

Terrester detaljmätning

2021



Förord till version 2021

HMK – Terrester detaljmätning 2021 är resultatet av en mindre översyn som genomförts av medarbetare på enheten för geodetisk infrastruktur, Lantmäteriet. Noterbara förändringar i version 2021 är bl.a. att

- ett antal krav och rekommendationer har justerats, främst i syfte att göra dem mer entydiga och lättolkade
- avsnittet om mätutrustning i kapitel 3 har uppdaterats, bl.a. angående instrumentkontroller
- en dokumentspecifik ordlista har lagts till som en bilaga
- hänvisningar – länkar - till annan plats i handboken inte längre är blåmarkerade.

I övrigt är version 2021 i stora delar identisk med version 2020 som ingick i en större revidering av geodesihandböckerna inom HMK. Revideringsarbetet utfördes av en arbetsgrupp bestående av Ronny Andersson (Sweco), Matti Horn (Trafikverket), Clas-Göran Persson (Lantmäteriet), Kent Ohlsson (Lantmäteriet) och Lars Jämtnäs (Lantmäteriet). Liselotte Lundgren (då verksam i Lidingö stad) deltog i utvärderingen av de befintliga handböckerna inför revideringen.

Version 2021 har varit tillgänglig för granskning via öppen remiss på Lantmäteriets webbplats under perioden 2021-11-15 till 2022-01-15. Information om remissen har delgivits i nyhetsbrev och i HMK:s grupper för intressentsamverkan.

Gävle 2022-03-15

Lars Jämtnäs

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	7
1.1	Om dokumentet.....	7
1.2	Om Handbok i mät- och kartfrågor.....	9
2	Om terrester detaljmätning.....	13
2.1	Totalstationsmätning.....	13
2.1.1	Mät- och lägesosäkerhet.....	16
2.1.2	Korrektioner.....	17
2.2	Avvägning.....	18
2.3	Utsättning.....	19
2.4	Detaljmätningsprocessen.....	20
3	Planering och förberedelser.....	21
3.1	Mättningsinstruktioner.....	23
3.2	Detaljmätningsområdet.....	25
3.2.1	Utgångspunkter och kontrollpunkter.....	25
3.2.2	Val av instrumentuppställningsplatser.....	28
3.2.3	Konfiguration av utgångs- och kontrollpunkter.....	30
3.3	Mätutrustning.....	32
3.3.1	Totalstation.....	34
3.3.2	Avvägningsinstrument.....	38
3.3.3	Övrig utrustning.....	38
4	Totalstationsmätning.....	43
4.1	Handhavande och inställningar vid totalstationsmätning.....	44
4.2	Komplettering av utgångspunkter.....	46
4.3	Fältarbete.....	47
4.3.1	Uppställning av instrumentet.....	47
4.3.2	Stationsetablering.....	48
4.3.3	Stationsetablering med GNSS-stöd.....	49
4.3.4	Inmätning av detaljpunkter.....	52
4.3.5	Inmätning av kontrollpunkter.....	53
4.3.6	Avslutande kontroller i fält.....	54
4.4	Slutgiltig beräkning och kontroll.....	55
4.4.1	Beräkning av stationsetableringen.....	55
4.4.2	Kontroll av utgångspunkter.....	56

4.4.3	Analys av kontrollpunkter.....	56
5	Avvägning	59
5.1	Handhavande och inställningar vid avvägning	60
5.2	Komplettering av utgångspunkter.....	61
5.3	Fältarbete	63
5.3.1	Uppställning av instrumentet	63
5.3.2	Stationsetablering.....	63
5.3.3	Inmätning av detaljpunkter	64
5.3.4	Inmätning av kontrollpunkter.....	65
5.3.5	Avslutande kontroller i fält	65
5.4	Slutgiltig beräkning och kontroll	66
5.4.1	Beräkning av stationsetableringen	66
5.4.2	Kontroll av utgångspunkter	66
5.4.3	Analys av kontrollpunkter.....	67
6	Utsättning	69
6.1	Förberedelser.....	69
6.2	Tillämpad utsättning.....	70
6.3	Kontroll	72
7	Referenser/Läs mer	75
7.1	Standarder och regelverk rörande bygg- och anläggningsverksamhet.....	76
7.1.1	HMK-BA.....	76
7.1.2	HMK-TR 2019:1	77
7.1.3	SIS-TS 21143:2016 och SIS-TS 21144:2016.....	78
7.1.4	Trafikverkets regelverk	78
7.1.5	Referenslista	79
7.2	Övriga rapporter, läroböcker, webbsidor m.m.	79
Bilaga A	: Krav och rekommendationer	81
A.1	Krav och rekommendationer.....	82
A.2	Grundutförande.....	91
Bilaga B	: Produktionsdokumentation	93
B.1	Planering.....	93
B.2	Genomförande	94
B.3	Resultat.....	96

Bilaga C : Leveranskontroll	97
C.1 Komplett leverans	97
C.2 Produkt	97
C.3 Fördjupad kontroll vid behov	102
Bilaga D : Fri station	103
Bilaga E : Exempel på kontroll/verifiering av terrester detaljmätning	111
E.1 Detaljmätning i plan.....	111
E.2 Detaljmätning i höjd.....	117
E.3 Slutord.....	121
Bilaga F : Mätprocessen vid inmätning med totalstation.....	123
Bilaga G : Kort ordlista till handboken.....	127
Bilaga H : God mätsed.....	129

1 Inledning

1.1 Om dokumentet

Syfte och avgränsningar

”HMK – Terrester detaljmätning 2021” innehåller råd och riktlinjer för utförande av detaljmätning med totalstation och avvägningsinstrument.

Handbokens primära målgrupp är utförare av detaljmätning, men även beställare av detaljmätning kan hitta visst stöd i handboken – främst i avsnitt 3.1 samt i Bilaga A, Bilaga B och Bilaga C.

Syftet med handboken är att belysa fackmannamässiga aspekter av detaljmätning inom kommunal MBK-verksamhet, fastighetsbildning och viss bygg- och anläggningsverksamhet – med särskilt fokus på inmätning med totalstation från fri uppställning.

För information om olika mätinstrument eller positioneringstjänster hänvisas till webbplatser, manualer, specifikationer m.m. från instrumenttillverkare och tjänsteleverantörer.

Disposition

Kapitel 2 ger en översiktlig beskrivning av terrester detaljmätning, inklusive den terminologi som används i handboken.

Kapitel 3 tar upp aspekter som bör ingå i planering och förberedelser inför ett terrester detaljmätningssupdrag, bl.a. tillgänglig geodetisk infrastruktur och kontroll av mätutrustning.

Kapitel 4 beskriver genomförandet av inmätning med totalstation, samt beräkning och kontroller.

Kapitel 5 ger en beskrivning av avvägning för detaljmätning i höjd, som mer ska ses som ett komplement till trigonometrisk höjdmätning med totalstation.

Kapitel 6 tar upp generella principer för terrester utsättning.

Kapitel 7 redovisar referenser och hänvisningar till andra relevanta dokument. Referenser som finns i löptext, figurer m.m. anges med hakparenteser. Dessutom presenteras kortfattat några branschnormer rörande specifika tillämpningar.

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

Bilaga B ger riktlinjer för dokumentation av terrester detaljmätning.

Bilaga C innehåller information om lägesosäkerheter och de toleranser som bör tillämpas vid kontroller samt vid kvalitetsredovisning i samband med leverans.

Bilaga D innehåller en beskrivning av fri station och varför fri station är det rekommenderade arbetssättet vid totalstationsmätning.

Bilaga E innehåller ett beräkningsexempel, inklusive kontroller för uppställning av en fri station i plan respektive höjd.

Bilaga F innehåller detaljerade checklistor som stöd för genomförandet av ett terrestert detaljmätningprojekt.

Bilaga G innehåller en ordlista med de viktigaste termerna och förkortningarna i handboken.

Bilaga H ger några exempel på *god mätsed*, en sorts "grundfilosofi" för tillämpning av en fackmannamässig arbetsprocess.

Texttrutor i handboken

Tre olika typer av texttrutor kan förekomma i inledningen av numrerade handboksavsnitt:

- Ljusröda texttrutor med rubriken "Krav" motsvarar ett utförande som i HMK anses vara fackmannamässigt. I krav används ordet "ska".
- Ljusblå texttrutor med rubriken "Rekommendation" motsvarar ett utförande som är önskvärt, t.ex. för att det underlättar arbetsprocessen. I rekommendationer används ordet "bör".
- Vita texttrutor med rubriken "Information" innehåller beskrivningar eller sammanfattningar som inte är normerande.

I den här handboken har krav och rekommendationer utformats för att kunna hänvisa till *grundutförande* enligt Bilaga A.2. Läs mer om tillämpning av grundutförande under rubriken "Tillämpning av HMK" i avsnitt 1.2.

Terminologi

De viktigaste termerna och förkortningarna i handboken definieras i ordlistan i Bilaga G. Dessa termer har också kursiverats vid första förekomst i löptexten. Fler ord och begrepp som kan vara relevanta för ämnesområdet definieras i handboken [HMK - Ordlista och förkortningar](#), senaste version.

I övrigt följer HMK standardiserad eller vedertagen terminologi inom berörda områden, men det finns ingen ambition att HMK ska vara generellt normerande. Terminologin inom HMK har dock

harmoniserats för att handböckerna ska kunna tolkas och användas på ett entydigt sätt.

GUM-terminologi [1] tillämpas genomgående inom HMK, med viss svenskspråkig anpassning till geodesi- och geografiområdet - exempelvis *lägesosäkerhet*.

1.2 Om Handbok i mät- och kartfrågor

Information

- Versioner av handböcker i HMK-serien betecknas med årtal.
- För eventuella justeringar av senaste dokumentversion, se [HMK-loggen \(pdf\)](#).

Publicering av HMK

HMK – Handbok i mät- och kartfrågor – omfattar en samling handböcker och tekniska rapporter för ämnesfördjupning, omvärldsbevakning m.m. Samtliga HMK-dokument publiceras i PDF-format och finns tillgängliga avgiftsfritt via lantmateriet.se/hmk.

Målgrupp

HMK riktar sig till yrkesverksamma eller studerande inom geodata- och samhällsbyggnadsområdet, särskilt 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 i egna/interna 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 2021 (pdf)	HMK-Stom 2021
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 2021)	HMK-Ge: M

Tillämpning av HMK

De krav som återfinns i HMK-handböcker kan tolkas och tillämpas på tre olika sätt:

- Kraven ingår i *grundutförande* enligt HMK. Detta motsvarar en allmän/branschgemensam syn på fackmannamässig yrkesutövning. Tillämpning sker genom hänvisning till grundutförande i en eller flera handböcker. Grundutförande kan justeras i överenskommelse mellan beställare och utförare.
- Kraven ingår en *teknisk specifikation*. Handboken ger stöd för upprättande av en sådan och tillämpning sker sedan i kravställning och upphandling i den mån hänvisning sker till den tekniska specifikationen.
- Kraven baseras på *föreskrift/lag* och ska därmed följas, oavsett vilka övriga krav som finns beskrivna inom HMK.

Krav enligt grundutförande eller enligt teknisk specifikation blir juridiskt bindande endast i den mån de inkluderas i upphandlingsunderlag, eller i motsvarande avtal eller regelverk. 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.

Förvaltning av HMK

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

2 Om terrester detaljmätning

Information

- Terrester detaljmätning avser inmätning och utsättning med totalstation och avvägningssinstrument.
- Utgångspunkter är punkter med kända koordinater/höjder som används för att bestämma mätningarnas läge i referenssystemet.

Detaljmätning avser antingen

- inmätning, dvs. bestämning av detaljers koordinater och höjder i ett referenssystem, eller
- utsättning, vilket innebär fysisk utplacering/markering av detaljer utifrån givna koordinater och höjder.

Vid *terrester detaljmätning* används i första hand *totalstation* för att mäta in eller sätta ut detaljer genom vinkel- och avståndsmätningar. Från dessa mätningar kan läget i plan och/eller höjd för detaljerna bestämmas i förhållande till totalstationen. *Utgångspunkter* är punkter med kända koordinater eller höjder som används för att ansluta mätningarna till referenssystemet. *Bakåttobjekt* är utgångspunkter som mäts in för att bestämma mätinstrumentets läge – och eventuell orientering – i detta system genom en *stationsetablering*.

En stor del av kontrollen vid terrester detaljmätning sker med hjälp av olika typer av *kontrollpunkter*. Dessa kan – men behöver inte ha – kända koordinater eller höjder; det beror på vad som ska kontrolleras.

Huvudfokus i detta kapitel, och i dokumentet i stort, ligger på inmätning med totalstation från en *fri station*. Vid detaljmätning i höjd kan även *avvågningssinstrument* användas för bestämning av höjdskillnader mellan utgångspunkter och detaljpunkter. Detaljmätning med avvägningssinstrument och allmän information kring utsättning tas upp i kapitel 5 respektive kapitel 6.

2.1 Totalstationsmätning

Mätning med totalstation avser vanligtvis mätning av lutande längd, horisontalriktning och vertikalvinkel i totalstationens interna instrumentsystem.

Instrumentsystemet ansluts till aktuellt referenssystem (*globalt anpassat* eller *lokalt*) med hjälp av utgångspunkter på något av följande sätt:

- Stationsetablering över en utgångspunkt. Totalstationen ställs upp och centreras över en känd punkt och orienteras genom mätning mot minst ett bakåtojekt.
- Fri station där totalstationen placeras fritt. Den koordinatbestäms och orienteras genom mätning mot flera bakåtojekt.

För fri stationsetablering i plan krävs tre riktnings- och/eller längdmätningar mot bakåtojekt, varav minst en riktningsmätning för orientering av instrumentet. En rimlig kontroll av stationsetableringen förutsätter dock minst en överbestämning per obekant, dvs. minst sex observationer. Det åstadkoms genom mätning av längd och riktning mot minst tre utgångspunkter. Av samma anledning bör mätning ske mot minst två utgångspunkter vid stationsetablering i höjd.

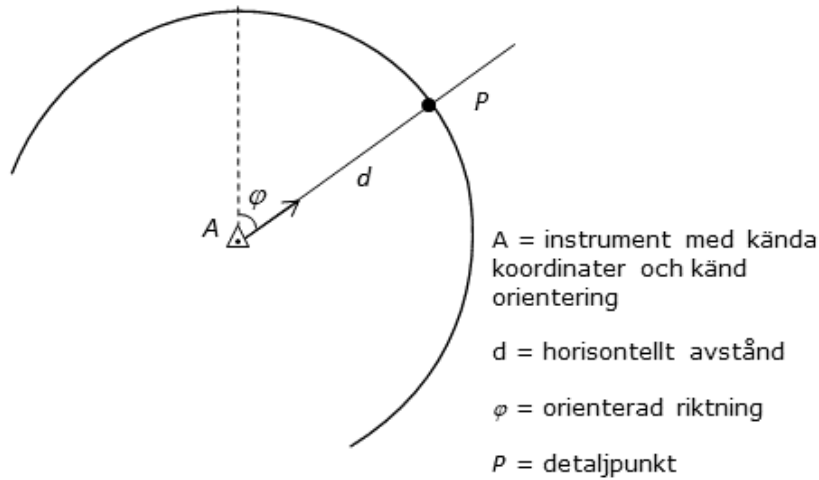
Utgångspunkterna/bakåtojekten kan bestå av *stompunkter*, andra kompletterande utgångspunkter eller ommarkerade punkter som mäts i samband med stationsetableringen genom *kombinerad mätning* med GNSS/RTK och totalstation, se avsnitt 4.3.3.

I Bilaga D finns en utförlig beskrivning av fri station och den metodens möjligheter och fördelar i olika mätsituationer; se även avsnitt 3.2.3.

Mätning i plan med totalstation

Totalstationsmätning i plan tillämpar den polära punktbestämningssmetoden. Vid inmätning bestäms då detaljpunktens koordinater ur mätning och beräkning av horisontellt avstånd och orienterad riktning. Vid utsättning beräknas – omvänt – riktning och avstånd ur givna koordinatdifferenser mellan station och detaljpunkt, se Figur 1.

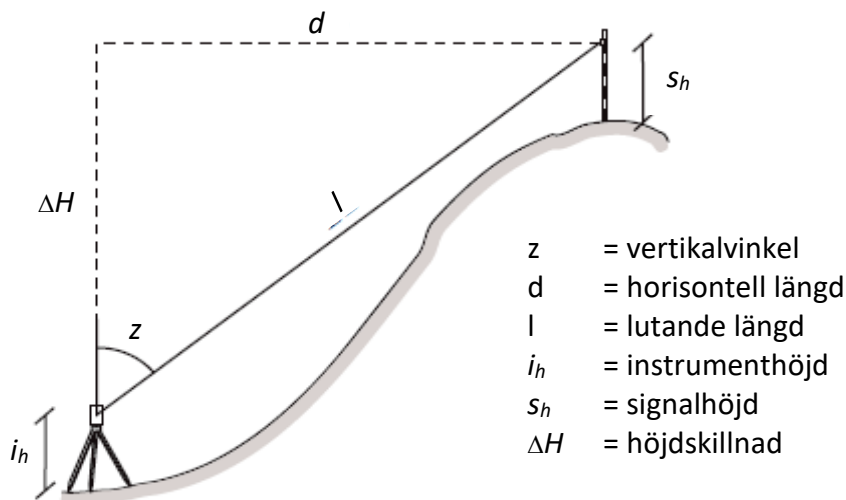
Figur 1. Principen för polär mätning i plan. Läget P ges av skärningspunkten mellan en rät linje i en given riktning (= den orienterade riktningen φ) och en cirkel med given radie (= det horisontella avståndet d) – utgående från stationen A



Höjdmätning med totalstation

Höjdmätning med totalstation benämns *trigonometrisk höjdmätning*, se Figur 2. Från lutande längd och vertikalvinkel kan höjdskillnaden mellan instrumentet och detaljpunktens signal bestämmas. Höjdskillnaden till detaljpunkten erhålls efter korrigering för eventuell signalhöjd. Instrumentets höjd i höjdsystemet bestäms genom mätning mot bakåtoobjekt med kända höjder. Om totalstationen inte är höjdansluten erhålls relativa höjder i förhållande till instrumentet.

Figur 2. Principen för trigonometrisk höjdmätning. Den sökta höjdskillnaden (ΔH) bestäms ur mätningen av vertikalvinkel (z) och lutande längd (l).



2.1.1 Mät- och lägesosäkerhet

Lägesosäkerheten i inmätta eller utsatta detaljer är inte densamma som den mätosäkerhet som anges i totalstationens instrumentspecifikation. Om detaljmätning utförs under ideala förhållanden kan den lokala lägesosäkerheten vara på liknande nivå som mätosäkerheten – förutsatt att avstånden till detaljobjekten är rimliga (< 200 m). "Ideala förhållanden" innebär att de geografiska objekten/objektdelarna är tydligt definierade, att mätutrustning är kalibrerad, väl fungerande och hanteras på ett korrekt sätt – samt att negativ påverkan från den omgivande mätmiljön är begränsad eller hanterad.

Om detaljobjekten är svåra att definiera/identifiera kommer detta alltså att bidra till den totala lägesosäkerheten. För att bedöma den absoluta lägesosäkerheten i ett referenssystem, t.ex. SWEREF 99, behöver dessutom bidrag från osäkerheten i de kända utgångspunkterna inkluderas. De vanligaste osäkerhetsbidragen - från instrumentets specificerade mätosäkerhet för vinkel- och längdmätningar, till sammanräkning av flera uppställningar och anslutning till referenssystem - redovisas i Tabell 2.

Tabell 2. Exempel på de olika aspekter på mät- och lägesosäkerheten som ingår i osäkerhetsbudgeten för terrester detaljmätning med totalstation. Tabellen fortsätter på nästa sida.

Generellt	
Slumpmässiga avvikelser	Mätosäkerhet vid vinkelmätning (vertikalvinkel-/horisontalriktning) och längdmätning; anges i fabrikantens faktablad.
Systematiska effekter	Jordkrökning; får en signifikant påverkan vid trigonometrisk höjdmätning på avstånd över 200 meter.
	Skalskillnader mellan mätutrustning och aktuellt referenssystem; kan t.ex. bero på olika hantering av höjd- och projektkorrektioner.
Grova fel	Oupptäckta grova mätfel.
Mätmiljöns påverkan	Atmosfärens inflytande (temperatur, lufttryck och i någon mån luftfuktighet) samt påverkan från rök, damm, refraktion etc. i mätmiljön.
Utrustningens underhåll	Osäkerhet p.g.a. bristande instrumentjustering/-kalibrering samt bidrag från osäkerhet i kompletterande utrustning som stativ, trefot, lod, lodstång och libeller.

Stationsetablering	
Georeferering/lokal anslutning, allmänt	Utgångspunkternas/bakåtojektens lägesosäkerhet i aktuellt referenssystem, inkl. grova punktfel.
	Osäkerhet i centrering och signalhöjd för bakåtojektet.
Fri stationsetablering	Läges- och riktningosäkerhet från minsta-kvadratutjämnningen, bl.a. beroende på bakåtojektens antal och konfiguration.
Uppställning på känd utgångspunkt	Centreringosäkerhet (instrument).
	Osäkerhet vid mätning av instrument- och signalhöjd; ofta en kritisk faktor.
	Osäkerhet från beräkningen av utgångsriktning.
Detalj(in)mätning	
Centreringosäkerhet (lodstång, prisma etc.)	Ev. excentriciteter på grund av stångens lutning; beror på hur den är stabiliserad (stödben vs. frihand etc.).
Detaljpunkternas identifieringsosäkerhet (representativitet)	Hur väl en punkt representerar det objekt, eller den objekt-del, som den avser att redovisa.
Osäkerhet vid sammanräkning av stationsetableringar	Osäkerhet som tillkommer när olika stationer räknas ihop till en sammanhängande datamängd.
↓	
Sammanlagd osäkerhet	

2.1.2 Korrektioner

De terrestra mätningarna behöver korrigeras geometriskt för att mätningarna (som sker på den krökta jordytan) ska överensstämma med den valda *kartprojektion*en. Dessutom korrigeras mätningarna för lokala atmosfärsförhållanden (t.ex. temperatur och lufttryck), se avsnitt 4.1. Korrektionerna kan göras direkt i instrumentet eller i efterhand vid databehandlingen. Korrektionerna kan sammanfattas enligt följande:

- Korrektion för jordkrökning och *refraktion* vid höjdmätning.
- Atmosfärskorrektion av mätta längder.
- *Höjd-* och *projektionskorrektion* av horisontella avstånd.

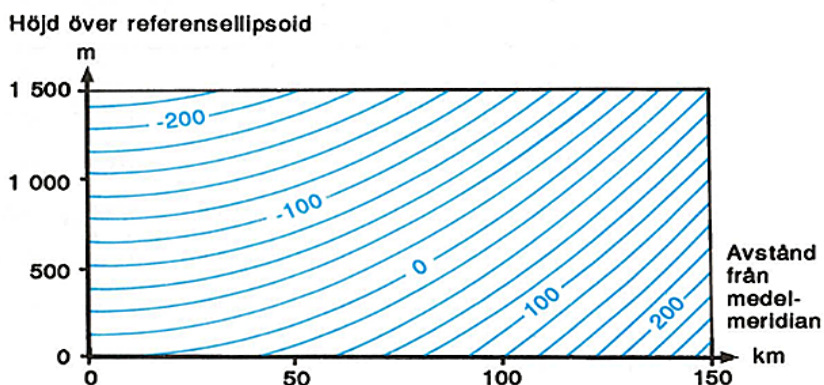
Vid detaljmätning över korta avstånd (< 200 m) är dessa korrektioner över lag små, under förutsättning att mätningen utförs i rekomen-

derad *projektionszon*, se HMK – Geodetisk infrastruktur 2021, avsnitt 3.1.2.

Korrekktionerna kan ändå behöva hanteras vid tillämpningar med höga kvalitetskrav. I vissa fall kan detta ske via mätning och redovisning i "korrektionsfria" referenssystem, se SIS-TS 21143:2016 [2] och [HMK-TR 2019:1](#).

Höjd- och projektionskorrektiohanteras annars vanligen av en kombinerad skalfaktor som beror på höjden över *referensellipsoiden* (höjdkorrektion) samt avståndet till *medelmeridianen* i projektionszonen (projektionskorrektio) för den aktuella platsen, se Figur 3. Dessa korrekktioner har dock motsatt tecken och kan under vissa förhållanden ta ut varandra, vilket är det som utnyttjas i korrektionsfria referenssystem.

Figur 3. Sammanlagd inverkan av höjdkorrektion och projektionskorrektio, enhet ppm = mm/km. Förutsättningen är att skalfaktorn utefter medelmeridianen = 1,0, vilket den är i SWEREF 99:s lokala projektionszoner.



Se HMK – Stommätning 2021, Bilaga E, för detaljerade formler för hantering av korrekktionerna, samt exempel på hur stora dessa blir i olika situationer. Observera att korrektio av lutande längder vid detaljmätning sker automatiskt genom inställning i mätinstrumentet.

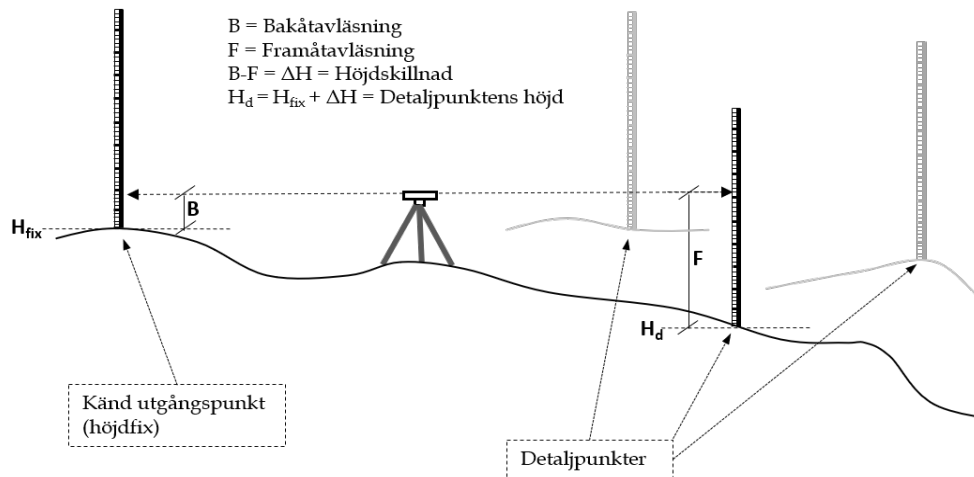
2.2 Avvägning

Även om trigonometrisk höjdmätning med totalstation är den huvudsakliga metoden för detaljmätning i höjd kan avvägning vara ett alternativ i vissa situationer. Detta gäller främst vid tillämpningar som gränsar till *stommätning* – eller vid noggrann utsättning och kontroll av höjdsatta objekt, t.ex. sättningsmätning.

Med avvägningsinstrumentet görs en horisontell mätning mot en lodad avvägningsstång, försedd med en längdskala för manuell eller digital avläsning. Vid detaljmätning utförs först en stationsetablering genom avläsning mot stängen placerad på (minst) ett bakåtobjekt, s.k. bakåt-

avläsning. Det innebär att instrumentet kan höjdbestämmas i höjdsystemet. Därefter görs successiva framåtavläsningar mot stängen placerad på detaljpunkterna. Det ger höjdskillnaden mellan instrumentet och detaljpunkterna. Därefter kan detaljpunkternas höjd relativt utgångspunkten beräknas genom att instrumentets höjd adderas, se Figur 4.

Figur 4. Principen för avvägning. Den sökta höjdskillnaden beräknas som skillnaden mellan bakåt- och framåtavläsningen av stängerna.



Finns ingen etablerad utgångspunkt tillgänglig i detaljmättningsområdet måste kompletterande utgångspunkter etableras eller en linjeavvägning utförs från en känd utgångspunkt (*höjdfix*) till den instrumentuppställning varifrån detaljmätningen ska utföras, se avsnitt 5.2.

2.3 Utsättning

Utsättning innebär att ett i förväg bestämt läge markeras fysiskt i terrängen – relativt ett befintligt objekt, en linje eller i ett referenssystem. Vid terrester utsättning i plan etableras en totalstation som vid terrester inmätning, varefter utsättningen kan utföras genom att avstånd och riktning från instrumentet anges till den punkt som ska sättas ut. Utsättning i höjd utförs på motsvarande sätt, med totalstation eller avvägninginstrument.

I detta dokument ges utsättning en mer summarisk beskrivning än inmätning. Det beror på att metodiken och tekniken vid utsättning oftast är tillämpningsspecifik, och därför tas upp i olika branschnormer. Dessa innehåller råd och anvisningar beträffande *toleranser*, kontroller m.m. för olika tillämpningar. Ett urval av styrdokument från bygg- och anläggningsbranschen tas upp i avsnitt 7.1.

2.4 Detaljmätningsprocessen

Även om variationer kan förekomma beroende på de specifika förutsättningarna i ett projekt så kan den generella arbetsprocessen vid terrester detaljmätning sammanfattas på ungefär följande sätt:

Planering

- Detaljmätningen planeras utifrån kvalitetskraven i den tekniska specifikationen och de lokala förutsättningarna på platsen för uppdraget.
- Roller, kompetenser, ansvarsförhållanden och tidplan tydliggörs.
- Underlag från beställaren sammanställs och kompletteras vid behov.
- Mätutrustning/mätmetoder väljs och anpassas gentemot ställda krav och uppdragets arbetsmässiga förutsättningar.
- Kontroller definieras.

→ Avstämning med beställare

Mätning

- Mätutrustningen kontrolleras/justeras.
- Eventuell komplettering av utgångspunkter genomförs.
- Kontrollpunkter identifieras/markeras.
- Instrumentet ställs upp och etableras på den första uppställningsplatsen.
- Bakåttobjekt, detaljer och kontrollpunkter mäts in.
- Stationsetableringen kontrolleras.
- Motsvarande inmätning utförs från övriga uppställningar.
- Ev. ommätning genomförs efter preliminär kontroll.

→ Avstämning med beställare

Efterbearbetning

- Stationsetableringar, samt nybestämda utgångspunkter, kontrollpunkter och detaljmätningar slutberäknas och kontrolleras.
- Detaljmätningens lägesosäkerhet skattas och kontrolleras genom jämförelse mellan inmätta kontrollpunkter.
- Resultat och genomförda kontroller dokumenteras.

→ Slutredovisning

I Bilaga F finns mer detaljerade checklistor/processbeskrivningar, som också kan utgöra stommen för planering och arbetsdokumentation.

3 Planering och förberedelser

Krav

- a) Planering och genomförande av detaljmätning ska utgå från specificerade krav.
- b) Utföraren ska göra en bedömning av vilka mätinstrument och mätmetoder som passar bäst för det aktuella arbetet.

Rekommendation

- c) Utföraren bör redovisa formell kompetens och/eller beskriva hur arbetsprocessen kvalitetssäkras.
- d) Kontroller och dokumentation i arbetsprocessen bör anpassas till uppdragets komplexitet, omfattning och kvalitetskrav.

En väl genomförd planering ger goda förutsättningar att utföra detaljmätningen på ett fackmannamässigt och resurseffektivt sätt.

Följande planeringsaspekter påverkar hela arbetsprocessen och bör därför tydliggöras tidigt i planeringen, i dialog med beställare/kravställare:

- kravspecifikation och övriga underlag från beställare,
- ansvars- och kompetensfrågor,
- mätningsteknisk bedömning,
- kontroller och dokumentation.

Kravspecifikation och övriga underlag

För att säkra att genomförandet av detaljmätningen sker med önskad kvalitet förutsätts en *kravspecifikation*. Detta gäller oavsett om mätningen utförs på beställning eller i egen regi. Kravspecifikationen kan innehålla:

- En beskrivning av den önskade slutprodukten, dvs. omfattningen av inmätta/utsatta detaljer med tillhörande attributdata som ska levereras och vilka krav på geodatakvalitet som ska uppfyllas, liksom eventuella krav på dokumentation, leveransformat, filstruktur m.m.
- En beskrivning av lämpliga geodetiska metoder för att säkerställa att detaljmätningen genomförs på ett fackmannamässigt sätt. I den här handboken motsvaras detta av ett så kallat *grundutförande*. Vid hänvisning till grundutförande i upphandling eller regelverk tillämpas kraven i Bilaga A.2. Samtliga tillägg eller undantag specificeras.

Utöver kravspecifikationen kan det finnas annat underlag för planeringen. Detta kompletteras efter behov med egna undersökningar, fältrekognosering, uppgifter från stornätsförvaltare m.m. för att få en komplett bild av uppgiften och för att underlätta den fortsatta arbetsprocessen.

Hur eventuella avvikelser från kravspecifikationen hanteras inom ramen för en upphandling regleras normalt i upphandlingens allmänna delar.

Ansvars- och kompetensfrågor

En god hantering av ansvars- och kompetensfrågor är viktig för att planering, genomförande och leverans ska kunna ske enligt beställarens intentioner.

Utföraren förväntas kunna redovisa att alla kvalitetsmässiga aspekter av detaljmätningen hanteras av personal med tillräcklig kompetens, vilket t.ex. kan inkludera hänvisning till *grundläggande mätningsteknisk färdighet* eller relevanta branschnormer för certifiering eller behörighet.

Ett alternativt sätt att säkerställa detta kan vara att utföraren redovisar vilka rutiner, kontroller, checklistor m.m. som ingår i arbetsprocessen. Se även under rubriken "Kontroller och dokumentation".

Ansvars- och rollfördelning samt tidplan för olika delmoment i arbetet klargörs, och kan även regleras inom ramen för en upphandling.

Mätningsteknisk bedömning

Eftersom det ofta finns olika sätt att genomföra geodetisk detaljmätning ska utföraren göra en bedömning av vilka mätinstrument och mätmetoder som passar bäst för det aktuella arbetet.

Bedömningen baseras bl.a. på vilken typ av objekt som ska mätas in, vilken mätutrustning och geodetisk infrastruktur som finns att tillgå, och hur den lokala mätmiljön ser ut. Dessa förutsättningar bör klargöras tidigt i planeringen.

Terrestra tekniker passar ofta bra för detaljmätning i komplexa miljöer med många sikthinder, t.ex. i tätorter med hög bebyggelse eller vegetation – eller där det inte är önskvärt eller möjligt att mäta nära marknivå. Särskilt totalstationsmätning är lämpligt för "beröringsfri" mätning på avstånd, utan behov av signalering.

Kombinerad mätning med sömlös växling mellan totalstation och RTK-rover kan möjliggöra större flexibilitet och produktivitet i detaljmätningen, se HMK – GNSS-baserad detaljmätning 2021, avsnitt 4.4.3.

Terrester mätning är ofta ett bra val när den lokala lägesosäkerheten till närliggande utgångspunkter behöver vara lägre än den absoluta lägesosäkerheten i ett överordnat referenssystem. Med god anslutning kan det dock vara möjligt att bestämma med detaljpunkter med motsvarande lägesosäkerhet som utgångspunkterna, dvs. den absoluta lägesosäkerheten kommer i första hand att bero på utgångspunkterna.

Kontroller och dokumentation

Det är viktigt att avsätta tillräcklig tid för kontroller och dokumentation under hela arbetsprocessen – från planering till slutleverans.

Egenkontroller genomförs som del av goda arbetsrutiner och för att kunna kvalitetssäkra och redovisa produktionsresultatet. Egenkontroller förväntas alltså vara integrerade i en fackmannamässig arbetsprocess. Redovisning av vissa egenkontroller kan även ingå i kravspecifikationen. Hur beställaren kontrollerar det levererade arbetet/produkten beskrivs i Bilaga C samt i [HMK - Geodatakvalitet 2017](#). Delar av sådana *leveranskontroller* kan ingå i det aktuella uppdraget eller utföras av tredje part.

Dokumentation utförs fortlöpande under arbetsprocessen för att kunna redovisa all information enligt kravspecifikationen, samt för egen kvalitetssäkring och spårbarhet. Dokumentationen anpassas till kravspecifikationen och uppdragets omfattning och komplexitet, på ett sätt som underlättar uppföljning och kompletteringar. T.ex. kan dokumentation som inte ingår i leveransen bestå av checklistor eller anteckningar som underlättar felsökning. Bilaga B ger exempel på vad som kan ingå i dokumentationen.

3.1 Mätninginstruktioner

Krav

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

Rekommendation

- b) Detaljeringsnivå eller skala bör specificeras om flera objektgeometrier kan vara aktuella för samma objekt.

För att geografiska objekt ska kunna redovisas på ett korrekt sätt i en databas eller i en karta/modell förutsätts att detaljmätningen sker på ett enhetligt och entydigt sätt för respektive objekttyp (byggnadsdetaljer, vägkanter, träd, gränsmarkeringar m.m.). Det är därför viktigt att på förhand specificera de *objektgeometrier* och den *punktkodning* som ska tillämpas vid detaljmätningen, se exempel i Figur 5.

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

Mättningsinstruktioner för objektgeometrier och punktkodning ska ingå i kravspecifikationen för uppdraget och redovisas av utföraren vid leveransen. I båda fallen är det möjligt att helt eller delvis hänvisa till andra specifikationer eller riktlinjer, t.ex. de "mättningsanvisningar" som tagits fram tillsammans med de nationella specifikationerna för geodata [3].

Om flera geometrier är möjliga bör även den önskade detaljeringsnivån eller skalintervallet vara specificerat för den aktuella objekttypen. Detta kan exempelvis anges som HMK-standardnivå, se [HMK - Geodatakvalitet 2017](#), avsnitt 2.6. Vid ofullständiga eller tvetydiga mättningsinstruktioner i den tekniska specifikationen sker återkoppling till beställaren innan detaljmätningen påbörjas.

Figur 5. Exempel på objektgeometrier i en mättningsinstruktion [3]. Av instruktionerna framgår att objekttypen "kantsten" ska mätas in som en linje bildad av två (eller flera) punkter där höjden på objektet anges relativt underkant.



Eftersom ett visst geografiskt objekt kan ha flera alternativa geometrier bör det framgå av specifikationen vilken detaljeringsnivå eller vilket skalintervall som eftersträvas för den aktuella objekttypen. Detta kan också anges som HMK-standardnivå – se [HMK - Geodatakvalitet 2017](#), avsnitt 2.6.

Om den tekniska specifikationens instruktioner och kodlistor är ofullständiga eller tvetydiga ska återkoppling göras till beställaren innan detaljmätningen påbörjas.

3.2 Detaljmätningsområdet

Rekommendation

- a) Detaljmätningsområdet bör rekognoseras på plats innan detaljmätning påbörjas.

Mätmetodiken anpassas till de lokala förutsättningarna i detaljmätningsområdet, som kan begränsa huruvida terrester detaljmätning kan genomföras och kontrolleras på ett acceptabelt sätt. För att säkerställa att samtliga efterfrågade objekt/objektdelar kan mätas in enligt specifikationen bör utföraren skapa sig en god överblick över området under planeringen.

Med hjälp av kartinformation och annat underlag kan ofta en preliminär planering av mätningen göras – baserat på topografi, siktförhållanden, transportvägar, säkerhetsaspekter, befintliga utgångspunkter m.m.

Det är dock viktigt att vid behov komplettera detta med en fältrekognosering i detaljmätningsområdet – främst avseende status på befintliga utgångspunkters markeringar, risk för tillfälliga sikthinder i förhållande till tänkta platser för instrumentuppställning och andra lokala faktorer som kan påverka genomförandet. Detta sparar ofta tid när detaljmätningen utförs, inte minst om beskrivningen av detaljmätningsområdet initialt är ofullständig eller osäker.

3.2.1 Utgångspunkter och kontrollpunkter

Krav

- a) Vid detaljmätning i plan ska minst tre utgångspunkter finnas tillgängliga för varje stationsetablering.
- b) Vid detaljmätning i höjd ska minst två utgångspunkter finnas tillgängliga för varje stationsetablering.
- c) Befintliga utgångspunkters status ska bedömas innan detaljmätningen påbörjas.

Rekommendation

- d) Komplettering bör göras om det inte finns utgångspunkter av tillräcklig kvalitet eller med lämplig konfiguration.
- e) För att kunna utvärdera lägesosäkerheten i detaljmätningen bör kontrollpunkter finnas tillgängliga.

Före detaljmätningen klarläggs behovet av utgångspunkter och kontrollpunkter inom eller i närheten av detaljmätningsområdet.

Utgångspunkter utgörs av kända punkter i relevant referenssystem. Dessa kan antingen vara befintliga punkter eller nya punkter som koordinat- eller höjdbestäms i samband med detaljmätningen – dvs. genom någon form av komplettering.

Kontrollpunkter används främst för att utvärdera lägesosäkerheten i detaljmätningen. Till skillnad från utgångspunkter behöver dessa inte vara kända i referenssystemet.

Utgångspunkter

Kvalitetsuppgifter samt eventuella beräkningsunderlag för befintliga utgångspunkter kontrolleras och en bedömning görs av deras användbarhet för uppdraget. Uppgifter om befintliga stompunkter finns normalt tillgängliga via Lantmäteriets, kommuners, Trafikverkets eller andra aktörers stamnätsarkiv, se HMK – Geodetisk infrastruktur 2021, avsnitt 3.5.1.

Vid mätning i plan ska minst tre utgångspunkter finnas för att kunna kontrollera stationsetableringen på ett tillförlitligt sätt. Dessa bör ringa in detaljpunkterna för att undvika extrapolation vid beräkningen av koordinater, se avsnitt 3.2.3 och Bilaga D. I höjd ska minst två utgångspunkter användas, så att det ena kan kontrollera det andra. Utgångspunkterna i plan och höjd kan sammanfalla helt eller delvis, eller vara åtskilda.

Antalet bakåtojekt för stationsetableringen anpassas i övrigt efter utgångspunkternas lägesosäkerhet och kraven i projektet. Överbestämmingar eftersträvas för att förbättra kontrollerbarheten och analysunderlaget vid beräkning av stationsetableringen, se avsnitt 4.4 och avsnitt 5.4. Överbestämmingar gör att *anslutningen* till referenssystemet blir mer robust och bristfälliga punkter/mätningar kan lättare identifieras och exkluderas, se exempel i Bilaga E.

Vid fältrekognosering kontrolleras markeringarnas status. Finns det ingen uppenbar anledning att tvivla på utgångspunkternas kvalitet kan kontrollen av utgångspunkter integreras som en del i analysen av stationsuppställningen för detaljmätningen – förutsatt att det finns möjligheter till överbestämningar, se exempel i Bilaga E.

Komplettering av utgångspunkter

Om befintliga utgångspunkter endast finns i delar av detaljmätningsområdet, eller är olämpligt placerade, krävs förtätning eller komplettering.

Beroende på aktuella kvalitetskrav kan komplettering av utgångspunkter ske genom:

- *stomnätsförtätning*, se HMK – Stommätning, senaste version. Se även avsnitt 4.2 och avsnitt 5.2.
- kombinerad mätning med GNSS/RTK och totalstation, där utgångspunkterna mäts in med RTK och totalstation i samband med detaljmätningen, se avsnitt 4.3.3; sådana punkter markeras inte utan existerar bara så länge prisma och GNSS-mottagare är orörda.

I både fallen är det önskvärt att utgångspunkterna omringar detaljmätningens område, se avsnitt 3.2.3. Vid kombinerad mätning förutsätts också att GNSS-mätningen sker i en acceptabel mätmiljö, se HMK – GNSS-baserad detaljmätning 2021, avsnitt 3.3.

Vid blandning av utgångspunkter av olika typ, t.ex. från ett *stomnät* och via kombinerad mätning med GNSS/RTK och totalstation, bör observeras att motsägelser kan uppstå om de två olika lokala realiseringarna av referenssystemen skiljer sig från varandra, se HMK – Geodetisk Infrastruktur 2021, avsnitt 4.2.

Markering av nya utgångspunkter bör utföras före detaljmätningen. Markeringen anpassas till tänkt användning och livslängd: *stomnätsförtätning* eller komplettering av utgångspunkter i aktuellt projekt.

I vissa fall behövs även försäkringspunkter/-markeringar som redundans till de regelrätta utgångspunkterna. Detta gäller t.ex. vid mätning i områden där mark- och anläggningsarbeten pågår eller där det av annan anledning finns risk för att befintliga punkter kan komma att försvinna.

Kontrollpunkter

Kontrollpunkter kan användas för kontroll av olika moment i detaljmätningens process, t.ex. hur flera stationsetableringar överensstämmer inbördes samt för utvärdering av lägesosäkerheten i de inmätta detaljerna, se Bilaga C.2. Detta sker genom upprepad inmätning av samma kontrollpunkter från olika uppställningar och jämförelse mellan dessa, se avsnitt 4.4.3 och avsnitt 5.4.3.

Kontrollpunkter som används för att utvärdera lägesosäkerhet behöver varken vara markerade eller koordinatbestämda. De kan istället vara naturliga detaljer – förutsatt att de är tillräckligt väldefinierade för att kunna mätas in vid upprepade tillfällen – eller t.o.m. ommarkerade signaluppställningar på *statio*, se Bilaga D.

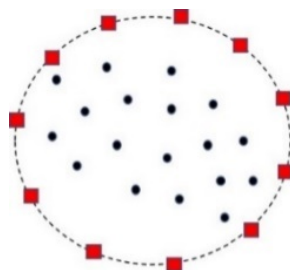
3.2.2 Val av instrumentuppställningsplatser

Rekommendation

- Fri station – med inmätning mot minst tre bakåtojekt – bör väljas framför uppställning över känd utgångspunkt.
- Platser för instrumentuppställningar bör vara lättåtkomliga och ge möjlighet till störningsfri mätning mot så många detaljer, utgångspunkter och kontrollpunkter som möjligt.
- Inmättningsavstånden vid detaljmätning bör inte överstiga 200 meter.

Fri station är att föredra framför uppställning över känd punkt eftersom det ger ett flexiblere arbetssätt och bättre möjligheter till kontroll av stationsetableringen, se Bilaga D. Till fördelarna hör även att en fri station anpassas bättre till de utgångspunkter som mätning utförs mot och att den kan placeras på valfri plats. En fri station innebär också att centreringsfel och fel vid mätning av instrumenthöjd elimineras.

Figur 6. Så här kan configurationen vara om den fria stationen (blå triangel) inte markeras för återanvändning. Dess placering är då helt fri. Huvudsaken är att detaljpunkterna (svarta prickar) omringas av utgångspunkterna (röda kvadrater).



Det viktiga är att bakåtojekten omringar detaljpunkterna. Var stationen är placerad spelar mindre roll – se Figur 6, Bilaga D samt [4] och [5]. Utgångspunkterna bör vara jämnt placerade inom detaljmättningsområdet – i större områden även inuti detta, se avsnitt 3.2.3. En totalstation kan alltså placeras både inom och utanför detaljmättningsområdet, förutsatt att utgångspunkternas configuration är god.

För att minimera inverkan från osäkerheten i orienteringsbestämningen av instrumentet vid mätning i plan ska siktlängderna mot detaljpunkterna vara kortare än avståndet till det mest avlägsna bakåtojektet, se avsnitt 3.2.3. Detta objekt bör dock inte vara beläget alltför långt bort. Vid långa siktlängder blir även refraktionen och jordkrökningen en begränsande faktor för mätosäkerheten i höjd, se

avsnitt 2.1.2. Längre siktlängder än 200 m bör därför undvikas vid detaljmätning i både plan och höjd.

En fri station är också användbar på flera andra sätt, t.ex. vid sökning efter grova mätfel i stationsetableringen, kontroll av utgångspunkter, bestämning av skalskillnader samt verifiering av mät- och lägesosäkerhet, se Bilaga D. En överbestämd fri station – vid god konfiguration av bakåtoobjekt med enhetlig kvalitet och beräkning enligt *minstakvadratmetoden* – kan därför anses ha väl så god kvalitet som de använda utgångspunkterna.

Vid val av uppställningsplats bör följande prioritetsordning gälla (jfr. avsnitt 2.1):

- I första hand etableras en fri station, som mäts in mot minst tre bakåtoobjekt.
- I andra hand görs uppställning över känd utgångspunkt.

I bedömningen av att hitta lämpliga platser för instrumentuppställning ingår bl.a. följande:

- siktförhållanden i förhållande till detaljpunkter, potentiella bakåtoobjekt och kontrollpunkter
- möjlig överlapp mellan intilliggande instrumentuppställningar
- behov av röjningsinsatser för att åstadkomma fri sikt
- möjliga störningsrisker för mätningarna, t.ex. osäkra markförhållanden, stora temperaturvariationer, damm, fukt m.m.
- säkerhetsrisker kring arbetet (trafik m.m.).

För kontroll av lägesosäkerheten i inmätta detaljer bör minst två oberoende instrumentuppställningar planeras, med ett överlappande område mellan dem, se avsnitt 3.2.3. Det möjliggör upprepad, oberoende inmätning av kontrollpunkter från olika stationer. Förutom kontrollpunkter bör överlappningsområdet innehålla minst två gemensamma bakåtoobjekt, som används för båda stationsetableringarna.

3.2.3 Konfiguration av utgångs- och kontrollpunkter

Krav

- a) Intilliggande uppställningar ska ha en gemensam övertäckningszon.

Rekommendation

- b) Vid detaljmätning i plan bör utgångspunkterna omsluta detaljmätningsområdet.
- c) Vid detaljmätning i höjd bör utgångspunkterna vara belägna på ungefär samma avstånd från instrumentet som detaljpunkterna.
- d) Intilliggande uppställningar bör ha minst två gemensamma utgångspunkter.
- e) I yttäckande områden bör minst en kontrollpunkt – och i långsträckta objekt minst två kontrollpunkter – placeras i övertäckningszonen mellan uppställningarna.

I Figur 7, Figur 8 och Figur 9 visas några principexempel på placering av bakåtobjekt och kontrollpunkter vid uppställning av fria stationer inom ett detaljmätningsområde. Denna planering bygger på "schablonerna" i Figur 14 och Figur 15 i Bilaga D, där utgångspunkterna omringar detaljmätningsområdet.

Detaljpunkter bör inte mätas in bortanför bakåtobjekten eller utanför den begränsningslinje som definieras av bakåtobjekten (markerad med en ellips i figuren). Det är dock inte alltid som detta teoretiska resonemang är möjligt att genomföra i praktiken. Principerna bör dock följas så gott det går för att säkerställa ett kontrollerbart resultat.

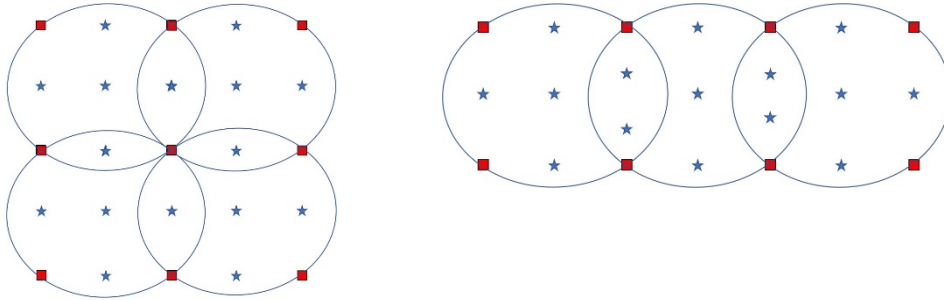
Vid höjdmätning är det inte lika kritiskt att omringa detaljmätningsområdet med utgångspunkter, men de bör vara lokaliserade i närheten av detaljmätningsområdet.

I Figur 7 redovisas en lämplig konfiguration av bakåtobjekt och kontrollpunkter inom ett detaljmätningsområde. Inmätningen utförs från en fri station, som kan ställas upp på valfri plats – i eller i närhet till det aktuella området, se avsnitt 3.2.2.

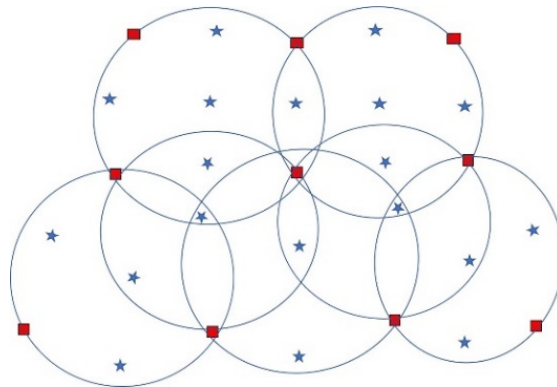
Kontrollpunkterna mäts in från minst två oberoende stationsetableringar. I yttäckande områden rekommenderas minst en kontrollpunkt och vid långsträckta objekt minst två kontrollpunkter i övertäckningszonen mellan uppställningarna. Dessutom bör minst två gemensamma bakåtobjekt användas för stationsetablering av intilliggande instrumentuppställningar.

I större detaljmätningsområden (Figur 8) blir det i princip endast en fråga om att "fylla" området med utgångs- och kontrollpunkter. Det är dock viktigt att behålla minimiantalen vad gäller gemensamma utgångs- och kontrollpunkter för de olika uppställningarna.

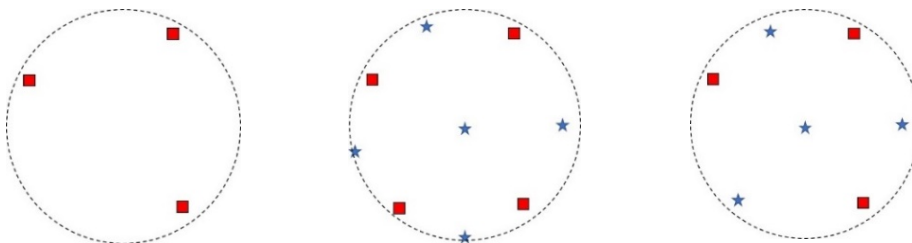
Figur 7. Lämplig konfiguration av bakåtojekt (kvadrater) och kontrollpunkter (stjärnor) vid detaljmätning. I yttäckande områden (t.v.) rekommenderas användning av minst en kontrollpunkt och vid långsträckta objekt (t.h.) minst två kontrollpunkter i övertäckningszonen mellan uppställningarna.



Figur 8. Exempel på konfiguration av kontrollpunkter och bakåtojekt i ett större detaljmätningsområde – baserat på "schablonerna" i Figur 14/Figur 15.



Figur 9. Komplettering av utgångspunkter genom bestämning av nya punkter eller i form av en strategisk placering av kontrollpunkter.



Utgångsläge: glesst med utgångspunkter som inte omringar detaljmätningsområdet

Komplettering med en ny utgångspunkt (+ kontrollpunkter)

Komplettering endast med kontrollpunkter

Allmänt gäller att alla kontrollpunkter – som inte har kända koordinater – måste mätas in minst två gånger. Antingen görs det i samband med mätningen från en intilliggande station eller också etableras en särskild station enbart för inmätning av kontrollpunkterna i detaljmätningens områdes rand.

Om antalet utgångspunkter är för litet för att omringa detaljmätningens område finns det olika sätt att utföra komplettering av utgångspunkter, se Figur 9. Ibland räcker det med fler kontrollpunkter i stället för komplettering av utgångspunkter. Kontrollpunkterna placeras då i områden som inte täcks in av utgångspunkterna.

Väljs ändå kompletteringsalternativet så behöver detta inte utföras som en egen aktivitet. Det går alldeles utmärkt att göra kompletteringen i samband med detaljmätningen, antingen genom RTK-mätning eller terrester inmätning, se avsnitt 3.2.1 och avsnitt 4.2.

3.3 Mätutrustning

Krav

De geodetiska mätinstrument som används vid terrester detaljmätning

- a) ska ha en specificerad mätosäkerhet som inte överstiger den lägesosäkerhet som krävs för detaljerna.
- b) ska genomgå dokumenterad kalibrering, uppdatering och övrig service enligt tillverkarens rekommendationer.
- c) ska acklimatiseras i den aktuella mätmiljön före användning.
- d) ska kontrolleras och justeras av användaren i sådan omfattning att specificerad prestanda är säkerställd vid mätningstillfället.

Rekommendation

- e) Funktionskontroll av all mätutrustning bör göras av användaren innan detaljmätningen påbörjas.

Med mätutrustning avses här geodetiska mätinstrument - dvs. totalstation och avvägningssinstrument - samt övriga tillbehör som används vid mätningen.

Mätinstrument väljs utifrån kraven och de praktiska förutsättningarna i det specifika uppdraget. Varje mätinstrument har en specificerad mätosäkerhet, räckvidd, arbetstemperatur m.m. som bör beaktas.

Instrumentets specificerade mätosäkerhet ska aldrig överstiga den lägesosäkerhet som eftersträvas i detaljerna, eftersom den sistnämnda även påverkas av siktförhållanden, refraktion, avstånd till mätobjekten, handhavande, utgångspunkter m.m. enligt osäkerhetsbudgeten i Tabell 2.

För att säkerställa att mätinstrumenten uppfyller specificerad prestanda genomförs:

- kalibrering i samband med instrumentservice,
- instrumentkontroll och justering inför detaljmätning.

Kalibrering och övrig instrumentservice

Kalibrering utförs av särskilt ackrediterade laboratorier eller verkstäder för att fastställa att geodetiska mätinstrument gör korrekta observationer i förhållande till referens/mätnormal som anges i specifikationer, standarder m.m. Kalibreringen dokumenteras i form av kalibreringscertifikat eller liknande.

Både kalibrering och övrig instrumentservice utförs enligt instrumenttillverkarens rekommendationer. T.ex. behöver mätinstrumentet ibland plockas isär för underhåll och utbyte av slitna instrumentdelar. I serviceinsatserna ingår även uppdatering av programvara.

Utförarens instrumentkontroll och justering

Utöver verkstadsservice ska geodetiska mätinstrument kontrolleras regelbundet av utföraren, samt efter behov, för att kunna upptäcka och hantera instrumentfel. Behov kan t.ex. uppstå i samband med stora temperaturförändringar, efter stötar eller vibrationer, eller om det är okänt när mätinstrumentet användes senast - eller av vem.

Instrumentkontrollen kan medföra justering av mätinstrumentet för att specificerad prestanda ska kunna uppfyllas vid detaljmätningen. De flesta moderna mätinstrumenten har egna kontroll- och justeringsprogram som följs enligt tillverkarens instruktioner. Justeringen implementeras i dessa fall som en automatisk inställning som sparas i instrumentet för att korrigera mätningarna.

De vanliga instrumentfel som bör kontrolleras och justeras redovisas separat för:

- totalstation, se avsnitt 3.3.1
- avvägningssinstrument, se avsnitt 3.3.2.

Vissa instrumentfel kan alltså finnas kvar i samband med mätningen - förutsatt att felen är justerade ned till en nivå som är acceptabel i förhållande till aktuella kvalitetskrav. Detta skiljer detaljmätning från stommätning där alla instrumentfel - om möjligt - ska elimineras

genom lämpligt valda mät- och beräkningsförfaranden, t.ex. vinkelmätning i helsatser. Detta kan naturligtvis också tillämpas vid detaljmätning för att säkra viktiga delmoment, t.ex. i samband med stationsetablering. Se även HMK – Stommätning 2021, Bilaga D, där det finns en sammanställning av de olika instrumentfelen, samt anvisningar för att eliminera eller reducera dem.

Observera att vissa instrumentkontroller utförs ihop med specifika tillbehör, t.ex. prismor eller trefötter. Detta gäller exempelvis vid kontroll av mätinstrumentens s.k. kompensator, som matematiskt korrigerar små lutningar efter en grovhorisontering av trefoten.

Funktionstest

Funktionstest är en kompletterande egenkontroll som ger ett kvitto på att mätinstrument med tillbehör uppfyller tillverkarens specifikationer, samt att mätningen utförs med rätt inställningar. Funktionstest kan vara av särskilt intresse innan detaljmätning utförs med ny eller sällan använd mätutrustning.

Funktionstest av en totalstation kan t.ex. göras enligt ISO-standarderna ISO 17123-5:2018, se [6].

Acklimatisering i vädermiljön

Instrument och kompletterande utrustning ska packas upp en stund före användning för att acklimatiseras till den vädermiljö (temperatur och luftfuktighet) som råder i arbetsområdet. Olika temperatur på t.ex. instrument och trefot kan, liksom förändrad temperatur på stativ och skruvar, medföra rörelser i uppställningen under mätningens gång. Ca 2-3 minuter per grad i temperaturskillnad mellan förvarings- och arbetsmiljön är en rimlig acklimatiseringstid.

Dokumentation

Den utrustning som används vid detaljmätningen redovisas i projektdokumentationen (se Bilaga B), inklusive identifikationsbeteckning (serienummer eller motsvarande), inställningar, genomförda kontroller och justeringar samt specificerad mätosäkerhet.

3.3.1 Totalstation

Rekommendation

- a) Totalstation bör användas tillsammans med de prismor som rekommenderas av tillverkaren.

Moderna totalstationer kan ofta fjärrstyras från lodstången och därmed skötas av en person. Totalstationen kan då själv söka efter prisma, låsa på detta och med hjälp av servomotorer vrida sig vid förflyttning.

Saknas sådana möjligheter krävs två personer för detaljmätningen, en som håller lodstången på den punkt som ska mätas och en som riktar in mot prismet och utför mätningen.

Mätosäkerhet

Specificerad mätosäkerhet vid riktningsmätning med totalstation anges schablonmässigt i sekunder eller mgon, där det är viktigt att notera skillnaden på storheterna, se Tabell 3. Mätosäkerheten i riktningsmätningen brukar specificeras för den automatiska inriktningen vid mätning i en helsats. Eftersom helsatsmätning normalt inte tillämpas vid detaljmätning kan vissa instrumentfel – som elimineras vid helsatsmätning – bidra till ökad mätosäkerhet och systematiska effekter. Dessa bidrag är dock sällan signifikanta om mätningen sker på korta avstånd och om instrumentet i övrigt är kontrollerat och justerat.

Tabell 3. I specifikationer för riktningsmätning används ofta enheterna sekunder eller mgon. Följande samband råder mellan dessa storheter.

$$\sigma_{mgon} = \frac{\left(\frac{\sigma_{sekunder}}{60 * 60}\right)}{360} * 400 * 1000$$

σ_{mgon}	$\sigma_{sekunder}$
0,15	0,5
0,31	1
0,62	2
0,93	3
1,23	4

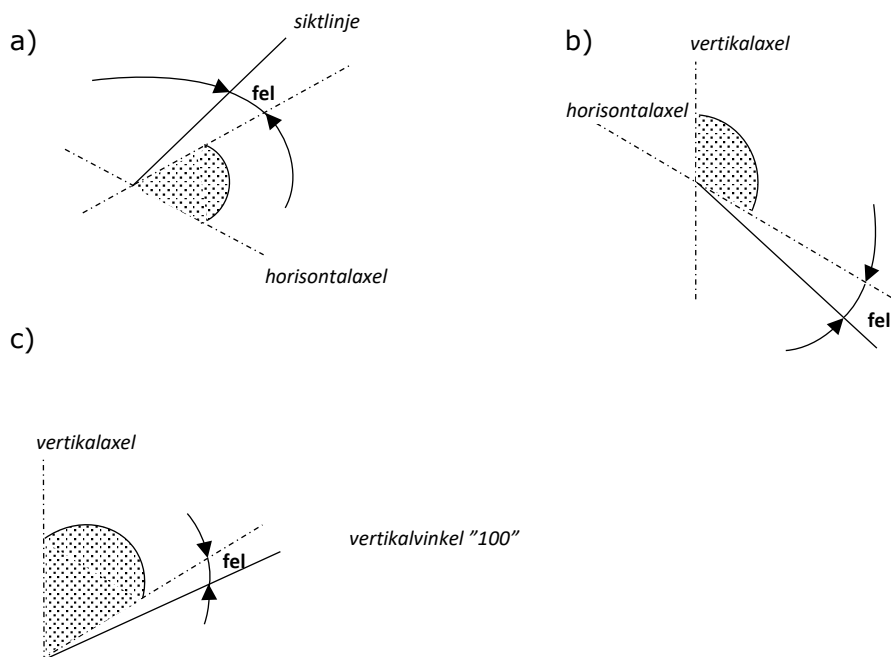
Instrumentkontroll och justering

Totalstationer har flera rörliga delar som behöver ha inbördes korrekta positioner för att mätningar ska kunna ske felfritt. Inför detaljmätning med totalstation kontrolleras därför:

- att siktlinjen är vinkelrät mot horisontalaxeln; avvikelse från detta (kollimationsfel i sidled) påverkar alla horisontalvinklar, men mer vid branta vertikalvinklar.
- att horisontalaxeln är vinkelrät mot vertikalaxeln, avvikelse från detta (kippaxelfel eller inklinationsfel) påverkar horisontalvinklar; noll vid horisontella mätningar och ökande vid branta vertikalvinklar.
- att vertikalcirkelns nollmarkering sammanfaller med vertikalaxeln i zenit; avvikelse från detta (kollimationsfel i höjddled eller indexfel) ger en konstant påverkan på vertikalvinklar.
- att kompensatorns nollpunkt sammanfaller med den digitala doslibellen; avvikelse från detta i längs- respektive tvärled (indexfel för kompensator) påverkar vertikalvinklar.

Ytterligare kontroller kan ingå instrumentets egna program, t.ex. av automatisk inriktning/prismasökning eller av inbyggd kamera. Dessa kontrolleras i den mån de används vid detaljmätningen.

Figur 10. Exempel på instrumentfel som kontrolleras och kan föranleda justering: a) kollimationsfel i sidled, b) kippaxelfel, c) kollimationsfel i höjddled De punktstreckade linjerna illustrerar vilka axlar som förväntas vara vinkelräta.



Inriktning och mätning mot prisma

Inriktningen mot ett prisma kan ske manuellt eller genom totalstationens automatiska prismasökning (baserat på kamera eller laserimpulser). Vid automatisk inriktning måste kontroll ske att totalstationen har riktat in sig mot rätt prisma. Instrumentet kan sedan låsas mot prismet och behålla låsningen vid prismats förflyttning.

En totalstation bör användas med de prismor som rekommenderas av instrumenttillverkaren. Det är viktigt att ange rätt prismakonstant i instrumentet och vara vaksam på att olika tillverkare kan ange prismakonstanten på olika sätt.

Vissa fabrikat använder s.k. aktivt prisma där låsning på prismet endast är möjlig genom att totalstationen identifierar en viss signal. Detta innebär att felaktiga reflektioner från t.ex. fönster eller vägs skyltar undviks samt att totalstationen inte låser på fel prisma om det finns flera prismor i arbetsområdet. Observera att det kan finnas skillnader i inriktningsosäkerheten vid automatisk respektive manuell inriktning.

Reflektorlös längdmätning

Där längdmätning mot prisma inte är möjligt eller önskvärd kan reflektorlös mätning tillämpas. Instrumentet riktas då in manuellt och utsänd signal reflekteras till totalstationen direkt via objektet. Mätosäkerheten vid reflektorlös mätning kan skilja sig från mätning mot prisma och den påverkas även av infallsvinkeln mot objektet.

Ett alternativ för att förbättra reflektionen – och därmed minska osäkerheten i längdmätningen – är att sätta upp reflekterande mättejp på det objekt som ska mätas in.

Kombinerad mätning med totalstation och GNSS/RTK

Vid kombinerad mätning kan bakåto objekt och detaljpunkter mätas in med RTK, se avsnitt 4.3.3. Eftersom GNSS-antennen då är monterad ovanpå prismet på lodstången är det viktigt att rätt offset mellan prismet och GNSS-antennen anges i fältprogramvaran, så att GNSS-/RTK-mätningarna och totalstationsmätningar relateras till samma punkt.

Beträffande övrig information om GNSS-utrustning för kombinerad mätning, se HMK – GNSS-baserad detaljmätning 2021, avsnitt 3.6.

Lasersäkerhet

Användning av totalstationer med laserpekare kan medföra risk för ögonskador. Det är därför viktigt att känna till – och följa – instrumentfabrikanternas anvisningar vad gäller lasersäkerhet, liksom gällande standarder och ansvariga myndigheters föreskrifter inom detta område (se [7] och [8]).

3.3.2 Avvägningsinstrument

Beroende på användningsområde finns olika kvalitetskrav på ett avvägningsinstruments mätosäkerhet. Det bör observeras att specificerad osäkerhet avser tur- och returmätning. Sådan dubbelavvägning görs dock sällan vid detaljmätning vilket gör att mätosäkerheten blir något högre. Många instrumentrelaterade fel kan dock reduceras även med enkelavvägning om liknande avstånd används vid bakåt- och framåtavläsningen.

Vid detaljmätning används oftast avvägningsstänger av trä, aluminium eller glasfiber som kan fällas ihop eller delas för att underlätta transport. Dessa stänger är lättare att hantera, men de bidrar också till en något högre mätosäkerhet än de invarstänger i ett stycke som vanligen används vid stommätning.

Moderna avvägningsstänger är vanligen utrustade med en streckkod för digital avläsning och är därmed fabriksberoende. De ska därför inte användas med annat instrument än de är avsedda för.

Vid avvägning i tåg kan tillfälliga flyttpunkter skapas genom användande av en så kallad "padda" - en tung metallplatta med en väl definierad högsta punkt som placeras stabilt på marken.

Instrumenttillverkarens manual beskriver instrumentens och stängernas mätosäkerhet.

Avvägningsinstrumentet har delar som behöver kontrolleras och eventuellt justeras för att mätning ska kunna ske felfritt. Inför detaljmätning kontrolleras siktlinjen för eventuella kollimationsfel, samt kompensatorn för automatisk horisontering av siktlinjen.

3.3.3 Övrig utrustning

Krav

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

En ofta förbisedd aspekt vid detaljmätning är statusen på övriga tillbehör och utrustning, t.ex. instrumentstativ, trefot, lodstång och libeller.

Även dessa förutsätter regelbundet underhåll och kontroll för att inte bidra i onödan till mätosäkerheten i detaljmätningen, se osäkerhetsbudgeten i avsnitt 2.1.1.

Lodstänger och instrumentstativ

Lodstångens doslibell används för lodning av lodstången på mät-punkterna. Följande kontroll av libellen kan utföras:

- Rätta upp lodstången och centrera bubblan i libellen, med hjälp av *stödben*, stativ, en fot till lodstången eller en fixtur för kontroll av stången. Om lodstången vrids 180 grader ska större delen av bubblan stanna kvar inom cirkeln. Annars behöver doslibellen justeras.
- Alternativt kan en extern stångriktare, med en kalibrerad libell, fästas på stången. Båda libellerna ska vara inom cirkeln när stången är lodad, annars behöver stångens doslibell justeras.

Även lodstångens räthet behöver kontrolleras med jämna mellanrum. Detta kan göras genom att montera stången i en fixtur och flytta en stångriktare längs stången. Att lägga och rulla stången på en planskiva kan också ge en visuell kontroll av om stången är rät.

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

Snedslitning av stången kan skapa excentricitet, d.v.s. centrum på stångens topp är inte rakt ovanför fotens/spetsens centrum. Detta bör särskilt kontrolleras i de fall stängerna inte är runda.

Angiven höjd på lodstången kan även inkludera ett offset till exempelvis ett fabrikspecifikt prisma. Användning av en annan sorts prisma kan därmed ge fel höjd om det har ett annat offset än det prisma som är avsett för stången.

Vid mätning på mjukt underlag kan lodstången sjunka ner i underlaget under mätningens gång. Detta kan undvikas genom användning av en specialtillverkad fot till lodstången, se Figur 11.

Figur 11. Fot till lodstång.



Instrumentstativ

För att möjliggöra stabil uppställning och långa observationstider måste stativbenen vara oskadade. Dessutom ska teleskopfunktionen fungera smidigt och låsfunktionen ska vara säker och låsa ordentligt.

Inga glapp får förekomma i fästpunkter vid stativfoten eller vid stativplattan. Fästskruvarna för stativbenen ska vara funktionella.

Stativ ska vara tillverkade av ett material som inte utvidgas vid temperaturförändringar, t.ex. trä. En obetydlig vridning av instrumentuppställningen kan ge upphov till ett stort inriktningsfel. Slitna och instabila stativ ska därför inte användas vid geodetisk mätning.

Trefötter och lod

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

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

Följande kontroll av lodet kan utföras:

- Ställ upp stativet och horisontera trefoten över ett pappersark på marken.
- Markera hårkorsets/laserstrålens läge på arket.
- Vrid därefter successivt trefoten på stativet en tredjedels varv runt sin axel och fortsätt markera hårkorsets läge på arket.

Trefotens konturer bör markeras för att axelvridningen ska bli korrekt. Om markeringarna på pappersarket avviker mer än 1–2 millimeter så krävs justering av lodet.

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

Övriga tillbehör

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

- trefotsadapttrar för reflektor
- prismor, mätrelexer och signaltavlor
- konsoler och mätarmar för fästning av instrument eller signal
- mätband
- laserlängdmätare
- termometrar
- barometrar.

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

4 Totalstationsmätning

Totalstation används vid såväl utsättning (se kapitel 6) som vid inmätning. Detta kapitel utgör realiseringen i fält av den planering av ett detaljmätningssupdrag som behandlades i kapitel 3.

Inmätning med totalstation avser polär mätning med ett instrument som – genom stationsetablering – har en känd position och en bestämd orientering, se avsnitt 2.1. Det ger data för beräkning av koordinater och höjder för de punkter som ska lägesbestämmas.

Traditionellt utförs stationsetableringen vid totalstationsmätning som ett separat, inledande moment. Därefter tar själva detaljmätningen vid, följd av beräkning och kontroll.

Men i och med ökade beräkningsmöjligheter i fält går det i dag att i större utsträckning genomföra alla mätningar i ett sammanhang - stationsetablering, detaljmätning och kontroll – för att sedan genomföra slutberäkningarna i efterhand. Det förutsätter dock att punkt-ID och punktkoder är korrekta samt att mätningarna har utförts strukturerat och i en ordning som går att följa och hantera i beräknings- och analyskedet.

Beroende på förutsättningar och behov kan ytterligare moment läggas till detta grundförfarande – t.ex. fria stationsetableringar samt olika typer av kontroller och analyser.

Oavsett om det gäller uppställning över känd punkt eller fri station så blir mätningförfarandet följande:

1. Utför stationsetablering genom mätning mot bakåtojekt.
2. Gör om möjligt en preliminärberäkning av stationsetableringen i fält, även om den definitiva beräkningen utförs i efterhand.
3. Mät in kontroll- och detaljpunkter polärt – med korrekt punkt-ID och kodning.
4. Gör en upprepad inriktning mot ett av bakåtojekten innan stationen rivs, som kontroll av att instrumentet inte har rört sig under mätningens gång.
5. Upprepa punkt 1-4 från en ny station. Övertäckning mellan intilliggande stationer möjliggör kontroll i efterhand.

De kontroller och analyser som kan tillämpas för kvalitetsbedömning vid totalstationsmätning är bl.a. (se exempel i Bilaga E):

- Stationsetableringen; *viktsenhetens standardosäkerhet*, data-snooping (punkter och mätningar) samt skalskillnader.
- Mätosäkerheten, t.ex. verifiering med hjälp av koordinat-transformation.
- Detaljmätningens genomsnittliga lägesosäkerhet inom mätområdet; *RMS* och avvikelser i enskilda kontrollpunkter.

Dessutom förordas visuell granskning av en grafisk bild över inmätta detaljer, se avsnitt 4.4.

Toleranser för numeriska *kvalitetskontroller* baseras på förväntad mätosäkerhet och specificerade krav. Riktlinjer för beställarkontroll av leveransen/produkten beskrivs i Bilaga C samt i HMK – Geodatakvalitet, senaste version.

Utöver dessa kontroller – och beroende på verksamhet – kan ytterligare kontrollmätningar tas upp i branschnormer, se avsnitt 7.1.

4.1 Handhavande och inställningar vid totalstationsmätning

Krav

- a) Innan mätning med totalstation påbörjas ska kontroll utföras av att instrumentinställningarna är korrekta.
- b) Dokumentationen vid totalstationsmätning ska inkludera information om använd utrustning och gjorda instrumentinställningar.

Instrument och tillbehör som används vid detaljmätningen förutsätts vara kontrollerade, justerade och underhållna enligt avsnitt 3.3.

Relevanta inställningar att utföra/kontrollera vid totalstationsmätning redovisas i strecklistan nedan. Görs inte inställningarna i instrumentet – eller om felaktiga inställningar har använts – finns normalt möjlighet att komplettera och korrigera inställningarna vid slutberäkningen.

- **Referenssystem:** Vid terrester mätning etableras stationen i det referenssystem – i plan även den kartprojektion – som utgångspunkterna är angivna i. För redovisning i annat referenssystem anges aktuella transformationsparametrar.
- **Skalskillnader mellan längdmätningar och utgångspunkter:** Dessa beror vanligen på kartprojektionens projektfel, som i sin tur beror på detaljmätningens område höjd och läge i förhållande till referenssystemets

medelmeridian, se Figur 3. Effekten – om den är av betydelse i sammanhanget – kan dock oftast hanteras med en gemensam skalfaktor.

- **Reflektortyp:** Prismatyp och prismakonstant anges. För objekt på vilka prismet inte kan placeras (t.ex. en husvägg) kan reflektorlös mätning mot en naturlig yta tillämpas. Då måste reflektortypen tillfälligt ändras, se avsnitt 4.3.4.
- **Inställningar för satsmätning:** För att minska inverkan av slumpmässiga avvikelser, upptäckta grova mätfel samt eliminera olika instrumentfel kan riktningsmätning utföras som satsmätning. Det innebär repetition av inriktningen mot varje objekt i båda cirkellägena, med efterföljande medeltalsbildning. Detta används främst vid stommätning – se HMK – Stommätning 2021, avsnitt 4.2.1 – men bör även tillämpas vid inmätning mot bakåtoobjekten vid stationsetablering och vid noggrann detaljmätning.
- **Instrument- och signalhöjd:** Vid uppställning över känd punkt mäts och dokumenteras instrumentets höjd över markeringen. Vid fri station behöver inte instrumenthöjden anges utan den beräknas från mätningar mot de utgångspunkter/bakåtoobjekt som har en känd höjd. Signalhöjd för prismet (lodstången) ska dock alltid anges.
- **Korrektioner för refraktion och jordkrökning:** Refraktionen varierar beroende på temperatur, lufttryck, sol- och vindförhållanden etc. samt siktlinjens höjd över markytan, se avsnitt 2.1.2. Effekterna av jordkrökning och refraktion är vanligen försumbara vid detaljmätning på avstånd < 200 meter, men extrema mätmiljöer kan ge besvärande refraktionseffekter som behöver hanteras även på kortare avstånd.
- **Atmosfärskorrektion:** Temperatur och lufttryck registreras så att dessa är representativa för hela mätområdet, och under hela mättiden. Exempelvis kan stora temperaturskillnader förekomma längs mätsträckan vid mätning över vattenområden. Förändrade förhållanden under mätningens gång påverkar korrektionerna, varför dessa bör kontrolleras fortlöpande och dokumenteras. Atmosfärskorrektion (se avsnitt 2.1.2) görs genom inställning i instrumentet eller i efterhand i beräkningsprogrammet.
- **Lutningskorrektion av mätta längder:** Vid detaljmätning ställs vanligen totalstationen in så att lutningskorrektion av mätta längder sker direkt med användning av den mätta vertikalkvinkeln.

4.2 Komplettering av utgångspunkter

Rekommendation

- a) Förstahandsvalet vid komplettering av utgångspunkter bör vara inmätning med fri-stationsteknik.

De behov av komplettering av utgångspunkter som har identifierats i avsnitt 3.2.1 realiseras i samband med detaljmätningens fältarbete.

Stomnätsförtätning utförs vanligen som ett separat uppdrag och behandlas i HMK – Stommätning 2021, avsnitt 3.2.5. Komplettering av utgångspunkter – som **inte** avser nyetablering av stompunkter – kan dock utföras inom ramen för detaljmätningen.

Kompletteringen kan göras som en särskild, inledande åtgärd – traditionellt genom *polygontåg* i plan och avvägning i höjd, eller mer "tidsenligt" med GNSS/RTK-teknik. För höjdbestämning kan även trigonometrisk höjdmätning vara ett alternativ. I samtliga fall krävs någon typ av kontroll, se Tabell 4. Okontrollerade pikéer och liknande bör inte användas!

Tabell 4. Exempel på olika metoder för komplettering av utgångspunkter för detaljmätning samt hur inmätningen av dessa kan kontrolleras.

Metod	Utförande och kontroll
Polygontåg	Kontroll av slutningsfel, se HMK – Stommätning 2021, avsnitt 4.4.2.
Avvägning	Inmätning med överbestämning, se avsnitt 5.2.
GNSS	T.ex. RTK med återbesök, se HMK – GNSS-baserad detaljmätning 2021, avsnitt 4.2.2.
Trigonometrisk höjdmätning	Korresponderande mätning eller dubbelmätning, se HMK – Stommätning 2021, avsnitt 4.2.3.

Förstahandsvalet vid komplettering av utgångspunkter bör dock i de flesta fall vara användning av fri station. Med olika varianter av den metoden är det möjligt att utföra kompletteringen integrerat med detaljmätningen, se Bilaga D.

Två exempel på hur kompletteringspunkter kan etableras på detta sätt:

- En fri station mäts in och markeras. För god kvalitet förutsätts då att instrumentuppställningen placeras centralt i förhållande till befintliga utgångspunkter.
- En markerad punkt mäts in polärt från flera olika fria uppställningar. Den nya punkten får sina koordinater från en *utjämnning* (medeltalsbildning) av samtliga uppställningars inmätningar.

De så bestämda punkterna kan sedan användas som bakåtojekt eller kontrollpunkter vid beräkning av detaljmätningen.

4.3 Fältarbete

Fältarbetet vid terrester detaljmätning inkluderar uppställning av instrumentet, inmätning av utgångspunkter, kontrollpunkter och detaljpunkter samt kontroll av dessa moment. Före fältarbetet vidtas även eventuella säkerhetsåtgärder avseende lasersäkerhet och fordonstrafik kring uppställningsplatserna.

4.3.1 Uppställning av instrumentet

Krav

- a) Vid uppställning över känd utgångspunkt ska instrumenthöjd mätas och dokumenteras.

Rekommendation

- b) Vid etablering av en fri station bör uppställningspunkten markeras tillfälligt.

Totalstationen ställs upp och horisonteras på valfri plats utifrån planeringen enligt avsnitt 3.2.2. Vid uppställning över känd punkt ska centering och instrumenthöjds-mätning utföras noggrant eftersom de vanligen är de största felkällorna.

Båda dessa effekter kan elimineras genom en fri stationsetablering, men även vid fri uppställning kan det vara lämpligt att markera stationspunkten, på enklaste sätt, före detaljmätningen. Detta för att snabbt kunna kontrollera i efterhand att instrumentet inte har rört sig under mätningens gång.

4.3.2 Stationsetablering

Krav

- a) Etablering av en totalstation ska vara överbestämd.
- b) Kontroll av stationsetableringens resultat ska göras i fält.

Rekommendation

Vid stationsetablering

- c) bör utgångspunkterna signaleras med signal/prisma på stativ eller fasta konsoler.
- d) bör riktningsmätning mot bakåtojekt utföras i båda cirkellägena om extra kontrollerbarhet behövs.

Stationsetablering innebär att totalstationens läge i ett referenssystem bestäms genom inmätning med kända utgångspunkter som bakåtojekt. Etablering utförs med överbestämning för att kvaliteten på utgångspunkterna – och mätningarna mot dessa – ska kunna kontrolleras.

Oavsett antal och vilken typ av utgångspunkter (plan/höjd) som används är configurationen av dessa en viktig faktor att ta hänsyn till, se avsnitt 3.2.3. En bra configuration av bakåtojekt reucerar dess påverkan på lägesosäkerheten i mätta detaljer.

Det gäller såväl inverkan från slumpmässiga avvikelser som grova fel, eftersom configurationen – och antalet utgångspunkter – påverkar *kontrollerbarheten*.

För att minimera centreringsfelen på utgångspunkterna bör fasta konsoler eller stativ med en centrerad trefot användas för prisma. Används lodstång bör den stabiliseras med stödben. Utgångspunkter i höjd kan även mätas in genom avläsning mot en avvägningsstång på en höjdfix med vertikalvinkeln i instrumentet låst på 100 gon.

Om det finns anledning att misstänka ojusterade instrumentfel bör riktningsmätningen mot bakåtojekt genomföras i båda cirkellägena som en extra egenkontroll.

Vissa instrument kräver att en preliminär stationsetablering beräknas i programvaran innan detaljmätningen kan påbörjas. Den kan baseras på en inmätning mot utgångspunkter i referenssystemet eller göras som en lokal etablering i instrumentets interna *koordinatsystem*.

Vid etablering mot utgångspunkter kontrolleras instrumentets kvalitetstal för den stationsetableringen direkt i fält, eftersom det kan ge en direkt indikation på om mätningarna och/eller utgångspunkterna innehåller grova fel.

Är totalstationen uppställd över en känd punkt innebär stationsetableringen helt enkelt att punktens koordinater anges. Dessutom bestäms orienteringen genom riktningsmätning mot minst **två** utgångspunkter/bakåttobjekt – för kontrollens skull.

Stationen kan dock även ges godtyckliga koordinater – t.ex. (1000,1000) – och orienteringen kan refereras till en godtycklig punkt. Alla mätningar mot utgångspunkter, detaljpunkter och kontrollpunkter lagras sedan i ett för uppställningen lokalt system och beräkningen utförs i efterhand. Detta förfarande ger dock ringa möjligheter till fältkontroll.

Vissa instrument kan kontinuerligt uppdatera stationsetableringen och tidigare gjorda detaljmätningar när nya bakåttobjekt läggs till. Det ger möjlighet att mäta olika typer av punkter mer blandat men ändå få en preliminär kontroll av stationsetableringen, utgångspunkterna och mätningarna redan i fält.

Oavsett vilka beräkningar och kontroller som görs i fält bör dock analys och slutgiltig beräkning utifrån rådata utföras i efterhand, se avsnitt 4.4.

4.3.3 Stationsetablering med GNSS-stöd

Krav

Vid stationsetablering genom kombinerad mätning med GNSS/RTK och totalstation

- a) ska korrekt höjdoffset anges mellan GNSS-antenn och prisma.
- b) ska stödben eller stativ användas för centrering av prisma och GNSS-mottagare på de RTK-mätta bakåttobjekten.
- c) ska god mätmiljö för GNSS beaktas vid placeringen av bakåttobjekten.

Rekommendation

- d) Stationsetableringen bör – om så är möjligt – uppdateras fortlöpande med fler bakåttobjekt.
- e) En fot bör användas på lodstången vid kombinerad mätning med GNSS/RTK och totalstation.
- f) Totalstationsmätningen bör göras i båda cirkellägena.

Stationsetablering av totalstation med stöd av GNSS/RTK (s.k. kombinerad mätning) förutsätter att instrumentets programvara kan hantera mätningar från både totalstation och GNSS-mottagare i realtid. Offset mellan prisma och GNSS-antennen ska vara inlagt för att de kombinerade mätningarna ska relateras till samma punkt i höjddled.

Det varierar mellan olika fabrikat om RTK-mätning kan ske före, efter eller samtidigt som den terrestra mätningen med totalstation. Fler bakåtojekt kan mätas in fortlöpande under detaljmätningen för att förbättra stationsetableringen, förutsatt att detaljmätningarna från stationen kan uppdateras i efterhand. Det går även att lägga in RTK-koordinaterna på bakåtojekten i efterhand om instrument inte klarar av detta i realtid. Då försvinner dock möjligheten att preliminärberäkna och kontrollera stationsetableringen i fält.

Vid denna typ av kombinerad mätning är stödben - eller stativ - en förutsättning för att prisma och GNSS-antenn ska kunna hållas centrerade tills både totalstations- och RTK-mätningen har utförts. Vid mätning på mjukt underlag kan dessutom en fot till lodstången användas för att undvika att stången sjunker ner i underlaget, särskilt om totalstationsmätning och GNSS/RTK-mätning sker i olika steg, se avsnitt 3.3.3.

Totalstationsmätningen mot de RTK-mätta bakåtojekten bör, liksom när markerade utgångspunkter används, utföras i båda cirkellägena för att eliminera vissa instrumentrelaterade felkällor, se avsnitt 3.3.1. Mätningarna med totalstation kan då - relativt sett - anses vara felfria i förhållande till RTK-mätningarna.

Det innebär att stationsetableringens lägesosäkerhet till största del beror på RTK-mätningarnas kvalitet. Denna typ av bakåtojekt har generellt sett högre *lokal lägesosäkerhet* än punkter i ett stornät. RTK-mätningarna ska därför utföras med omsorg och på platser med en bra mätmiljö - samt i övrigt i enlighet med riktlinjerna i HMK - GNSS-baserad detaljmätning, senaste version.

Här nedan beskrivs några olika metoder för att bestämma utgångspunkterna för stationsetablering med GNSS-stöd. Metoderna bygger antingen på längre mättid - och återbesök av ett fåtal utgångspunkter - eller på enklare inmätningar av ett större antal punkter. Tre etablerade metoder beskrivs närmare nedan - se även HMK - GNSS-baserad detaljmätning 2021, avsnitt 4.4.3.

RUFRIS

RUFRIS har i vissa sammanhang (felaktigt) kommit att användas som begrepp för alla typer av stationsetablering med RTK-mätta bakåtojekt i realtid. *RUFRIS* är dock en specifik metod för sådan etablering, som är utvecklad och beskriven av Trafikverket i samarbete med bl.a. KTH. För att göra en stationsetablering med *RUFRIS* ska Trafikverkets metodbeskrivning [9] följas vad gäller antal bakåtojekt, spridning av dessa m.m.

RUFRIS bygger bland annat på att *nätverks-RTK*- och totalstationsmätningar görs för ett stort antal bakåtojekt (>15), där det stora antalet

punkter innebär att enstaka dåliga mätningar kan identifieras och utslutas från stationsetableringen. Det stora antalet bakåtobjekt reducerar också effekten av den högre lokala lägesosäkerhet som finns i nätverks-RTK-mätningar jämfört med utjämnade punkter i stomnät.

180-sekundersmetoden

En annan metod för att bestämma utgångspunkter med nätverks-RTK-mätningar är *180-sekundersmetoden* [10]. Den är framtagen av KTH och Lidingö stad för kommunala tillämpningar.

Metoden bygger på att minst tre utgångspunkter bestäms genom 180 sekunders nätverks-RTK-mätning på stativ. Varje punkts mätningar medeltalsbildas, vilket reducerar påverkan från de kortvågiga variationerna i GNSS/RTK-mätningarna. Totalstationen etableras därefter med dessa utgångspunkter som bakåtobjekt.

Upprepad mätning med tidsseparation

En tredje metod att bestämma utgångspunkter med nätverks-RTK är via upprepad mätning med tidsseparation, se HMK-GNSS-baserad detaljmätning 2021, avsnitt 4.2.2. Minst ett återbesök görs och punktläget medeltalsbildas efter en toleranskontroll. Minst tre sådana utgångspunkter används som bakåtobjekt för stationsetableringen.

Metoden kan vara ett bra alternativ om programvaran kan hantera att detaljmättningsobjekt mäts in mellan de två besöken på bakåtobjekten. Det kräver dock att utgångspunkterna utgörs av väldefinierade objekt, att de kan markeras temporärt eller att ett stativ får stå kvar mellan mätningarna.

Metoden ger en reduktion av den långvågiga variationen vid GNSS-/RTK-mätning jämfört med endast en mätning per punkt. Den ger också möjlighet till kontroll av att grova fel, t.ex. felaktig *fixlösning*, inte förekommer.

4.3.4 Inmätning av detaljpunkter

Krav

Detaljpunkterna vid totalstationsmätning

- a) ska ges en unik identitet.
- b) ska kodas enligt en för uppdraget specificerad punktkodning.
- c) ska mätas in enligt för uppdraget specificerade objektgeometrier.

Rekommendation

- d) Vid behov av att minska centreringsosäkerheten vid detaljmätning med lodstång och prisma bör stödben användas.

Inmätningssmetodiken anpassas till uppdragskraven och relevanta branschnormer. För att underlätta efterbearbetning och tolkning av data ska detaljpunkterna kodas enligt specificerad punktkodning och mätas in på de punkter som representerar objektet enligt specificerade objektgeometrier, se avsnitt 3.1.

Mätningen utförs oftast som enkel polär inmätning i ett cirkelläge, med en lodstång placerad på den detalj som ska mätas in. Ur mätningarna beräknas sedan detaljens koordinater i plan och höjd utifrån stationskoordinaterna.

Om totalstationen inte är etablerad erhålls – tills vidare – ett relativt läge för detaljpunkten i förhållande till instrumentet.

Mätosäkerheten ökar om centreringen av lodstången utförs utan hjälp av stativ eller stödben. Standardosäkerheten för centreringen av en 2 m lodstång kan reduceras med två tredjedelar (från ca 15 mm till ca 5 mm) om stödben används [11]. Med stativ, trefot och optiskt lod kan standardosäkerheten reduceras till någon enstaka mm. Detta förutsatt att libell och optiskt lod är korrekt justerade, se avsnitt 3.3.3.

Alternativa inmätningmetoder

Om prismet inte kan placeras på detaljen, eller om fri sikt mellan totalstation och detaljpunkt saknas, finns det flera alternativa metoder för att mäta in en punkt:

- Höjden på lodstången kan ändras om det är ett mindre hinder med begränsad utsträckning i höjddled. Det är då viktigt att en tillfällig signalhöjd anges för sådana mätningar. Centreringsosäkerheten ökar med högre stånghöjd.
- Totalstationens funktion för mätning av "dold punkt" är ett annat alternativ. Genom bestämning av två eller flera temporära punkter, och längdmått från dessa till detaljpunkten, kan en inbindning utföras för att beräkna detaljens koordinater. (Se instrumentets manual för mer information om mätning av dold punkt.)
- Vid inmätning av vertikala ytor - t.ex. husväggar, där det är svårt att placera ett prisma - kan reflektorlös mätning tillämpas. Då riktas totalstationen in direkt mot detaljen och längdmätningen sker via reflektion av signalen från dess yta. Att reflektorlös mätning tillämpas behöver då särskilt anges så det inte sker någon korrigerings med prismakonstant.
- En annan möjlighet är att placera prismet på samma avstånd från instrumentet som den punkt som ska mätas in. Sedan mäts längden till prismet, men riktningen direkt mot detaljen, och utifrån detta beräknas detaljpunktens koordinater.

Vid kombinerad mätning kan detaljpunkter också mätas in med enbart RTK-teknik - om mätmiljön så tillåter och om standardosäkerheten för RTK-mätningen är förenlig med uppdragskraven, se HMK - GNSS-baserad detaljmätning, senaste version.

Redovisningen av en excentrisk mätning ska innehålla all information som krävs för en entydig bestämning av detaljpunkten. Ev. temporära punkter bör ha särskild beteckning.

4.3.5 Inmätning av kontrollpunkter

Rekommendation

- a) Upprepad inmätning av kontrollpunkter bör ske från olika stationer.

Kontroll av detaljmätningens lägesosäkerhet bör göras genom upprepade inmätningar av ett antal kontrollpunkter från en annan station. Kontrollpunkterna kan vara markerade eller utgöras av naturliga, väl-

definierade detaljer, se avsnitt 3.2.1. Den nya stationen kan vara en intilliggande detaljmätningstation eller en station som etablerats särskilt för kontrollmätning.

Den upprepade inmätningen av punkten – återbesöket – lagras separat så att differensen mellan olika mätningar mot samma punkt från olika stationer kan analyseras i efterhand. Analysresultatet kan sedan användas för att ta fram en oberoende skattning av detaljmätningens lägesosäkerhet, se avsnitt 4.4.3, och för att studera hur olika stationer stämmer överens inbördes.

4.3.6 Avslutande kontroller i fält

Krav

- a) Upprepad inriktning mot ett bakåtobjekt ska utföras innan totalstationen tas ner, samt vid indikation på fel eller större förändringar i mätförhållanden.
- b) Libell – och eventuell centrering över markerad punkt – ska kontrolleras kontinuerligt under mätningens gång och innan totalstationen tas ner.

Rekommendation

- c) Grafisk/visuell kontroll av inmätta detaljer bör göras i fältdatorn i samband med mätningen.

Markförhållanden på platsen för instrumentuppställningen, vibrationer från trafik m.m. – eller förändrade väderförhållanden under tiden mätningen pågår – kan påverka utrustningens egenskaper och skapa rörelser, sättningar eller förflyttningar av stativet. Som kontroll av att stativet står stabilt ska därför upprepade inriktningar mot ett bakåtobjekt utföras innan instrumentet tas ner – samt om det finns indikationer på fel eller kraftigt förändrade yttre förhållanden.

Även kontroll av libell och eventuell centrering ska göras kontinuerligt, eftersom det gör det möjligt att "rädda" mätningar utan att hela stationen behöver mätas om i de fall en instrumentrörelse upptäcks. Har instrumentet en elektronisk libell och kompensator kan den t.o.m. varna användaren vid förändringar av instrumentets horisontering.

Efter avslutad detaljmätning bör även en grafisk/visuell kontroll av inmätta geodata göras i instrumentets kartfunktion – för att hitta eventuella missade eller uppenbart felaktigt mätta punkter. Kompletterande mätning kan då göras direkt i fält, vilket sparar tid jämfört med om misstagen upptäcks vid bearbetningen i efterhand.

4.4 Slutgiltig beräkning och kontroll

Rekommendation

- a) Slutgiltig beräkning av stationsetableringen bör göras i efterhand – efter fältarbetet – och kombineras med kontroll av utgångspunkter och mätningar genom data-snooping.
- b) Detaljmätningens lägesosäkerhet bör skattas genom jämförelse av mätningar mot gemensamma kontrollpunkter från olika uppställningar.
- c) En visuell slutkontroll av detaljmätningen bör utföras som komplement till de numeriska kontrollerna.

Slutgiltig beräkning av stationsetableringen i efterhand ger en bättre överblick och större möjlighet att kontrollera resultatet än den preliminära beräkningen i fält. Detta gäller t.ex. skattning av uppnådd lägesosäkerhet och detektering av grova fel i mätningar eller utgångspunkter genom data-snooping.

För en effektiv analys krävs att fältarbetet har dokumenterats väl – med korrekta punkt-ID, koder och signalhöjder för inmätta punkter – även om felaktigheter ibland kan korrigeras i efterhand, i samband med beräkningarna.

Kontroll av stationsetablering och utgångspunkter kan ske integrerat i samma analys, se avsnitt 4.4.1-4.4.2. Utöver dessa numeriska kontroller förordas visuell granskning av en grafisk bild över *passfel* och andra punktavvikelser och/eller av en digital eller analog ”kartbild” med inmätta detaljer, se t.ex. kontrollen av fullständighet i Bilaga C.2 e).

4.4.1 Beräkning av stationsetableringen

Vid stationsetablering i plan ska tre obekanta parametrar bestämmas, koordinaterna *Northing* och *Easting* samt en orienterad riktning. För att kunna kontrollera stationsetablering och utgångspunkter krävs att etableringen har gjorts med överbestämningar – generellt sett genom inmätning mot minst tre utgångspunkter/bakåtoobjekt, se avsnitt 3.2.3.

En fri totalstations läge i plan och höjd kan då beräknas genom en minsta-kvadratutjämning baserad på samtliga mätta längder och riktningar mot bakåtoobjekten. Det utjämnar osäkerheten från enskilda mätningar och utgångspunkter och ger en säkrare stationsetablering än uppställning över en känd punkt, se Bilaga D.

Beträffande kontroll av minsta-kvadratutjämningar i leverantörernas beräkningsprogram hänvisas till programmanualerna och de *kvalitetsmått* och felsökningsmetoder som hör till dessa.

Extern kontroll genom två-dimensionell data-snooping – som bygger på koordinattransformation – ger utföraren möjlighet att själv styra beräkningsprocessen. T.ex. kan samtidig kontroll av både mätningarna (längd och riktning) och utgångspunkternas koordinater utföras, se exempel i Bilaga E.1.

En generell beskrivning av data-snooping och andra kontroller av transformationsberäkningar finns i [HMK-TR 2018:3](#), kapitel 6-7.

4.4.2 Kontroll av utgångspunkter

Kontroll av utgångspunkterna kan ske som ett separat moment före detaljmätningen. Det finns dock stora fördelar med att utföra den i samband med kontrollen av detaljmätningens stationsetablering genom data-snooping, se avsnitt 4.4.1.

4.4.3 Analys av kontrollpunkter

Vid bedömning av en kontrollmätningens avvikelse ska kontrollmätningens osäkerhet $u(\text{kontroll})$ beaktas vid beräkning av toleransen. Följande uttryck ger toleransen – på 95 %-nivån – för skillnaden mellan två inmätningar av en detaljpunkt, se Bilaga C.2 d.3).

$$\text{tolerans} = 2\sqrt{2} \cdot u(\text{kontroll}) \approx 2,8 \cdot u(\text{kontroll})$$

Vid jämförelse med felfri kontrollpunkt får vi i stället, se Bilaga C.2 d.2).

$$\text{tolerans} = 2 \cdot u(\text{kontroll})$$

Observera att $u(\text{kontroll})$ i Bilaga C representeras med σ , vilket inte följer strikt GUM-terminologi [1], men är en väl inarbetad terminologi i branschen och i andra HMK-dokument.

Dessa två typer av kontrollmätningar kan ge en mer realistisk skattning av lägesosäkerheten för inmätta detaljer än att bara använda kvalitetstal från stationsetableringen.

Vid uppställning av instrumentet utanför detaljmätningssområdet kan programvarornas skattning för stationsetableringen till och med vara högre än lägesosäkerheten i inmätta detaljer. Då kan nyss beskrivna sätt att verifiera lägesosäkerheten vara ett bättre alternativ, se Bilaga D.

Om fler än ett återbesök görs används max-avvikelsen mellan två punkter som kriterium i toleransberäkningen. *Täckningsfaktorerna* i Tabell 5 får då inte överskridas.

Tabell 5. Täckningsfaktorer till toleranser (95%) för max-differensen mellan extremvärdena vid återbesök. Tabellen anger exakta värden enligt normalfördelningen för 2–10 besök av samma punkt i 1D, 2D och 3D. Den tolerans som anges i texten, dvs. $2\sqrt{2} \cdot u(\text{kontroll}) \approx 2,8 \cdot u(\text{kontroll})$, är en sedvanlig GUM-approximation av den första raden i tabellen [1].

Antal besök	1D	2D	3D
2	2,77 (= $1,96\sqrt{2}$)	2,45 (= $1,73\sqrt{2}$)	2,28 (= $1,61\sqrt{2}$)
3	3,31	2,82	2,58
4	3,64	3,04	2,76
5	3,86	3,19	2,88
7	4,17	3,40	3,05
10	4,47	3,61	3,22

Ett exempel på tabellens användning vid höjdmätning finns i avsnitt 5.4.3.

5 Avvägning

Avvägning är ett alternativ eller komplement till totalstationsmätning, som inte används så ofta vid "normal" detaljmätning utan främst i situationer där noggrann höjdmätning krävs, t.ex.

- vid stommätning, se HMK – Stommätning, senaste version
- vid komplettering av utgångspunkter, se avsnitt 5.2
- vid noggrann inmätning, se avsnitt 5.3
- vid noggrann utsättning, se kapitel 6
- vid kontroll av höjdsatta objekt, t.ex. deformations- och sättningsmätning (tas inte upp specifikt inom HMK).

Avvägning kräver två personer för ett rationellt utförande vid detaljmätning – en person vid instrumentet och en som hanterar avvägningsstången.

Den generella mätprocessen vid detaljmätning i höjd genom avvägning är följande:

1. Utför stationsetablering genom mätning mot bakåtobjekt.
2. Gör, om möjligt, en preliminärberäkning av stationsetableringen i fält, även om den definitiva beräkningen utförs i efterhand.
3. Mät in kontroll-, detalj- och ev. försäkringspunkter – med korrekt punkt-ID och kodning.
4. Gör en upprepad inriktning mot ett av bakåtobjekten innan stationen rivs, som kontroll av att instrumentet inte har rört sig under mätningens gång.
5. Upprepa punkt 1-4 från en ny station. Övertäckning mellan intilliggande stationer möjliggör kontroll i efterhand.

Exempel på empiriska kontroller och analyser som kan användas för kvalitetsbedömning vid avvägning är (se Bilaga E.2):

- Stationsetableringen; standardosäkerheten i bestämningen av instrumentets höjd i referenssystemet samt analys av residualerna från denna beräkning med hjälp av data-snooping.

Detaljmätningens genomsnittliga lägesosäkerhet inom mätområdet; RMS och enskilda avvikelser i kontrollpunkter.

Även verifiering av mätosäkerheten är möjlig. Toleranser för numeriska kvalitetskontroller baseras på förväntad mätosäkerhet och specificerade krav. Riktlinjer för beställarkontroll av leveransen/produkten beskrivs mer utförligt i Bilaga C samt i [HMK – Geodatakvalitet](#), senaste version.

Utöver dessa kontroller – och beroende på verksamhet – kan ytterligare kontrollmätningar tas upp i branschnormer, se avsnitt 7.1.

5.1 Handhavande och inställningar vid avvägning

Krav

- a) Innan mätning med avvägningsinstrument påbörjas ska kontroll utföras av att rätt inställningar och justeringar är gjorda.
- b) Dokumentation av detaljmätning i höjd ska inkludera information om använd utrustning och gjorda instrumentinställningar.

Instrument och tillbehör som används vid avvägning förutsätts vara justerade och underhållna enligt avsnitt 3.3.

Relevanta inställningar att utföra/kontrollera vid avvägning med ett digitalt instrument redovisas i punktlistan nedan. Görs inte inställningarna i instrumentet – eller om felaktiga inställningar har använts – finns normalt möjlighet att komplettera och korrigera inställningarna vid slutberäkningen.

- **Referenssystem:** Vid avvägning redovisar instrumentet höjder i det höjdsystem som utgångspunkterna är angivna i. För redovisning av detaljpunkter i något annat höjdsystem anges aktuella transformationsparametrar.
- **Inställning av maximalt tillåten avståndsskillnad mellan avläsningar:** Lika långa siktlängder mot utgångspunkter och detaljpunkter eliminerar kollimationsfel och jordkrökningens inverkan samt reducerar inverkan av refraktion. Alltför stor skillnad bör därför undvikas. Det är även möjligt att mäta upp kollimationsfelet och lägga in det som korrektion till mätningarna i vissa instrument.
- **Inställning av maximalt tillåten siktlängd:** Långa avstånd bör undvikas eftersom att osäkerheten i avläsningen på avvägningsstången ökar med siktlängden.
- **Inställning av lägsta tillåtna höjdvälsläsning:** Avläsning på stången för nära marken bör undvikas p.g.a. stor refraktion.

5.2 Komplettering av utgångspunkter

Rekommendation

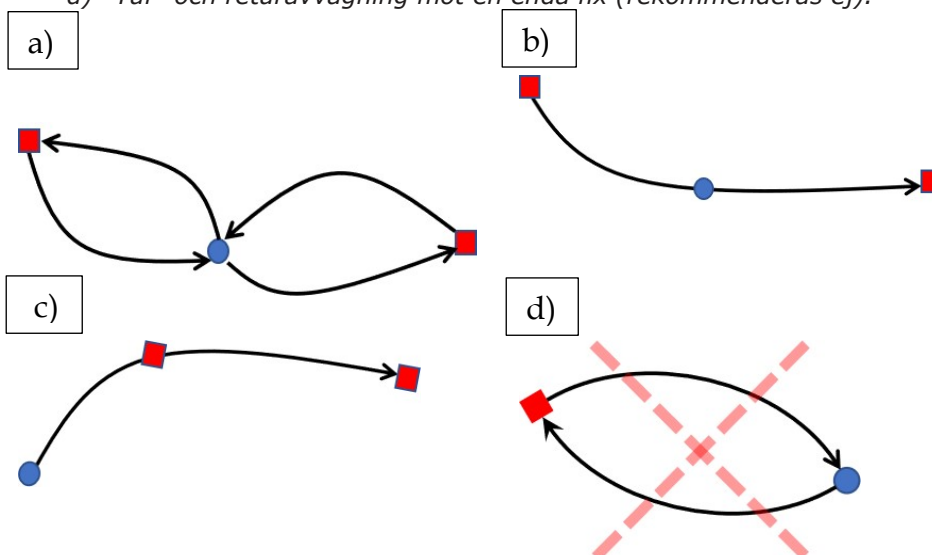
- a) Förstahandsvalet vid komplettering av utgångspunkter i höjd bör vara linjeavvägning mellan två befintliga höjdfixar.

De behov av komplettering av utgångspunkter i höjd som har identifierats i avsnitt 3.2.1 realiseras i samband med detaljmätningens fältarbete. Stomnätsförtätning utförs vanligen som ett separat uppdrag, se HMK – Stommätning 2021, avsnitt 3.2.5. Komplettering av utgångspunkter, som inte avser nyetablering av stompunkter, kan dock utföras inom ramen för detaljmätningssuppdraget – men som en separat, inledande åtgärd.

Precis som vid stommätning bör förstahandsvalet vid komplettering av utgångspunkter i höjd vara linjeavvägning – tur och retur och med anslutning mot två olika höjdfixar. Beroende på de krav som ställs i det aktuella detaljmätningssuppdraget finns det dock alternativa tillvägagångssätt och flera möjligheter till förenklingar. Enkelavvägning i stället för tur- och retur-mätning är en sådan, se vidare Figur 12.

Figur 12. Olika metoder för komplettering av utgångspunkter i höjd. Röda kvadrater = utgångspunkter, blå ring = kompletteringspunkten.

- a) Stommätningssmetodik; tur och retur mot två olika höjdfixar.
- b) Enkelavvägning mellan två fixar.
- c) Enkelavvägning till en fix, som kontrolleras genom fortsatt mätning mot en annan fix i samma nät.
- d) Tur- och returavvägning mot en enda fix (rekommenderas ej).



Genom att två **olika** anslutningspunkter ingår i kompletteringsmätningen kontrolleras automatiskt det inbördes förhållandet mellan dessa. Det möjliggör detektering av grova fel – i punkterna eller i mät-

ningarna – och ger också en uppfattning om den lägesosäkerhet som kan förväntas i projektet. Metod b) och c) kan betraktas som likvärdiga. Det finns dock även andra tänkbara förenklingar av kompletteringsmätningen, se Tabell 6.

Tabell 6. Jämförelse mellan stommätning och komplettering av utgångspunkter för detaljmätning i höjd.

Tillämpning	Stommätning	Detaljmätning
Punkttyp	Stompunkt	Kompletterande utgångspunkt
Markeringskvalitet	Stabil och varaktig	Stabil, med varaktighet enligt behoven i det aktuella projektet
Antal nymarkeringar mellan utgångspunkterna	1	Minst 2
Mätosäkerhet (standardosäkerhet)	1–2 mm/ $\sqrt{\text{km}}$ (t.o.r.)	≤ 3 mm/ $\sqrt{\text{km}}$ (t.o.r.) ≤ 4 mm/ $\sqrt{\text{km}}$ (enkelavvägning)
Antal mätningar	Dubbelavvägning mellan två fixar av högre ordning	Enkelavvägning enligt Figur 12.
Mätmetod/mätteknik	Finavvägning	Standardavvägning eller alternativ teknik, t.ex. - statisk GNSS - RTK - kombinerad teknik - trigonometrisk höjdmätning

Några tilläggscommentarer till tabellen:

- Avvägningsstängerna ska alltid vara kontrollerade, se avsnitt 3.3.2.
- Att två värden anges för mätosäkerheten vid kompletteringsmätning beror på att den uppgift som normalt specificeras avser tur-och-retur-mätning.
- Genom att markera (minst) två kompletteringspunkter inom detaljmätningens område ökar redundansen genom att de fungerar som inbördes försäkringsmarkeringar.

Beträffande de alternativa mätmetoderna hänvisas till:

- *Statisk GNSS*, se HMK – Stommätning 2021, avsnitt 5.1.
- RTK med återbesök, se HMK – GNSS-baserad detaljmätning 2021, avsnitt 4.2.2.
- Kombinerad mätning med GNSS/RTK och totalstation, se avsnitt 4.3.3 i detta dokument.
- Trigonometrisk höjdmätning (korresponderande mätning eller dubbelmätning), se HMK – Stommätning 2021, avsnitt 4.2.3.

5.3 Fältarbete

Krav

- a) Avvägning ska inte utföras vid kraftig vind, i starkt solljus eller liknande ogynnsamma väderförhållanden.

Fältarbetet vid detaljmätning i höjd genom avvägning inkluderar uppställning av instrumentet, inmätning av utgångsunkter, kontrollpunkter och detaljpunkter samt kontroll av dessa moment. Före fältarbetet vidtas även eventuella säkerhetsåtgärder, t.ex. vad gäller fordonstrafik kring uppställningsplatserna.

Avvägningsinstrument är känsliga för kraftig vind, och starkt solljus kan försvåra avläsningen av stängen. Den del av stängen som avläses måste i och för sig vara väl belyst, men inslag av skuggor kan försvåra streckkodsläsningen och i värsta fall ge upphov till felaktiga mätvärden. Mättillfället måste därför väljas med hänsyn tagen till rådande väderförhållanden.

5.3.1 Uppställning av instrumentet

Avvägningsinstrumentet ställs upp och horisonteras på valfri plats enligt planeringen i avsnitt 3.2.2. För att minimera effekter såsom jordkrökning, refraktion och eventuella kollimationsfel bör bakåtobjekten vara belägna på ungefär samma avstånd från instrumentet som detaljpunkterna.

5.3.2 Stationsetablering

Rekommendation

- a) Bestämning av avvägningsinstrumentets höjd i höjdsystemet bör om möjligt göras med överbestämning.
- b) En preliminär beräkning av instrumentets höjd bör utföras i fält.

Stationsetablering innebär att avvägningssinstrumentets höjd i höjdsystemet bestäms genom inmätning mot en eller flera utgångspunkter som bakåtojekt. Mätmetodiken anpassas till tillämpningens krav och rådande mätningstekniska förutsättningar för projektet.

Etableringen bör utföras med överbestämning för att kvaliteten på utgångspunkterna – och mätningarna mot dessa – ska kunna kontrolleras, och bestämningen förbättras genom mätning mot så många utgångspunkter som möjligt.

Det är dock även möjligt att mäta relativa höjdskillnader genom att använda en väldefinierad punkt, med godtyckligt satt höjd, som referenspunkt för mätningarna. Höjden i höjdsystemet kan då vid behov beräknas i efterhand – ev. utifrån en kompletteringsmätning av höjden för den väldefinierade punkten, se avsnitt 5.2.

Stationsetableringen bör – om den är överbestämd – kontrolleras direkt i fält, som en tidig försäkran mot att inte mätningarna och/eller utgångspunkterna innehåller grova fel.

Oavsett vilka beräkningar och kontroller som görs i fält bör en slutgiltig analys och beräkning – utifrån rådata, dvs. avlästa höjder på stängen – utföras i efterhand, se avsnitt 5.4.

5.3.3 Inmätning av detaljpunkter

Krav

Detaljpunkterna vid avvägning

- a) ska ges en unik identitet.
- b) ska kodas enligt en för uppdraget specificerad punktkodning.
- c) ska mätas in enligt för uppdraget specificerade objektgeometrier.

Inmätningssmetodiken anpassas till uppdragskraven och relevanta branschnormer. För att underlätta efterbearbetning och tolkning av data ska detaljpunkterna kodas enligt beslutad punktkodning och mätas in på de punkter som representerar objektets höjd enligt specificerade objektgeometrier, se avsnitt 3.1. Oklara definitioner av var på objektet höjdmätningen ska utföras kan annars vara en begränsande faktor och medföra otydlighet vid framtida användning.

Eftersom någon position inte mäts vid avvägning måste identitetsbeteckningen på varje punkt kontrolleras noggrant så att avvägd höjd kan kopplas till rätt punkt eller objekt.

Höjdmätning av detaljer sker oftast genom enkelavläsning av en avvägningstång, placerad på den punkt som ska mätas in. Från denna avläsning kan sedan detaljens höjd beräknas utifrån instrumentets höjd

relativt utgångspunkten – antingen direkt i fält eller i efterhand, se avsnitt 5.4.1.

Mätosäkerheten ökar när lodningen av avvägningstången utförs utan hjälp av stödben. Påverkan i höjd är dock inte lika stor som påverkan i plan, men stången ska åtminstone lodas med en justerad libell.

5.3.4 Inmätning av kontrollpunkter

Rekommendation

- a) Upprepad avvägning av kontrollpunkter bör ske från olika instrumentuppställningar.

Kontroll av detaljmätningens lägesosäkerhet bör utföras genom upprepade avvägning av ett antal kontrollpunkter från en annan instrumentuppställning. Kontrollpunkterna kan vara markerade eller utgöras av naturliga, väldefinierade detaljer, se avsnitt 3.2.1. Den nya uppställningen kan vara en intilliggande instrumentuppställning för detaljmätning eller en uppställning som etablerats särskilt för kontrollmätning.

Den upprepade inmätningen av punkten – återbesöket – lagras separat så att differensen mellan olika mätningar mot samma punkt från olika uppställningar kan analyseras i efterhand. Analysresultatet kan sedan användas för att ta fram en oberoende skattning av detaljmätningens lägesosäkerhet, se avsnitt 5.4.3, och för att studera hur olika stationer stämmer överens inbördes.

5.3.5 Avslutande kontroller i fält

Krav

- a) Kontrollmätning mot bakåtojekt ska utföras vid indikation på fel under detaljmätningen, samt innan avvägningssinstrumentet tas ner.
- b) Kontroll av libell ska utföras under detaljmätningen, samt innan avvägningssinstrumentet tas ner.

Markförhållanden på platsen för instrumentuppställningen, vibrationer från trafik m.m. – eller förändrade väderförhållanden under tiden mätningen pågår – kan påverka utrustningens egenskaper och skapa rörelser, sättningar eller förflyttningar av stativet.

Som kontroll av att stativet står stabilt bör därför upprepade inriktning mot ett bakåtojekt utföras – om det finns indikationer på kraftigt förändrade yttre förhållanden och innan instrumentet tas ner. Har instrumentet en elektronisk libell och kompensator kan den varna användaren vid förändringar av instrumentets horisontering.

Även kontroll av libell ska göras kontinuerligt, eftersom det gör det möjligt att "rädda" mätningar utan att hela stationen behöver mätas om i de fall en instrumentrörelse upptäcks.

5.4 Slutgiltig beräkning och kontroll

Rekommendation

- a) Slutgiltig beräkning av avvägningssinstrumentets höjd i höjdsystemet bör göras i efterhand – efter fältarbetet – och kombineras med kontroll av utgångspunkter och mätningar genom data-snooping.
- b) Detaljmätningens lägesosäkerhet i höjd bör skattas genom jämförelse av mätningar mot gemensamma kontrollpunkter från olika uppställningar.

Slutgiltig beräkning av stationsetableringen i efterhand ger en bättre överblick och större möjlighet att kontrollera resultatet än den preliminära beräkningen i fält. Detta gäller t.ex. kontroll av uppnådd lägesosäkerhet och detektering av grova fel i mätningar eller utgångspunkter genom data-snooping.

För en effektiv analys krävs att fältarbetet har dokumenterats väl – med korrekta punkt-ID och koder för inmätta punkter – även om felaktigheter ibland kan korrigeras i efterhand, i samband med beräkningarna. Kontroll av stationsetablering och utgångspunkter kan ske integrerat i samma analys, se avsnitt 5.4.1 och avsnitt 5.4.2.

5.4.1 Beräkning av stationsetableringen

Instrumentets höjd i höjdsystemet bestäms genom beräkning av medelvärdet av samtliga avläsningar mot utgångspunkterna. Därigenom utjämnas osäkerheten i de enskilda mätningarna och bakåtobjekten, vilket ger en säkrare bestämning än avläsning mot en enstaka punkt.

Beträffande instrumentspecifika beräkningsprogram, felsökningsmetoder och kvalitetsmått hänvisas till leverantörens dokumentation. I tillägg rekommenderas extern kontroll av beräkningen. Det möjliggör samtidig kontroll av både mätningarna och utgångspunkternas höjder, se exempel i Bilaga E.2.

5.4.2 Kontroll av utgångspunkter

Kontroll av utgångspunkterna kan ske som ett separat moment genom linjeavvägning mellan dessa punkter – på liknande sätt som vid komplettering av utgångspunkter, se avsnitt 5.2 Sådana kontroller är särskilt viktiga om endast en utgångspunkt används vid själva detaljmätningen. Används flera utgångspunkter vid anslutningen mot höjd-

systemet finns dock stora fördelar med att kontrollera dessa i samband med stationsetableringen, se avsnitt 5.4.1.

5.4.3 Analys av kontrollpunkter

Vid bedömning av en kontrollmätningens avvikelse ska kontrollmätningens osäkerhet $u(\text{kontroll})$ beaktas vid beräkning av toleransen. På 95 %-nivån blir toleransen för skillnaderna mellan de två inmätningarna av en detaljpunkt, se Bilaga C.2 d.3)

$$\text{tolerans} = 2\sqrt{2} \cdot u(\text{kontroll})$$

Vid jämförelse med felfri kontrollpunkt får vi i stället, se Bilaga C.2 d.2)

$$\text{tolerans} = 2 \cdot u(\text{kontroll})$$

Observera att $u(\text{kontroll})$ i Bilaga C representeras med σ , vilket inte följer strikt GUM-terminologi [1], men är en väl inarbetad terminologi i branschen och i andra HMK-dokument. Dessa två typer av kontrollmätningar kan då ge en mer realistisk skattning av lägesosäkerheten för inmätta detaljer än att bara använda instrumentets presenterade mätosäkerhet för avlästa höjder.

Om fler än ett återbesök görs så används max-avvikelsen mellan två punkter som kriterium i toleransberäkningen. Täckningsfaktorerna i Tabell 7 får inte överskridas.

Tabell 7. Täckningsfaktorer till toleranser (95%) för max-differensen mellan extremvärdena vid höjdmätning med återbesök. Tabellen anger exakta värden enligt normalfördelningen (jfr. Tabell 5).

Antal besök	Täckningsfaktor
2	2,77
3	3,31
4	3,64
5	3,86
7	4,17
10	4,47

Exempel: En kontrollpunkt i höjd avvägdes 4 gånger från lika många stationer. Det gav följande mätserie: 23,358; 23,348; 23,355; 23,369. Största avvikelsen är alltså $23,348 - 23,369 = 21$ mm, och kraven på höjdmätningen var en standardosäkerhet på max 10 mm.

1D-kolumnen (för höjdmätning) i Tabell 5 - dvs. Tabell 7 - anger täckningsfaktorn 3,64 för 4 mätningar/besök. Toleransen blir alltså $3,64 \cdot 10 = 36,4$ mm, vilket mätningarna klarar med glans eftersom $21 < 36,4$. Ur de fyra mätningarna kan följande storheter beräknas:

- standardosäkerheten, som mått på mätosäkerheten

$$u(\text{mät}) = 8,7 \text{ mm}$$

- medeltalet av de fyra bestämningarna, som höjdvärde på kontrollpunkten i vidare användning

$$\text{medeltal}(\text{kontrollpunkt}) = 23,3575 \text{ m}$$

- medeltalets standardosäkerhet, som mått på kontrollpunktens lägesosäkerhet i höjd

$$u(\text{kontrollpunkt}) = u(\text{mät})/\sqrt{4} = 4,4 \text{ mm}$$

Vi kan alltså skatta avvägningens standardosäkerheten till 8,7 mm (väl under stipulerade 10 mm) och den nybestämda kontrollpunktens standardosäkerhet till 4,4 mm.

6 Utsättning

Metodikern kring utsättning är oftast specifik utifrån tillämpningen och tas upp i branschnormer. De ger råd och anvisningar beträffande tillvägagångssätt och tillåtna toleranser för specifika tillämpningar, se ett urval i avsnitt 7.1.

6.1 Förberedelser

Krav

- a) Vid planering av utsättning ska kontrollinsatsen ställas i relation till de konsekvenser en felutsättning kan få.
- b) Mätinstrument som används vid utsättning ska vara kontrollerade och justerade.

Rekommendation

- c) Stomnätets/primärnätets kvalitet bör utvärderas före utsättning.
- d) Vid behov av väl bestämda inbördes lägen bör utsättningen planeras så att den sker från samma instrumentuppställning.

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

I förberedelserna vid utsättning (av t.ex. en husgrund eller fastighetsgränser) ingår bl.a. att:

- Ta reda på vilka ritningar och övriga handlingar som är gällande.
- Kontrollera hur mått har angetts.
- Undersöka vad byggnadsbeskrivningen anger beträffande utsättning, t.ex. toleranser.
- Utvärdera stomnätets/primärnätets kvalitet och skick.
- Klargöra kraven på dokumentation och befästning/markering.

För själva utsättningsmomentet gäller:

- Sätt ut detaljer med höga krav på inbördes läge från samma station.
- Välj en mätmetod som gör att *produkttoleransen* för utsättningen kan uppfyllas med god marginal, eftersom *mättoleransen* bara är en del av den totala produkttoleransen, se [HMK – Geodatakvalitet 2017](#), avsnitt 3.3.

Beträffande befästning/ markering ingår:

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

Mätinstrument som används vid utsättning ska vara kontrollerade och justerade enligt avsnitt 3.3.

6.2 Tillämpad utsättning

Krav

- a) Markeringen vid utsättning ska vara väldefinierad.
- b) Markeringssättet ska uppfylla projektets kvalitetskrav.
- c) Markeringens varaktighet ska vara anpassad till projekttiden.
- d) Markeringstypen ska väljas så att risken för att markeringarna rubbas eller skadas minimeras.

Rekommendation

- e) Utsatta detaljpunkter bör kontrolleras genom inmätning från en ny stationsetablering.

Utsättning i plan och utsättning i höjd kan utföras var för sig eller i ett sammanhang. Instrument- och programvaruutvecklingen har möjliggjort kombinerad utsättning, dvs. samtidig utsättning i plan och höjd. Valet av metodik avgörs av de toleranskrav som gäller samt övriga förutsättningar för mätningen. Vid utsättning bör, i om möjligt ännu högre grad än vid inmätning, kontrollmätningar utföras och dokumenteras noga.

Nedan beskrivs terrester utsättning i plan och höjd, som skilda metoder samt i kombination. Beträffande utsättning med GNSS/RTK-teknik, se HMK – GNSS-baserad detaljmätning, senaste version.

Utsättning i plan

För utsättning med totalstation i plan används vanligen instrumentets *trackingfunktion* efter att totalstationens koordinater och den orienterade riktningen har bestämts via stationsetableringen. Totalstationen mäter då kontinuerligt riktning och avstånd mot prismet och jämför mätta koordinater med de teoretiska koordinater som ska sättas ut. I displayen visas koordinatskillnaderna – eller det avstånd och den riktning som lodstången måste flyttas för att komma till den position som ska sättas ut.

Rent tekniskt utförs utsättningen normalt i två steg: grovutsättning följd av finutsättning.

Efter finutsättningen kan markering ske. Ett bra arbetssätt är att utnyttja inmätning i finutsättningskedet: inmätning, justering, ny inmätning, ny justering osv. tills inmätta data överensstämmer med utsättningsdata. Metoden bygger på att inmätning definitionsmässigt är mindre osäker än utsättning.

Höjdutsättning

Eftersom höjdutsättning – genom avvägning eller trigonometrisk höjdmätning – ofta sker med varierande siktlängder är det särskilt viktigt att mätinstrumentet är kontrollerat och justerat för eventuellt kollimationsfel.

Inom bygg- och anläggningssektorn används även plangivare, t.ex. en *byggglaser*. Instrumentet genererar primärt ett horisontellt plan, men vissa modeller medger även inställning av lutande plan. Avläsning kan göras direkt på avvägningstången, men som regel används en detektor som känner av laserstrålen.

Efter avslutad höjdutsättning bör en kontrollavläsning utföras mot utgångsfixen eller annan lämplig höjdfix.

Kombinerad utsättning i plan och höjd

Vid kombinerad utsättning sätts alltså höjdläget ut samtidigt som planläget. Metoden utnyttjas framför allt vid anläggningsprojekt såsom vägar, ledningar etc. Sedan planläget märkts ut utförs höjdmätningen, vilket kan ske på olika sätt, t.ex.:

- Instrumentkikaren ställs i horisontellt läge och höjden avläses på en stång.
- Längdmätning och vertikalvinkelmätning utförs mot ett referensläge på den markerade planpunkten, varpå höjdskillnad och/eller absoluthöjd erhålls. Kikartuben förs sedan, uppåt eller nedåt, till rätt höjd eller höjdskillnad.

Denna funktion i instrumentet benämns ofta "rullande höjd". Noggrannhetsmässigt kan den jämföras med standardavvägning.

6.3 Kontroll

Krav

- a) Dokumentation vid kontrollmätning ska innehålla en bedömning av om utsättningen uppfyller angivna krav.

Rekommendation

- b) I första hand bör förebyggande kontroll tillämpas.
- c) Kontrollmätning bör utföras med en metod som har lägre mätosäkerhet än det som kontrolleras.
- d) Kontroller bör utföras där mätfel kan vålla störst ekonomisk eller kvalitetsmässig skada.
- e) I större projekt bör ett särskilt måttkontrollprogram utformas.

Att kontrollera instrument, mätningar och resultat ingår som en självklar del i mätningsarbetet. Vid utsättning bör en oberoende kontrollinmätning genomföras. Det är inte en del av utsättningen utan ska utföras som separat åtgärd från en ny uppställning.

- Kontroll i samband med byggande bör i första hand inriktas mot mätningar under arbetets utförande, dvs. förebyggande kontroll, som ger möjlighet till synpunkter på och korrigeringsåtgärder av utförarens arbetssätt.
- Kontrollinsatser som utförs efter ett uppdrags färdigställande - konstaterande kontroll - kan medföra allvarliga konsekvenser, om visst arbete måste kompletteras eller göras om, i de fall uppdraget ingår som en del i ett tidsplanerat förlopp.

Egenkontroll avser den kontroll som utföraren av arbetet gör. Om resultatet ska redovisas till beställaren är en kontraktsfråga. Den senare kan även göra egna kontroller, beställarens kontroll.

Kontrollmätning bör om möjligt utföras med en metod som har en lägre mätosäkerhet än de mätningar som ska kontrolleras. Med avseende på omfattningen skiljs på delkontroll och allkontroll. Delkontrollen utförs efter i första hand tre principer: stickprovskontroll, procentuell kontroll och statistisk kontroll. Se [HMK - Geodatakvalitet 2017](#), avsnitt 3.1.

All kontroll bygger på överbestämningar, t.ex. dubbelmätning av längder, återbesök på samma detaljpunkt, inmätning från två höjdfixar, inmätning av redan kända punkter etc. Andra kontroller är avstånd

mellan byggelement, fasadmått samt jämförelse mellan de båda diagonalerna i en utsatt byggnad.

Måttkontrollprogram

Kontrollen – ofta benämnd måttkontroll – kan t.ex. utföras enligt upp-
rättade måttkontrollprogram i bygghandlingarna. Handlingarna kan
även vara utformade på ett sådant sätt att kontrollerna finns beskrivna
under respektive rubrik för utförandet av olika detaljer eller skeden.
Utförarens egna kontroller vid utsättning och dess omfattning är
vanligtvis inte beskriven, utan dess omfattning måste bedömas vid ut-
förandet.

Ett måttkontrollprogram innehåller följande delar:

- Objekt och produkter som ska kontrollmätas.
- Handlingar som underlag för inmätning, samt utgångslinjer och punkter till grund för lägesbestämning.
- Tidpunkt när kontrollen ska ske och om den ska utföras i olika etapper.
- Ansvarig för utförandet.
- Omfattning av kontrollen: all- eller delkontroll; typ av delkontroll.
- Var på objekten mätning ska utföras.
- Till vilka kontrolluppgifterna ska delges.
- Krav på dokumentation.

Kontroll och ekonomi

Omfattningen av kontrollen på utsättningen bör ställas i relation till:

- Projektets kostnad.
- Ställda kvalitetskrav.
- Risker för och konsekvenser vid fel i utfört arbete.

Kontrollerna bör utföras där mätfel kan antas vålla stora ekonomiska förluster. Det är särskilt viktigt att testa befintliga utgångspunkters kvalitet.

Nedan anges några andra *kontrollobjekt* vid hus- och anläggningsprojekt:

- Utgångslinjer och punkter för utsättning.
- Lägen och dimensioner för byggnader.
- Bärande väggkonstruktioner, platsgjutna eller prefabricerade.
- Nivåkontroll av schaktbotten, plattor, vägöverbyggnader, ledningslägen m.m.

Dokumentation vid kontroll

Före en utsättning beräknas utsättningsdata. Vid efterföljande kontrollmätning produceras mätdata. Ur dessa kan sedan kontrolldata beräknas och dokumenteras.

Vid kontrollmätning som innehåller krav på dokumentation bör följande uppgifter framgå:

- Beskrivning av objekten.
- Gällande krav för objekten.
- Mätresultat.
- Datum, klockslag, temperatur.
- Plats, observatör, mätutrustning, genomförd instrumentkontroll.
- Referenspunkter som använts.
- Beskrivning av kontrollmätmetoden, inkl. uppskattad mätosäkerhet samt kontrollresultatet relaterat till angivna krav.
- Underskrift av ansvarig för kontrollmätningen.

Om angivna krav överskrids vid kontrollmätning bör detta omedelbart rapporteras till berörda parter för åtgärd.

Egenkontroll som utförs i samband med utsättning dokumenteras i form av mätprotokoll eller beräkningshandling och kan därigenom finnas tillgänglig för åberopande vid behov.

7 Referenser/Läs mer

Följande referenser till dokument/sidor utanför HMK-serien återfinns i löptext, figurer m.m.:

- [1] JCGM (2008): *Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement*, [JCGM 100:2008](#), Working Group 1 of the Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM/WG 1).
- [2] SIS (2016): *Byggmätning – Geodetisk mätning, beräkning och redovisning av byggnadsverk och infrastruktur*, [Teknisk specifikation SIS-TS 21143:2016](#), Swedish Standards Institute/TK 178.
- [3] Lantmäteriet & Sveriges Kommuner och Landsting (2018): *Mättningsanvisningar - Geometrisk representation vid utbyte, Version 3.2*, [Specifikationer och mättningsanvisningar](#), Lantmäteriet.
- [4] Horemuz M & Jansson P (2016): *Optimum Establishment of Total Station*, [Journal of Surveying Engineering](#), vol. 143, No. 2, 2016, Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm.
- [5] Horemuz M & Jansson P (2016): *Optimal placering av en total-station*, SKMF:s tidskrift SINUS, 2016:3.
- [6] ISO (2018): *Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 5: Total stations*, [ISO 17123-5:2018](#), International Organization for Standardization /TC 172, SC 6.
- [7] Arbetsmiljöverket (2009): *Artificiell optisk strålning*, [Föreskrift AFS 2009:7](#), Arbetsmiljöverket.
- [8] IEC (2021): *Safety of laser products*, [IEC 60825:2021](#), International Electrotechnical Commission. En äldre version av standarden är i Sverige utgiven som SEK (2014): *Laser - Säkerhet - Del 1: Klassificering av utrustning samt fordringar*, [SS-EN 60825-1, utg. 5: 2014/AC1:2017](#), Svensk Elstandard/SEK TK 76 – Laserutrustningar och optisk strålningssäkerhet.
- [9] Vium Andersson J (2012): *Metodbeskrivning RUFRIIS*, [Rapport: 2012:210](#), Trafikverket.
- [10] Jansson P & Lundgren L (2018): *A Comparison of Different Methods Using GNSS RTK to Establish Control Points in Cadastral Surveying*. [Kungliga Tekniska Högskolan, Report](#), Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm
- [11] Odolinski R & Sunna J (2009): *Detalj mätning med nätverks-RTK – en noggrannhetsundersökning*, [Lantmäterirapport 2009:2](#), Lantmäteriet, Gävle.

- [12] Engberg L & Persson C-G (2009): *God mätsed eller "Hur man utnyttjar tidigare generationers samlade erfarenheter"*. Artikel tillgänglig via Lantmäteriets webbplats ([pdf](#), [nytt fönster](#))

7.1 Standarder och regelverk rörande bygg- och anläggningsverksamhet

Utöver ovanstående referenser finns det ett antal styrdokument inom bygg- och anläggningsbranschen som en utförare bör ha kännedom om och konsultera vid behov av tillämpningsspecifika riktlinjer. Några av dessa presenteras här nedan, med fullständiga referenser i sista [avsnittet](#). Dokumenten har viss tonvikt på utsättning och kontroll.

7.1.1 HMK-BA



HMK-BA står för: *Handböcker i Mättnings- och Kartfrågor för Bygg och Anläggning*, och togs fram 1996–98. Det är ett branschspecifikt komplement till "gamla" HMK, som hade publicerats några år tidigare (1993–94). HMK-BA har inte reviderats sedan dess utan ges fortfarande ut i sin ursprungliga form. Förlag i dag är forskningsrådet Formas och återförsäljare i branschen är bl.a. Svensk Byggtjänst.

Det finns många referenser från HMK-BA till HMK, men de avser alltså den äldre HMK-serien och inte den handboksserie som tas fram nu (www.lantmateriet.se/hmk). Mellan HMK-BA och "nya" HMK finns inga kopplingar.

En "aktualitetsbeskrivning" av HMK - BA återfinns i den tekniska rapporten [HMK-TR 2018:2](#). Den redovisar att mycket av innehållet är tidlöst och fortfarande giltigt, medan andra delar har blivit något föråldrade. Det beror dels på teknikutvecklingen under den senaste 20-årsperioden, dels på att det som HMK-BA refererar till inte längre gäller eller är inaktuellt. Det senare avser t.ex. standarder, referens-

system, lagstiftning (behörighetsfrågor, upphandlingsregler m.m.) samt namn på myndigheter.

Det finns hänvisningar till HMK-BA från AMA (*Allmän material- och arbetsbeskrivning*) och ett antal SIS-dokument rörande bygg & anläggning, se avsnitt 7.1.3. Trots att handboksserien delvis är föråldrad finns därför ett behov av att HMK-BA finns kvar tills denna koppling är eliminerad och/eller tills handböckerna har uppdaterats.

HMK-BA4: Byggande

Den fjärde boken i serien heter HMK-BA4: Byggande. Handboken handlar dock inte om "byggande" direkt utan om mätning i samband med byggande.

Den första halvan (kapitel 2–11) behandlar utsättning, inkl. plantolkning och kontroll. Framställningen är ganska tidlös men har sitt fokus på terrestra metoder.

Kapitel 12 behandlar inmätning för relationshandlingar, kapitel 13 mätning i samband med mängdreglering, kapitel 14 kontrollmätning, kapitel 15 sättningsövervakning och kapitel 16 kvalitetssäkring.

I bilaga A redovisas ett exempel på stomnätsarbete (planering, mätning, redovisning) inkl. ekonomisk uppföljning. Bilaga B tar upp plantolkning kopplat till olika inmättnings- och utsättningsituationer; mycket utförligt och pedagogiskt.

Bilaga C ger ett exempel på beräkning av vertikalkurvor, i bilaga D görs en sammanställning över byggplatstoleranser, bilaga E hanterar beräkning av lutningar och i bilaga F exemplifieras broritningar. Avslutningsvis redovisas diverse Telia-specifika anvisningar i bilaga G-H.

7.1.2 HMK-TR 2019:1

Skriften [HMK-TR 2019:1](#) *Mätning och redovisning av bygg- och anläggningsprojekt – med tonvikt på långsträckta objekt i 3D* ingår i HMK:s serie *Tekniska rapporter*. Där beskrivs de särskilda problem som uppkommer vid mätning och redovisning av olika bygg- och anläggningsobjekt. Tonvikten ligger på långsträckta objekt, dvs. anläggningar som är smala och långa, t.ex. broar, tunnlar, järnvägar, rörledningar och liknande byggnadsverk inom samhällets infrastruktur.

Rapporten är mest tänkt som en "brygga" mellan mätningstekniken och bygg- och anläggningsbranschen. Mycket handlar om stommätning och referenssystem – samt de speciella förutsättningar för mätning som ofta råder i dessa sammanhang. Visst fokus ligger på terminologifrågorna inom området. En av bilagorna relaterar till dokumentet SIS-TS 21143:2016 [2], se nästa [avsnitt](#).

7.1.3 SIS-TS 21143:2016 och SIS-TS 21144:2016

SIS (Swedish Standards Institute) har – genom den tekniska kommittén SIS/TK 178 och på initiativ av Trafikverket – gett ut två samspelande tekniska specifikationer inom det här aktuella området:

- SIS (2016): *Teknisk specifikation, SIS-TS 21143:2016, Byggmätning – Geodetisk mätning, beräkning och redovisning av byggnadsverk och infrastruktur* [2].
- SIS (2016): *Teknisk specifikation, SIS-TS 21144:2016, Byggmätning – Specifikationer vid framställning och kontroll av digitala markmodeller* [15][14].

SIS-TS 21143 togs fram för de specifikationer som behövs vid geodetisk mätning, beräkning och redovisning av långsträckta objekt. Specifikationen används dock även vid andra typer av mätningar inom bygg- och anläggningsverksamheten och har senare kompletterats med mer generella anläggningsobjekt samt ledningsbyggande. Den omfattar mätinstrument, stommätning och detaljmätning och där finns bl.a. krav vid inmätning och utsättning i form av toleranser vid kontrollmätning.

Dokumentet SIS-TS 21144 initierades för de behov av kravformuleringar som behövs vid framställning och kontroll av digitala terrängmodeller för planering, projektering och byggande. Det utgör underlag för hänvisningar från upphandlingsdokument och tekniska beskrivningar rörande digitala markmodeller.

Användningen av SIS-TS 21143 är brett förankrad inom samhällsbyggnadsområdet, inte minst p.g.a. Trafikverkets regelverk för upphandling. Viss samordning mellan SIS-TS och HMK sker i samband med revideringen, huvudsakligen via referensgrupper för respektive dokument. Dessa båda tekniska specifikationer är "förbetalda" av Trafikverket och tillhandahålls därför utan kostnad till användarna. Det enda som krävs är en registrering.

7.1.4 Trafikverkets regelverk

Dokumentserien "*Trafikverkets regelverk för anläggningsstyrning*" anger de krav på funktion, utformning och utförande som gäller för samtliga Trafikverkets anläggningar, t.ex. vid deras upphandlingar. Regelverket består av krav med tillhörande råd. Ett råd är alltid kopplat till ett visst krav. Indelningen och samtliga dokument återfinns på www.trafikverket.se.

Av störst intresse här är dokumenten TDOK 2014:0571 [16] med KRAV och TDOK 2014:0572 [16][17] med tillhörande RÅD kring *Geodesi: Geodetiska mättningsarbeten och geografisk lägesbestämning – väg och järnväg*. Dessa båda dokument har en identisk kapitel-/avsnittsstruktur där

- kapitel 7 innehåller toleranser för detaljmätning, och
- kapitel 8 ger anvisningar för utsättning genom hänvisning till SIS-TS 21143, se avsnitt 7.1.3.

Även krav på tjänster och produkter inom teknikområdena fotogrammetri och laserskanning ingår.

7.1.5 Referenslista

- [13] HMK Bygg & Anläggning (1998) Byggeforskningsrådet, 4 delar:
- [Byggprocessen BA1](#)
 - [Planering BA2](#)
 - [Projektering BA3](#)
 - [Byggande BA4](#)
- [14] [AMA](#), *Allmän Material- och Arbetsbeskrivning*, Svensk Byggtjänst.
- [15] SIS (2016): *Byggmätning – Specifikationer vid framställning och kontroll av digitala markmodeller*, [Teknisk specifikation SIS-TS 21144:2016](#), Swedish Standards Institute/TK 178.
- [16] Trafikverket (2019): *KRAV, Geodetiska mättningsarbeten och geografisk lägesbestämning – Väg och järnväg*, [TDOK 2014:0571 version 5.0](#), Trafikverket.
- [17] Trafikverket (2019): *RÅD, Geodetiska mättningsarbeten och geografisk lägesbestämning – Väg och järnväg*, [TDOK 2014:0572 version 3.0](#), Trafikverket.

7.2 Övriga rapporter, läroböcker, webbsidor m.m.

Följande tekniska rapporter innehåller fördjupning inom olika ämnen som har viss relevans för terrester detaljmätning:

- [HMK-Teknisk rapport 2018:2](#), *HMK-Bygg och anläggning (HMK-BA) - dess aktualitet och relation till HMK*. Teknisk rapport till HMK, Lantmäteriet (Persson, C-G), Gävle, 2018.
- [HMK-Teknisk rapport 2018:3](#), *Beräkning och analys av stomnät – med tonvikt på plana, terrestra nät*. Teknisk rapport till HMK, Lantmäteriet (Persson, C-G), Gävle, 2018.

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

Följande Lantmäterirapporter beskriver Lantmäteriets syn på och planer för förvaltning och användning av geodetisk infrastruktur:

- [LMV-rapport 2010:11](#), *Om behovet av nationell geodetisk infrastruktur och dess förvaltning i framtiden*. Lantmäteriet (Ågren J & Engberg L E), Gävle, 2010.
- [Lantmäterirapport 2019:1](#), *Förvaltning av de nationella geodetiska referensnäten*. Lantmäteriet (Alfredsson A, m.fl.), Gävle, 2019.

Förslag på läroböcker som behandlar terrester detaljmätning:

- [Kurskompendium](#), *Geodetisk och fotogrammetrisk mättnings- och beräkningsteknik*, Lantmäteriet m.fl., 2021.
- Lärobok, [Geografisk informationsbehandling – teori, metoder och tillämpningar](#), Harrie L, m.fl., sjunde upplagan, Studentlitteratur AB, 2020.

På Lantmäteriets webbplats finns mer information kring den svenska geodetiska infrastrukturen:

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

Bilaga A: Krav och rekommendationer

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

- Bilaga A.1 är en sammanställning av samtliga numrerade krav och rekommendationer för utförande, dvs. alla röd- respektive blåstrerade rutor i dokumentet.
- Bilaga A.2 innehåller s.k. grundutförande för terrester detaljmätning - en lista med hänvisningar till samtliga krav enligt Bilaga A.1.

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

Observera att all användning av HMK bygger på frivillig överenskommelse mellan berörda intressenter, dvs. det som avtalas mellan parterna i en upphandling eller beslut som fattas av en organisation. För hänvisningsregler, se [HMK - Introduktion 2017](#), avsnitt 1.7.

A.1 Krav och rekommendationer

3 Planering och förberedelser

KRAV

- a) Planering och genomförande av detaljmätning ska utgå från specificerade krav.
- b) Utföraren ska göra en bedömning av vilka mätinstrument och mätmetoder som passar bäst för det aktuella arbetet.

REKOMMENDATION

- c) Utföraren bör redovisa formell kompetens och/eller beskriva hur arbetsprocessen kvalitetssäkras.
- d) Kontroller och dokumentation i arbetsprocessen bör anpassas till uppdragets komplexitet, omfattning och kvalitetskrav.

3.1 Mättningsinstruktioner

KRAV

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

REKOMMENDATION

- b) Detaljeringsnivå eller skala bör specificeras om flera objektgeometrier kan vara aktuella för samma objekt.

3.2 Detaljmättningsområdet

REKOMMENDATION

- a) Detaljmättningsområdet bör rekognoseras på plats innan detaljmätning påbörjas.

3.2.1 Utgångspunkter och kontrollpunkter

KRAV

- a) Vid detaljmätning i plan ska minst tre utgångspunkter finnas tillgängliga för varje stationsetablering.
- b) Vid detaljmätning i höjd ska minst två utgångspunkter finnas tillgängliga för varje stationsetablering.
- c) Befintliga utgångspunkters status ska bedömas innan detaljmätningen påbörjas.

REKOMMENDATION

- d) Komplettering bör göras om det inte finns utgångspunkter av tillräcklig kvalitet eller med lämplig konfiguration.
- e) För att kunna utvärdera lägesosäkerheten i detaljmätningen bör kontrollpunkter finnas tillgängliga.

3.2.2 Val av instrumentuppställningsplats

REKOMMENDATION

- a) Fri station – med inmätning mot minst tre bakåtobjekt – bör väljas framför uppställning över känd utgångspunkt.
- b) Platser för instrumentuppställningar bör vara lättåtkomliga och ge möjlighet till störningsfri mätning mot så många detaljer, utgångspunkter och kontrollpunkter som möjligt.
- c) Inmätningens avstånd vid detaljmätning bör inte överstiga 200 meter.

3.2.3 Konfiguration av utgångs- och kontrollpunkter

KRAV

- a) Intelligande uppställningar ska ha en gemensam övertäckningszon.

REKOMMENDATION

- b) Vid detaljmätning i plan bör utgångspunkterna omsluta detaljmätningens område.
- c) Vid detaljmätning i höjd bör utgångspunkterna vara belägna på ungefär samma avstånd från instrumentet som detaljpunkterna.
- d) Intelligande uppställningar bör ha minst två gemensamma utgångspunkter.
- e) I yttäckande områden bör minst en kontrollpunkt – och i långsträckta objekt minst två kontrollpunkter – placeras i övertäckningszonen mellan uppställningarna.

3.3 Mätutrustning

KRAV

De geodetiska mätinstrument som används vid terrester detaljmätning

- a) ska ha en specificerad mätosäkerhet som inte överstiger den lägesosäkerhet som krävs för detaljerna.
- b) ska genomgå dokumenterad kalibrering, uppdatering och övrig service enligt tillverkarens rekommendationer.
- c) ska acklimatiseras i den aktuella mätmiljön före användning.
- d) ska kontrolleras och justeras av användaren i sådan omfattning att specificerad prestanda är säkerställd vid mätningstillfället.

REKOMMENDATION

- e) Funktionskontroll av all mätutrustning bör göras av användaren innan detaljmätningen påbörjas.

3.3.1 Totalstation

REKOMMENDATION

- a) Totalstation bör användas tillsammans med de prismor som rekommenderas av tillverkaren.

3.3.3 Övrig utrustning

KRAV

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

4 Totalstationsmätning

4.1 Handhavande och inställningar vid totalstationsmätning

KRAV

- a) Innan mätning med totalstation påbörjas ska kontroll utföras av att instrumentinställningarna är korrekta.
- b) Dokumentationen vid totalstationsmätning ska inkludera information om använd utrustning och gjorda instrumentinställningar.

4.2 Komplettering av utgångspunkter

REKOMMENDATION

- a) Förstahandsvalet vid komplettering av utgångspunkter bör vara inmätning med fri-stationsteknik.

4.3 Fältarbete

4.3.1 Uppställning av instrumentet

KRAV

- a) Vid uppställning över känd utgångspunkt ska instrumenthöjd mätas och dokumenteras.

REKOMMENDATION

- b) Vid etablering av en fri station bör uppställningspunkten markeras tillfälligt.

4.3.2 Stationsetablering

KRAV

- a) Etablering av en totalstation ska vara överbestämd.
- b) Kontroll av stationsetableringens resultat ska göras i fält.

REKOMMENDATION

Vid stationsetablering

- c) bör utgångspunkterna signaleras med signal/prisma på stativ eller fasta konsoler.
- d) bör riktningsmätning mot bakåtojekt utföras i båda cirkellägena om extra kontrollerbarhet behövs.

4.3.3 Stationsetablering med GNSS-stöd

KRAV

Vid stationsetablering genom kombinerad mätning med GNSS/RTK och totalstation

- a) ska korrekt höjdoffset anges mellan GNSS-antenn och prisma.
- b) ska stödben eller stativ användas för centrering av prisma och GNSS-mottagare på de RTK-mätta bakåtoobjekten.
- c) ska god mätmiljö för GNSS beaktas vid placeringen av bakåtoobjekten.

REKOMMENDATION

- d) Stationsetableringen bör - om så är möjligt - uppdateras fortlöpande med fler bakåtoobjekt.
- e) En fot bör användas på lodstången vid kombinerad mätning med totalstation och GNSS/RTK.
- f) Totalstationsmätningen bör göras i båda cirkellägena.

4.3.4 Inmätning av detaljpunkter

KRAV

Detaljpunkterna vid totalstationsmätning

- a) ska ges en unik identitet.
- b) ska kodas enligt en för uppdraget specificerad punktkodning.
- c) ska mätas in enligt för uppdraget specificerade objektgeometrier.

REKOMMENDATION

- d) Vid behov av att minska centreringsosäkerheten vid detaljmätning med lodstång och prisma bör stödben användas.

4.3.5 Inmätning av kontrollpunkter

REKOMMENDATION

- a) Upprepad inmätning av kontrollpunkter bör ske från olika stationer.

4.3.6 Avslutande kontroller i fält

KRAV

- a) Upprepad inriktning mot ett bakåtobjekt ska utföras innan totalstationen tas ner, samt vid indikation på fel eller större förändringar i mätförhållanden.
- b) Libell – och eventuell centrering över markerad punkt – ska kontrolleras kontinuerligt under mätningens gång och innan totalstationen tas ner.

REKOMMENDATION

- c) Grafisk/visuell kontroll av inmätta detaljer bör göras i fältdatorn i samband med mätningen.

4.4 Slutgiltig beräkning och kontroll

REKOMMENDATION

- a) Slutgiltig beräkning av stationsetableringen bör göras i efterhand – efter fältarbetet – och kombineras med kontroll av utgångspunkter och mätningar genom data-snooping.
- b) Detaljmätningens lägesosäkerhet bör skattas genom jämförelse av mätningar mot gemensamma kontrollpunkter från olika uppställningar.
- c) En visuell slutkontroll av detaljmätningen bör utföras som komplement till de numeriska kontrollerna.

5 Avvägning

5.1 Handhavande och inställningar vid avvägning

KRAV

- a) Innan mätning med avvägningsinstrument påbörjas ska kontroll utföras av att rätt inställningar och justeringar är gjorda.
- b) Dokumentation av detaljmätning i höjd ska inkludera information om använd utrustning och gjorda instrumentinställningar.

5.2 Komplettering av utgångspunkter

REKOMMENDATION

- a) Förstahandsvalet vid komplettering av utgångspunkter i höjd bör vara linjeavvägning mellan två befintliga höjdfixar.

5.3 Fältarbete

KRAV

- a) Avvägning ska inte utföras vid kraftig vind, i starkt solljus eller liknande ogynnsamma väderförhållanden.

5.3.1 Uppställning av instrumentet

5.3.2 Stationsetablering

REKOMMENDATION

- a) Bestämning av avvägningsinstrumentets höjd i höjdsystemet bör om möjligt göras med överbestämning.
- b) En preliminär beräkning av instrumentets höjd bör utföras i fält.

5.3.3 Inmätning av detaljpunkter

KRAV

Detaljpunkterna vid avvägning

- a) ska ges en unik identitet.
- b) ska kodas enligt en för uppdraget specificerad punktkodning.
- c) ska mätas in enligt för uppdraget specificerade objektgeometrier.

5.3.4 Inmätning av kontrollpunkter

REKOMMENDATION

- a) Upprepad avvägning av kontrollpunkter bör ske från olika instrumentuppställningar.

5.3.5 Avslutande kontroller i fält

KRAV

- a) Kontrollmätning mot bakåtojekt ska utföras vid indikation på fel under detaljmätningen, samt innan avvägningsinstrumentet tas ner.
- b) Kontroll av libell ska utföras under detaljmätningen, samt innan avvägningsinstrumentet tas ner.

5.4 Beräkning och kontroller

REKOMMENDATION

- a) Slutgiltig beräkning av avvägningssinstrumentets höjd i höjdsystemet bör göras i efterhand – efter fältarbetet – och kombineras med kontroll av utgångspunkter och mätningar genom data-snooping.
- b) Detaljmätningens lägesosäkerhet i höjd bör skattas genom jämförelse av mätningar mot gemensamma kontrollpunkter från olika uppställningar.

6 Utsättning

6.1 Förberedelser

KRAV

- a) Vid planering av utsättning ska kontrollinsatsen ställas i relation till de konsekvenser en felutsättning kan få.
- b) Mätinstrument som används vid utsättning ska vara kontrollerade och justerade.

REKOMMENDATION

- c) Stomnätets/primärnätets kvalitet bör utvärderas före utsättning.
- d) Vid behov av väl bestämda inbördes lägen bör utsättningen planeras så att den sker från samma instrumentuppställning.

6.2 Tillämpad utsättning

KRAV

- a) Markeringen vid utsättning ska vara väldefinierad.
- b) Markeringssättet ska uppfylla projektets kvalitetskrav.
- c) Markeringens varaktighet ska vara anpassad till projekttiden.
- d) Markeringstypen ska väljas så att risken för att markeringarna rubbas eller skadas minimeras.

REKOMMENDATION

- e) Utsatta detaljpunkter bör kontrolleras genom inmätning från en ny stationsetablering.

6.3 Kontroll

KRAV

- a) Dokumentation vid kontrollmätning ska innehålla en bedömning av om utsättningen uppfyller angivna krav.

REKOMMENDATION

- b) I första hand bör förebyggande kontroll tillämpas.
- c) Kontrollmätning bör utföras med en metod som har lägre mätosäkerhet än det som kontrolleras.
- d) Kontroller bör utföras där mätfel kan vålla störst ekonomisk eller kvalitetsmässig skada.
- e) I större projekt bör ett särskilt måttkontrollprogram utformas.

A.2 Grundutförande

Denna bilaga innehåller ett grundutförande för terrester detaljmätning - en lista med hänvisningar till samtliga krav enligt Bilaga A.1 i HMK - Terrester Detaljmätning 2021.

Grundutförandet kan kopieras och bifogas, t.ex. som underlag vid upphandling eller annan kravställning. Eventuella tillägg eller frånsteg från grundutförandet måste vara tydligt angivna, förslagsvis på separata sidor eller under separata rubriker.

Grundutförande, HMK- Terrester detaljmätning 2021:

Krav 3 a-b i HMK - Terrester Detaljmätning 2021 gäller

Krav 3.1 a i HMK - Terrester Detaljmätning 2021 gäller

Krav 3.2.1 a-c i HMK - Terrester Detaljmätning 2021 gäller

Krav 3.2.3 a i HMK - Terrester Detaljmätning 2021 gäller

Krav 3.3 a-d i HMK - Terrester Detaljmätning 2021 gäller

Krav 3.3.3 a i HMK - Terrester Detaljmätning 2021 gäller

Krav 4.1 a-b i HMK - Terrester Detaljmätning 2021 gäller

Krav 4.3.1 a i HMK - Terrester Detaljmätning 2021 gäller

Krav 4.3.2 a-b i HMK - Terrester Detaljmätning 2021 gäller

Krav 4.3.3 a-b i HMK - Terrester Detaljmätning 2021 gäller

Krav 4.3.4 a-c i HMK - Terrester Detaljmätning 2021 gäller

Krav 4.3.6 a-b i HMK - Terrester Detaljmätning 2021 gäller

Krav 5.1 a-b i HMK - Terrester Detaljmätning 2021 gäller

Krav 5.3 a i HMK - Terrester Detaljmätning 2021 gäller

Krav 5.3.3 a-c i HMK - Terrester Detaljmätning 2021 gäller

Krav 5.3.5 a-b i HMK - Terrester Detaljmätning 2021 gäller

Krav 6.1 a-b i HMK - Terrester Detaljmätning 2021 gäller

Krav 6.2 a-d i HMK - Terrester Detaljmätning 2021 gäller

Krav 6.3 a i HMK - Terrester Detaljmätning 2021 gäller

Bilaga B: Produktionsdokumentation

Dokumentation av mätprocessen är en förutsättning för spårbarhet, kontroll och kvalitetsbedömning av produktionsresultaten. Den ökar möjligheterna att uppfylla beställarkraven och rapportera eventuella avvikelser.

Bilaga B är ett utgångsförslag på vilken dokumentation som ett terrestert detaljmättningsprojekt kan innefatta. Förslaget bör dock anpassas till beställarkraven och uppdragets omfattning. Dokumentationskrav kan formuleras av beställare i en teknisk specifikation, se [HMK – Kravställning vid geodetisk mätning 2017](#) (med aktualitetsbeskrivning från 2021). Se även [HMK-TR 2018:3](#), Bilaga B, och SIS-TS 21143:2016 [2], sid. 65.

B.1 Planering

Om en särskild planeringsrapport krävs av beställaren – för fastställelse innan detaljmätningen påbörjas – så bör den vara en rapport, i PDF/A-format om inte annat anges, som redovisar:

- a) Skiss/karta med principiell placering av instrument, utgångspunkter, kontrollpunkter samt detaljmättningsområde för respektive uppställning inlagda.
- b) Referenssystem i plan och höjd.
- c) Kontroll av dokumentation rörande utgångspunkters kvalitet.
- d) Rekognosering av punktlägen och mätmetod för ev. kompletterande utgångspunkter och kontrollpunkter, samt markeringssätt och behov av ev. punktbeskrivningar.
- e) Mätutrustning och behov av kontroller och justeringar inför projektet.
- f) Planerad detaljmättningsmetodik inklusive kontroller.
- g) Instruktioner för inmätning, t.ex. objektgeometrier och punktkodning.
- h) Planerad beräkningsmetodik inklusive kontroller.
- i) Planerad redovisning.

B.2 Genomförande

Produktionsdokumentationen från genomförandet av ett terrester detaljmättningsprojekt bör redovisa följande i en rapport, i PDF/A-format om inte annat anges:

- a) Skriftlig redogörelse för projektet (typ av detaljmätning, syfte och tänkt användning, kvalitetskrav, planering, genomförande och resultat samt eventuella avvikelser från beställarkraven i den tekniska specifikationen och motiv för dessa).
- b) Uppdragsorganisation, dvs. beställare och utförare (projektansvarig, underleverantörer etc. inkl. kontaktppgifter).
- c) Underlagsmaterial (områdesavgränsning, tillgängliga utgångspunkter med bedömning av tillgänglighet/kvalitet).
- d) Ev. komplettering av utgångspunkter (se nedan).
- e) Inmättningsdatum, tidpunkt och väderförhållanden.
- f) Referenssystem i plan och höjd inklusive eventuella transformations samband.
- g) Använd mätutrustning (instrument och tillbehör), inklusive ev. serienummer, kalibreringscertifikat och serviceprotokoll.
- h) Instrumentinställningar och korrektioner.
- i) Använda utgångspunkter.
- j) Tillämpad objektgeometri och punktkodning.
- k) Mätmetodik. Vid kombinerad mätning se även HMK – GNSS-baserad detaljmätning 2021, Bilaga B.
- l) Resultat och toleranser från genomförda kontroller i fält.
- m) Särskilda överväganden, t.ex. avvikelser från teknisk specifikation och planering samt problem som inträffat under mätningen.
- n) Beskrivning av levererade digitala data (dataformat, lagringsmedium etc.).
- o) Information om arkiverade data (t.ex. rådata från mätningar).

Produktionsdokumentationen ska redovisa följande om beställaren begär det:

- a) Karta/ritning, i PDF/A-format om inte annat anges, över detaljmättningsområdet. Kartan ska visa position och beteckning för uppställningar, uppställningens mätområde samt använda utgångspunkter och kontrollpunkter.
- b) Övrig redovisning enligt den tekniska specifikationen.

Komplettering av utgångspunkter

Eventuell stomnätsförtätning och stomnätsrenovering dokumenteras enligt riktlinjerna i HMK – Stommätning 2021, Bilaga B.

Vad gäller eventuell komplettering av utgångspunkter för projektet bör följande redovisas, om inte annat anges:

- a) Skriftlig redogörelse för kompletteringen (planering, genomförande och resultat samt eventuella avvikelser från beställarkraven i den tekniska specifikationen och motiv för dessa).
- b) Mätmetod.
- c) Referenssystem i plan och höjd.
- d) Markering.
- e) Punktdokumentation med beskrivning av ev. återfinningsmärken och punktbeskrivningar för kompletterande utgångspunkter.

B.3 Resultat

Resultatrapporten från beräkningen är en viktig del av mättningsredogörelsen. Den bör därför kunna användas direkt som en bilaga. I resultatrapporten ska det vara enkelt att hitta resultat och följa beräkningsgången av både detaljmätning och eventuell komplettering av utgångspunkter (som en separat del). Rapporten ska även innehålla information om den använda programvaran och delar av rapporten består vanligen av utskrifter direkt från beräkningsprogrammet.

Användarmanualen för den programvara som används innehåller förklaringar av de kvalitetsmått som ingår i resultatredovisningen. För förståelse av dessa är det viktigt att noga läsa manualen. Vad som redovisas kan variera något mellan olika programvaror – liksom hur termer benämns i originalspråket och i olika översättningar till svenska, som inte alltid är helt fackmannamässiga.

En resultatrapport från slutgiltiga beräkningar bör innehålla:

- a) Beräkningsprogramvara.
- b) Beräkningsparametrar (eventuell inpassningsmetod).
- c) Genomförda korrektioner.
- d) Uppsatta beräkningstoleranser.
- e) Programvarans kvalitetstal från stationsetableringen (viktsenhetens standardosäkerhet, standardosäkerhet i plan respektive höjd, ev. skalfaktor, m.m.).
- f) Genomsnittliga avvikelser och RMS från kontrollmätningar av kända utgångspunkter.
- g) Genomsnittliga avvikelser och RMS från mätningar mot kontrollpunkter från överlappande uppställningar.
- h) Problem som inträffat under databearbetningen och hur dessa har hanterats.
- i) Borttagna mätningar och bakåtobjekt ska redovisas, och helst även orsaken till borttagandet.

En lista bör redovisas över samtliga inmätta eller utsatta detaljpunkter och kompletterande utgångspunkter för projektet. Den bör vara i ASCII-format, om inte annat anges, och innehålla:

- a) namn eller punkt-ID
- b) punktkod
- c) koordinater och/eller höjder med kvalitetsuppgift
- d) datum för inmätning
- e) ev. markering
- f) mätmetod.

Bilaga C: Leveranskontroll

Beställaren bör kontrollera erhållen leverans snarast möjligt efter mottagandet. En tidsfrist bör anges i upphandlingens kommersiella villkor ([HMK - Introduktion 2017](#), avsnitt 3.2.1). Kontrollens omfattning anpassas efter leveransens storlek och kan appliceras som fullständiga kontroller, där varje fil kontrolleras, eller som stickprov.

C.1 Komplet leverans

a) Produktionsdokumentation

Produktionsdokumentationen granskas för att verifiera:

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

b) Filer

Filer/material granskas för att verifiera att:

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

c) Metadata

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

C.2 Produkt

Läs mer om kontroll med avseende på olika kvalitetsteman eller kvalitetsparametrar i [HMK - Geodatakvalitet 2017](#), avsnitt 2.7.

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

d) Lägesosäkerhet

Följande metoder avser sådan kontroll av *lägesosäkerheten* vid *terrester detaljmätning* som kan utföras oberoende av instrumentfabrikat och mjukvaruleverantör.

För kontroll av *minsta-koadratutjämnings* och liknande hänvisas till de olika leverantörernas beräkningsprogram och de *kvalitetsmått* och *felsökningsmetoder* som hör till dessa. En generell beskrivning av *data-snooping* – för analys av restfel – och andra kontroller av transformationsberäkningar finns dock i [HMK-TR 2018:3](#), kapitel 6-7.

d.1) Kontroll av utgångspunkter.

Vissa kontroller ligger utanför själva detaljmätningen, men är ändå en förutsättning för ett gott resultat. Det gäller t.ex. kontroller i samband med eventuell *komplettering av utgångspunkter*, kontroll av detaljmätningens utgångspunkter samt kontroll av *stationsetableringen*.

- Beträffande regelrätt *stommätning* – med GNSS eller terrestra metoder – hänvisas till anvisningarna i HMK – Stommätning, senaste version, och den branschgemensamma tekniska specifikationen för byggmätning, SIS-TS 21143:2016 [2]. Dessa kan delvis tillämpas även vid bestämning av enstaka kompletterande utgångspunkter.
- Kontroll av utgångspunkterna kan ske som ett separat moment. Det finns dock stora fördelar med att utföra den i samband med detaljmätningens stationsetablering – och kontrollen av denna. Beskrivning och exempel på metoder för detta finns i Bilaga E.

I denna typ av kontroller ingår även verifiering av att:

- Utgångspunkterna har rätt ID samt att de koordinater/höjder som erhållits från beställaren är korrekta och i rätt referenssystem.

d.2) Kontroll av lägesosäkerheten mot kända kontrollpunkter.

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

Det som studeras är

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

inom hela detaljmätningens område.

Kontrollpunkterna betraktas som felfria. De ska vara jämnt fördelade över området och får inte sammanfalla med *bakåttobjekten*. Stora avvikelser indikerar brister i detaljmätningen, men kan naturligtvis också bero på kvalitetsbrister i utgångspunkterna.

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

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

- Avvikelsen i enskilda punkter beräknas som

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

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

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

- Medelavvikelsen i plan och höjd beräknas som:

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

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

där n är antalet punkter.

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

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

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

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

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

- Enskilda avvikelser kontrolleras med formlerna

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

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

- Medelavvikelserna kontrolleras på motsvarande sätt med formlerna:

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

där n är antalet kontrollpunkter för *anslutningen*.

- RMS-värdena kontrolleras med formlerna:

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

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

Observera att i avsnitt 4.4.3 och avsnitt 5.4.3 används u som beteckning för standardosäkerhet enligt GUM-terminologi [1] – istället för σ , som används här och har sin grund i den traditionella terminologi som denna bilaga bygger på.

I Tabell 8 ges ett exempel på tillämpningen av ovanstående metod och ett förslag på hur redovisningen i Bilaga B.3, punkt f) kan utformas. För få kontrollpunkter ger inte särskilt effektiva kontroller av anslutningen. Fler jämförelser innebär hårdare krav men samtidigt säkrare bedömningar.

Tabell 8. Kontroll av lägesosäkerheten vid terrester detaljmätning med hjälp av kontrollpunkter med kända koordinater/höjder. Vita fält med blå text fylls i.

Kontroll av lägesosäkerhet		Avser:	Kontrollpunkter med kända koordinater/höjder	Antal (n) =	16
HMK Standard-nivå:	3	Specificerade standardosäkerheter			
		Plan (σ_{plan}) =	5 mm	Höjd ($\sigma_{höjd}$) =	5 mm
Test:		Beräknade värden:			OK?
Typ av kontroll	Teststorhet	Erhållet	Tic	Tolerans	
Systematik, plan	$\Delta\bar{R} \leq \frac{2 \cdot \sigma_{plan}}{\sqrt{n}}$	3,6 mm	>	2,5 mm	Nej
Systematik, höjd	$\Delta\bar{H} \leq \frac{2 \cdot \sigma_{höjd}}{\sqrt{n}}$	4,1 mm	>	2,5 mm	Nej
Grova fel, plan	antal $\Delta R_i > 3 \cdot \sigma_{plan}$	0	>	15 mm	Ja
Grova fel, höjd	antal $ \Delta H_i > 3 \cdot \sigma_{höjd}$	0	>	15 mm	Ja
Lägesosäkerhet, plan	$RMS_{plan} \leq \sigma_{plan} \cdot (0,96 + n^{-0,4})$	5 mm	<	6,4 mm	Ja
Lägesosäkerhet, höjd	$RMS_{höjd} \leq \sigma_{höjd} \cdot (0,96 + n^{-0,4})$	6,5 mm	>	6,4 mm	Gränsfall

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

d.3) Kontroll av lägesosäkerheten genom upprepad mätning från olika stationer

På motsvarande sätt kan jämförelse göras mellan två *inmätningar* av en väldefinierad punkt – som inte behöver ha kända koordinater/höjder.

I detta fall ska *toleranserna* i Tabell 8 multipliceras med $\sqrt{2}$ för att ta

hänsyn till att det rör sig om differensen mellan två mätningar, med samma mätosäkerhet (ingen är ju felfri).

Exempel: Under antagandet att den specificerade lägesosäkerheten – i plan och höjd, liksom i Tabell 8 – är 5 mm så erhålls följande toleranser för 16 kontrollpunkter:

- $2,5\sqrt{2} = 3,5$ mm (systematik)
- $15\sqrt{2} = 21$ mm (grova fel)
- $6,4\sqrt{2} = 9,1$ mm (lägesosäkerhet)

Detta betraktelsesätt kan också tillämpas om kontrollpunkterna i avsnitt d.2) inte är felfria, utan har en lägesosäkerhet jämförbar med detaljmätningens. Detta torde vara mer sannolikt än felfria utgångspunkter!

e) Fullständighet

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

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

f) Tematisk osäkerhet

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

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

g) Logisk konsistens

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

- Kontrollera att kraven på datamängdens topologi är uppfyllda.

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

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

C.3 Fördjupad kontroll vid behov

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

Bilaga D: Fri station

Huvudfokus i detta dokument är *inmätning* med en fritt etablerad *totalstation* i plan och höjd, vilket har analogier med flera andra mätnings-tekniska projekt.

Definition

Den klassiska definitionen av *fri station* är ”etablering av en totalstation på en omarkerad, valfri plats genom *terrester mätning* mot kända *bakåtobjekt* i stationens närhet”.

Fri station ger normalt en bättre *anslutning* till aktuellt *referenssystem* än uppställning över en känd punkt, eftersom stationen blir anpassad även till omgivande *utgångspunkter* och inte bara till uppställningspunkten.

En *överbestämd* fri station – vid god konfiguration och beräkning enligt *minsta-kvadratmetoden* – kan därför anses ha väl så god *kvalitet* som de *utgångspunkter* som har använts vid etableringen. Dessutom har stationen inget centreringsfel.

Möjligheten till fri placering är naturligtvis också en av metodens stora fördelar, men dess egenskaper gör den användbar även på flera andra sätt – t.ex. vid sökning efter *grova fel*, kontroll av *utgångspunkter* och *skalskillnader* samt verifiering av mät- och *lägesosäkerhet*.

Fri station bör därför i de flesta fall vara förstahandsalternativet vid *stationsetablering* för terrester *detalj*mätning i plan.

Horemuz & Janssons studie

Det optimala förhållandet mellan instrumentplaceringen för en fri station och läget för *utgångs- och detaljpunkterna* vid terrester *detalj*mätning i plan har studerats i två uppsatser av Milan Horemuz och Patric Jansson [4], [5].

Utifrån analytiska och empiriska studier kommer de fram till följande riktlinjer vid användning av fri station vid *detalj*mätning i plan:

- Placeringen av totalstationen påverkar inte osäkerheten i *detalj*punkterna, det är antalet använda *bakåtobjekt* och *detalj*punkternas läge i förhållande till dessa som avgör *lägesosäkerheten*.
- *Detalj*punkterna bör omgärdas av *bakåtobjekten* och den lägsta osäkerheten erhålls i *bakåtobjektens* tyngdpunkt.
- Under dessa förutsättningar är såväl *punktlägets* som *orienteringens* osäkerhet i stort sett likadan inom *detalj*mätningens område, oavsett instrumentplacering.

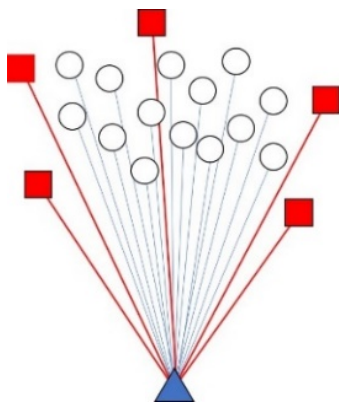
Det är viktiga slutsatser i de fall även utgångspunkternas lägen kan väljas fritt, t.ex. när de bestäms genom *GNSS/RTK-mätning*. Då bör utgångspunkterna placeras runt **inmätningssområdet** så att detaljpunkterna hamnar nära deras tyngdpunkt. Därigenom undviks också extrapolation. Vid etablering av en ny utgångspunkt, genom att den fria stationen *markeras* för användning vid ett senare tillfälle, ska dock också den placeras i tyngdpunkten av bakåtobjekten.

Vidare visas i studien att:

- *Tillförlitligheten/kontrollerbarheten* inte heller påverkas nämnvärt av instrumentets läge i förhållande till bakåtobjekten. En tillförlitlig etablering kräver dock minst tre bakåtobjekt, så att grova fel kan upptäckas, identifieras och elimineras.

Allt detta möjliggör "fri uppställning" i ordets rätta bemärkelse, se Figur 13. Dvs. uppställningsplatsen kan väljas utifrån andra kriterier, t.ex. det ställe där den minst störs av, eller stör, andra aktiviteter inom området.

Figur 13. Instrumentuppställning för terrester detaljmätning i plan. Enligt Horemuz & Jansson [4], [5] kan instrumentet placeras utanför detaljmätningssområdet, men det bör stå någorlunda symmetriskt i förhållande till detta.



Stationsetablering

Stationsplaceringen – inom rimligt avstånd (<200 m) – spelar alltså ingen roll för lägesosäkerheten vid detaljmätning och den fria placeringen ger bättre förutsättningar för genomförandet, oavsett om det gäller inmätning eller *utsättning*.

Vid fri stationsetablering ställs alltså totalstationen upp och horisontteras på valfri plats, med fri sikt mot utgångspunkter och detaljpunkter. Det kan ändå vara lämpligt att markera stationspunkten, på enklaste sätt, före detaljmätningen för att snabbt kunna kontrollera i efterhand att instrumentet inte har rört på sig under mätningens gång. Markeringen används enbart för okulär kontroll och kan tas bort sedan

stationen har tagits ner. Riktningsskontroll görs genom upprepad inriktning mot en utgångspunkt – före respektive efter detaljmätningen.

Inmätning

En fri station lägesbestäms genom inmätning av ett antal bakåtoobjekt. Standardförfarandet är mätning av riktning och avstånd mot minst tre bakåtoobjekt, vilket ger ett k -tal $\geq 0,5$ i plan och $k \geq 0,67$ i höjd.

Teoretiskt räcker det med två bakåtoobjekt i höjd. Eftersom mätning ändå görs mot minst tre objekt bör dock detta bli aktuellt endast om något av bakåtoobjekten saknar (välbestämd) höjduppgift. Utgångspunkterna i plan och höjd kan sammanfalla eller vara åtskilda.

Beräkning

Den fria stationens position kan beräknas med – i huvudsak – två olika metoder: sträng *utjämning* enligt minsta-kvadratmetoden (elementutjämning) eller som en *inpassningstransformation*. Även den senare beräkningsmetoden är en variant av minsta-kvadratutjämning och under vissa – ganska allmänna – förutsättningar ger de samma beräkningsresultat, dvs. samma koordinater för den fria stationen.

En förutsättning är att – som beskrivits ovan – både riktning och avstånd mäts mot samtliga bakåtoobjekt. Den andra är att bakåtoobjektens lägesosäkerhet tas med i elementutjämnings beräkningsmodell, se "*elastisk utjämning*" i HMK – Stommätning 2021, avsnitt 6.7.1.

Data-snooping

Oavsett valet av beräkningsmetod bör den kombineras med *data-snooping* eller någon liknande metod för sökning av grova fel i mätningar och utgångspunkter: en-dimensionell *data-snooping* vid elementutjämning och två-dimensionell vid inpassningstransformation.

Två-dimensionell *data-snooping* möjliggör samtidig kontroll av både mätningarna (längder/riktningar) och utgångspunkternas koordinater på ett enkelt sätt. Den möjligheten stärker motivet för att välja inpassningstransformation som utjämningsmetod, och den fria stations-etableringen framstår som ett gyllene tillfälle att kontrollera utgångspunkterna.

Därigenom ökar även möjligheterna till andra typer av analyser, t.ex. av skalskillnader mellan mätningarna och referenssystemet. Dessutom ger vanligen beräkningen av en inpassning mer lättolkade *kvalitetsmått* än fabrikantspecifika beräkningsresultat och *kvalitetsparametrar*, som ibland kan vara av "black-box-karaktär".

Oberoende kontroll med kontrollpunkter

Ett sätt att helt frigöra sig från hur beräkningsprogrammet är utformat – och vilka kvalitetsparametrar det redovisar – är att använda oberoende *kontrollpunkter/kontrollobjekt* för kvalitetskontroll.

Kontroll av lägesosäkerheten kan ske på två principiellt olika sätt:

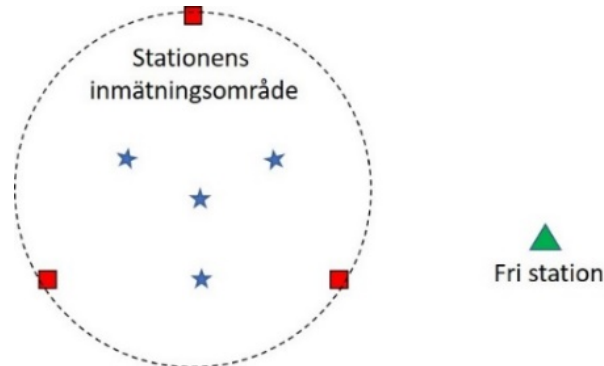
- 1) Genom jämförelse med kontrollpunkter som har kända koordinater/höjder i aktuellt referenssystem, se Bilaga C.2 d.2). Det rör sig då vanligen om befintliga *stompunkter* eller punkter från en *komplettering av utgångspunkter*.
- 2) Genom upprepad mätning mot kontrollpunkter som är tydligt definierade men inte har ett känt läge i referenssystemet, se Bilaga C.2 d.3). Dessa kan utgöras av naturliga eller tillfälligt markerade punkter – men även helt omarkerade signaluppställningar på *stativ* kan i vissa fall användas. (Jfr. användningen av måltavlor för kontroll vid registrering av laserpunktmoln. Se HMK – Terrester laserskanning 2021, Bilaga D.4.)

Båda kontrollerna är geografiskt begränsade och avspeglar i första hand den lokala lägesosäkerheten, inom detaljmätningsområdet. Det gäller särskilt metod 2), eftersom den station från vilken kontrollen utförs etableras från de utgångspunkter som ligger allra närmast kontrollpunkten.

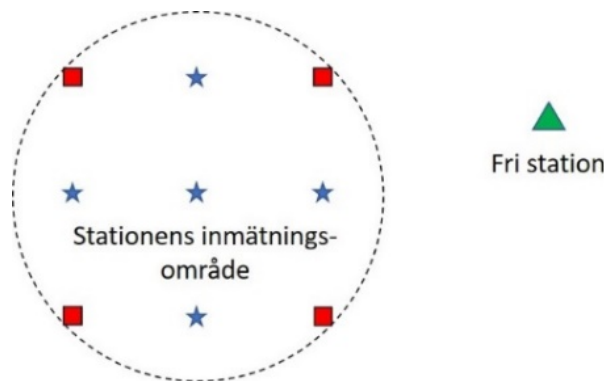
En stor fördel med metod 2) är dock att kontrollpunkterna kan väljas helt fritt, placeras där de bäst behövs, och att valet kan ske i samband med mätningen ute i fält. Förslag på bra samspel mellan utgångs- och kontrollpunkter redovisas i Figur 14 och Figur 15. Konfigurationerna kan användas som schabloner vid planeringen av ett detaljmätningprojekt.

Kontrollpunkterna mäts in samtidigt med bakåtoobjekten och detaljpunkterna och skillnaden mellan de olika bestämningarna används för fortsatt analys – för kontroll av detaljmätningen men också för verifiering av *mätosäkerheten* och utgångspunkternas lägesosäkerhet, se exempel i Bilaga E.

Figur 14. Optimal konfiguration av fyra kontrollpunkter (stjärnor) för en enskild station som har bestämts mot tre bakåtoobjekt (kvadrater). Den fria stationen kan ställas upp inom eller utanför detaljmätningsområdet. Kontrollpunkterna mäts in från minst två oberoende stationsetableringar.



Figur 15. Optimal konfiguration av fem kontrollpunkter (stjärnor) för en enskild station som har bestämts mot fyra bakåtoobjekt (kvadrater). Kontrollpunkterna mäts in från minst två oberoende stationsetableringar.



Stationsetablering genom kombinerad mätning med GNSS/RTK och totalstation

En station för terrester detaljmätning kan även beräknas med *kombinerade terrestra och GNSS-baserade metoder*, t.ex. RUFRIIS (Realtids-uppdaterad fri station, [9]). Då är stationsetablering, felkontroll och skattning av lägesosäkerheten integrerade i metoden.

Komplettering av utgångspunkter

Ibland finns det inte tillräckligt många utgångspunkter för att detaljmätningen ska kunna genomföras. Punkterna kan också vara olämpligt placerade i förhållande till detaljpunkterna. Då måste fler utgångspunkter bestämmas, vilket kan ske på flera olika sätt – allt ifrån regelrätt *stommätning* och varaktiga markeringar till enstaka, ibland tillfälliga, punkter inom detaljmätningsområdet.

Stomnätsförtätning utförs vanligen som ett separat uppdrag och behandlas i HMK – Stommätning 2021, avsnitt 3.2.5. Komplettering av

utgångspunkter – som inte avser nyetablering av stompunkter – kan dock utföras inom ramen för detaljmätningen.

Kompletteringen kan göras som en särskild, inledande åtgärd – traditionellt genom *avvägning* i höjd och *polygontåg* i plan, eller mer ”tidsenligt” med GNSS/RTK-teknik.

Det effektivaste torde dock vara komplettering av utgångspunkter integrerat med detaljmätningen. Detaljmätningens stationer är ett antal fria stationer som tillsammans kan användas för att etablera ett fri-stationsnät genom successiva *polärmätningar*.

Slutord

Så, för att återknyta till bilagans inledning: Oavsett upplägg så kan mätningen utföras i ett sammanhang, dvs alla punkter mäts in polärt – i plan och höjd – och i efterhand kan det beslutas exakt vilken eller vilka funktioner en viss punkt ska få.

De punkttyper som främst är aktuella är, se Bilaga E:

- bakåtojekt för stationsetablering/detaljmätning; befintliga stompunkter och utgångspunkter bestämda för det aktuella projektet – samt ev. försäkringspunkter till dessa (primärt för punkter i höjdnät)
- kontrollpunkter för verifiering/kontroll av mät- och lägesosäkerheten.

Epilog: En reflektion

Givet att inmätningen sker i ett sammanhang – som polära ”punktsvärmar” av detaljpunkter, bakåtojekt, utgångspunkter och kontrollpunkter – kan metodiken relateras till:

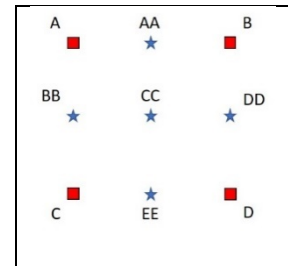
- **Terrester laserskanning**, med punktmoln samt registrering och anslutning av sådana. Anslutningen kan ske stationsvis eller genom att ett antal punktmoln först registreras ihop och sedan ansluts gemensamt, i ett steg. Detaljmätningens signaler motsvaras av måltavlor vid laserskanning och inga uppställningar görs över kända utgångspunkter. Överlapp mellan stationer krävs. (Förhållandena är snarlika för **flyg- och fordonsburen laserskanning**.)
- **Geodetisk stommätning** (i synnerhet i form av fri-stationsnät och väggpunktsnät). Inga uppställningar görs över kända punkter och mätningen utförs från ett godtyckligt antal fritt placerade stationer. Både utgångs- och nypunkter mäts in polärt.
- **Fotogrammetrisk geodatainsamling**. All datainsamling sker i ett sammanhang, vid flygfotograferingen. Stöd- och

kontrollpunkter är konfigurerade i standardiserade strukturer. Standardvärden finns för övertäckning längs och tvärs flygstråken. Beräkningen utförs som blocktriangulering eller modellvis hantering av *data* (relativ + absolut orientering).

Bilaga E: Exempel på kontroll/verifiering av terrester detaljmätning

Ett detaljmättningsområde innehåller fyra utgångspunkter (röda kvadrater, A-D) och fem kontrollpunkter (blå stjärnor, AA-EE) – samt ett oräkneligt antal detaljpunkter, som inte ingår i denna studie. Origo tänker vi oss nära tyngdpunkten CC. Utgångspunkterna har följande koordinater/höjder (Tabell E.1):

Punkt	Northing	Easting	Höjd
A	50,0037	-49,9941	10,0012
B	50,0050	50,0072	9,9964
C	-49,9964	-49,9907	9,9998
D	-50,0108	50,0075	10,0045



E.1 Detaljmätning i plan

Stationsetablering

En totalstation ställs upp utanför detaljmättningsområdet. Samtliga nio punkter mäts in polärt. Sedan ansluts stationen till referenssystemet genom en inpassning med de fyra utgångspunkterna A-D som passpunkter. Ett försök med en Helmert-transformation visade att det inte fanns någon signifikant skalskillnad mellan mätningarna och referenssystemet, varför en tre-parameter, unitär transformation valdes istället.

Viktsenhetens standardosäkerhet vid inpassningen uppgick till $u_o = 0,0039$ meter och programsystemet GTRANS redovisade följande analysdata för passpunkterna:

```

RESTFEL          UNITÄR
                  Datasnooping (plan).
                  Test av T > F(2,2*Np - 3 - 2) 5% =          9.55
                  Antal punkter där Testkvot > F =          1
                  Flagga i högra kanten: V= ej passpunkt, > F= stort T

Pnr              vx              vy              ex              ey              T
A                -.0036          .0010          -.0057          .0004          .57
B                -.0031          .0023          -.0059          .0048          .92
C                .0004          -.0005          .0008          -.0010          .02
D                .0063          -.0027          .0096          -.0024          11.23 > F
    
```

(Som synes finns det en felflagga för inmätningen av punkt D.)

De nio punkterna fick följande koordinater vid användning av den framtagna transformationsformeln (Tabell E.2):

Punkt	N	E
A	50,0001	-49,9931
B	50,0019	50,0095
C	-49,9960	-49,9912
D	-50,0045	50,0048
AA	50,0005	0,0058
BB	0,0011	-49,9882
CC	-0,0016	0,0142
DD	-0,0045	50,0061
EE	-49,9966	0,0166

Kontrollmätning

Efter denna stationsetablering genomfördes detaljmätningen. Därpå etablerades en ny station för kontrollmätning. Viktsenhetens standardosäkerhet denna gång blev $u_o = 0,0069$ meter och beträffande residualerna redovisades följande information:

```

RESTFEL          UNITÄR
                  Datasnooping (plan).
                  Test av T > F(2,2*Np - 3 - 2 ) 5% =      9.55
                  Antal punkter där Testkvot > F =      1
                  Flagga i högra kanten: V= ej passpunkt, > F= stort T

Pnr              vx              vy              ex              ey              T
A                -.0031         -.0011         -.0056         -.0029         .14
B                -.0089          .0021         -.0155         .0065         2.55
C                 .0022         -.0052         .0053         -.0093         .49
D                 .0099          .0041         .0179         .0102         15.18 >F
  
```

(Även här fick vi en felflagga för punkt D.)

Nu fick de nio punkterna följande, något förändrade, transformerade koordinater (Tabell E.3):

Punkt	N	E
A	50,0006	-49,9952
B	49,9961	50,0093
C	-49,9942	-49,9959
D	-50,0009	50,0116
AA	49,9976	0,0117
BB	0,0031	-49,9945
CC	0,0043	0,0040
DD	-0,0019	50,0092
EE	-50,0069	0,0023

Skillnaderna mellan de två bestämningarna av kontrollpunkterna AA-EE uppgick till (Tabell E.4):

	N	E	Radiellt
AA	-0,0029	0,0059	0,0066
BB	0,0020	-0,0063	0,0066
CC	0,0058	-0,0102	0,0117
DD	0,0026	0,0031	0,0040
EE	-0,0104	-0,0142	0,0176
RMS	0,0057	0,0088	0,0105
Medelavvikelse	-0,0006	-0,0043	0,0043

För att få en någorlunda oberoende kontroll har de passpunkter som styrt inpassningen inte tagits med i sammanställningen, men riktigt oberoende blir naturligtvis inte de båda bestämningarna eftersom stationsetableringarna baseras på samma utgångspunkter. Vi finner att:

- Den största avvikelsen (i punkt EE) uppgår till 17,6 mm radiellt.
- Det radiella RMS-värdet, för alla kontrollpunkter, är 10,5 mm.
- Den radiella medelavvikelsen är 4,3 mm.

Just dessa storheter tas upp i Bilaga C.2 tillsammans med formler för att beräkna toleransen vid kontroll av lägesosäkerheten. Eftersom det rör sig om differensen mellan två mätningar med samma mätosäkerhet så är det toleranserna i Bilaga C.2 d.3) som ska användas.

En bättre bestämning av kontrollpunkternas läge erhålls genom beräkning av medeltalet av koordinatvärdena i Tabell E.2 och Tabell E.3. Lägesosäkerheten för detta medeltal kan också skattas, se beräkningen av $u(plan)$ nedan.

Analys av osäkerheten i stationsetableringen

Det går att visa att detaljmätningens lägesosäkerhet är minst i utgångspunkternas tyngdpunkt, dvs. i närheten av punkt CC. Detta minimum kan uppskattas till

$$u(min) = u_o \sqrt{(2/n)}$$

där u_o är viktsenhetens standardosäkerhet och n är antalet passpunkter. 2:an under rottecknet betyder att det rör sig om 2D, dvs. mätning i plan.

Om vi tar det kvadratiske medeltalet av de två bestämningarna av u_o i vårt exempel får vi genomsnittsvärdet

$$\bar{u}_o = \sqrt{(3,9^2 + 6,9^2)/2} = 5,6 \text{ mm}$$

dvs.

$$u(min) = 5,6 \sqrt{(2/4)} = 4,0 \text{ mm}$$

Det innebär att

- **detaljmätningens standardosäkerhet i plan är $\geq 4,0$ mm.**

Övriga delar av detaljmätningens område har alltså en större lägesosäkerhet än så. Även om detta är en statistisk skattning - inte en matematiskt korrekt storhet - så bör en varningsklocka ringa om min-värdet ligger för nära den lägesosäkerhet som har specificerats för detaljmätningen i fråga. Då kan det bli svårigheter att uppfylla kravet.

Detta eftersom $u(min)$ är stationsetableringens bidrag till den totala lägesosäkerheten, så det värdet blir det svårt att komma under vid detaljmätningen. Min-värdet påverkas dock inte av instrumentets placering i förhållande till detaljpunkten, se Bilaga D.

Analys av detaljmätningens lägesosäkerhet

För att skatta den genomsnittliga lägesosäkerheten inom detaljmätningens område använder vi återigen resultatet från Tabell E.4.

RMS-värdet för kontrollpunkterna i tabellen avser skillnaden mellan de två lägesbestämningarna. En skattning av den genomsnittliga lägesosäkerheten i plan för en enskild kontrollpunkt ges därför av uttrycket

$$u(plan) = RMS/\sqrt{2} = 10,5/\sqrt{2} = 7,4 \text{ mm}$$

dvs.

- **detaljmätningens genomsnittliga standardosäkerhet i plan - beräknat med hjälp av kontrollpunkterna, dvs. under ideala förhållanden - kan skattas till $u(plan) = 7,4 \text{ mm}$.**

och vi konstaterar att detta värde är något högre än det nyss beräknade min-värdet $u(min)$.

"Ideala förhållanden" innebär, se avsnitt 2.1.1, att de inmätta detaljerna är tydligt definierade, att mätutrustning är väl fungerande och hanteras på ett korrekt sätt samt att eventuell negativ påverkan från den omgivande mätmiljön är begränsad eller hanterad.

Beroende på de inmätta objektens beskaffenhet kan standardosäkerheten inom datamängden därför variera enligt:

$$u(detalj/2D) = \sqrt{u^2(plan) + u^2(miljö) + u^2(ID)}$$

där $u(miljö)$ avser mätmiljöns påverkan och $u(ID)$ anger hur exakt en detaljpunkt kan identifieras (jfr. trädstam, kantsten, hushörn etc.).

Analys av mätosäkerheten

Mätningarna kan även användas till att skatta mätosäkerheten. Det gör vi genom en inpassning direkt mellan de två uppsättningarna polär-mätningar i Tabell E.2 och Tabell E.3. Det ger en jämförelse mellan de två "punktsvärmen" - utan koppling till något referenssystem och kända utgångspunkter över huvud taget! Det isolerar alltså mätosäkerheten, som därigenom går att skatta.

Här beräknar GTRANS värdet $u_o = 0,0063$ meter på viktsenhetens standardosäkerhet samt följande analysdata för passpunkterna:

```

RESTFEL          UNITÄR
                  Datasnooping (plan).
                  Test av T > F(2,2*Np - 3 - 2 ) 5% =      3.81
                  Antal punkter där Testkvot > F =      1
                  Flagga i högra kanten: V= ej passpunkt, > F= stort T

Pnr              vx              vy              ex              ey              T
A                .0008            .0013            .0012            .0017            .04
B                .0039            -.0006            .0049            -.0013            .23
C               -.0005            .0006            -.0006            .0008            .01
D               -.0055            -.0109            -.0084            -.0144            3.42
AA              .0026            -.0067            .0029            -.0083            .78
BB              -.0007            .0039            -.0008            .0044            .20
CC              -.0061            .0078            -.0069            .0088            1.50
DD              -.0045            -.0055            -.0056            -.0062            .73
EE              .0101            .0102            .0113            .0127            4.55 >F

```

Värdet 0,0063 meter (6,3 mm) kan visas vara det genomsnittliga värdet på den två-dimensionella standardosäkerheten för en polärbestämning av en punkt - med denna instrumentering, denna punktconfiguration och inom detta detaljmätningssområde.

Egentligen är det alltså den genomsnittliga standardosäkerheten för de två berörda "systemen", men här rör det sig ju om samma system i två versioner. Dvs.

- **polärmätningen - exkl. anslutning/stationsetablering - har en uppskattad standardosäkerhet i plan på $u(mät) = 6,3$ mm.**

Analysens relevans

Siffrorna i exemplet ovan är simulerade värden där polärmätningens standardosäkerhet har satts till 5 millimeter och utgångspunkternas dito till 10 millimeter. Ur detta kan simuleringens motsvarigheter till skattningarna $u(min)$ och $u(mät)$ beräknas; att beräkna $u(plan)$ är lite mer komplicerat. En sammanställning av dessa storheter redovisas i nedanstående tabell (Tabell E.5).

Storhet	Skattat (mm)	Simulerat
		Teoretiskt (mm)
$u(min)$	4,0	7,9
$u(plan)$	7,4	Komplicerat att beräkna men $> \sqrt{7,9^2 + 5,0^2} = 9,3$
$u(mät)$	6,3	5,0

Där har inte de "felflaggor" som GTRANS har redovisat beaktats. De ska naturligtvis analyseras närmare och indikerar problem vad gäller

punkt D:s koordinater samt mätningarna mot punkt EE, vilket kan ha påverkat skattningarnas storlek jämfört med de teoretiska värdena.

E.2 Detaljmätning i höjd

Låt oss nu gå igenom samma analysprocess för höjdmätningen. Den antas här ske genom trigonometrisk höjdmätning, samtidigt som mätningen i plan. Det skulle dock lika gärna ha kunnat vara en separat detaljmätning, utförd som avvägning, och den behandlas därför separat; även programmet GTRANS gör separata redovisningar av plan och höjd, också i de fall mätningarna utförs samtidigt.

Stationsetablering

Proceduren blir densamma. Samtliga nio punkter höjdbestäms. Sedan ansluts instrumentet till höjdsystemet genom en translation, med de fyra utgångspunkterna som passpunkter. Ett alternativ som också finns i GTRANS är "lutande plan", men det har inte använts här. Det är alltså bara en (1) parameter som ska skattas.

Viktsenhetens standardosäkerhet vid translationsberäkningen uppgick till $u_0 = 0,0025$ meter och programmet redovisade följande analysdata:

```

RESTFEL HÖJD      TRANSLATION
                   Datasnooping (höjd).
                   Test av T > F(1,Nh - 1 - 1 ) 5% =      18.51
                   Antal punkter där Testkvot > F =      0
                   Flagga i högra kanten: V= ej passpunkt, > F= stort T

Pnr                vH                eH                T
A                  -.0005            -.0006            .03
B                   .0035            .0047            13.05
C                  -.0006            -.0008            .05
D                  -.0025            -.0033            1.49
    
```

De nio punkterna fick följande transformerade höjdvärden (Tabell E.6):

Punkt	Höjd
A	10,0007
B	9,9999
C	9,9992
D	10,0020
AA	10,0030
BB	9,9992
CC	9,9994
DD	9,9984
EE	10,0036

Kontrollmätning

Efter stationsetableringen genomförs höjdmätningen av detaljerna. Därpå görs en ny instrumentuppställning för kontrollmätning. Viktsenhetens standardosäkerhet blev nu $u_o = 0,0030$ meter och för residualerna redovisades följande information (med en felflagga för punkt B):

```
RESTFEL HÖJD      TRANSLATION
                   Datasnooping (höjd).
                   Test av T > F(1,Nh - 1 - 1 ) 5% =      18.51
                   Antal punkter där Testkvot > F =      1
                   Flagga i högra kanten: V= ej passpunkt, > F= stort T

Pnr                vH                eH                T
A                  -.0005            -.0006            .02
B                  .0044              .0059            33.05 >F
C                  -.0018            -.0024            .36
D                  -.0022            -.0029            .59
```

Denna gång fick de nio punkterna följande höjdvärden (Tabell E.7):

Punkt	Höjd
A	10,0007
B	10,0008
C	9,9980
D	10,0023
AA	10,0012
BB	10,0017
CC	10,0013
DD	9,9981
EE	10,0036

Skillnaderna mellan de två höjdbestämningarna av kontrollpunkterna AA-EE uppgick till (Tabell E.8):

	Skillnad
AA	-0,0018
BB	0,0025
CC	0,0019
DD	-0,0003
EE	0
RMS	0,0016
Medelavvikelse	0,0005

Vi finner att:

- Den största avvikelsen (i punkt BB) uppgår till 2,5 mm.
- RMS-värdet, för alla kontrollpunkter, är 1,6 mm.
- Medelavvikelsen är 0,5 mm.

Eftersom det även här är differensen mellan två mätningar med samma mätosäkerhet så är det toleranserna i Bilaga C.2 d.3) som ska användas vid kontroll av mätningarna.

En bättre bestämning av kontrollpunkternas läge erhålls genom beräkning av medeltalet av höjdvärdena i Tabell E.6 och Tabell E.7. Lägesosäkerheten för detta medeltal kan också skattas, se beräkningen av $u(\text{höjd})$ nedan.

Analys av osäkerheten i stationsetableringen

Höjdmätningens minimum kan uppskattas till

$$u(\text{min}) = u_o \sqrt{(1/n)}$$

där n är antalet passpunkter. 1:an betyder att det i det här fallet rör sig om 1D, dvs. höjdmätning. Om vi tar det kvadratiske medeltalet av de två bestämningarna av u_o i exemplet får vi

$$\bar{u}_o = \sqrt{2,5^2 + 3,0^2} = 3,9 \text{ mm}$$

dvs.

$$u(\text{min}) = 3,9 \sqrt{(1/4)} = 2,0 \text{ mm}$$

eller

- detaljmätningens standardosäkerhet i höjd är $\geq 2,0$ mm.

Även här avser $u(\min)$ stationsetableringens bidrag till detaljmätningens totala lägesosäkerhet. Det värdet blir det alltså svårt att underskrida, men till skillnad mot mätningen i plan så är $u(\min)$ konstant över detaljmätningens område. Det är helt enkelt instrumentets standardosäkerhet i höjd i det aktuella höjdsystemet.

Analys av detaljmätningens lägesosäkerhet

Skattningen av lägesosäkerheten i höjd kan utföras på samma sätt som i plan – dvs. genom att återanvända jämförelsen i Tabell E.8, vilket ger

$$u(\text{höjd}) = RMS/\sqrt{2} = 1,6/\sqrt{2} = 1,1 \text{ mm}$$

Sammantaget finner vi att:

- **detaljmätningens genomsnittliga lägesosäkerhet i höjd – beräknat med hjälp av kontrollpunkterna, dvs. under ideala förhållanden – kan skattas till $u(\text{höjd}) = 1,1 \text{ mm}$.**

Beroende på objektens beskaffenhet kan dock standardosäkerheten variera enligt:

$$u(\text{detalj}/1D) = \sqrt{u^2(\text{höjd}) + u^2(\text{miljö}) + u^2(ID)}$$

Analys av mätosäkerheten

För att skatta mätosäkerheten gör vi en translation mellan de två uppsättningarna höjdvärden i Tabell E.6 och Tabell E.7. Det ger en jämförelse utan koppling till vare sig höjdsystem eller kända utgångspunkter och isolerar därför osäkerheten i höjdmätningen.

Här ger oss GTRANS värdet $u_o = 0,0014$ meter på viktsenhetens standardosäkerhet. Detta värde (1,4 mm) är den genomsnittliga standardosäkerheten för skillnaden i höjdbestämningen av en punkt – under de förhållanden som råder i detta exempel. Standardosäkerheten för höjdbestämningen av en enskild punkt ges alltså av uttrycket

$$u(\text{mät}) = RMS/\sqrt{2} = 1,4/\sqrt{2} = 1,0 \text{ mm}$$

Dessutom redovisas följande analysdata för passpunkterna:

RESTFEL HÖJD	TRANSLATION		
	Datanoooping (höjd).		
	Test av T > F(1,Nh - 1 - 1) 5% = 5.59		
	Antal punkter där Testkvot > F = 0		
	Flagga i högra kanten: V= ej passpunkt, > F= stort T		
Pnr	vH	eH	T
A	.0003	.0003	.03
B	-.0006	-.0007	.23
C	.0015	.0016	1.33
D	.0000	-.0001	.00
AA	.0021	.0023	3.27
BB	-.0022	-.0025	4.28
CC	-.0016	-.0018	1.79
DD	.0006	.0006	.17
EE	.0003	.0003	.03

Inga mätningar flaggas för misstänkt grovt fel, så överskridandet i den andra mätningen mot punkt BB ovan syns inte i jämförelsen.

Vi får sammantaget att

- **höjdmätningen - exkl. anslutningen/stationsetableringen - har en uppskattad standardosäkerhet $u(mät) = 1,0$ mm.**

Analysens relevans

Vid simuleringen har höjdmätningens standardosäkerhet satts till 2 millimeter och utgångspunkternas till 3 millimeter. Därur kan de teoretiska motsvarigheterna till $u(min)$, $u(höjd)$ och $u(mät)$ beräknas.

Följande tabell ger en sammanställning av dessa storheter (Tabell E.9):

Storhet	Skattat (mm)	Simulerat
		teoretiskt (mm)
$u(min)$	2,0	1,8
$u(höjd)$	1,1	$\sqrt{1,8^2 + 2,0^2} = 2,7$
$u(mät)$	1,0	2,0

Inte heller i detta fall har GTRANS "felflaggor" beaktats. De indikerar ett marginellt problem vad gäller mätningen mot punkt D vid kontrollmätningens stationsetablering. Detta kan ha påverkat skattningarnas storlek jämfört med de teoretiska värdena.

E.3 Slutord

Det bör noteras att det statistiska underlaget här är alltför begränsat för att dra några långtgående slutsatser. Det beror på att det är väldigt få punkter i dessa, mer principiella beräkningsexempel. Antalet kontrollpunkter bör t.ex. vara > 20 , jfr. [HMK - Geodatakvalitet 2017](#), Bilaga A.2-A.4.

Eftersom både detaljmätningstationen och kontrollmätningstationen är etablerade mot exakt samma utgångspunkter så blir skattningarna av kontrollpunkternas läge dessutom korrelerade, och skillnaden mellan dem troligen underskattad. Det kan i sin tur innebära att skattningarna av detaljmätningens lägesosäkerhet - $u(plan)$ och $u(höjd)$ - blir för små. Inom större detaljmätningsområden reduceras dock problemet: korrelationen bli mindre eftersom olika utgångspunkter kommer att användas i stationsetableringarna, och därför blir skattningarna av lägesosäkerheten bättre.

Sättet att skatta mätosäkerheten är dock tämligen motsägelsefritt eftersom de två mätserierna då är helt oberoende - av varandra och av ut-

gångspunkterna. Detta under förutsättning att felflaggade mätningar har analyserats, och eventuellt eliminerats.

Med hänsyn tagen till det nyss nämnda pekar siffrorna i exemplet i rätt riktning och indikerar att analysmetoderna fungerar i praktiken. Detta förfarande kan även användas för att generellt verifiera mätmetoders kvalitetsegenskaper – i t.ex. utvecklingsarbete och vid framtagning av råd och anvisningar för olika typer av mättningsverksamhet.

Bilaga F: Mätprocessen vid inmätning med totalstation

En generell arbetsprocess för inmätning från en fri station i plan sammanfattas i nedanstående punktlista – som också kan utgöra stommen för planering och arbetsdokumentation. Processbeskrivningen är även – efter viss anpassning – avsedd som ett stöd för andra tillämpningar av terrester detaljmätning.

Observera att det inte är säkert att samtliga steg förekommer i alla projekt – beroende på vilken utrustning som används och förutsättningarna i det enskilda fallet. Den exakta ordningen i vilken stegen i processen utförs kan också variera. Projektets olika delar behöver därför planeras och genomföras med övriga steg i åtanke.

I moderna instrument – med en hög datoriseringsnivå, dvs. med programvaror för beräkning och analys integrerade i instrumentet – kan de moment som tidigare utfördes i efterhand nu ofta genomföras redan i fält.

Planering och förberedelser

1. Beskriv ändamålet med detaljmätningen. Det underlättar tolkningen av kraven i den tekniska specifikationen och därmed också den fortsatta planeringen.
2. Tydliggör roller, ansvarsförhållanden, tidplan och övriga förutsättningar, se kapitel 3.
3. Se till att produktkraven finns specificerade, oavsett om mätningen sker som beställaruppdrag eller i egen regi, se kapitel 3.
4. Planera hur olika objekttyper ska representeras, t.ex. enligt specificerade mätningsanvisningar, se avsnitt 3.1.
5. Sammanställ det underlag rörande detaljmätningområdet som kan påverka genomförandet. Använd beställarens utgångsmaterial, kartor/flygbilder och befintlig stomnätsinformation. Beakta särskilt siktmöjligheterna, risken för tillfälliga hinder, satellitförhållandena (vid kombinerad mätning med GNSS/RTK och totalstation) samt statusen på befintliga utgångspunkter och annan tillgänglig geodetisk infrastruktur för inmätning av nya utgångspunkter, se avsnitt 3.2.
6. Planera läget och mätmetod för ev. etablering av nya utgångspunkter så att detaljmätningområdet täcks in, se avsnitt 3.2

7. Identifiera väldefinierade punkter för kontroll av detaljmätningens lägesosäkerhet. Dessa kontrollpunkter ska kunna mätas in från minst två olika uppställningar, se avsnitt 3.2.3.
8. Planera instrumentuppställningsplatser för detaljmätningen, se avsnitt 3.2.2, med god sikt mot detaljpunkter och utgångspunkter samt ett överlappande område med kontrollpunkter mellan intilliggande uppställningar, se avsnitt 3.2.3.
9. Planera vilka mätinstrument, tillbehör och programvaror som ska användas och se till att dessa är servade, uppdaterade och i gott skick, se avsnitt 3.3.
10. Sätt upp toleranser för kontrollmätningen, beräknade ur kraven på detaljmätningens lägesosäkerhet och kontrollmätningens mätosäkerhet, se avsnitt 4.4.3.
11. Dokumentera planeringen, åtminstone internt, se Bilaga B.1.

→ **Avstämning med beställare**

Totalstationsmätning/fältarbete (motsvarande gäller även för avvägning)

12. Kontrollera och justera mätinstrument, se avsnitt 3.3, och inställningar för detaljmätningen, se avsnitt 4.1.
13. Vidta säkerhetsåtgärder, se avsnitt 3.2.2 och avsnitt 3.3.1.
14. Markera (eventuella) kompletterande punkter som kan användas som nya utgångspunkter eller kontrollpunkter, se avsnitt 4.2. Inmätningen av dessa kan ske som en separat, inledande åtgärd eller inkluderas i detaljmätningen.
15. Ställ upp instrumentet – företrädesvis som en fri station, eventuellt över en enkel markering som används för kontroll av rörelser på stativet under mätningens gång, se avsnitt 4.3.1.
16. Börja med att mäta in en väldefinierad utgångspunkt. Mät sedan in denna kontinuerligt under detaljmätningen, som ytterligare kontroll av att instrumentet inte rört sig under mätningen, se avsnitt 4.3.6.
17. Mät in övriga utgångspunkter med totalstationen, se avsnitt 4.3.2 – eller avsnitt 4.3.3 för kombinerad mätning med GNSS-/RTK och totalstation.
18. Beräkna om möjligt en preliminär stationsetablering baserat på alla utgångspunkter som bakåtojekt, se avsnitt 4.3.2. Eftersom utgångspunkterna kan vara åtskilda i plan och höjd kan även stationsetableringen vara det – t.ex. över känd punkt i plan och fri i höjd eller tvärtom.
19. Genomför inmätningen av detaljer, se avsnitt 4.3.4.

20. Mät in kontrollpunkterna från steg 7 och se till att samtliga mätningar mot samma punkt sparas och kan jämföras i efterhand, se avsnitt 4.3.5.
21. Gör en visuell inspektion i instrumentets kartfönster. Ev. kompletterande mätning efter inspektionen, se avsnitt 4.3.6.
22. Avsluta med att mäta in utgångspunkten från steg 16 igen. Jämför resultatet med den första mätningen, som kontroll av att instrumentet inte har rört sig. Kontrollera även eventuell centrerings och instrumenthöjd, se avsnitt 4.3.6.
23. Dokumentera uppställningen, se Bilaga B.2.
24. Flytta till nya uppställningsplatser och upprepa steg 15–23 för resterande uppställningar, tills detaljmätningen är klar.
25. Jämför mätningarna på kontrollpunkterna mot aktuell tolerans, se steg 10 och Bilaga C d.3).
26. Åtgärda eventuella ommätningar med anledning av kontrollresultatet.

→ **Avstämning med beställare**

Efterbearbetning (efter avslutat fältarbete)

27. Slutberäkna nyetablerade utgångspunkter, se avsnitt 4.2.
28. Slutberäkna stationsetableringar och detaljmätningar med alla äldre och (eventuella) nymätta utgångspunkter som bakåtojekt, se avsnitt 4.4.1.
29. Kontrollera kvaliteten på utgångspunkterna och ta bort avvikande punkter, se avsnitt 4.4.2.
30. Kontrollera mätningarna på motsvarande sätt, t.ex. med data-snooping.
31. Jämför mätningarna mot kontrollpunkterna och gör en uppskattning av detaljmätningens relativa lägesosäkerhet, se avsnitt 4.4.3.
32. Dokumentera och redovisa resultat och genomförda kontroller, se Bilaga B.3.

→ Slutredovisning

Bilaga G: Kort ordlista till handboken

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

Fler termer och förkortningar finns i [HMK – Ordlista och förkortningar](#), som är övergripande för hela HMK-serien.

Term	Förklaring
<i>bakåttobjekt</i>	<i>utgångspunkt</i> vid etablering av totalstation, t.ex. stompunkt eller RTK-bestämd position (vid <i>kombinerad mätning</i>)
<i>detalj­mätning</i>	<i>inmätning</i> eller <i>utsättning</i> av objekt i ett referenssystem med hjälp geodetisk eller fotogrammetrisk mätningsteknik
<i>detalj­punkt</i>	det läge på ett objekt som mäts in eller sätts ut och som utgör del av en <i>objektgeometri</i>
<i>egenkontroll</i>	kontroller i utförarens regi; kan vara del av arbetsrutin, teknisk specifikation eller annan kravställning
<i>fri station</i>	<i>stationsetablering</i> mot <i>bakåttobjekt</i> utan att stå på markerad punkt
<i>inmätning</i>	geodetisk mätning i syfte att bestämma koordinater och/eller höjder på objekt; jfr. <i>utsättning</i>
<i>kombinerad mätning</i>	<i>detalj­mätning</i> där två eller flera mätningstekniker kombineras; avser främst totalstation och RTK
<i>kontroll­punkt</i>	punktformat <i>kontroll­objekt</i> för lägeskontroll
<i>korrektioner</i>	(inom geodesin) geometriska justeringar som utförs av mätningar, t.ex. på grund av atmosfärspåverkan samt för att mätningarna ska överensstämma med vald kartprojektion.
<i>lodstång</i>	stång med toppmonterat mätinstrument eller signal; används vid detaljmätning av objekt i marknivå

<i>mätosäkerhet</i>	ett sätt att beskriva spridningen av värden i samband med någon form av mätning; jfr. standardosäkerhet
<i>objektgeometri</i>	den kombination av punkter, linjer, ytor och kroppar som används för att representera ett objekt digitalt
<i>stationsetablering</i>	anslutning av mätinstrument till ett referenssystem vid terrester <i>detalj</i> mätning
<i>SWEREF 99</i>	den svenska realiseringen av det europeiska referenssystemet ETRS89
<i>terrester mätning</i>	mätning som utförs med markplacerade <i>sensorer</i> , t.ex. avvägningsinstrument, totalstation eller laserskanner
<i>tolerans</i>	ett krav på maximalt tillåten avvikelser, eller en specifikation av den variation som kan förväntas i ett visst sammanhang
<i>trigonometrisk höjdbestämmning</i>	höjdbestämmning med totalstation; alternativ till avvägning
<i>utgångspunkt</i>	(inom geodesin) punkt med kända koordinater/höjder som används för att ansluta geodetiska mätningar till ett referenssystem
<i>utsättning</i>	geodetisk mätning i syfte att markera givna koordinater och/eller höjder i terrängen; jfr. <i>inmätning</i>

Bilaga H: God mätsed

God mätsed (Engberg & Persson, 2010, [12]) 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.

