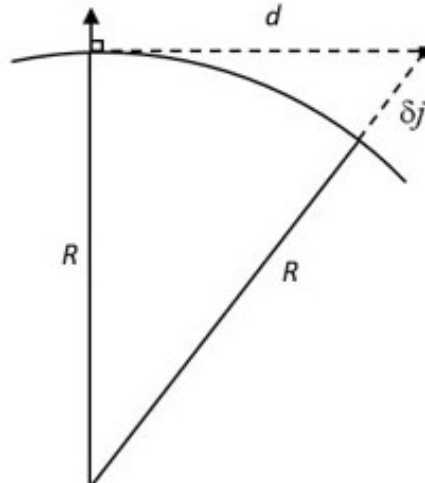
Figur 16. Principen för trigonometrisk höjdmätning. Höjdskillnaden från A till B – och även det horisontella avståndet (d), se Bilaga E.3 – bestäms ur mätningar av vertikalvinkeln (betecknad z för att tydliggöra att nollan ligger i zenit, dvs. rakt uppåt) och den lutande längden (l).



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 26 ser objektet ut att ligga i horisontalplanet, eftersom vertikalvinkeln är rät (100 gon), men egentligen ligger objektet på höjden δj .

Figur 17. Effekten av jordkrökningen vid trigonometrisk höjdmätning. R är referensellipsoidens krökningsradie ("jordradien").



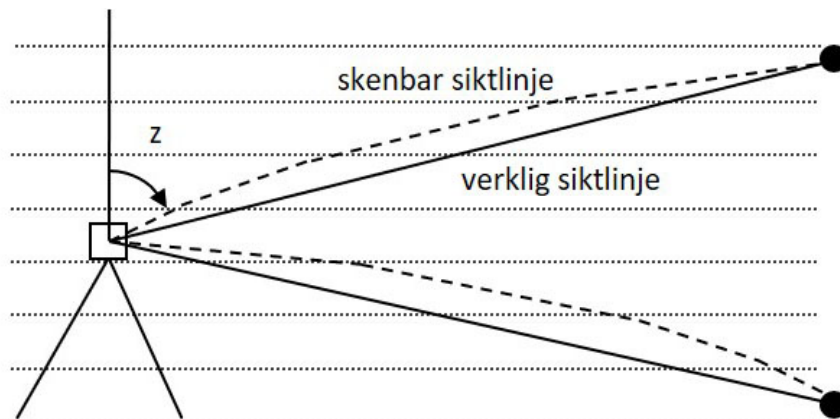
Detta blir alltså jordkrökningskorrektionen (δj), som beräknas som

$$\delta j = \frac{d^2}{2R} \quad (\text{E.2})$$

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 27.

Figur 18. 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 (δr), 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 (δjr) 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 ($l \approx d$):

$$\Delta H_{AB} = (h_i - h_s) + l \cdot \cos Z_A + l^2 \cdot \frac{0,86}{2R} \quad (\text{E.5})$$

R (= 6390 km) är medelkrökningsradien för SWEREF 99:s referensellipsoid *GRS 80*. I Tabell 49 visas framräknade korrektioner för några olika avstånd.

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 refractionen reduceras. Det senare eftersom refractionens inverkan kan anses vara ungefär lika stor vid båda stationerna.

Följande formler gäller då för medeltalet av de korresponderande mätningarna:

$$\overline{\Delta H_{AB}} = (h_i - h_s) + d \cdot \tan \frac{Z_B - Z_A}{2} \quad (\text{E.6})$$

alternativt

$$\overline{\Delta H_{AB}} = (h_i - h_s) + l \cdot \sin \frac{Z_B - Z_A}{2} \sin \frac{Z_B + Z_A}{2} \quad (\text{E.7})$$

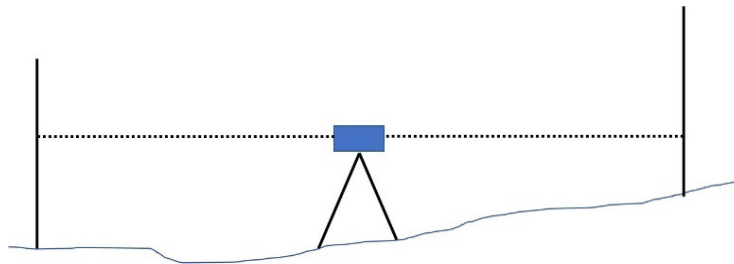
där l är mätt, lutande längd. Z_A och Z_B är vertikalvinklarna på station A respektive B.

Tabell 49. Den totala effekten av jordkrökning och refraktion. 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

Noteras bör att resultatet av avvägning inte påverkas på samma sätt av jordkrökning och refraktion – om instrumentet ställs upp mitt emellan avvägningstångerna, se Figur 28. Därigenom elimineras också vissa andra, instrumentrelaterade fel.

Figur 19. Genom att vid avvägning ställa upp instrumentet mitt emellan stängerna elimineras/reduceras inverkan från jordkrökning, refraktion och kollimationsfel.



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 på mätvärdet 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 stommätssammanhang 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 25 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

$$\Delta H_{AB} = (H_B - H_A) + (h_s - h_i) \quad (\text{E.10})$$

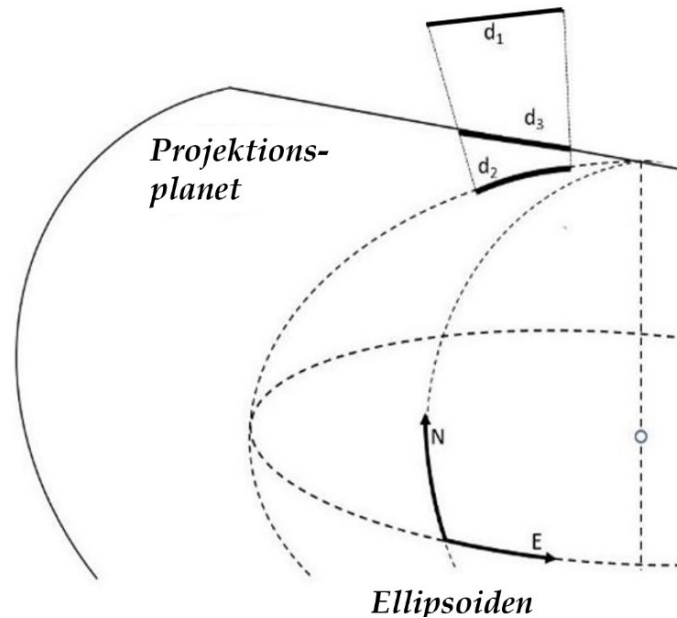
eller genom trigonometrisk höjdmätning med hjälp av formlerna i Bilaga E.1 med $h_i = h_s = 0$.

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 29 samt HMK - Geodetisk infrastruktur, senaste version.

Figur 20. Mätt avstånd (d_1) reduceras ner till avstånd på ellipsoiden (d_2) genom höjdkorrektion. Därefter projiceras det vidare till avstånd i projektionsplanet (d_3) med hjälp av en projektionskorrektion. Om $d_1 = d_3$ så tar de två korrektionerna ut varandra.



E.4.1 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):

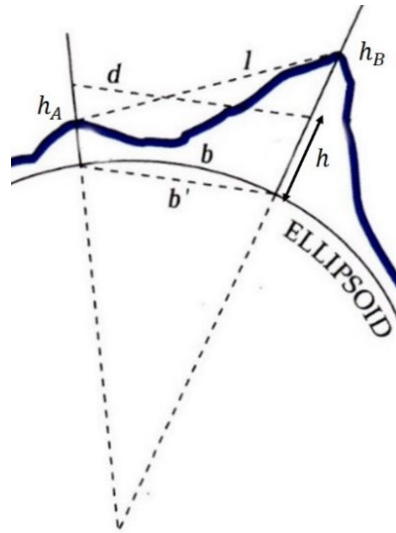
$$h = H + N$$

Processen rörande lutnings- och höjdkorrektionen illustreras grafiskt i Figur 30:

- 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 *bågkorrekt*ion för att överföra det höjdkorrigerade avståndet – som egentligen är en korda (b') – till bågen (b) på ellipsoiden.

Figur 21. Lutnings- och höjdkorrektion vid längdmätning.



E.4.2 Projektionskorrekt

Projektionskorrekt innebär alltså att längden på ellipsoiden överförs till kartprojektionsplanet. Korrekturen 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

ΔE är det tillägg som är gjort till Easting-koordinaterna (150 000 m i SWEREF 99:s lokala projektionszoner)

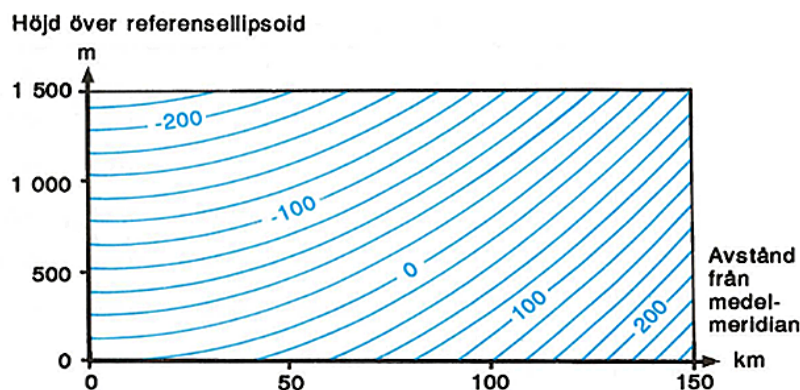
R = GRS 80-ellipsoidens medelkrökningsradie 6390 km.

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 31.

Figur 22. 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 stommät 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.

E.5 Metod för att hantera de systematiska effekterna på vertikalvinklar i 2D-nät

Utöver de systematiska effekter som redan beskrivits för trigonometrisk höjdmätning i Bilaga E.1 tillkommer också lodavvikelsen för instrument- och signaluppställningarna. Med andra ord har vi tre effekter som tillsammans påverkar vertikalvinkelobservationer och därmed lutningskorrektionen av mätta längder i 2D-nät:

- Refraktion
- Jordkrökning (geometriska effekter)
- Lodavvikelse (fysikalisk effekt)

I Bagherbandi m.fl (2023) [4] beskrivs orsaken och effekten av alla dessa systematiska effekter utförligt. De påverkar framför allt vertikalvinklarna vid längre mätsträckor och större höjdskillnader. I vissa fall ger även den horisontella mätriktningen, asimuten, ett signifikant bidrag till effekten vid mätning. I tabell 50 ser vi numeriska exempel på hur lutningskorrektionen varierar på grund av de geometriska effekterna. Observera att detta exempel avser korresponderande mätningar. I tabellerna 51 och 52 ser vi motsvarande exempel på hur lutningskorrektionen varierar grund av de fysikaliska effekterna (lodavvikelsen) för två olika geografiska platser och olika asimuter.

Tabell 50. De geometriska effekternas påverkan på lutningskorrektionen vid korresponderande mätningar för olika mätsträckor och höjdskillnader. Enheten är i mm. De alternativ där siffror saknas i tabellen kan anses orealistiska. Tabellen baserad på Bagherbandi m.fl, 2023 [4].

Höjdskillnad (meter)	Mätsträcka (meter)							
	100	300	500	1000	1500	2000	2500	3000
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.1
10	0.1	0.2	0.4	0.8	1.2	1.5	1.9	2.3
50	0.4	1.2	1.9	3.9	5.9	7.8	9.4	11.7
100	0.8	2.4	3.9	7.8	11.7	15.6	19.5	23.4
150	1.2	3.5	5.9	11.8	17.6	23.5	29.3	35.2
200	1.6	4.7	7.8	15.7	23.5	31.3	39.1	46.9
250	2.0	5.9	9.8	19.5	29.4	39.1	48.9	58.7
300	---	---	11.7	23.5	35.2	47.0	58.7	70.4
400	---	---	15.7	31.3	47.0	62.6	78.3	93.9
500	---	---	19.6	39.2	58.7	78.3	97.9	117.4

Tabell 51. Lodavvikelsens påverkan på lutningskorrektionen för olika mätsträckor och zenitvinklar i Kebnekaise-trakten ($67,93^{\circ}\text{N}$ and $18,60^{\circ}\text{E}$), förutsatt en asimut på 150 grader. Enheten är i mm. Tabellen baserad på Bagherbandi m.fl, 2023 [4].

Zenit-vinkel	Mätsträcka (meter)							
	100	300	500	800	1000	1500	2000	3000
90°	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
85°	0,5	1,4	2,4	3,8	4,7	7,1	9,5	14,2
80°	0,9	2,8	4,7	7,5	9,4	14,1	18,9	28,3
75°	1,4	4,2	7,0	11,2	14,1	21,1	28,1	42,1
70°	1,9	5,6	9,3	14,9	18,6	27,9	37,1	55,7
65°	2,3	6,9	11,5	18,4	22,9	34,4	45,9	68,8

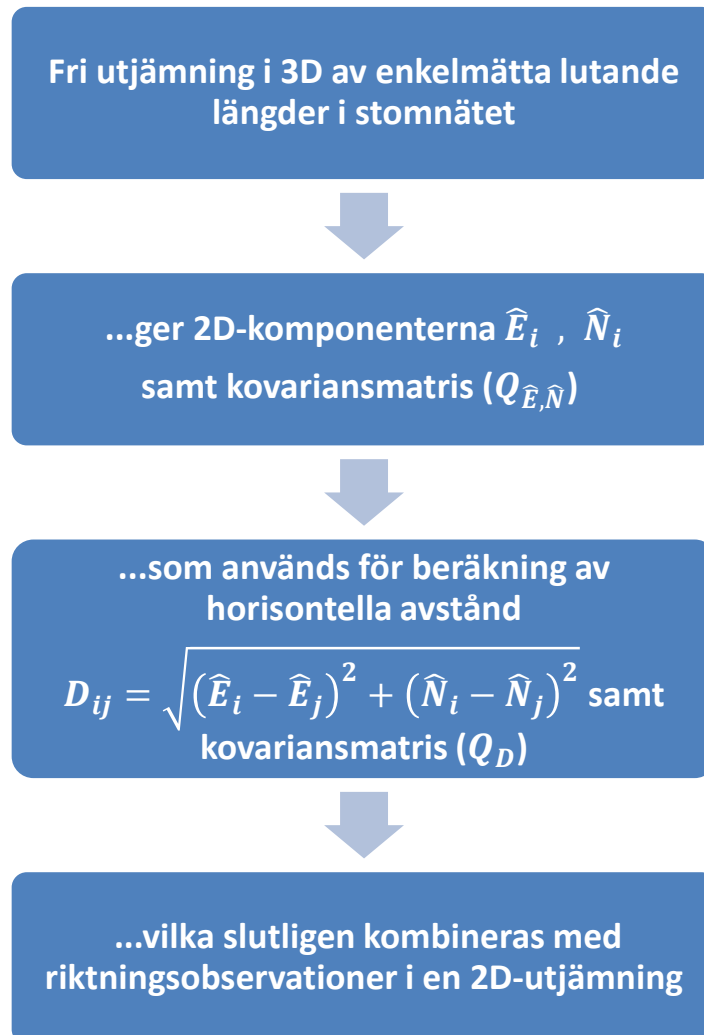
Tabell 52. Lodavvikelsens påverkan på lutningskorrektionen för olika mätsträckor och zenitvinklar i byn Mårtsbo utanför Gävle ($60,60^{\circ}\text{N}$ and $17,26^{\circ}\text{E}$), förutsatt en asimut på 100 grader. Enheten är i mm. Tabellen baserad på Bagherbandi m.fl, 2023 [4].

Zenit-vinkel	Mätsträcka (meter)							
	100	300	500	800	1000	1500	2000	3000
90°	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
85°	0.4	1.3	2.1	3.4	4.2	6.3	8.4	12.6
80°	0.8	2.5	4.2	6.7	8.4	12.5	16.7	25.1
75°	1.3	3.7	6.2	10.0	12.5	18.7	24.9	37.4
70°	1.7	4.9	8.2	13.2	16.5	24.7	32.9	49.4
65°	2.0	6.1	10.2	16.3	20.4	30.5	40.7	61.1

Av dessa exempel kan vi konstatera att vissa utformningar av terrestra 2D-nät kan medföra svårigheter att uppnå önskad kvalitet pga. systematiska effekter på lutningskorrigerade längder. Detta gäller såvida inte stompunkterna kan placeras på ungefär samma höjd och att det är praktiskt möjligt att genomföra korresponderande mätningar. Och även då kan det förekomma problem i vissa scenarier.

För att minska beroendet av vertikalvinklar – och därmed på de korrigerade längderna – föreslår Shirazian m.fl. (2021) [5] en "nätverks-understödd" metod som bygger på enkelriktade längdobservationer. Principen i metoden är att först utjämna de lutande längderna fritt i 3D för att sedan ta de horisontella längdvektorerna (i N respektive E) från beräkningen och kombinera dem med riktningsobservationer i en slututjämning. Figur 32 illustrerar dessa steg i metoden. Observera att denna metod förutsätter ett stomnät med minst 6 punkter. För en mer utförlig beskrivning hänvisas till [5].

Figur 23. Stegen i en nätverksunderstödd mät- och beräkningsmetod för terrestra 2D-nät utan behov av att korrigera lutande längder med vertikalkvinklar (se Shirazian m.fl., 2021 [5]).



Bilaga F: Planering, beräkning och analys av stomnät – några grundbegrepp

Som stöd vid planering och genomförande av stommättningsprojekt finns ett antal termer, begrepp och parametrar som anger olika kvalitetsaspekter på ett stomnät.

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 stomnät.

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* [8] och *HMK-TR 2019:1* [7].

F.1 Stomnätsutjämnning

Stomnätsberäkning – nätutjämnning – 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.

Utjämnning där alla mätningar beräknas samtidigt benämns sträng utjämnning. Elementutjämnning är den klart dominerande metoden – åtminstone för beräkning av triangelnät. En avgörande fördel med elementutjämnning är dess förmåga att inte bara detektera grova mätfel, utan att även lokalisera dem.

För tågformade nät beskriver den här handboken 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 fel i mätningarna.

Vid sträng utjämnning 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 instrumenthöjdmätning, centrering 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 *viktenshetens 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 51.

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 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 lågt 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.

F.2.1 Relationen mellan förbättring och grovt fel

Mellan en mätningens 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 utslutits ur utjämnningen och storheten i stället hade beräknats med hjälp av övriga mätningar.

Som framgår av exemplet nedan är förbättringar i sig inget bra verktyg för sökning efter grova fel, åtminstone inte då k -talet är litet.

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.

F.3 Sökning efter grova fel

F.3.1 Test av viktsenhets 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 53. En approximativ formel för tabell 53 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 utjämningen, 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 utjämningen upprepas med mer korrekta förutsättningar.

Tabell 38. 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

F.3.2 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.) $| \cdot |$ 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 avvikelser 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.

F.3.3 Pope's kriterium och 2-dimensionell data-snooping

Utöver klassisk data-snooping enligt ovan 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 54, som ersätter data-snoopingens 1,96.

Tabell 39. 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 54.

Lantmäteriets transformationsprogram GTRANS använder denna felsökningsmetod – se exempel i HMK-TR 2018:3 [8], 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 stornät i plan – genom transformation av ett fritt utjämnat nät med de kända utgångspunkterna som passpunkter.

F.4 Tillförlitlighet

F.4.1 Inre och yttre tillförlitlighet

Tillförlitlighet är ett alternativ till kontrollerbarhet för att uttrycka ett stornäts 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.

Stornät 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 mätningens standardosäkerhet. *MUF* anger det **minsta** grova fel som kan detekteras med hjälp av data-snooping.

Storheten δ_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 terrestra 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.

F.4.2 Beräkning av δ_o

Storheten α 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 α , vilket alltså ökar risken att en korrekt mätning förkastas.

Storheten β anger sannolikheten för det minsta grova fel som kan detekteras med data-snooping.

Parametern δ_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. $\lambda_{1-\beta}$. δ_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 α och β krävs viss "standardisering", och i HMK har sannolikheterna satts till $\alpha = 5\%$ respektive $\beta = 80\%$. Det kan sägas vara 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 δ_o -värden, se Tabell 55.

Tabell 40. Parametern δ_o beräknad för olika sannolikheter α och β . HMK-praxis motsvarar den gråmarkerade cellen i mitten av tabellen.

	$\beta = 70\%$ ($\lambda_{30\%} = 0,52$)	$\beta = 80\%$ ($\lambda_{20\%} = 0,84$)	$\beta = 90\%$ ($\lambda_{10\%} = 1,28$)
$\alpha = 1\%$ ($\lambda_{0,5\%} = 2,58$)	$\delta_o = 3,10$	$\delta_o = 3,42$	$\delta_o = 3,86$
$\alpha = 5\%$ ($\lambda_{2,5\%} = 1,96$)	$\delta_o = 2,48$	$\delta_o = 2,80$	$\delta_o = 3,24$
$\alpha = 10\%$ ($\lambda_{5\%} = 1,64$)	$\delta_o = 2,16$	$\delta_o = 2,48$	$\delta_o = 2,92$

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 α och β , 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. Tillförlitlighetsmått ger sedan en uppfattning om (eventuella) kvarstående grova fels storlek och påverkan på resultatet, och med olika osäkerhetsmått beskrivs nätets lägesosäkerhet.

De viktigaste osäkerhetsmått 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

$$\text{standardosäkerheten i plan: } u(\textit{plan}) = \sqrt{u^2(N) + u^2(E)} \quad (\text{F.23})$$

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.

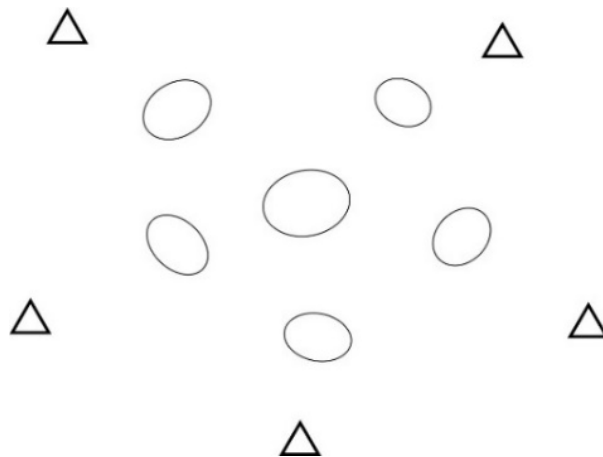
Men de påverkas även i hög grad av

- nypunkternas läge i förhållande till utgångspunkterna (om de senare behålls som fasta i utjämnningen).

F.5.1 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 33.

Figur 24. 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.

F.5.2 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 [8], 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:

$$u(\text{lokal}) \approx u(\bar{l}_i) \cdot \sqrt{1 - 0,5} = 0,71 \cdot u(\bar{l}_i)$$

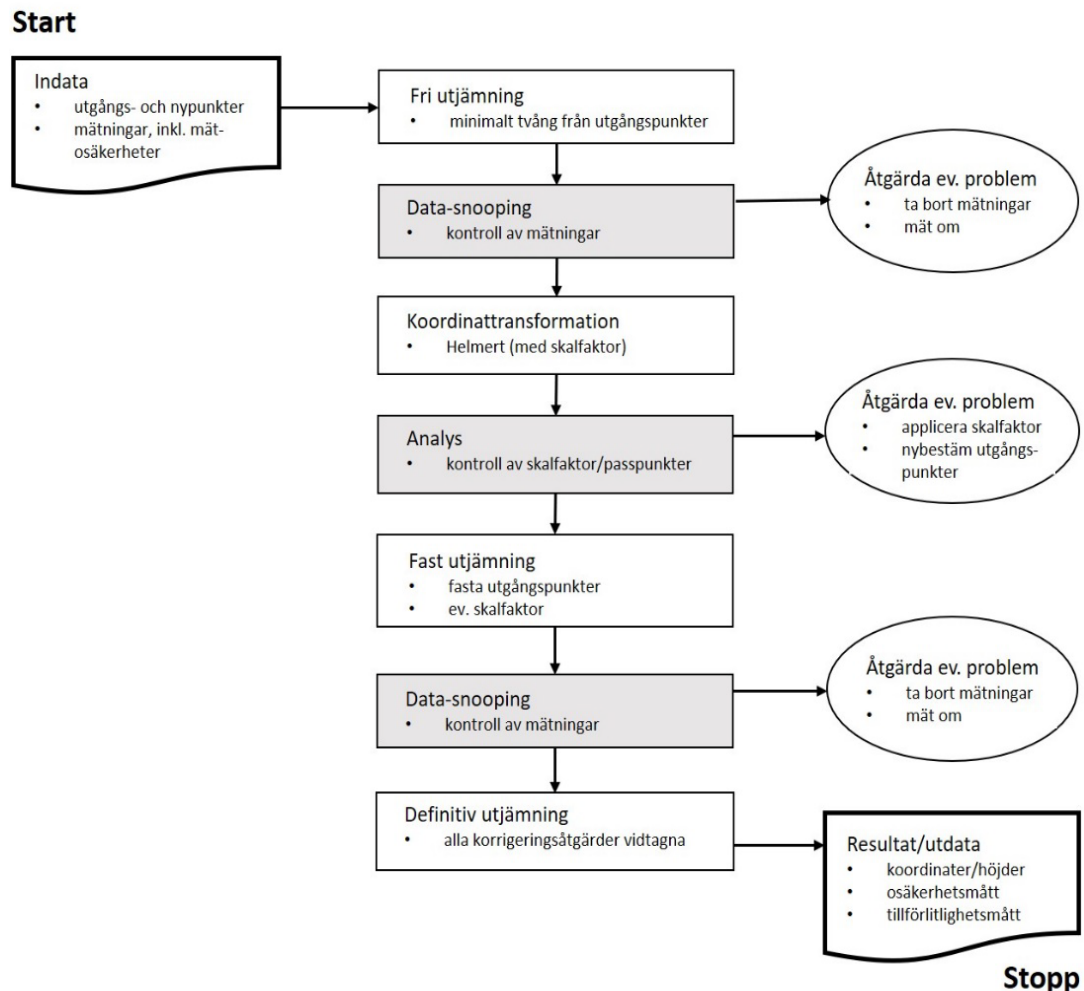
En genomsnittlig längdosäkerhet i det aktuella nätet på 10 mm skulle alltså ge en lokal lägesosäkerhet i plan (2D) på ca. 7 mm

F.5.3 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 25. Flödesschema för beräkning och analys av triangelnät.



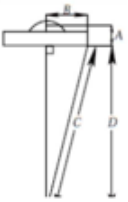
Beräknings- och analysprocessen i samband med 2D-nät kan sammanfattas i följande steg (se Figur 34):

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 [8], 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: Exempel på protokoll för GNSS-mätning

Exempel på protokoll som upprättas per punkt och session (denna sida) samt en sammanställning (nästa sida) som kan användas som checklista att alla sessioner är kompletta och att indata till baslinjeberäkning finns.

Projekt/område	Markeringstyp	Punktznamn	Punktnummer
SESSION NR _____			
Operatör	Datum start	Dag nr start	Datum stopp
Starttid	Stoptid	Mottagartyp	Mottagare nr
Antenntyp	Antenn nr	Centreringsutrustning, nr	Trefot, nr
Adapter	Adapter nr	Antennhöjd kontrollerad efter session <input type="checkbox"/>	Centrering och Horisontering kontrollerad efter session <input type="checkbox"/>
Namn på datafil			
Antennhöjdmätning (minst 2 av 3 metoder)			
Vertikalt (m)	Lutande till jordplan – cm-skala	Lutande till jordplan – Tumskala	 <p>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</p>
Nr:	Nr:	Nr:	
D_1	C_1	C_1	
D_2	C_2	C_2	
D_3	C_3	C_3	
D_medel	C_medel	C_medel	
	$\sqrt{B^2 - D^2}$	$\sqrt{B^2 - D^2}$	
Punktskiss		Anteckningar	
Operatör		Signatur	Datum

Projektinformation	
Projektname Stommät 2023	Slutdatum 2023-04-28
	Startdatum 2023-04-28

Sammanställning av mät-sessioner										
Session Nr.	Punkt Nr.	Datum	Tid Start	Tid Stopp	Antenn-höjd (m)	Antenn-höjd metod	Instrument ID	Operatör	Namn på datafil	
1	1	2023-04-28	10:00	10:30	1,500	I & 2	2432489	LA	Stommät2023-1_2489_0428_082443	
1	2	2023-04-28	10:00	10:30	1,500	I & 2	2432588	FD	Stommät2023-2_2588_0427_193102	
1	4	2023-04-28	10:00	10:30	1,500	I & 2	3271274	EM	Stommät-2023-431_0000_0428_081449	
1	5	2023-04-28	10:00	10:30	1,500	I & 2	3271268	LJ	Stommät-2023-433_0000_0428_081632	
2	.	.	.	.	.	.	.	.	.
2	.	.	.	.	.	.	.	.	.
2	.	.	.	.	.	.	.	.	.
2	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Bilaga H: Kort ordlista till handboken

Ordlistan innehåller ett urval av de viktigaste termerna i handboken. Kursiverade ord i förklaringen utgör egna uppslagsord.

Förklaringar av fler termer och förkortningar finns i [HMK - Ordlista och förkortningar](#) som är övergripande för hela HMK-serien.

Term	Förklaring
<i>anslutning</i>	(inom geodesin) den process där observationer kopplas till ett <i>referenssystem</i> , vanligen via <i>nätutjämning</i> eller <i>koordinattransformation</i>
<i>data-snooping</i>	vanlig metod för grovfelssökning vid stomnätsberäkning och koordinattransformation
<i>dubbelavvägning</i>	avvägning som utförs en gång i vardera riktningen, dvs. samma sträcka avvägs tur och retur med likvärdiga uppställningsplatser
<i>egenkontroll</i>	kontroller i utförarens (egen) regi; kan vara del av arbetsrutin eller kvalitetsarbete som utförs inom en organisation
<i>fixhåll</i>	mätsträckan mellan två markerade höjdfixar
<i>fältkalibrering</i>	kontrollåtgärder av mätinstrument som utförs och dokumenteras av användaren genom kontroller och justering, ofta enligt funktioner och rutiner i mätinstrumentets mjukvara
GNSS	<i>Global Navigation Satellite Systems</i> ; ett samlingsnamn för satellitbaserade navigations- och positioneringssystem.
<i>grundutförande</i>	(inom HMK) en föreslagen miniminivå för utförande, baserat på beprövade och etablerade arbetsmetoder
<i>kontrollerbarhet</i>	möjligheten att kontrollera enskilda stomnätsobservationer eller ett stomnät

Term	Förklaring
	som helhet; uttrycks ofta som ett så kallat <i>k-tal</i>
<i>k-tal</i>	ett mått på <i>kontrollerbarhet</i> ; kan vara mellan noll (0) och ett (1), där noll betyder icke kontrollerbar och ett = 100-procentigt kontrollerbar
<i>lägesosäkerhet</i>	<i>mätosäkerhet</i> för koordinater eller höjder i ett <i>referenssystem</i> ; ett vanligt mått är <i>standardosäkerhet</i> som då anges i plan respektive höjd
<i>markering</i>	(inom geodesin) objekt som placerats i terräng eller byggd miljö för att definiera mätpunkt vid geodetisk mätning och lägeskontroll; se även <i>stompunkt</i>
MUF	<i>Minsta Upptäckbara Fel</i> ; ett mått på s.k. <i>inre tillförlitlighet</i> , dvs. storleken på det minsta fel som kan upptäckas vid <i>data-snooping</i>
<i>mätosäkerhet</i>	en egenskap som beskriver spridningen av mätvärden i samband med någon form av mätning; ett vanligt mått är <i>standardosäkerhet</i>
<i>mätprogram</i>	dokument/plan som visar vilka mätningar och kontroller som ska utföras, t.ex. vid <i>stommätning</i>
<i>nypunkt</i>	en nyetablerad punkt i ett <i>stomnät</i>
<i>närsamband</i>	den (geodetiska) relationen mellan närliggande <i>stompunkter</i> som skapas via inbördes observationer och <i>nätutjämning</i>
<i>nätsimulering</i>	datorbaserat stöd vid analys av nätdesignen i ett <i>stomnät</i>
<i>nätutjämning</i>	<i>utjämning</i> av ett <i>stomnät</i> , dvs. lägesbestämning av de <i>stompunkter</i> som ingår i nätet

Term	Förklaring
<i>realisering</i>	(inom geodesin) det "förverkligande" av ett geodetiskt referenssystem som sker när fysiska punkter ges koordinater och/eller höjder
<i>referenssystem</i>	(inom geodesin) samlingsnamn på system för lägesbestämning och positionsangivelser i en, två eller tre dimensioner, till exempel höjdsystem samt 2- och 3-dimensionella koordinatsystem
<i>rekognosering</i>	(inom geodesin) undersökning av lokal mätmiljö, <i>utgångspunkter</i> , förhållanden för <i>markering</i> m.m. inför genomförande av mätning; underlag till <i>mätprogram</i>
<i>RH 2000</i>	<i>Rikets höjdsystem 2000</i> ; det nya riksnätet i höjd och den svenska realiseringen av EVRS.
<i>standardosäkerhet</i>	ett mått på <i>mätosäkerhet</i> och <i>lägesosäkerhet</i> ; en äldre synonym är "medelfel"
<i>stommätning</i>	geodetisk mätning i syfte att etablera, förtäta eller renoвера <i>stomnät</i>
<i>stomnät</i>	sammanhängande nät av <i>stompunkter</i> som genom inbördes geodetisk mätning och <i>utjämnning</i> utgör en passiv <i>realisering</i> av ett geodetiskt <i>referenssystem</i>
<i>stompunkt</i>	lägesbestämd markering ingående i ett <i>stomnät</i>
<i>SWEREF 99</i>	den svenska realiseringen av det <i>européiska referenssystemet ETRS89</i> , med epok 1999
<i>systemkalibrering</i>	kontrollåtgärder av mätinstrument som utförs och dokumenteras i samband med auktoriserad service

Term	Förklaring
<i>terrester mätning</i>	typ av mätning som utförs i förhållande till stomnät eller andra marknära referensobjekt; exempelvis avvägningsinstrument, totalstation eller laserskanner
<i>tillförlitlighet</i>	(inom geodesin) möjligheten att hitta grova fel och dessa fels påverkan på mätresultatet; se även <i>kontrollerbarhet</i>
<i>tolerans</i>	ett krav på maximalt tillåten avvikelse, eller en specifikation av den variation som kan förväntas i ett visst sammanhang
<i>utgångspunkt</i>	(inom geodesin) punkt med kända koordinater eller höjder som används för att ansluta geodetiska mätningar till ett <i>referenssystem</i>
YT	<i>Yttre Tillförlitlighet</i> ; ett mått på den effekt som ett oupptäckt (eller ej åtgärdat) <i>MUF</i> har på utjämnade koordinater
<i>överbestämning</i>	antalet observationer minus antalet obekanta variabler; kallas även frihetsgrader

Bilaga I: God mätsed

God mätsed (Engberg & Persson, 2010, [10]) är inte knuten till någon viss mätmetod eller mätutrustning utan avser en "grundfilosofi" som kan anses giltig över tid. Vissa ändringar har gjorts i förhållande till den angivna referensen.

Information

- Mätningen ska ge såväl ett produktionsresultat som en kvalitetsdeklaration. Båda delarna är lika viktiga och måste få ta tid.
- Kontrollera: en mätning är ingen mätning! Överbestämningar görs både för att hitta grova fel och för att kunna skatta mätosäkerheten.
- A och O är ordning och reda, från början till slut. Det är svårt att i efterhand skapa ordning ur kaos.
- Märk upp de handlingar som ingår i uppdraget och städa successivt bort sådant som inte ska sparas. Dokumentera även för din egen skull, du glömmer fortare än du tror.
- En viktig del i detta är spårbarhet. Det ska vara möjligt att gå bakåt i en produktionskedja och förstå hur mätdata och attribut tagits fram.
- Tillämpa beprövade och etablerade metoder. Därigenom utnyttjar du andras erfarenheter och andra förstår hur du har gjort. Mätdata blir användbara först när andra kan kontrollera och värdera dina metoder och dina resultat.
- Skaffa dig kunskap om den teknik, den utrustning och de metoder du använder. Detta hjälper dig att utföra mätningarna på rätt sätt och att förstå vilka fel som kan uppstå. Ingen kedja är starkare än sin svagaste länk.
- Tänk efter före, dvs. planera arbetsprocessen i förväg. Mätuppdrag är till stor del ett logistikproblem och god planering ger vinster i såväl tid och pengar som kvalitet.
- Sätt dig även in i syftet bakom beställningen av ditt mätuppdrag så att du kan anpassa kvaliteten på utförandet. Din uppdragsgivare betalar för "rätt" kvalitet.
- Vårda din mätutrustning varsamt och utför kontroller för att säkerställa att den är i gott skick. Dina verktyg är en förutsättning för ditt hantverk.

