

HMK
- handbok i mät- och kartfrågor

Geodetisk infrastruktur

2020



Förord till version 2020

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

Revideringsarbetet har utförts av följande arbetsgrupp:

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

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

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

Gävle 2020-06-01

Lars Jämtnäs

Innehållsförteckning

Förord till version 2020	3
1 Inledning	6
1.1 Om dokumentet	6
1.2 Om Handbok i mät- och kartfrågor	7
2 Introduktion till referenssystem för geografisk lägesbestämning	9
2.1 Referenssystem och referensnät.....	9
2.1.1 Dimension och geografisk utbredning	10
2.1.2 Referensytor och jordmodeller	11
2.1.3 Hantering av jordens dynamik.....	13
2.1.4 Geografiska koordinatsystem	15
2.1.5 Geodetiska referensnät.....	16
2.2 Kartprojektioner	17
2.2.1 Grundprinciper	18
2.2.2 Avbildningsfel.....	19
2.2.3 Vanligt förekommande kartprojektioner	19
2.3 Koordinattransformationer	23
2.3.1 Överräkning.....	23
2.3.2 Inpassningstransformation.....	24
2.4 Geodetisk mättnings- och beräkningsteknik.....	26
2.4.1 Geodetisk mätning.....	26
2.4.2 Mät- och lägesosäkerhet i geodesi.....	27
2.4.3 Höjd- och projektkorrektioner.....	28
2.5 Sammanfattning	30
3 Nationell geodetisk infrastruktur	31
3.1 SWEREF 99 – referenssystem i plan.....	32
3.1.1 Systemdefinition och egenskaper.....	32
3.1.2 Kartprojektioner	34
3.1.3 Referensnät för mätning i SWEREF 99	36
3.1.4 Nationell förvaltning	38
3.1.5 SWEREF 99 i ett internationellt perspektiv.....	39
3.2 RH 2000 – referenssystem i höjd.....	41
3.2.1 Systemdefinition och egenskaper.....	41
3.2.2 Referensnät för mätning i RH 2000	44
3.2.3 Nationell förvaltning	45

3.2.4	RH 2000 i ett internationellt perspektiv.....	46
3.3	SWEPOS - ett aktivt nät av fasta referensstationer för GNSS....	47
3.3.1	Stationsklassificering och förvaltning.....	48
3.3.2	Rikstäckande tjänster för GNSS-mätning.....	52
3.3.3	SWEPOS i ett internationellt perspektiv.....	52
3.4	Nationella modeller för geoid och landhöjning	54
3.4.1	Nationell geoidmodell.....	54
3.4.2	Landhöjningsmodell.....	55
3.5	Lantmäteriets stödtjänster och rådgivning	57
3.5.1	Stompunktsinformation.....	57
3.5.2	Koordinattransformation.....	58
3.5.3	Rådgivning.....	58
4	Lokal geodetisk infrastruktur	59
4.1	Stomnät för samhällsbyggnad	60
4.1.1	Terrestra 2D-nät	61
4.1.2	GNSS-nät.....	64
4.1.3	Höjdnät.....	65
4.1.4	Stomnät för anläggning av infrastruktur	65
4.1.5	Specialnät	67
4.1.6	Stompunktsmarkering	67
4.2	Förvaltning av lokal geodetisk infrastruktur.....	69
4.2.1	Passiv realisering av SWEREF 99	70
4.2.2	Lokal förtätning av RH 2000	73
4.2.3	Långsiktig planering av geodetisk infrastruktur	76
4.3	Fristående referenssystem och stomnät.....	77
4.3.1	Byggmätning och byggnät.....	77
4.3.2	BIM - Building Information Modelling.....	78
4.3.3	Fristående system för fastighetsbildning	78
5	Referensförteckning.....	81
5.1	Referenser i löptext, figurer m.m.....	81
5.2	Lästips, webbsidor m.m.	82
Bilaga A	Checklistor/lathundar	83
A.1	Koordinattransformation.....	83
A.2	Förvaltning av lokal geodetisk infrastruktur.....	84
A.3	Schablonmässig mät- och lägesosäkerhet	85

1 Inledning

1.1 Om dokumentet

Syfte, disposition och avgränsningar

HMK – Geodetisk infrastruktur 2020 syftar till att ge aktuell information om den geodetiska infrastrukturen som kan användas för geografisk lägesbestämning i Sverige.

[Kapitel 2](#) ger en introduktion till geodesi och geografisk lägesbestämning. Med denna allmänna grund kan läsaren lättare tillgodogöra sig beskrivningarna av nationell och lokal geodetisk infrastruktur – i [kapitel 3](#) respektive [kapitel 4](#) – samt förstå hur sådan infrastruktur kan etableras och utnyttjas på ett ändamålsenligt sätt, t.ex. för den geodetiska mätning eller geodatainsamling som beskrivs i andra HMK-dokument.

Sammanfattande informationsrutor finns i början av numrerade avsnitt. Frånsett kapitel 2 är inte dokumentet avsett som en lärobok. Vid behov av vidare fördjupning rekommenderas referensförteckningen i [kapitel 5](#). Referenser i löptext är markerade med hakparenteser.

Bilagorna innehåller checklistor för koordinattransformationer och förvaltning av lokal geodetisk infrastruktur, samt en lathund med de ungefärliga lägesosäkerheter som kan förväntas vid användning av olika geodetisk infrastruktur.

Terminologi och nyckelord

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

- HMK försöker följa vedertagen terminologi inom berörda områden, men det finns ingen ambition att HMK ska vara generellt normerande.
- Om entydig terminologistandard saknas – t.ex. inom helt nya teknikområden – så tillämpar HMK den vanligast förekommande termen.
- Om det finns motsägelser mellan olika standarder så har det gjorts ett subjektivt val. Detta för att alla HMK-publikationer ska kunna tolkas och användas på ett entydigt sätt.
- GUM-terminologi [\[4\]](#) tillämpas genomgående, men vissa termer har anpassats till geodesi- och geografiområdet (exempelvis "lägesosäkerhet").

Termer och förkortningar som bedömts vara centrala i denna handbok har kursiverats vid första förekomst i löptext eller bilagor. Dessa återfinns också i [HMK - Ordlista och förkortningar](#), senaste version.

Följande nyckelord utgör en ämnesmässig sammanfattning av dokumentet:

<i>Geodesi</i>	<i>Stomnät</i>
<i>Referenssystem</i>	<i>Stompunkt</i>
<i>Koordinatsystem</i>	<i>Markering</i>
<i>Kartprojektion</i>	<i>Utgångspunkt</i>
<i>Koordinattransformation</i>	<i>Georeferering</i>
<i>SWEREF 99</i>	<i>GNSS</i>
<i>RH 2000</i>	<i>Referensstation</i>
<i>Referensnät</i>	<i>Geoidmodell</i>

1.2 Om Handbok i mät- och kartfrågor

Information

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

Publicering av HMK

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

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

Målgrupp

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

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

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

Tabell 1.2. Senaste versioner av HMK-handböcker inom geodesi

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

Tillämpning av HMK

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

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

Förvaltning av HMK

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

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

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

2 Introduktion till referenssystem för geografisk lägesbestämning

Information

- Geografisk lägesbestämning förutsätter geodetisk infrastruktur i form av referenssystem och referensnät.
- Den geodetiska infrastrukturen byggs upp och förvaltas lokalt, nationellt och internationellt.

Tillgång till geodata – geografiskt lägesbestämd information – är en förutsättning för mycket av den fysiska planering och samhällsbyggnation som pågår idag. Geografisk lägesbestämning förutsätter att det finns en *geodetisk infrastruktur* i form av bl.a. *referenssystem* och *referensnät* att utgå ifrån och relatera till. Vidare underlättas lägesbestämningen och geodatahanteringen av tillgång till enhetliga referenssystem som kan användas sömlöst över större områden, nationellt och internationellt.

I Sverige sker uppbyggnad och förvaltning av geodetisk infrastruktur både på nationell nivå ([Kapitel 3](#)) och på lokal/kommunal nivå ([Kapitel 4](#)). Ökad användning av enhetliga referenssystem (*SWEREF 99* och *RH 2000*) och satellitbaserad mätteknik (*GNSS*) har i vissa avseenden gjort gränsen mellan dessa nivåer mindre skarp.

Sverige har en lång tradition av samarbete på nordisk, europeisk och internationell nivå kring geodetisk infrastruktur, och de svenska nationella referenssystemen är globalt anpassade enligt internationell praxis.

2.1 Referenssystem och referensnät

Varje geodetiskt referenssystem baseras på en specifik uppsättning av matematiska definitioner, modeller m.m. som anger hur det geografiska läget bestäms i förhållande till jorden. Geodetiska referenssystem definieras bl.a. utifrån

- hur många rumsliga dimensioner som behövs för lägesangivelser (1D, 2D eller 3D), se [avsnitt 2.1.1](#)
- vilka jordmodeller och referensytor som används, se [avsnitt 2.1.2](#)
- hur jordens dynamik hanteras, se [avsnitt 2.1.3](#)
- vilka *geografiska koordinatsystem* som används och hur dessa relaterar till jordmodellen, se [avsnitt 2.1.4](#)
- hur *realisering* av referenssystemet sker med hjälp av geodetiska referensnät, se [avsnitt 2.1.5](#).

2.1.1 Dimension och geografisk utbredning

Information

- Geodetiska referenssystem möjliggör lägesbestämning i en, två eller tre dimensioner och har en viss geografisk utbredning.

Med **dimensionen** som grund kan referenssystemen delas in i:

- **Tre-dimensionella referenssystem (3D)**, som har ökat i användning i takt med utvecklingen av GNSS och andra rymdbaserade mättekniker. 3D-system är också vanligt förekommande inom mer objektsspecifika tillämpningar, t.ex. *BIM*. Exempel på tre-dimensionella referenssystem är det internationella *WGS 84* och det svenska *SWEREF 99*, se [avsnitt 3.1](#).
- **Referenssystem i plan (2D)**, som inte har någon direkt koppling till höjdläget. 2D-positionen bestäms antingen genom att läget på en *referensellipsoid* räknas om till *kartografiska koordinater* med hjälp av en *kartprojektion*, eller genom direkt etablering av ett lokalt koordinatsystem (se nedan). Exempel på referenssystem i plan är de officiella kartprojektionerna av *SWEREF 99*, se [avsnitt 3.1.2](#).
- **Referenssystem i höjd (1D)**, där "höjd över havet" anges i förhållande till en väl definierad nollnivå. Systemet realiseras av noggrant höjdbestämda *höjdfixar* på marken. Exempel är det nationella höjdsystemet *RH 2000*, se [avsnitt 3.2](#).

En annan indelningsgrund är baserad på geografisk utbredning.

- **Globalt anpassade referenssystem** har anpassats till jordmodeller och geodynamiska fenomen, vilket gör dem mer entydiga, sömlösa och därmed lämpade för bred användning. En sådan anpassning kräver dock rigorösa definitioner, omfattande vetenskaplig forskning och mycket noggranna mätmetoder, vilket gör att det nationella ansvaret för dessa främst ligger på utpekade huvudmän – t.ex. Lantmäteriet i Sverige (se [kapitel 3](#)).
- **Lokala referenssystem** har en mer begränsad utbredning och tas ofta fram för specifika tillämpningar. Exempel på lokala referenssystem är de tidigare vanliga 1000-1000-systemen för fastighetsbildning i glesbygd. Idag används lokala 3D-system ofta i bygg- och anläggningsverksamhet och anpassas då till byggnadsverk eller andra företeelser inom ett projektområde.

2.1.2 Referensytor och jordmodeller

Information

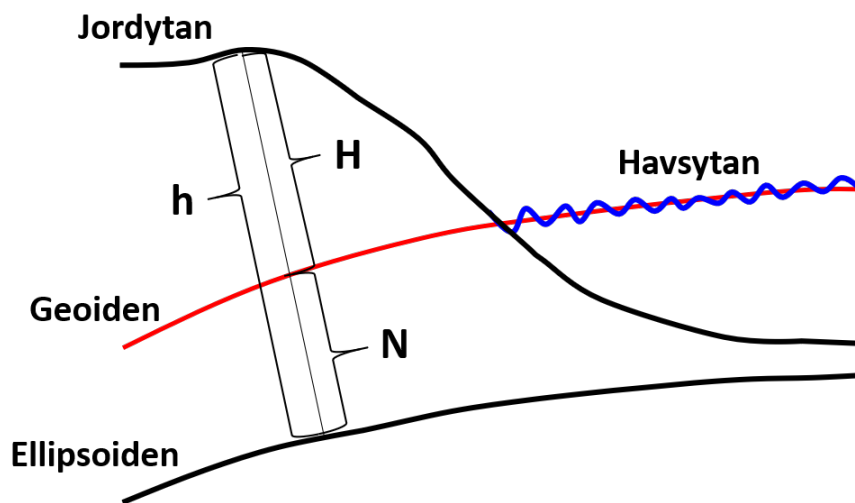
- De grundläggande referensytorna i geodetiska referenssystem är jordytan, geoiden och ellipsoiden.

I definitionen av ett geodetiskt referenssystem ingår en eller flera av följande referensytor (se [Figur 2.1.2.a](#)):

- Jordytan, vilket inkluderar kontinenterna och havsytan.
- Geoiden, den nivåyta i jordens tyngdkraftsfält som bäst ansluter till havsytan och dess tänkta förlängning under kontinenterna.
- Ellipsoiden, den matematiska modell som bäst ansluter till jordytan och geoiden.

Genom att klargöra referensytornas inbördes relationer och förändringar över tid kan mycket av jordens form och dynamik beskrivas. Till skillnad från jordytan och havsytan, som är verkliga/fysiska företeelser så är geoid och ellipsoid exempel på jordmodeller som räknats fram utifrån jordens fysikaliska och geometriska egenskaper. Jordmodeller möjliggör definition av viktiga parametrar i referenssystemet, t.ex. koordinataxlar, "nollnivåer", skala och orientering. Eftersom det finns många möjliga jordmodeller är det viktigt att ange exakt vilken geoid och ellipsoid (eller *referensellipsoid*) som används.

Figur 2.1.2.a. De grundläggande referensytor som används för att definiera referenssystem.



Geoid

Geoidens form är oregelbunden på grund av variationer i täthet och massfördelning i jordskorpan samt påverkan av yttre och inre gravitationskrafter. Geoidens yta är vinkelrät mot den s.k. lodlinjen, dvs. mot tyngdkraftens riktning. Med "höjd över havet" avses i strikt mening "höjd över geoiden" (H). För att omvandla höjder över jordellipsoiden (h) - från t.ex. GNSS-mätningar - till höjder över havet används en *geoidmodell*, som ger geoidhöjderna N i formeln (jfr. [Figur 2.1.2.a](#))

$$H = h - N$$

Geoidmodeller beräknas med hjälp av tyngdkraftsdata och andra geodetiska observationer som anpassas till en teoretisk/matematisk modell av hur tyngdkraften varierar.

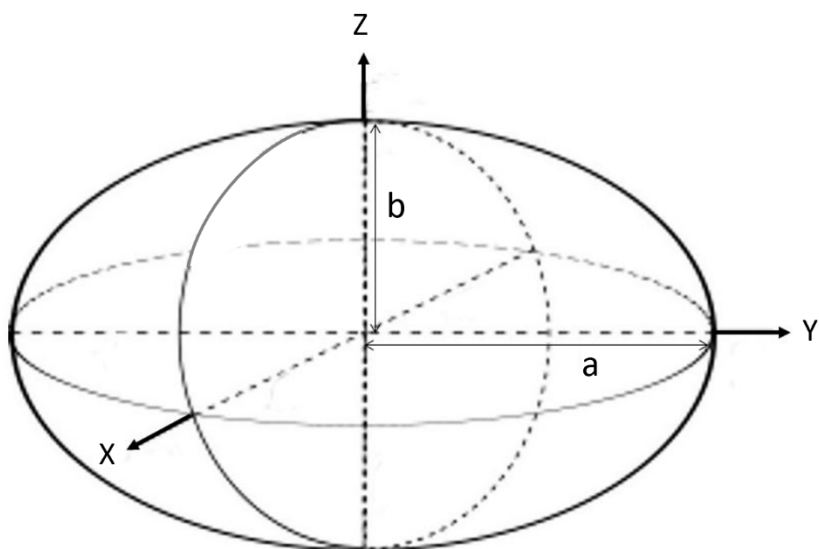
Ellipsoid

En ellipsoid är en geometrisk form som bildas genom att rotera en ellips kring sin längsta axel. Till skillnad från geoiden är ellipsoiden helt homogen - och är därmed mycket lätt att definiera matematiskt. Ellipsoiden avviker från en perfekt sfär för att kunna modellera jordens avplattning vid polerna. Avplattningen f beräknas enligt:

$$f = \frac{a - b}{a}$$

där a = halva storaxeln och b = halva lillaxeln (se [Figur 2.1.2.b](#)). Olika referensellipsoider ingår i olika referenssystem. T.ex. används referensellipsoiden *GRS 80* i det svenska referenssystemet *SWEREF 99*, se [avsnitt 3.1.1](#).

Figur 2.1.2.b. En referensellipsoid placerad relativt ett geocentriskt koordinatssystem (se [avsnitt 2.1.4](#)). a = halva storaxeln och b = halva lillaxeln.



2.1.3 Hantering av jordens dynamik

Information

- I globalt anpassade geodetiska referenssystem behöver landhöjning, kontinentaldrift och andra geodynamiska rörelser hanteras.
- I lokala referenssystem behöver sällan jordens dynamik beaktas.

Jordens form är dynamisk. Därför måste de geodetiska referenssystemen innehålla mekanismer för att spegla förändringar över tid. Exempel på geodynamiska rörelser är landhöjningen efter senaste istiden och kontinentaldriften i form av plattrörelser i jordskorpan. Även solens och månens inverkan – *tidvatten* och *tidjord* – samt förändringar i jordrotationen, jordaxelns läge m.m. kan kräva särskild hantering.

De geodynamiska rörelserna hanteras genom införande av *referensepoker*, som anger vilken tidpunkt koordinatuppgifterna avser och används för tidsmässig monitorering av referenssystemen. Med hjälp av hastigheter visas hur koordinaterna förändras, så att en viss uppsättning koordinatvärden kan knytas till en given referensepok.

Det finns två olika sätt att hantera dynamiken i ett referenssystem:

- I ett **dynamiskt** referenssystem förändras koordinaterna med tiden. Lägen anges med koordinater vid given tidpunkt och givna hastigheter.
- I ett **statiskt** referenssystem förblir koordinaterna oförändrade över tid. Hastigheter kan dock ingå som en separat modell som eventuellt uppdateras efter hand.

Den postglaciala landhöjningen kan exempelvis modelleras med hjälp av noggranna, upprepade höjdmätningar, vattenståndsmätningar vid *mareografer* och GNSS-mätningar. Den ger en långsiktig påverkan på referenssystemen, framför allt i höjddled, och är i Norden den viktigaste komponenten att ta hänsyn till. Effekterna av detta är ibland påtagliga, se [Figur 2.1.3.a](#). I Sverige har landhöjningen sitt maximum på ca. 1 cm per år längs norrlandskusten.

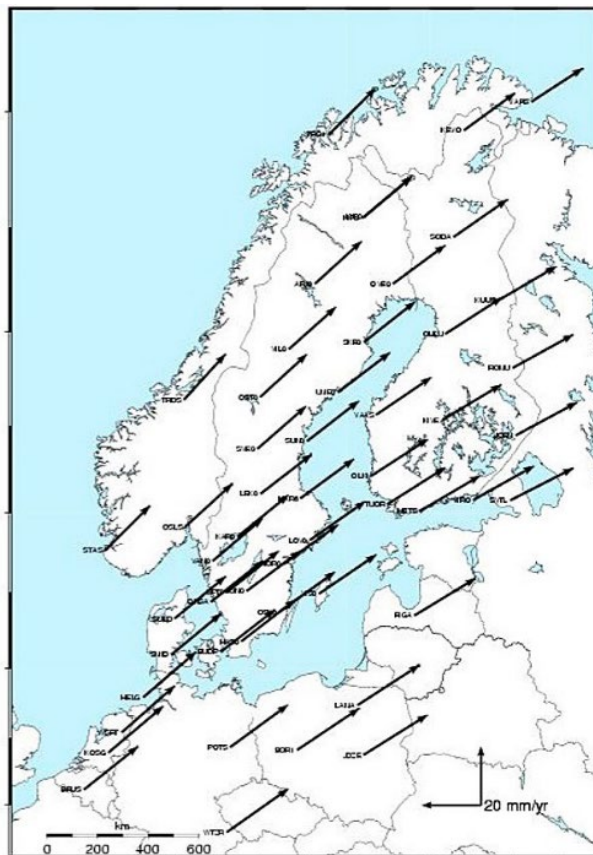
Kontinentaldriften gör att den interna geometrin i ett globalt anpassat referenssystem deformeras relativt snabbt, se [Figur 2.3.1.b](#). På internationell nivå är därför dynamiska referenssystem en förutsättning. **Inom** en kontinentalplatta, med små interna rörelser, kan systemen hanteras annorlunda. I t.ex. ETRS89 har referensepoken låsts och koordinaterna fixerats till år 1989 med avseende på kontinentalplattans läge. Det svenska systemet SWEREF 99 är en realisering av ETRS89 – med

samma referensepok beträffande kontinentaldriften, se [avsnitt 3.1.1](#). Den eurasiska plattans rörelse medför att Norden rör sig med en hastighet på ca 2 cm per år mot nordost.

Figur 2.1.3.a. Den långsiktiga effekten av landhöjningen syns bl.a. vid kusten nära Sundsvall. De tidigare strandnära sjöbodarna ligger här långt uppe på land.



Figur 2.1.3.b. Den eurasiska plattans rörelsehastighet, bestämd genom kontinuerlig rymdgeodetisk mätning på ett antal nordeuropeiska stationer.



2.1.4 Geografiska koordinatsystem

Information

- Geografiska koordinatsystem möjliggör lägesangivelser i förhållande till en viss jordmodell eller kartprojektion.

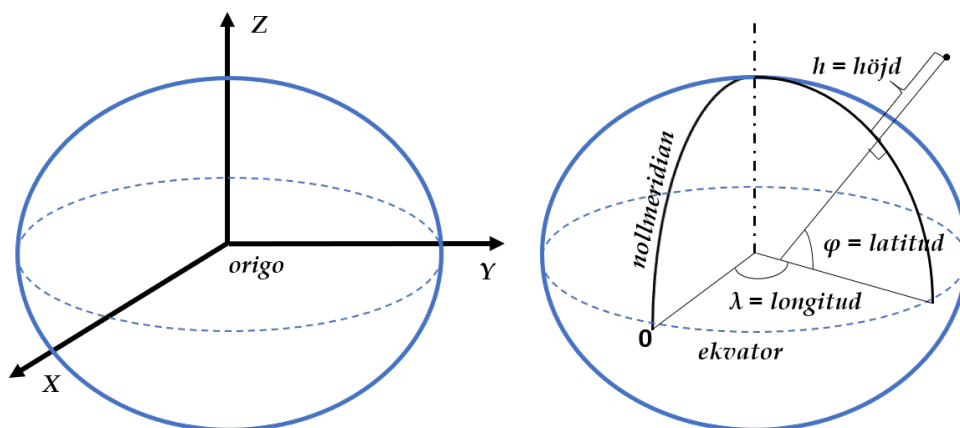
Geografiska koordinatsystem är system som möjliggör lägesangivelser relativt en jordmodell eller på en karta med hjälp av siffror, bokstäver och andra symboler. En punkts läge kan anges på olika sätt – även inom ett och samma referenssystem. Vanliga exempel är:

- kartesiska 3D-koordinater: X , Y , och Z . Kallas även geocentriska koordinater eftersom systemets origo ligger nära jordens centrum.
- *geodetiska koordinater*: latitud (φ), longitud (λ), samt eventuellt höjd över ellipsoiden (h)
- *kartografiska koordinater*: där koordinaterna anges som (x, y) , (N, E) , $(Northing, Easting)$ eller liknande, med eller utan höjdvärde.

Kartesiska 3D-koordinater och geodetiska koordinater används exempelvis i tre-dimensionella, globalt anpassade referenssystem. Geodetiska koordinater kan också användas för att ange horisontellt läge på jordytan (dvs. 2D), utan höjdangivelse. Se [Figur 2.1.4](#).

Kartografiska 2D-koordinater innebär att ett geodetiskt koordinatsystem avbildas på en plan yta. Detta sker med en *kartprojektion*, se [avsnitt 2.2](#). Eftersom koordinatvärden i höjdsystem (1D) vanligen benämns "höjder" så har begreppen "koordinater" och "koordinatsystem" i viss utsträckning blivit synonyma med kartografiska 2D-koordinater.

Figur 2.1.4. De två vanliga uttryckssätten för positioner i 3D: Geocentriska koordinater X , Y , och Z respektive geodetiska koordinater latitud (φ), longitud (λ) och höjd över ellipsoiden (h).



Geocentriska vs geodetiska koordinatsystem

I geocentriska koordinatsystem placeras origo i jordens mittpunkt, med Z-axeln längs jordens rotationsaxel (dess medelriktning). X-axeln går ut genom punkten där nollmeridianen skär ekvatorn och Y-axeln placeras så att ett högerorienterat, tre-dimensionellt koordinatsystem bildas.

De geodetiska koordinaterna latitud och longitud används för att uttrycka positioner med vinkelmått. Latituden är vinkeln i nord-sydlig riktning med latituden noll (0) i ekvatorsplanet, 90° N i nordpolen och 90° S i sydpolen. Longituden anger vinkeln i öst-västlig ledd utgående från nollmeridianen. Den räknas positivt österut och negativt västerut; alternativt används beteckningarna E och W för att beteckna östlig respektive västlig riktning.

Geodetiska koordinater kan anges i olika format: med decimala grader, med grader och decimala minuter eller med grader, minuter och decimala sekunder. Omräkning mellan de olika formaten sker på samma sätt som tid på en klocka, 60 sekunder är en minut och 60 minuter är en grad. Latitud anges alltid före longitud.

Exempel: $15,51^\circ = 15^\circ 30,6' = 15^\circ 30' 36''$

Inom sjö- och luftfart är grader och decimala minuter det vanligaste sättet att redovisa latitud och longitud. Decimala grader används främst vid maskin-till-maskin-tillämpningar. Formatet grader, minuter och sekunder (med eventuella decimaler) förekommer främst i övriga sammanhang,

2.1.5 Geodetiska referensnät

Information

- Ett referenssystem realiseras av geodetiska referensnät vars punkter koordinat- eller höjdbestäms enligt systemets definitioner.
- Ett referensnät kan vara aktivt eller passivt.

Ett geodetiskt referenssystem realiseras, dvs. tillgängliggörs, i den fysiska verkligheten genom koordinat- eller höjdbestämmning av de referenspunkter som ingår i ett geodetiskt referensnät, se [Figur 2.1.5](#). Detta sker vanligtvis via *geodetisk mätning* – dels inbördes mellan referenspunkterna, dels i förhållande till ett överordnat referensnät.

Referensnätets koordinater och höjder kan sedan användas som utgångspunkter för geodatainsamling eller för geografisk lägeskontroll.

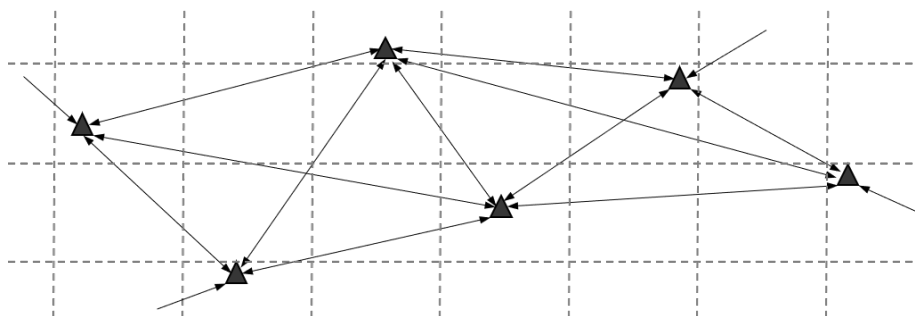
Passiva referensnät kallas även *stomnät*, dvs. traditionellt markerade punkter i terräng eller byggd miljö som uppsöks vid behov av mätning

eller lägeskontroll. I [avsnitt 4.1](#) finns en översikt över olika stornäts-typer och hur de kan användas. *Markeringar* har stor betydelse för ett stornäts hållbarhet i ett längre tidsperspektiv, varför underhåll av dessa utgör en viktig del av stornätens förvaltning, se [avsnitt 4.1.6](#).

Aktiva referensnät baseras vanligen på *fasta referensstationer* för GNSS-mätning. Syftet med aktiva nät är att möjliggöra kontinuerlig geodetisk mätning utan att enskilda referenspunkter behöver besökas. Mätdata tillhandahålls istället via online-tjänster, i realtid eller via arkiv.

Referensnät har alltid en förvaltare eller huvudman. Eftersom det kan finnas flera alternativa sätt att realisera ett referenssystem, med olika kvalitet, så är det viktigt att huvudmannen anger om en särskild (officiell) realisering ska rekommenderas till användare.

Figur 2.1.5. Geodetiska referenssystem realiseras genom att referenspunkter (trianglar) koordinat- eller höjdbestäms genom geodetiska observationer (pilar).



2.2 Kartprojektioner

Information

- *Kartprojektioner* innebär plana avbildningar av jordytan. Detta möjliggör horisontella positionsangivelser med hjälp av kartografiska 2D-koordinater.

Med hjälp av kartprojektioner kan den krökta jordytan avbildas på en plan yta, t.ex. en traditionell karta eller en digital skärm. Horisontella geografiska lägen kan då anges med hjälp av ett rätvinkligt koordinatsystem.

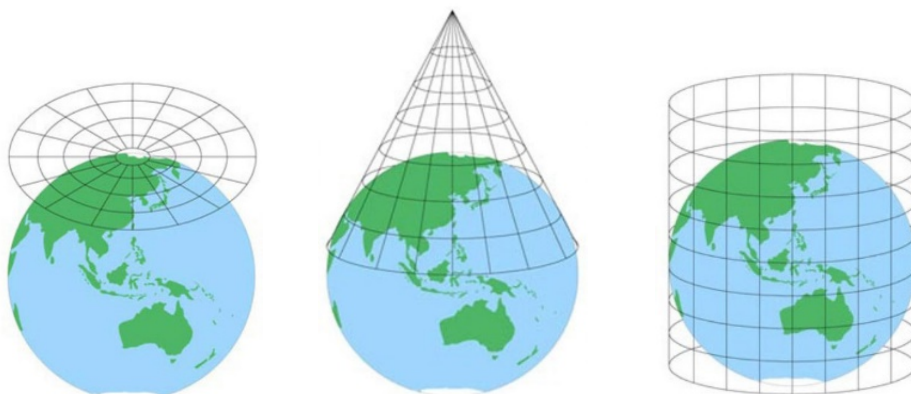
Det sker genom att positioner på jordellipsoiden räknas om till koordinater i ett plan. Valet av projektion styrs primärt av tillämpningen och projektionens egenskaper – så att ändamålet med kartan/avbildningen uppfylls – men även av det avbildade områdets form. T.ex. är de flesta svenska kartor gjorda i projektionen *Transversal Mercator* (se [avsnitt 2.2.3](#)) eftersom den passar landets form och utbredning väl, men det finns även ett flertal andra kartprojektioner.

2.2.1 Grundprinciper

Varje kartprojektion måste kopplas till en väldefinierad jordellipsoid. Projektionens egenskaper beror sedan på val av projektnsparametrar, t.ex. placering av medelmeridianen, hantering av skalfaktorer och koordinattillägg.

Projektionsplanet utgörs av en plan yta, en kon eller en cylinder och motsvarande avbildning benämns *azimutal*, *konisk* respektive *cylindrisk* projektn, se [Figur 2.2.1.a](#). "Stående" projektnsplan, som i denna figur, benämns *normala* medan liggande kallas *transversala*. I en del kartprojektioner används även *snedaxliga* projektnsplan, se sammanställning i [Figur 2.2.1.b](#).

Figur 2.2.1.a. Azimutal, konisk respektive cylindrisk kartprojektion.



Figur 2.2.1.b. Indelning av kartprojektioner efter projektnsplanets utformning och orientering.

	Normal	Snedaxlig	Transversal
Azimutal			
Konisk			
Cylindrisk			

2.2.2 Avbildningsfel

Information

- På grund av jordens form kommer alla kartprojektioner att innehålla avbildningsfel, ofta i form av skalskillnader.

Kartprojektioner medför alltid någon form av förvrängning eller avbildningsfel. Felens storlek och karaktär beror på projektionstypen och växer med ökande avstånd från en centralpunkt eller en centrollinje.

Den allt överskuggande effekten är att skalan varierar och att den efter projektion inte stämmer med "verkligheten". Det får konsekvenser i t.ex. tillämpningar då kartunderlaget ligger till grund för projektering inom bygg- och anläggningsverksamheten där man eftersträvar ett 1:1-förhållande mellan modell och verklighet, se [avsnitt 2.4.3](#).

Beroende på hur kartprojektionerna definieras får de olika egenskaper:

- **Vinkelriktighet**, som innebär att en vinkel från en punkt på jordytan blir densamma i kartplanet. Med en vinkelriktig projektion får ett mycket litet objekt samma förstoring i alla riktningar och därmed samma form. En sådan kartprojektion benämns konform.
- **Ytriktighet** innebär att en figur behåller samma yta (area) i kartplanet som den hade på jordytan, oavsett storlek. En kartprojektion kan inte vara både vinkelriktig och ytriktig.
- **Längdriktighet** innebär att avståndet mellan två punkter är detsamma i kartplanet som på jordytan. Det är en egenskap som vanligen bara finns längs en linje, till exempel en meridian.

2.2.3 Vanligt förekommande kartprojektioner

Information

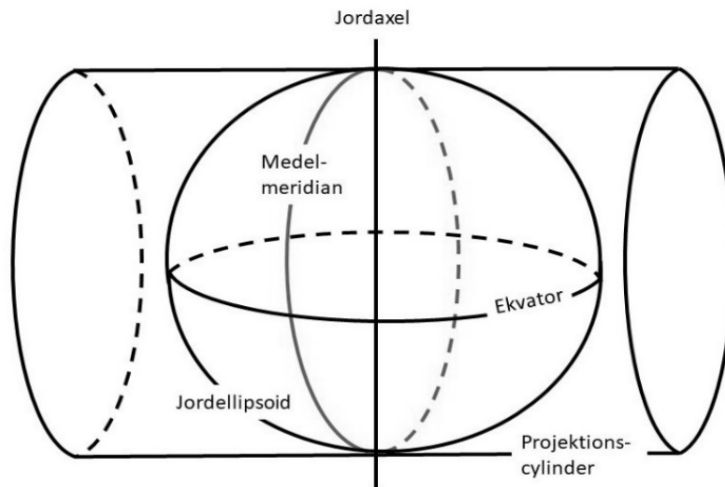
- Transversal Mercator (TM) är den vanligaste kartprojektionerna för redovisning av geodata i Sverige.

I detta avsnitt redovisas de kartprojektioner som är mest aktuella för svenskt vidkommande, med fokus på *Transversal Mercator*. En sammanställning av kartprojektioner finns på [Lantmäteriets webbplats](#).

Transversal Mercator

Transversal Mercator, förkortat *TM*, är internationellt sett en av de viktigaste kartprojektionerna. Se [Figur 2.2.3.a](#).

Figur 2.2.3.a. Kartprojektionens Transversal Mercator.



Transversal Mercator går även under benämningen *Gauss-Krüger* eller *Gauss' konforma projektion*. Projektionen används företrädesvis för områden som är relativt smala i öst-västlig ledd och utbredda i nord-sydlig. För svensk del har den använts i de äldre nationella referenssystemen och nu även i SWEREF 99.

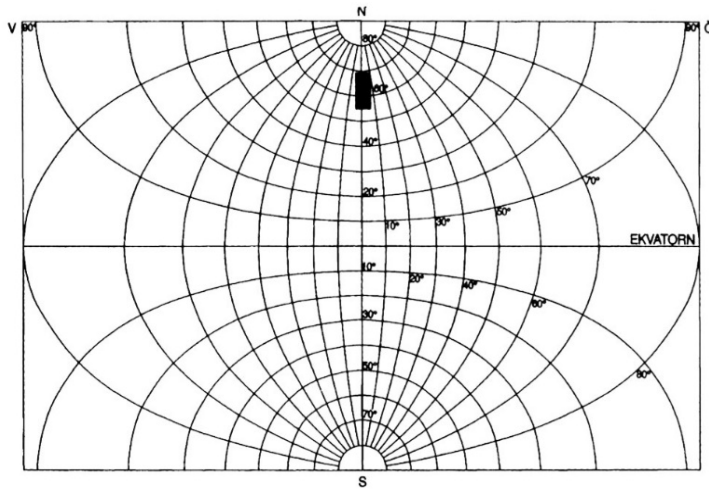
Transversal Mercator är en konform, transversal, cylindrisk projektion som definieras av fyra projektionsparametrar, se [Tabell 2.2.3](#). För information om aktuella parametervärden för projektioner i SWEREF 99, se [avsnitt 3.1.2](#).

Tabell 2.2.3. Projektionsparametrar för Transversal Mercator.

Parameter	Förklaring
Medelmeridian	Placerar projektionscylindern i förhållande till ellipsoiden och bildar symmetriaxel för projektionen.
Skalreduktionsfaktor	Kan användas för att fördela skalfelet jämnare över det område där projektionen tillämpas (se Figur 2.2.3.c).
N-avdrag	Konstant avdrag för den nordliga koordinaten (Northing). Vanligtvis satt till noll (0).
E-tillägg	Konstant tillägg i östlig ledd (Easting) för att undvika negativa koordinater.

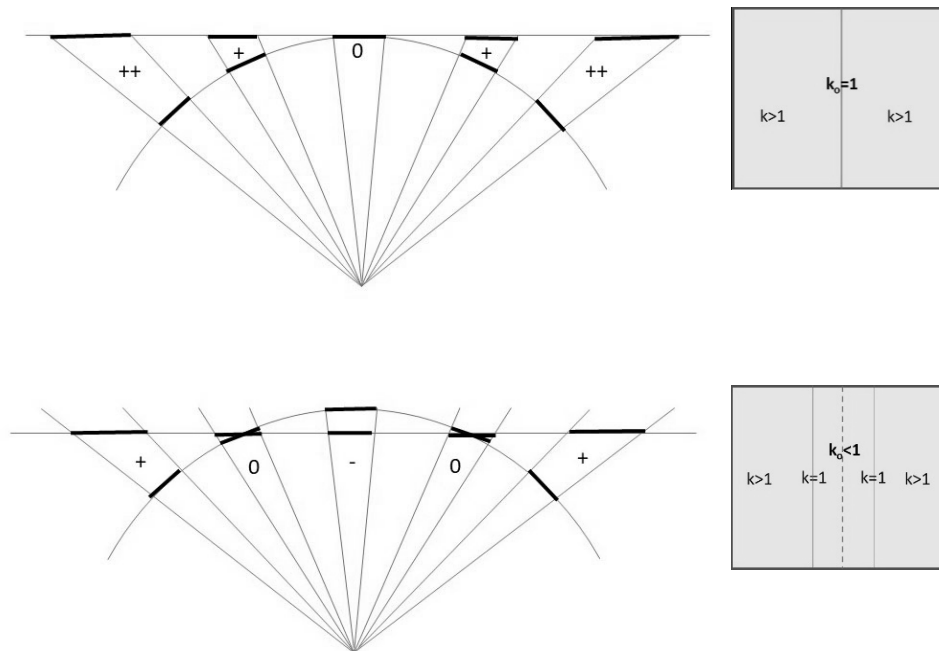
I [Figur 2.2.3.b](#) visas hur meridianer (konstant longitud) och parallellcirklar (konstant latitud) avbildas med Transversal Mercator. Som framkommer i denna figur så avbildas meridianerna på jordellipsoiden som krökta linjer i projektionen. Vinkeln mellan en avbildad meridian och medelmeridianen benämns meridiankonvergens.

Figur 2.2.3.b. Gradnätets utseende i Transversal Mercator. Den svarta rektangeln upptill, i mitten, av figuren representerar Sveriges läge.



I [Figur 2.2.3.c](#) åskådliggörs hur projektfelen kan minskas med hjälp av en "skärande" projektion och en skalfaktor.

Figur 2.2.3.c. Projektfelen **utan** (övre bilden) respektive **med** skalreduktionsfaktor (nedre bilden).



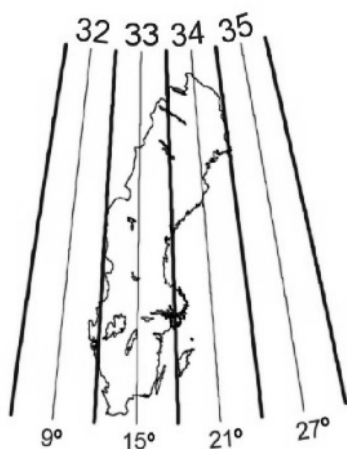
Den övre projektionen i [Figur 2.2.3.c](#) tangerar jordellipsoiden och har skal faktorn ett ($k_0 = 1$) utefter tangeringslinjen/ medelmeridianen. Den nedre projektionen har en skal faktor ($k_0 < 1$) utefter medelmeridianen. Det senare medför att projektfelen blir då noll (0) utefter två linjer i

stället för en och eftersom felen får olika tecken minskar deras absoluta storlek.

UTM – Universal Transverse Mercator

UTM är ett globalt system av projektionszoner som baseras på Transversal Mercator. Systemet innefattar totalt 60 zoner som var och en har en bredd på 6°. Utöver indelningen i öst-västlig ledd delas norra och södra halvklotet in med olika konstanta tillägg för den nordliga koordinaten. Strikt tillämpning av UTM i Sverige innebär att zonerna

Figur 2.2.3.d. UTM-zoner i Sverige.

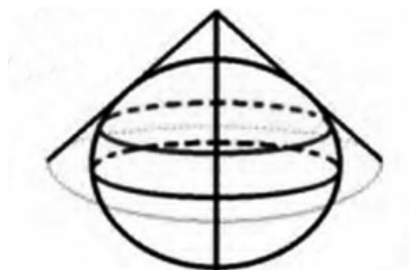


32N, 33N, 34N och 35N används, se [Figur 2.2.3.d](#).

Lamberts koniska konforma projektion

Lamberts koniska konforma projektion används vanligtvis i områden med övervägande öst-västlig utbredning. Projektionsplanet utgörs av en kon som placeras med en eller två standardparalleller, se [Figur 2.2.3.e](#). Datautbyte enligt EU-direktivet *Inspires* infrastruktur för geodata ska ske i referenssystemet ETRS89. Till detta system finns bland annat ett Europa-anpassat projektionsplan i Lamberts projektion som benämns *ETRS89 LCC*.

Figur 2.2.3.e. Lamberts koniska konforma projektion.



2.3 Koordinattransformationer

Information

- Koordinattransformation innebär konvertering av koordinater mellan två olika referens-/koordinatsystem.
- Koordinattransformation sker antingen via överräkning eller inpassningstransformation.

Vid *koordinattransformation* konverteras koordinater och/eller höjder mellan ett **från-system** och ett **till-system**. Detta görs exempelvis för att kunna redovisa datamängder från olika referenssystem tillsammans, eller för att lägesbestämma punkter med hjälp av andra punkter.

- Transformation med användning av ett analytiskt (matematiskt) samband benämns *överräkning*. Resultatet från en överräkning kan i princip betraktas som felfritt vid korrekt numerisk hantering.
- Saknas analytiskt formelsamband kan ett empiriskt (approximativt) samband skapas genom *inpassning* med *minsta-kvadratmetoden*. En inpassning ger motsägelser i form av *passfel*, samt *restfel* när sambandet tillämpas, se [avsnitt 2.3.2](#).

Det finns många olika sätt att utföra transformationer mellan en-, två- och tre-dimensionella koordinatsystem. En checklista för koordinattransformation återfinns i [Bilaga A.1](#).

2.3.1 Överräkning

Information

- Vid överräkning transformeras koordinater inom ett referenssystem via ett analytiskt definierat samband.

Vid överräkning definieras sambandet mellan de två systemen matematiskt, utan passfel. Detta innebär dock inte alltid att det finns en sluten formel att använda. Beroende på sambandets natur blir ibland andra angreppssätt nödvändiga, t.ex. iterativa lösningsmetoder och stegvisa förfaranden med en kombination av olika formler.

Exempel på koordinattransformation med överräkning är:

- konvertering av tre-dimensionella kartesiska koordinater (X,Y,Z) till latitud, longitud och höjd över en referensellipsoid, eller omvänt

- omräkning från latitud och longitud till kartografiska 2D-koordinater
- byte av projektionszon i SWEREF 99, exempelvis från SWEREF 99 TM till en lokal projektionszon, se [avsnitt 3.1.2](#).

2.3.2 Inpassningstransformation

Information

- Inpassning innebär att ett transformationssamband bestäms empiriskt via passpunkter som har kända koordinater i båda koordinatsystemen.
- Inpassningstransformation medför alltid restfel i transformerade punkter.

Vid inpassning bestäms ett transformationssamband empiriskt med hjälp av *passpunkter*, punkter vars koordinater och/eller höjder är kända i både från- och till-systemet. Inpassning utförs bl.a. när koordinattransformationen avser två olika referenssystem eller när sambandet inte kan definieras analytiskt.

När ett samband som bestämts med inpassning appliceras på punkterna i från-systemet kallas detta inpassningstransformation. Detta kan antingen ske med fördefinierade samband, t.ex. från huvudman-/kravställare, eller med ett tillfälligt framtaget samband. Tillfälliga samband är sådana som beräknas av användaren, t.ex. i samband med geodetisk mätning (se avsnitt 2.4) där inpassningen kan behövas direkt i fält.

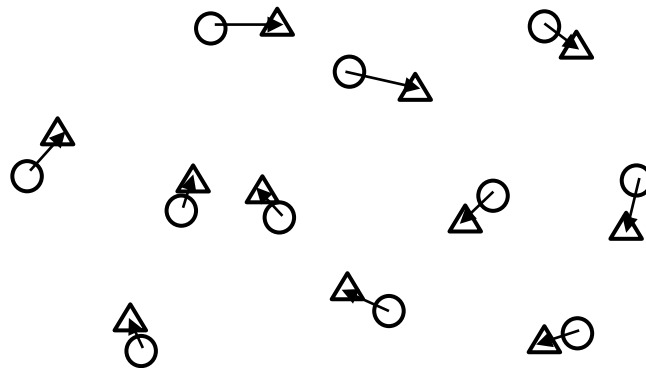
Oavsett om det handlar om fördefinierade eller tillfälliga samband är det viktigt att de samband som faktiskt används redovisas i uppdragsdokumentationen. Transformationssamband som sparas för vidare bruk dokumenteras så att dess egenskaper och användningsområde tydligt framgår för en möjlig framtida användare.

Inpassningstransformation medför alltid vissa kvarstående motsägelser i till-systemet som benämns restfel. [Figur 2.3.2.a](#) illustrerar passfelen i en inpassning i 2D. Restfelen för övriga punkter – som inte är passpunkter – kommer att bero på passfelen i närliggande passpunkter.

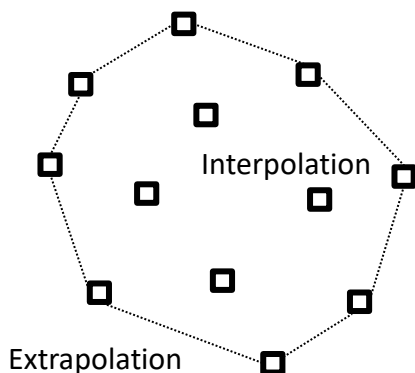
En jämn fördelning av passpunkter över det område där transformationssambandet är tänkt att tillämpas, dvs. sambandets giltighetsområde, bör eftersträvas. Giltighetsområdet sammanfaller typiskt med

den gräns som definieras av de yttersta passpunkterna, så att extrapolation undviks, se [Figur 2.3.2.b](#).

Figur 2.3.2.a. Cirklar avser de lägen som passpunkter i från-systemet får efter transformation. Trianglar avser lägen för motsvarande passpunkter i till-systemet. Pilarna illustrerar avvikelserna mellan dessa lägen, dvs. passfelen.



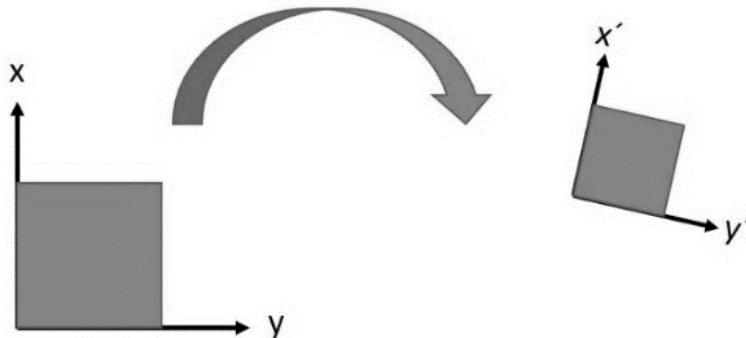
Figur 2.3.2.b. För att undvika extrapolation bör inpassningstransformation endast tillämpas inom området som avgränsas av de yttersta passpunkterna.



Transformations samband som sparas för fortsatt användning dokumenteras så att dess egenskaper och gränser/riktlinjer för tillämpning framgår tydligt. Exempel på inpassningstransformationer är:

- *translation* i höjd mellan två höjdsystem (en parameter)
- *unitär* transformation i plan: två translationer + en vridning (tre parametrar); skalan blir oförändrad
- Två-dimensionell *Helmert-transformation*; två translationer + en vridning + en skalförändring (fyra parametrar), se [Figur 2.3.2.c](#)
- Tre-dimensionell *Helmert-transformation*; tre translationer + tre vridningar + en skalförändring (sju parametrar).

Figur 2.3.2.c. Helmert-transformation (2D). Genom translation i x-led, translation i y-led, vridning och skalförändring (totalt fyra parametrar) kan positioner i systemet (x,y) transformeras till system (x',y') .



Som komplement till ett empiriskt transformations samband kan en *restfelsmodell* beräknas. I restfelsmodellen utnyttjas passfelen från en inpassning som korrektioner för att förbättra sambandet mellan systemen. Vid framtagandet av ett samband till ett överordnat system kan alltså effekter av bristande geometri i från-systemet därigenom minskas. Restfelsmodeller användes i stor utsträckning vid införandet av SWEREF 99, se [avsnitt 4.2](#).

2.4 Geodetisk mättnings- och beräknings-teknik

2.4.1 Geodetisk mätning

Information

- Geodetisk mätning används bl.a. vid etablering av referensnät och vid noggrann geodatainsamling.
- Geodetisk mätning för samhällsbyggnad sker huvudsakligen med *terrestra* eller GNSS-baserade mätmetoder.

Geodetisk mätning och geodetiska referensnät ([avsnitt 2.1.5](#)) är ömsesidiga förutsättningar:

- referensnät kan etableras med hjälp av geodetisk mätning
- geodetisk mätning utgår från – eller relateras till – *utgångspunkter* i referensnät.

Geodetisk mätning används bl.a. vid etablering av stornät, *stommätning*, och vid noggrann inmätning eller utsättning, *detalj mätning*.

Traditionellt har geodetisk mätning utförts med *terrestra mätmetoder*, t.ex. vinkel- och längdmätning med teodolit/EDM-instrument –

alternativt *totalstation* – i kombination med *avvägning* eller *trigonometrisk höjdbestämmning*. Idag är GNSS-teknik ett vanligt verktyg inom samhällsmätning – både vid stommätning (*statisk mätning av baslinjer*) och vid detaljmätning, t.ex. *nätverks-RTK* mot fasta referensstationer. De terrestra metoderna försvarar dock fortfarande sin plats i tillämpningar med stränga krav vad gäller lägesosäkerheten eller där GNSS-teknik är mindre lämplig. På frammarsch är också geodätainsamlingstekniken *terrester laserskanning*, som i många avseenden påminner om totalstationsmätning. Se [HMK – Terrester laserskanning 2020](#).

Ursprungsmärkning – dvs. med vilka instrument och metoder som mätning och beräkning har utförts – är viktig för t.ex. analys och dokumentation av mät- och lägesosäkerheten.

2.4.2 Mät- och lägesosäkerhet i geodesi

Information

- För kvalitetsangivelser använder HMK terminologi enligt internationella riktlinjer. De centrala begreppen är *mätosäkerhet* samt *lokal* och *absolut lägesosäkerhet*.

I mätsammanhang – och därför i HMK – har begreppet *noggrannhet* ersatts av *mätosäkerhet*, i enlighet med riktlinjerna i *GUM: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* [4]. Se även [HMK-TR 2015:1](#) [7].

Traditionellt skiljer man mellan tre typer av avvikelser vid mätning:

- *slumpmässiga avvikelser*
- *systematiska effekter*
- *grova fel*

Mätosäkerheten avser primärt de slumpmässiga avvikelserna. Systematiska effekter ska så långt möjligt korrigeras bort eller elimineras med lämpligt valda mätmetoder och de grova felen ska tas om hand genom effektiva felsökningsmetoder.

Lägesosäkerhet är en utvidning av mätosäkerhetsbegreppet till att även omfatta en position eller en höjd. *Absolut lägesosäkerhet* avser osäkerheten i förhållande till ett globalt anpassat referenssystem medan *lokal lägesosäkerhet* är osäkerheten i förhållande till omgivande företeelser, t.ex. anläggningar, fastighetsgränser eller lokala referenssystem.

Lägesosäkerhet – och andra osäkerhetsmått – skattas i samband med den beräkning enligt minsta-kvadratmetoden som används för *utjämnning* av geodetiska mätningar. Beräkningen avser vanligen lösning av ett ekvationssystem med *överbestämningar*, dvs. fler mätningar än vad som krävs för att systemet ska vara lösbart. Resultatet – koordinater och

höjder – bör alltid åtföljas av en deklARATION av lägesosäkerheten!

Bilaga A.3 visar schablonmässig mätosäkerhet vid geodetisk mätning samt lägesosäkerhet i vanliga geodetiska referensnät. Se även [HMK-TR 2018:3](#), Bilaga B [9].

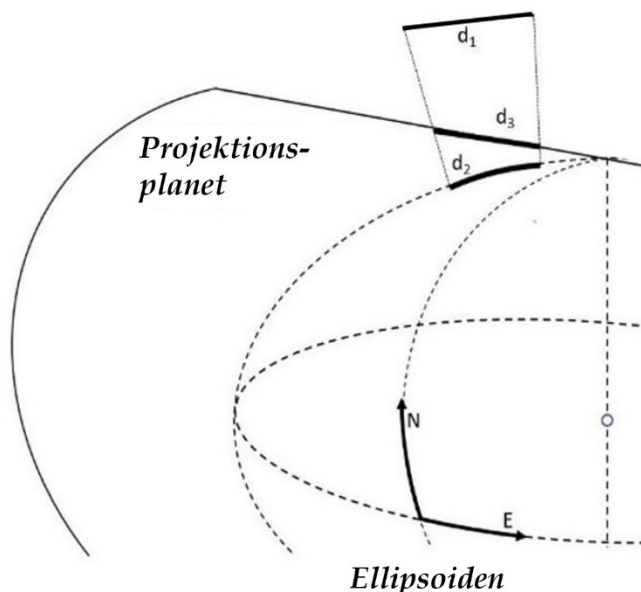
2.4.3 Höjd- och projektionskorrektioner

Information

- I en kartprojektion anpassas mätta avstånd till projektionsplanet genom *höjd- och projektionskorrektion*.

Den viktigaste systematiska effekten att hantera är de korrektioner som krävs för att överföra mätta avstånd till avstånd i projektionsplanet. Det sker i två steg i form av en *höjdkorrektion* följt av en *projektionskorrektion*, se [Figur 2.4.3.a](#).

Figur 2.4.3.a. Mätta avstånd (d_1) reduceras ner till avstånd på jordellipsoiden (d_2) genom höjdkorrektion. Därefter projiceras de vidare till avstånd i projektionsplanet (d_3) med hjälp av en projektionskorrektion.

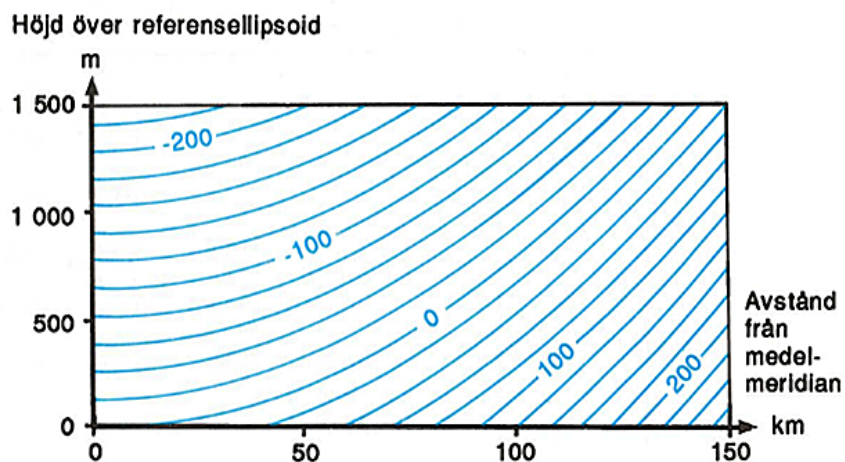


De två korrektionerna motverkar varandra – under vissa förhållanden tar de ut varandra helt och hållet så att korrektionen blir noll (0), se [Figur 2.4.3.b](#). De mätta avstånden är då oförändrade i projektionsplanet, dvs. $d_1 = d_3$.

Som redan nämnts kan detta att skalan varierar, och att avstånd i projektionsplanet inte stämmer med "verkligheten", vara ett problem i vissa tillämpningar. Om projektområdet inte naturligt ligger på en plats

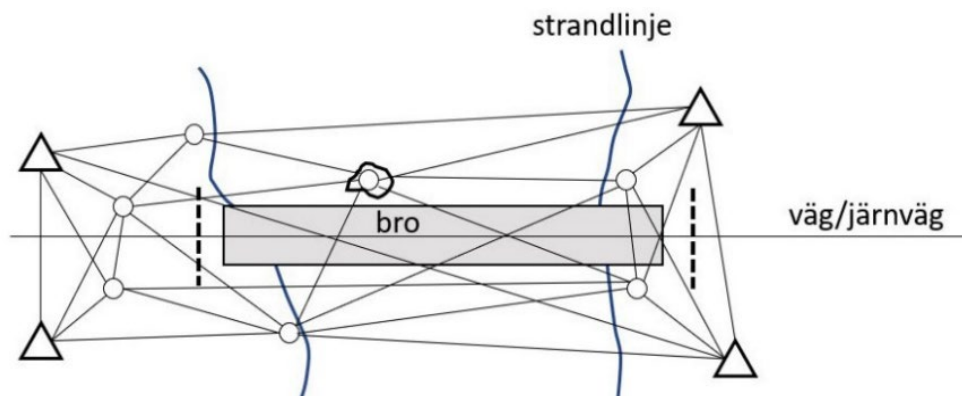
där den totala korrektionen enligt [Figur 2.4.3.b](#) är försumbar krävs någon form av åtgärd.

Figur 2.4.3.b. Sammanlagd inverkan av höjdkorrektion och projektkorrektion, enhet ppm = mm/km. Detta under förutsättning att skalfaktorn utefter medelmeridianen = 1,0 (se [Figur 2.2.3.c](#)).



Detta kan hanteras genom att införa ett "korrektionsfritt" referenssystem över projektområdet, dvs. varken höjd- eller projektkorrektinger påförs. Det fungerar för mindre områden, se [Figur 2.4.3.c](#), men innebär normalt att relationen till geodata i omgivningen får hanteras separat.

Figur 2.4.3.c. Införande av ett "korrektionsfritt" referenssystem (inom broområdet, mellan de streckade linjerna) med 1:1-förhållande mellan avstånden i verkligheten och i modellen. Utanför detta område tillämpas "normala" projektnsprinciper.

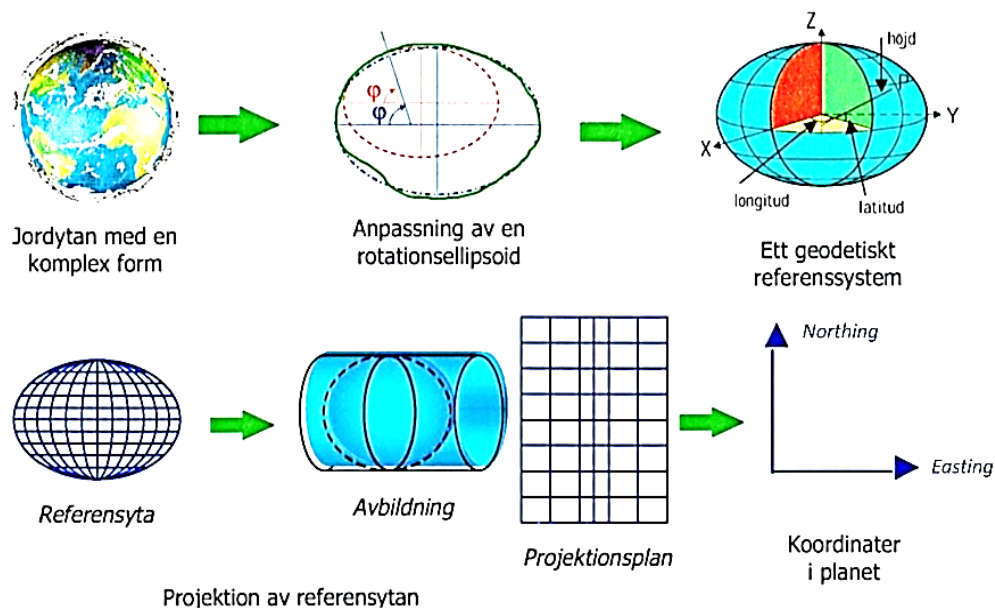


Om objekten/projekten är långsträckta – t.ex. järnvägar, rörledningar och tunnlar – fungerar dock inte detta angreppssätt. Mätning och redovisning av sådana objekt tas upp i rapporten [HMK-TR 2019:1 \[11\]](#).

2.5 Sammanfattning

[Figur 2.5](#) får sammanfatta kapitlet genom att visa ett exempel på vad som behövs för att redovisa lägen i plan, dvs. i 2D. Mer information om geodesi och referenssystem finns på [Lantmäteriets webbplats](#).

Figur 2.5. Den fysiska jordytan, med sin komplexa form, modelleras som en ellipsoid. Ellipsoiden avbildas i sin tur på ett projektionsplan för att få kartografiska 2D-koordinater (t.ex. Northing och Easting).



3 Nationell geodetisk infrastruktur

Information

- I Sverige finns en nationell geodetisk infrastruktur för insamling och redovisning av geodata i plan och höjd.
- Lantmäteriet ansvarar för de nationella referenssystemen, inklusive de referensnät som officiellt realiserar dessa system.

Lantmäteriet förvaltar och utvecklar en enhetlig geodetisk infrastruktur på nationell nivå, i enlighet med internationella standarder. I infrastrukturen ingår bl.a.:

- *SWEREF 99*, det nationella referenssystemet för lägesbestämning i plan. Se [avsnitt 3.1](#).
- *RH 2000*, det nationella referenssystemet för lägesbestämning i höjd. Se [avsnitt 3.2](#).
- *SWEPOS*, ett aktivt referensnät av fasta referensstationer för GNSS, och de rikstäckande tjänster för lägesbestämning som baseras på SWEPOS-nätet. Se [avsnitt 3.3](#).
- De nationella modellerna för geoidhöjder och landhöjning. Se [avsnitt 3.4](#).
- Rådgivning och tjänster som stödjer användningen av den nationella geodetiska infrastrukturen. Se [avsnitt 3.5](#).

[LMV-rapport 2010:11 \[13\]](#) redovisar de överväganden och motiv som ligger till grund för de valda realiseringsprinciperna för SWEREF 99 respektive RH 2000.

Till den nationella geodetiska infrastrukturen hör även *RG 2000*, referenssystemet för tyngdkraft, som beskrivs närmare på [Lantmäteriets webbplats](#).

Den övergripande målsättningen för den nationella geodetiska infrastrukturen fram till år 2025 beskrivs i [Lantmäteriets strategiska plan](#) för geodesiverksamheten.

3.1 SWEREF 99 – referenssystem i plan

Information

- SWEREF 99 är ett internationellt anpassat referenssystem som används för horisontella lägesangivelser (2D) i Sverige.
- För att uttrycka SWEREF 99 i kartografiska 2D-koordinater används någon av de officiella kartprojektionerna.
- SWEREF 99 realiseras aktivt via SWEPOS-nätets fasta referensstationer för GNSS.

SWEREF 99 är definierat som ett globalt anpassat referenssystem i 3D, men är i första hand avsett att användas för lägesbestämning i horisontalplanet, dvs. position i 2D. Systemet uppfyller kraven för utbyte av geodata enligt EU-direktivet Inspire, se även [avsnitt 3.1.5](#).

Referenssystemet realiseras aktivt via SWEPOS, det nationella nätet av fasta referensstationer för GNSS. Se [avsnitt 3.3](#) för mer information om SWEPOS.

3D-koordinater i SWEREF 99 anges som geocentriska kartesiska koordinater (X, Y, Z) eller geodetisk latitud, longitud och höjd över referensellipsoiden (φ, λ, h). Genom lämplig kartprojektion erhålls kartografiska 2D-koordinater i Northing och Easting (N och E), se [avsnitt 3.1.2](#).

Höjder över ellipsoiden kan konverteras till normalhöjder i RH 2000 med hjälp av en geoidmodell, se [avsnitt 3.4](#).

3.1.1 Systemdefinition och egenskaper

Information

- SWEREF 99 har definierats via GNSS-mätningar på fasta referensstationer i Sverige och nordiska grannländer.
- SWEREF 99 är en internationellt godkänd realisering av det europeiska referenssystemet ETRS89.

SWEREF 99 är den officiella svenska realiseringen av det europeiska referenssystemet *ETRS89*, genomförd enligt riktlinjer från den internationella geodesiassociationen IAG:s underkommission [EUREF](#).

SWEREF 99 har definierats via GNSS-mätningar, inklusive de 21 s.k. fundamentalstationerna i SWEPOS-nätet, se [Figur 3.1.1](#). Dessa är av

klass A-typ, dvs. med antennmonument förankrade i sprickfri berggrund. Se [avsnitt 3.3.1](#) för närmare beskrivning av klassificering och förvaltning av de fasta referensstationerna.

Figur 3.1.1. De 21 fundamentalstationer i SWEPOS-nätet som används för att definiera SWEREF 99. Avståndet mellan fundamentalstationerna är ca 200 km.



Koordinatbestämningen omfattade statistiska GNSS-observationer från totalt 49 fasta referensstationer i Sverige, Norge, Finland och Danmark som var aktiva sommaren 1999. Lösningen beräknades i referensepok 1999.5 i det internationella referenssystemet ITRF97 (se [avsnitt 3.1.5](#)) och räknades därefter över till ETRS89 [5].

SWEREF 99 är ett statistiskt referenssystem (se [avsnitt 2.1.3](#)) med bl.a. följande egenskaper:

- Referensellipsoid är *GRS 1980*, geocentriskt placerad.
- Den externa (platttektoniska) referensepok är 1989.0, i likhet med andra ETRS89-realiseringar. Det innebär att det aktiva referensnätets koordinater har korrigerats för den eurasiska kontinentalplattans rörelser sedan 1 januari 1989.

- Den interna referensepoken är 1999.5. Det betyder att nutida koordinater beskriver de fasta referensstationernas dåtida lägen. Postglacial landhöjning och andra större geodynamiska rörelser modelleras därför för att återskapa punkternas inbördes lägen vid observationstillfället.

3.1.2 Kartprojektioner

Information

- Kartografiska 2D-koordinater i SWEREF 99 anges med Northing (N) och Easting (E) i en Transversal Mercator-projektion.
- Den nationella kartprojektionen SWEREF 99 TM används för småskaliga tillämpningar.
- De tolv lokala projektionszonerna, SWEREF 99 dd mm, används för storskaliga tillämpningar.

För att SWEREF 99 ska kunna nyttjas som referenssystem i plan förutsätts en kartprojektion. För små- respektive storskaliga tillämpningar har därför följande officiella kartprojektioner definierats:

- En nationell projektionszon benämnd SWEREF 99 TM.
- Tolv lokala projektionszoner, som betecknas efter medelmeridianens avstånd från Greenwich enligt modellen SWEREF 99 dd mm (där dd anger grader och mm minuter). Se [Figur 3.1.2](#).

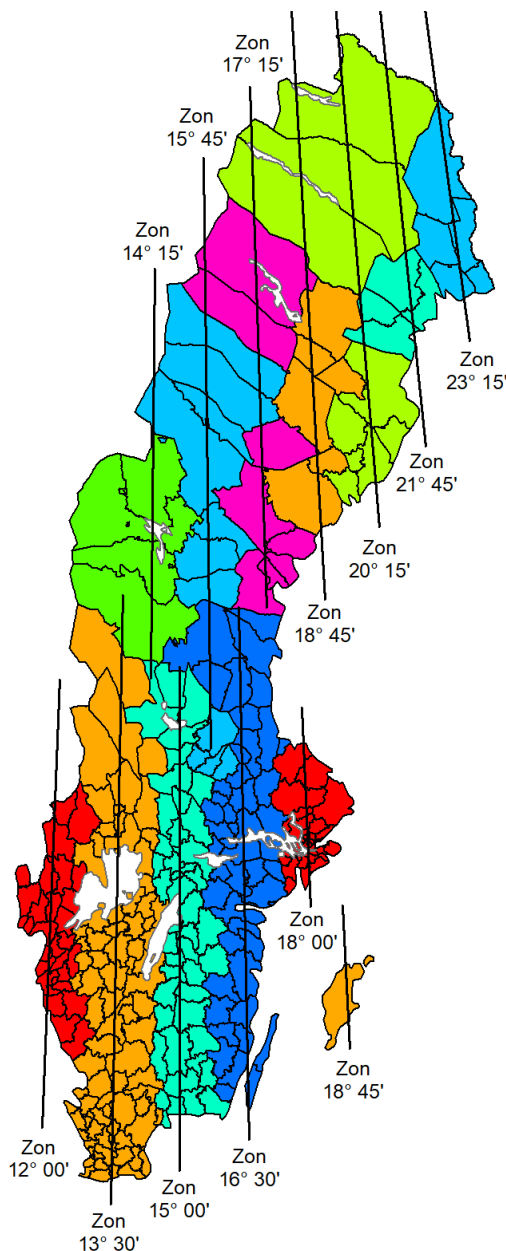
Liksom i tidigare svenska nationella referenssystem används Transversal Mercator (se [avsnitt 2.2.3](#)) p.g.a. Sveriges nord-sydliga utsträckning. Koordinatvärden anges med Northing (N) respektive Easting (E). De äldre koordinatbeteckningarna x och y kan leda till tvetydigheter och sammanblandningar och undviks därför i kartprojektioner för SWEREF 99.

För tillämpningar på småskalig/nationell nivå är det en fördel om hela landet kan avbildas skarvlöst i en projektion. I dessa fall rekommenderas SWEREF 99 TM, som överensstämmer med UTM i större delen av landet. Projektionsparametrarna är desamma för SWEREF 99 TM som för UTM zon 33N.

För storskaliga/lokala tillämpningar är det istället en fördel om avbildningsfelet kan minimeras – eller ignoreras helt för flertalet tillämpningar. Eftersom förstoring är det mest påtagliga avbildningsfelet, som växer med avståndet från medelmeridianen, har landet delats in i tolv långsmala lokala projektionszoner. Inom zonerna blir förstoringen i de flesta fall inte större än ca 50 mm/km.

I [Figur 3.1.2](#) visas de lokala projektionszoner som används för kommunala tillämpningar. Lokala avvikelser eller annan geografisk indelning kan dock förekomma [\[6\]](#).

Figur 3.1.2. De lokala projektionszoner i SWEREF 99 som används av Sveriges kommuner.



Projektionsparametrar för SWEREF 99 TM och de tolv projektionszonerna anges i [Tabell 3.1.2](#).

Transformation mellan SWEREF 99 TM och projektionszonerna kan göras felfritt i båda riktningarna med överräkning via geodetiska koordinater – latitud och longitud – i SWEREF 99.

Tabell 3.1.2. Projektionsparametrar för SWEREF 99.

Projektion	Medel-meridian, λ_0	Skalreduktions-faktor, k_0	N-avdrag (m)	E-tillägg (m)
SWEREF 99 TM	15°00'E	0,9996	0	500 000
SWEREF 99 12 00	12°00'E	1	0	150 000
SWEREF 99 13 30	13°30'E	1	0	150 000
SWEREF 99 14 15	14°15'E	1	0	150 000
SWEREF 99 15 00	15°00'E	1	0	150 000
SWEREF 99 15 45	15°45'E	1	0	150 000
SWEREF 99 16 30	16°30'E	1	0	150 000
SWEREF 99 17 15	17°15'E	1	0	150 000
SWEREF 99 18 00	18°00'E	1	0	150 000
SWEREF 99 18 45	18°45'E	1	0	150 000
SWEREF 99 20 15	20°15'E	1	0	150 000
SWEREF 99 21 45	21°45'E	1	0	150 000
SWEREF 99 23 15	23°15'E	1	0	150 000

3.1.3 Referensnät för mätning i SWEREF 99

Information

Den aktiva realiseringen av SWEREF 99 via SWEPOS innebär att:

- Fundamentalstationerna i SWEPOS kan betraktas som fel-fria i SWEREF 99.
- Övriga fasta referensstationer i SWEPOS har låg läges-osäkerhet i SWEREF 99.
- Inga markerade stompunkter i plan kan betraktas som fel-fria i SWEREF 99, varken på nationell eller lokal nivå. T.ex. bedöms RIX 95-punkterna ha en absolut standardosäkerhet i plan på cirka 1 cm.

Geodetisk mätning i SWEREF 99 kan ske med anslutning mot aktivt eller passivt referensnät, beroende på kravbild och tillgänglighet:

- Stommätning i SWEREF 99 utförs både med GNSS och terrestra metoder, se [HMK - Stommätning 2020](#).
- Detaljmätning i SWEREF 99 utförs i de flesta fall med RTK-rover eller totalstation, se [HMK - GNSS-baserad detaljmätning 2020](#) respektive [HMK - Terrester detaljmätning 2020](#).

- Vid detaljmätning med totalstation i SWEREF 99 kan GNSS/RTK även användas för att mäta in utgångspunkter (bakåtoobjekt) för fri stationetablering. I detta fall används alltså det aktiva referensnätet istället för markerade stompunkter.

Referensnät för SWEREF 99 finns tillgängliga för anslutning både på nationell och på kommunal nivå. Den anslutning som bäst överensstämmer med Lantmäteriets aktiva realisering sker via GNSS-mätning relativt det rikstäckande referensnätet SWEPOS, se [avsnitt 3.3](#). De 21 fundamentalstationerna i SWEPOS kan ur användarperspektiv betraktas som felfria utgångspunkter i SWEREF 99.

Övriga SWEPOS-stationer av klass A och B kan användas för anslutning med mycket god kvalitet, där den absoluta standardosäkerheten för planläget nominellt är ca 3–5 mm. Alla fasta referensstationer som ingår i de rikstäckande tjänsterna för GNSS-mätning monitoreras fortlöpande. I [avsnitt 3.3.1](#) framgår hur de fasta referensstationerna är fördelade över landet. Anslutning mot SWEPOS klass A/B kan utnyttjas vid etablering av markerade stornät, kontrollpunkter m.m. – oavsett om GNSS eller terrestra mätmetoder tillämpas i nästa steg.

Markerade stompunkter i plan kan inte betraktas som felfria i SWEREF 99, utan har alltid en lägesosäkerhet som måste beaktas vid användning. De s.k. *försäkringspunkterna* tillhör klass 1 i SWEREF 99 enligt Lantmäteriets klassificering. De har en standardosäkerhet i plan på ca 5–6 mm och ajourhålls enligt Lantmäteriets förvaltningsplan, se även [avsnitt 3.1.4](#). Eftersom avstånden mellan klass 1-punkterna i genomsnitt är ca 50 km är dock anslutning direkt mot SWEPOS klass A/B i många fall ett bättre alternativ, åtminstone i de delar av det aktiva referensnätet som är förtätat ned till 35 km.

Vad gäller de stompunkter som beräknades i RIX 95-projektet så tillhör dessa klass 2 i SWEREF 99. På grund av den aktiva realiseringen av SWEREF 99 ingår dessa inte längre i Lantmäteriets förvaltning. Detta gäller även stompunkterna i de triangelnät som realiserade de äldre nationella referenssystemen i plan. RIX 95-punkterna har en standardosäkerhet i plan på ca 10 mm. [\[2\]](#)

På kommunal nivå har befintliga stompunkter i de flesta fall transformerats i samband med övergången till SWEREF 99. I de fall där stompunkterna fortsätter att nyttjas som utgångs- eller kontrollpunkter bör därför både den absoluta lägesosäkerheten efter transformation (i SWEREF 99) och den lokala lägesosäkerheten (i förhållande till närliggande objekt/stompunkter) vara känd – och styrande för den mätmetod som väljs.

I [Bilaga A.3](#) finns schablonmässiga skattningar av mät- och lägesosäkerheter vid användning av referensnät för SWEREF 99. De olika aspekterna av övergången till SWEREF 99 och vad detta innebär för de lokala stornätens status beskrivs närmare i [kapitel 4](#).

3.1.4 Nationell förvaltning

Information

- Den aktiva realiseringen av SWEREF 99 monitoreras med hjälp av ca 300 markerade försäkringspunkter över hela landet.

Den aktiva realiseringen av SWEREF 99 via SWEPOS innebär att användarbehovet av ett markerat riksnät kraftigt har minskat. Däremot finns förvaltningsbehov med koppling till SWEPOS-stationernas utrustning och närmiljö, samt fortlöpande monitorering av stationernas koordinater. Denna förvaltning beskrivs närmare i [avsnitt 3.3.1](#).

För att säkerställa att lägesbestämning i SWEREF 99 kan ske tillförlitligt över tid utförs dessutom återkommande inventering och kontrollmätning av ungefär 300 markerade försäkringspunkter. Ursprungligen sammanföll försäkringspunkterna med de SWEREF-punkter som hölls fasta vid utjämningen av RIX 95-nätet. Detta innebär att dessa punkter ligger väl spridda över landet på ett inbördes avstånd av ca 50 km.

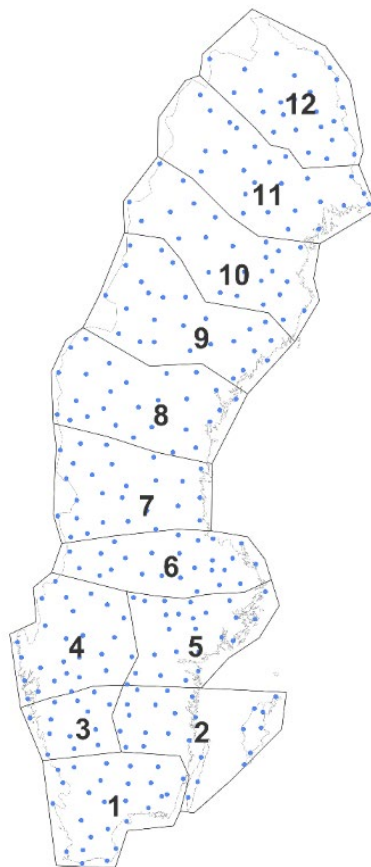
Nuvarande ajourhållningsplan av försäkringspunkterna baseras på tolv regioner, se [Figur 3.1.4](#). Varje år inventeras en region i norr och en i söder, vilket medför att punkterna återbesöks vart sjätte år.

Kontrollmätningarna är primärt avsedda att säkerställa att de GNSS-observationer och beräkningar som ligger till grund för SWEREF 99 är korrekta, men de ger också möjlighet att kontrollera landhöjningsmodellen och fånga upp övriga geodynamiska rörelser mellan de fasta referensstationerna i SWEPOS-nätet.

Punkter som förstörts eller på annat sätt blivit otillgängliga ersätts med likvärdiga markeringar enligt följande prioritet:

- Återanvändning av befintlig markering; helst RIX 95-punkt eller höjdfix med avvägd RH 2000-höjd.
- Återanvändning av annan RIX 95-punkt, med avvägning mot närliggande höjdfix.
- Nymarkering, med avvägning mot närliggande höjdfix.
- Förvaltningen av de nationella referensnäten beskrivs mer utförligt i [Lantmäterirapport 2019:1 \[1\]](#).

Figur 3.1.4. Ajourhållning av de 300 försäkringspunkterna, med inbördes avstånd på ca 50 km, sker systematiskt över 12 områden. Ett område i norr och ett i söder besöks årligen.



3.1.5 SWEREF 99 i ett internationellt perspektiv

ETRS89

Geodata som utbyts enligt EU-direktivet Inspire ska anges i ett referenssystem som överensstämmer med ETRS 89, t.ex. SWEREF 99. Se [Tabell 3.1.5.a.](#)

Tabell 3.1.5.a. Referens- och koordinatsystem för datautbyte enligt Inspire.

Koordinattyp	Koordinatsystem	Skalområde
3D	ETRS 89 (X,Y,Z)	-
3D	ETRS 89 (lat, long, ellh)	-
2D, horisontellt	ETRS 89-LAEA	-
2D, horisontellt	ETRS 89-LCC	<1:500 000
2D, horisontellt	ETRS 89-TMzn	>1:500 000

De kartprojektioner som ska tillämpas enligt Inspire är:

- LAEA - Lambert azimuthal equal-area projection.
- LCC - Lambert conformal conic projection, se [avsnitt 2.2.3](#).
- TMzn - Transversal Mercator tillsammans med definierad projektionszon, t.ex. SWEREF-zoner enligt avsnitt

Läs mer om Inspire i [HMK - Introduktion 2017](#), avsnitt 3.5.

För att få en ETRS89-realiserings godkänd krävs att man strikt följer EUREF:s föreskrifter, vilket innebär anslutning till det globala referenssystemet *ITRS* vid den platttektoniska referensepoken 1989.0. Detta medför att SWEREF 99 överensstämmer väl med övrig europeiska ETRS89-realiserings inom den stabila delen av den eurasiska kontinentalplattan.

I [Tabell 3.1.5.b](#) redovisas skillnaden mellan SWEREF 99 och några grannländers ETRS89-realiserings. Skillnaderna är alltså relativt små men kan vara av betydelse vid arbete i gränsöverskridande projekt eller vid eventuell användning av stompunkter/referensstationer i grannländerna.

Tabell 3.1.5.b. Skillnader mellan SWEREF 99 och andra nordiska ETRS89-realiserings. Alla värden i millimeter. [\[3\]](#)

	dN	dE	dU
Danmark	10	1	-25
Finland	-2	3	5
Norge	5	-19	-14

I de fall där nationella tjänster för lägesbestämning med GNSS inkluderar grannländers fasta referensstationer hanteras detta i regel genom att tjänsteleverantören beräknar koordinater i aktuell realisering.

ITRS/ITRF

Det mest noggranna globala referenssystemet är ITRS (*International Terrestrial Reference System*). Det är ett dynamiskt referenssystem där de officiella realiseringarna betecknas ITRFyy eller ITRFyyyy, t.ex. ITRF2014 (*International Terrestrial Reference Frame*).

ITRS möjliggör sömlös lägesbestämning i tillämpningar utan anslutning till nationella referensnät, bl.a. i GNSS-baserade metoder som *Precise Point Positioning*. För mer information om transformationer mellan ITRF och SWEREF 99, se [Lantmäteriets webbplats](#).

WGS 84

Om man utför s.k. absolut positionsbestämning med satellitsystemet GPS, dvs. utan referensdata från fasta referensstationer eller andra markbaserade stödsystem, så erhålls läget i det tre-dimensionella referenssystemet WGS 84.

Precis som ITRS är WGS 84 ett dynamiskt system som består av både koordinater och hastigheter och kan därmed uttryckas i valfri epok. Då den eurasiska kontinentalplattan rör sig med några centimeter per år innebär det att WGS 84 (aktuell epok) och SWEREF 99 (plattetektonisk epok 1989.0) sakta driver ifrån varandra.

År 2019 är skillnaden mellan SWEREF 99 (ETRS89) och WGS 84 i storleksordningen 7–8 dm, vilket i de flesta fall kan betraktas som försumbart i förhållande till mätosäkerheten i de tillämpningar som använder WGS 84, t.ex. bilnavigatorer.

3.2 RH 2000 – referenssystem i höjd

Information

- Referenssystemet RH 2000 är ett internationellt anpassat referenssystem för höjdangivelser (1D) i Sverige.
- Höjder i RH 2000 överensstämmer väl med det intuitiva uttrycket "höjd över havet".

RH 2000 – Rikets Höjdsystem 2000 – är ett nationellt anpassat referenssystem för höjdangivelser och uppfyller kraven för utbyte av geodata enligt EU-direktivet Inspire. Höjder i RH 2000 anges som normalhöjder (H), vilket i praktisk tillämpning motsvarar höjd över havet.

Höjdfixar i RH 2000 är lämpliga som utgångs- och kontrollpunkter för höjdbestämmning via avvägning. GNSS-mätning kan också ge höjder i RH 2000, förutsatt att omvandling från höjd över ellipsoid (h) till höjd över geoid (H) utförs med hjälp av lämplig geoidmodell. Se avsnitt 3.4.

Genom [Lantmäteriets geodetiska arkiv](#) kan man få tillgång till höjdvärden och punktbeskrivningar för höjdfixar i RH 2000.

3.2.1 Systemdefinition och egenskaper

Information

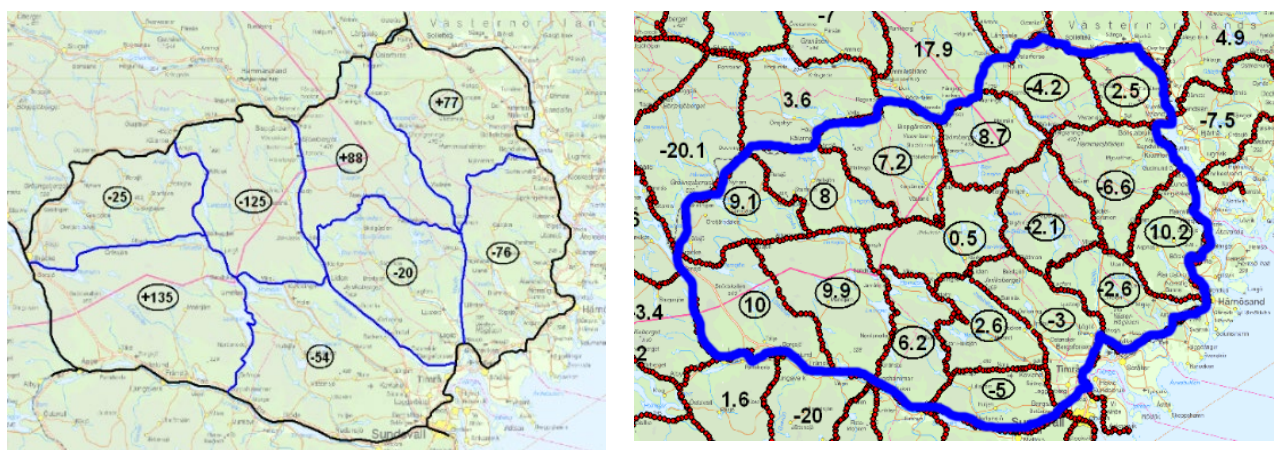
- RH 2000 definieras passivt via ett rikstäckande nät av markerade höjdfixar.
- RH 2000 är en realisering av det europeiska höjdsystemet EVRS 2000.

RH 2000 definieras via ett rikstäckande referensnät som ursprungligen innehöll ca 50 000 markerade höjdfixar, se [Figur 3.2.1.a](#). Höjdfixarna ligger längs ca 100 km långa slingor, på ett inbördes avstånd av ca 1 km.

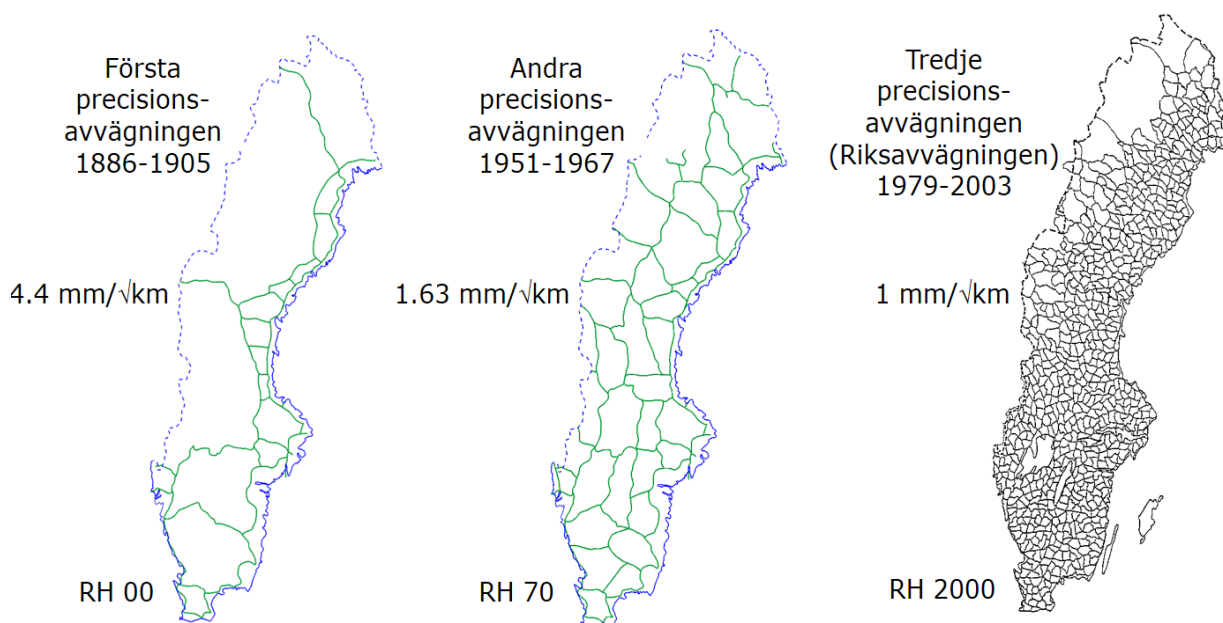


Figur 3.2.1.a. En typisk höjdfix i RH 2000-nätet.

Mätningarna för RH 2000 genomfördes huvudsakligen med *motoriserad precisionsavvägning* i den s.k. *Riksavvägningen* (den tredje precisionsavvägningen) som pågick mellan 1979 och 2003. I [Figur 3.2.1.b-c](#) ser vi att höjdnätet för RH 2000 är mer yttäckande och mer homogent än de precisionsavvägningar som ligger till grund för de äldre nationella höjdsystemen RH 00 och RH 70. Nätutformningen skedde delvis i samråd med kommuner och andra intressenter, bl.a. för att säkerställa god täckning och möjlighet till anslutning av lokala höjdnät.



Figur 3.2.1.b. Exempel på avvägningslingor som låg till grund för RH 70 (till vänster) respektive RH 2000 (till höger). Slutningsfelen för slingorna är angivna i mm. RH 2000 har som synes både bättre yttäckning och mindre lägesosäkerhet än tidigare höjdsystem.



Figur 3.2.1.c. De referensnät som har realiserat de nationella höjdsystemen RH 00, RH 70 och RH 2000. Den skattade mätosäkerheten för respektive precisionsavvägning avser dubbelavvägda sträckor.

RH 2000 har bl.a. följande egenskaper:

- Systemet definieras teoretiskt enligt *EVRS, European Vertical Reference System*, där det bl.a. specificeras att s.k. normalhöjder och nolldjord ska användas.
- Nollnivån i RH 2000 är Normaal Amsterdams Peil (NAP), en traditionell referensnivå för höjdbestämning i Europa.
- Alla mätningar påfördes korrekationer för jordkrökning, temperatur och stånglängd samt tidjord.
- Referensepoken är 2000.0 med avseende på landhöjningen.

Landhöjningsmodellen NKG2005LU har använts för att reducera alla mätningar till den gemensamma referensepoken inför slututjämnningen; en absolut nödvändighet i och med att Riksavvägningen pågick under mer än 20 års tid.

3.2.2 Referensnät för mätning i RH 2000

Information

Den passiva realiseringen av RH 2000 via markerade höjdfixar innebär att:

- Varje höjdfix i det nationella referensnätet kan lokalt betraktas som felfri i RH 2000, förutsatt att den överensstämmer med närliggande fixar.
- En geoidmodell behöver användas för att omvandla GNSS-mätta höjder till höjder i RH 2000. Geoidmodeller har en osäkerhet som måste beaktas.

Geodetisk mätning i RH 2000 kan antingen ske med anslutning mot passivt eller aktivt referensnät, beroende på kravbild och tillgänglighet:

- Stommätning i RH 2000 görs antingen med finavvägning, korresponderande trigonometrisk höjdmätning (totalstation) eller med statisk GNSS tillsammans med geoidmodell. I det senare fallet kan det ibland vara önskvärt att avväga utgångspunkterna för bättre höjdkvalitet i GNSS-nätet. Se [HMK – Stommätning 2020](#).
- Detaljmätning i RH 2000 görs främst med totalstation eller med GNSS/RTK tillsammans med geoidmodell. Se [HMK – Terrester detaljmätning 2020](#) respektive [HMK – GNSS-baserad detaljmätning 2020](#).
- Vid detaljmätning med totalstation i RH 2000 kan GNSS/RTK även användas som utgångspunkter (bakåtoobjekt) för fri stationsetablering. Ofta behöver dock sådana utgångspunkter kompletteras med minst en höjdfix.
- En fördel med anslutning genom terrester mätning mot höjdfix är att läget erhålls direkt i höjdsystemet, dvs. ingen transformation är nödvändig. GNSS-mätning kräver en geoidmodell som måste dokumenteras.

Referensnät för RH 2000 finns tillgängliga för anslutning både på nationell och på kommunal nivå. Höjdfixarna i riksnätet betraktas definitionsmässigt som felfria utgångspunkter – dvs. med standardosäkerheten noll (0) för höjdläget i RH 2000, förutsatt att de överensstämmer med närliggande höjdfixar i riksnätet.

I samband med införandet av RH 2000 har många kommunala höjdnät nytjämnats. I och med att Riksavvägningen planerades för att möjliggöra anslutning av kommunala höjdnät är idag många lokala höjdfixar väl bestämda i RH 2000, med förhållandevis små systematiska skillnader över kommungränserna.

I den mån kommunerna underhåller sina höjdnät kan dessa punkter i många fall ses som en bra kommunal förtätning av det nationella höjdnätet.

Standardosäkerheten i RH 2000 (absolut) för kommunala höjdfixar beror dock till stor del på om de lokala höjdnäten har anslutits till RH 2000 med avvägning eller GNSS. Även kvaliteten i de kommunala mätningar som använts vid beräkningen påverkar höjdfixarnas standardosäkerhet. I de kommunala höjdnäten är typavstånden mellan höjdfixarna 100–500 meter.

Huvudalternativet till avvägning är i de flesta fall att realisera RH 2000 via stommätning med GNSS, relativt det aktiva referensnätet (SWEPOS) eller lämpliga höjdfixar. Eftersom GNSS-mätningen ger höjd över ellipsoiden krävs i dessa fall omvandling till höjder i RH 2000 via en geoidmodell, se [avsnitt 3.4.1](#).

I [Bilaga A.3](#) finns schablonmässiga skattningar av mät- och lägesosäkerhet vid höjdmätning i RH 2000. De olika aspekterna av övergången till RH 2000, och vad detta innebär för de kommunala stommätens status, beskrivs närmare i [kapitel 4](#).

3.2.3 Nationell förvaltning

Lantmäteriets förvaltning av RH 2000 sker främst genom ajourhållning av höjdfixar i riksnätet. Av de ursprungligen ca 50 000 höjdfixar som ingick i Riksavvägningen fördelade sig markeringstyperna enligt följande:

- 36 % i berg
- 54 % i jordfasta stenar
- 6 % i husgrunder, broar eller liknande
- 4 % underjordiska punkter

0–2 % av höjdfixarna försvinner årligen, främst i tätort och i samband med större infrastrukturprojekt. Inventering av höjdfixar görs systematiskt från söder till norr. Undantag gäller de höjdfixar som blivit oåtkomliga, t.ex. där vägar byggts om till motorväg eller vajerräckesväg.

Försvunna fixar ersätts med nya, förutsatt att vissa kriterier är uppfyllda. T.ex. har markeringar i berg högre prioritet än mindre stabila markeringsunderlag. Vidare säger kriterierna att avstånden mellan återstående bergfixar, eller mellan återstående fixar i en avvägningsslinga, inte får bli för stora.

I samband med inventeringen uppdateras alla punktbeskrivningar. Nya höjdfixar avvägs från närmast omgivande punkter efterföljande år, med sådan metodik att höjderna blir av samma kvalitet som de äldre. Samtidigt kontrolleras att de närliggande höjdfixarna inte har rubbats.

Om så har skett utförs ytterligare avvägning mot närmast liggande fix o.s.v. tills överensstämmelse med äldre höjdbestämmingar uppnåtts.

Förvaltningen av de nationella referensnäten beskrivs mer i detalj i [Lantmäterirapport 2019:1 \[1\]](#).

3.2.4 RH 2000 i ett internationellt perspektiv

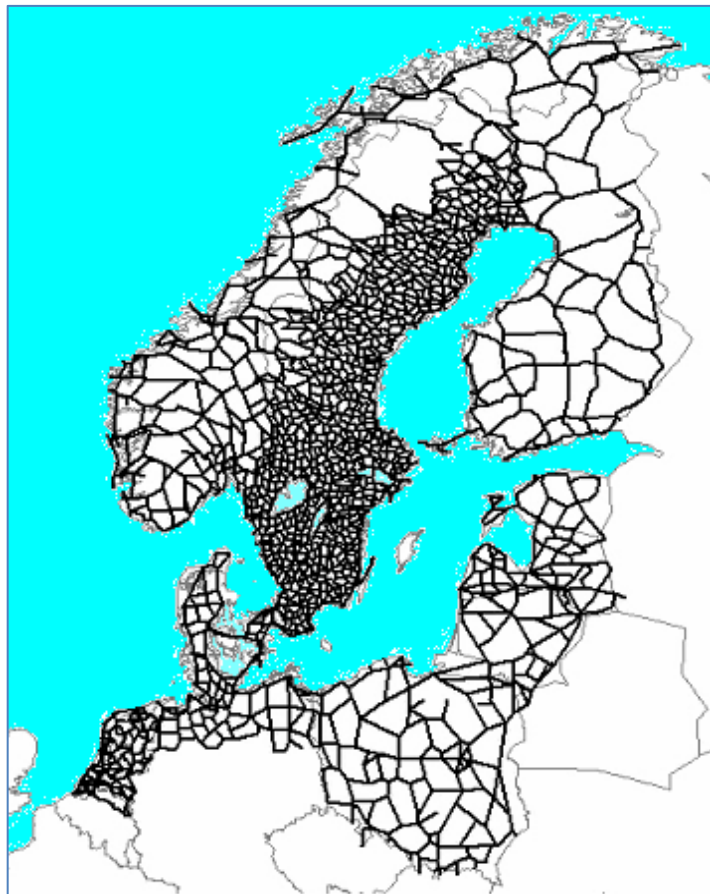
RH 2000 är anslutet till våra grannländers höjdsystem och beräknat enligt europeisk standard. Det innebär att RH 2000 är definierat i överensstämmelse med det europeiska höjdsystemet EVRS och följer därmed också EU-direktivet Inspire. Läs mer om Inspire i [HMK – Introduktion 2017](#), avsnitt 3.5.

EVRS förvaltas av EUREF på motsvarande sätt som ETRS89. Höjdsystemet är uppbyggt av nationella avvägnings- och landhöjningsdata för att underlätta utbyte av höjdinformation inom Europa. *European Vertical Reference Frame 2019 (EVRF2019)* är den senaste officiella realiseringen av EVRS.

I [Tabell 3.2.4](#) ser vi att skillnaden mellan de nordiska ländernas höjdsystem är på millimeternivå, utom DVR90 som beräknades innan de gemensamma avvägningarna kring Östersjön var slutförda. Se även [Figur 3.2.4](#).

Tabell 3.2.4. Överensstämmelse mellan RH 2000 och några grannländers höjdsystem vid respektive riksgrens. Alla värden är angivna i millimeter.

	Nationellt höjdsystem	Överensstämmelse med RH 2000
Finland	N2000	2
Norge	NN2000	2
Danmark	DVR90	22



Figur 3.2.4. Avvägningslinjerna i BLR (Baltic Levelling Ring). Slutberäkningen av RH 2000 gjordes utifrån dessa observationer.

3.3 SWEPOS – ett aktivt nät av fasta referensstationer för GNSS

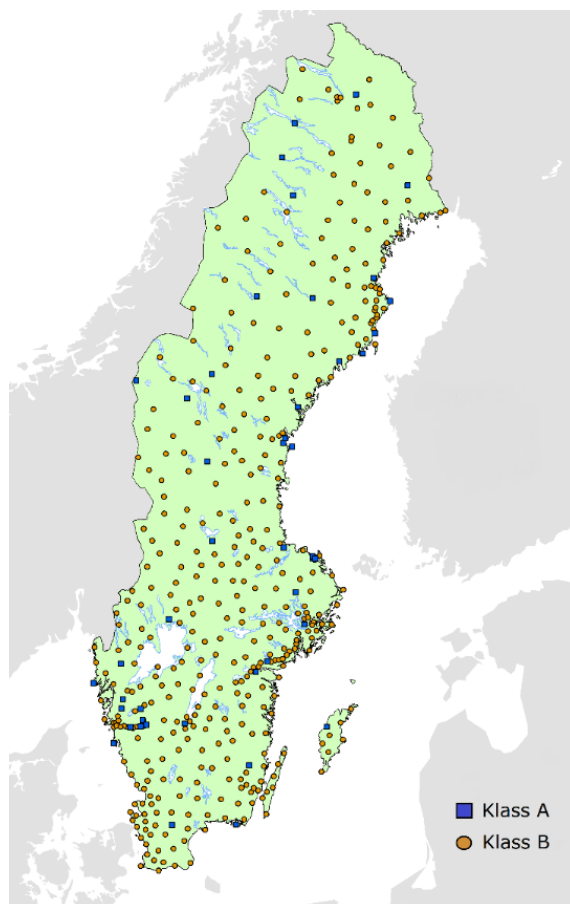
Information

- SWEPOS är ett nationellt nät av fasta referensstationer som möjliggör GNSS-mätning direkt i SWEREF 99 och indirekt i RH 2000, via geoidmodell.

SWEPOS är ett aktivt referensnät bestående av fasta referensstationer för GNSS, se [Figur 3.3](#) Noggrann relativ GNSS-mätning med hjälp av referensdata från SWEPOS-nätet ger möjlighet till lägesbestämning i de nationella geodetiska referenssystemen SWEREF 99 och RH 2000. Som användare kan man då erhålla:

- 3D-koordinater i SWEREF 99, eller kartografiska 2D-koordinater via rekommenderad SWEREF 99-projektion.
- Höjder i RH 2000, förutsatt att en rekommenderad geoidmodell används.

Figur 3.3. Fasta referensstationer i SWEPOS-nätet, september 2019. GNSS-observationer skickas fortlöpande från referensstationerna till SWEPOS driftledningscentral i Gävle.



Referensdata består bl.a. av koordinater och GNSS-observationer. Kvaliteten på referensdata beror bl.a. på vilka tjänster som används och vilka fasta referensstationer som utnyttjas, men kan överlag betraktas som mycket hög för de flesta tillämpningar där GNSS kan användas.

3.3.1 Stationsklassificering och förvaltning

Information

- SWEPOS-stationer indelas kvalitetsmässigt i klass A och B.
- Alla fasta referensstationer i SWEPOS monitoreras och underhålls av Lantmäteriet.

Alla SWEPOS-stationer är utrustade med GNSS-mottagare som tar emot signaler från flera satellitsystem, vilket omfattar bl.a. det ameri-

kanska GPS, det ryska *GLONASS* och det europeiska *Galileo*. Satellitobservationerna från samtliga fasta referensstationer överförs i realtid till Lantmäteriets driftledningscentral, via fasta dataförbindelser eller 4G. I driftledningscentralen kvalitetskontrolleras och konverteras GNSS-data till standardiserade format innan de vidare distribueras för användning i olika tjänster för lägesbestämning med GNSS samt lagring i dataarkiv.

De fasta referensstationerna i SWEPOS-nätet kategoriseras som klass A eller klass B utifrån vilka krav som finns på stabilitet och reservkapacitet. Kraven för klass A baseras på behovet av en långsiktigt hållbar realisering av SWEREF 99. Dessutom finns det åtaganden kopplade till de riktlinjer som bestämts för de internationella referensstationsnät där vissa SWEPOS-stationer ingår, se [avsnitt 3.3.3](#). För klass B handlar kraven främst om att möjliggöra rikstäckande tjänster för GNSS/RTK-mätning. Typiska referensstationer för klass A respektive B visas i [Figur 3.3.1.a](#).

Figur 3.3.1.a. Exempel på fasta referensstationer i SWEPOS-nätet, klass A (vänster) respektive klass B (höger).



Utrustningen på referensstationerna inventeras, underhålls och uppgraderas fortlöpande. Nya GNSS-antennor testas innan de installeras på en station, och på klass A utförs dessutom individuell antennkalibrering. Monitorering av samtliga stationers koordinater sker via rutinmässiga beräkningar; se vidare under rubriken "Beräkning och analys".

SWEPOS Klass A

Klass A-stationerna har de mest stabila koordinaterna över tid eftersom dessa stationers antennfundament är fast förankrade i sprickfri berggrund. Till klass A-stationerna hör de 21 fundamentalstationerna som definierar det nationella referenssystemet SWEREF 99, se [avsnitt 3.1](#).

Fundamentalstationerna har dubbla antennfundament, se [Figur 3.3.1.b](#). Detta möjliggör utrustningsbyte vid behov, t.ex. för att kunna inkludera nya satellitsignaler, samtidigt som långa tidsserier hålls intakta.

Figur 3.3.1.b. De 21 fundamentalstationerna har två antenninstallationer – på isolerad betongpelare samt på fackverksmast (vänster respektive höger i bild).



Övrig utrustning på klass A-stationerna installeras normalt i en fristående teknikbod. Reservkapacitet för GNSS-mätning, datakommunikation och strömförsörjning kan aktiveras i händelse av problem. Tillsyn av klass A-stationerna sker årligen, främst för underhåll av reservkraft och teknikbodar.

På fundamentalstationerna sker återkommande kontrollmätningar av pelarnas ovansidor (där GNSS-antennen är monterad) utifrån ett fast stomnät med ståldubbsmarkeringar runt pelaren. Syftet med kontrollmätningarna är att upptäcka lokala rörelser.

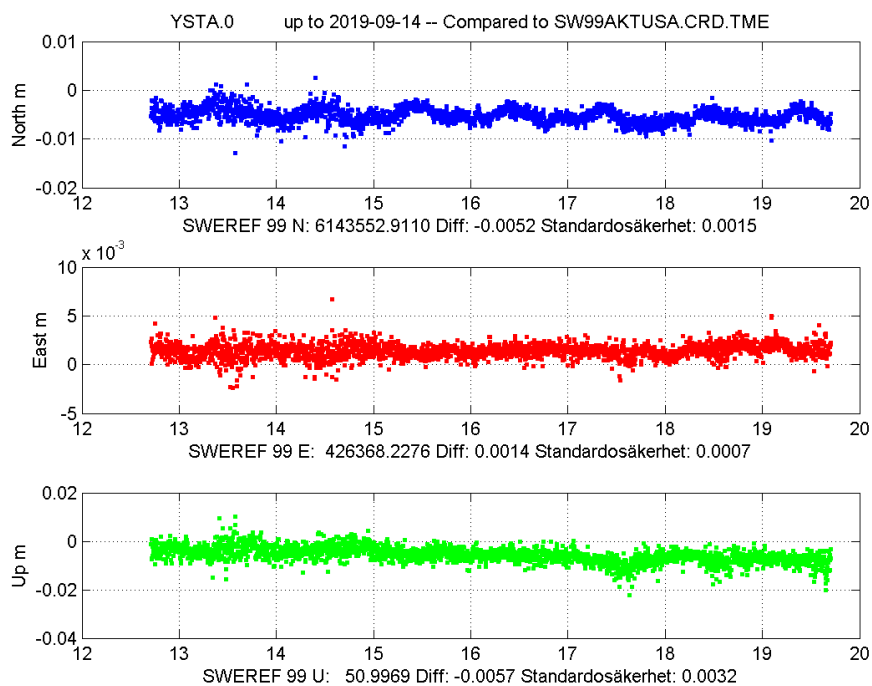
SWEPOS Klass B

Klass B-stationernas GNSS-antennerna är monterade på befintliga byggnadsfasader eller -tak, och har inte samma redundans vad gäller utrustning. Klass B-stationer används i normalfallet vid förtätning-/utbyggnad av de rikstäckande tjänsterna för lägesbestämning; se [avsnitt 3.3.2](#). Därmed utgör de en klar majoritet av de fasta referensstationerna i SWEPOS, ca 90 %.

Tillsyn av klass B-stationer sker vid behov, t.ex. i samband med utrustningsbyte. Genom dagliga beräkningar av klass B-stationernas koordinater kartläggs avvikelser med avseende på storlek och ursprung; se [Figur 3.3.1.c](#).

Vissa avvikelser kan vara förväntade, t.ex. vid antenn- och radombyten. Andra avvikelser upptäcks över tid, t.ex. säsongsbundna rörelser i den byggnadsdel där GNSS-antennen är monterad. Ibland är rörelsen skenbar eller av tillfällig karaktär, t.ex. avvikelser i höjdkomponenten p.g.a. snö som samlats på radomerna. Större systematiska effekter som kvarstår – mer än ca 3–4 mm – föranleder alltid utredning och åtgärd, t.ex. uppdatering av referensstationens koordinater.

Figur 3.3.1.c. SWEPOS-stationerna monitoreras fortlöpande via dagliga och veckovisa beräkningar. Ovanstående exempel visar de dagliga avvikelserna från de officiella koordinaterna för klass B-stationen i Ystad. De horisontella axlarna visar tid (år). De vertikala axlarna (mm) är anpassade till datamängderna.



Beräkning och analys

I förvaltningen av det aktiva referensnätet ingår att övervaka kvaliteten på GNSS-data samt stationernas koordinater. Rutinmässig efterberäkning av GNSS-data från SWEPOS-stationerna utförs både dagligen och veckovis. Beräkningarna har flera syften, bland annat:

- att kunna upptäcka problem och störningar på referensstationerna och för att övervaka den långsiktiga stabiliteten i stationernas koordinater (främst klass B)
- att kunna säkerställa att förändringar i SWEPOS-nätet (t.ex. mätutrustning eller mjukvara för beräkning) ger så liten påverkan som möjligt i användarledet, t.ex. genom att vid behov uppdatera koordinater i de tjänster som utnyttjar SWEPOS.

Mer information om SWEPOS-beräkningar och analyser finns i avsnitt 2.4 i [Lantmäterirapport 2019:1 \[2\]](#)

3.3.2 Rikstäckande tjänster för GNSS-mätning

Information

- Fasta referensstationer och rikstäckande tjänster för noggrann lägesbestämning med GNSS tillhandahålls av olika leverantörer i Sverige.
- Alla rikstäckande nätverks-RTK-tjänster bygger på det nationella SWEPOS-nätet, med vissa lokala variationer.

SWEPOS referensstationer utnyttjas i en rad olika tjänster för noggrann lägesbestämning med GNSS, främst nätverks-RTK.

Rikstäckande nätverks-RTK-tjänster tillhandahålls av Lantmäteriet och ett antal privata tjänsteleverantörer. Eftersom alla tjänsteleverantörer utnyttjar referensdata från samma uppsättning av SWEPOS klass A- och B-stationer så finns förutsättningar för enhetlig realisering av SWEREF 99 via nätverks-RTK.

I vissa fall kan lokala skillnader förekomma mellan olika tjänsteleverantörer, t.ex. när någon leverantör kompletterat SWEPOS med egna referensstationer. Detta kan påverka vilken mätosäkerhet som kan erhållas vid mätning, beroende på vilken nätverks-RTK-tjänst som utnyttjas.

Lantmäteriet utför monitorering och koordinatberäkning av alla referensstationer, oavsett tjänsteleverantör, och säkerställer därmed att realiseringen av SWEREF 99 sker på ett enhetligt sätt.

Utöver nätverks-RTK finns även realtidstjänster för mindre krävande tillämpningar (DGNSS), samt tjänster som ger tillgång till GNSS-data för efterberäkning (RINEX) och tjänster som genomför automatisk efterberäkning av egna mätdata. Information om vilka tjänster för GNSS-mätning som finns tillgängliga erhålls via respektive tjänsteleverantör. Motsvarande uppgifter om de fasta referensstationerna hämtas från aktuell huvudman.

3.3.3 SWEPOS i ett internationellt perspektiv

Ett antal SWEPOS-stationer ingår även i två betydande internationella nätverk av fasta referensstationer för GNSS:

- *EUREF Permanent Network (EPN)*, se [Figur 3.3.3](#), består av drygt 300 stationer med koordinater noggrant bestämda i ETRS89, se [avsnitt 3.1.5](#). EPN kan alltså sägas utgöra det referensnät som bär upp det officiella europeiska referenssystemet, även om nationella ETRS89-realiseringar kan definieras på olika sätt. Samtliga SWEPOS fundamentalstationer

ingår i EPN-nätet. Lantmäteriet ansvarar dessutom för ett av EPN:s analyscenter, inom ramen för det nordiska geodesisamarbetet i NKG (Nordiska Kommissionen för Geodesi).

- *International GNSS Service (IGS) Network* är ett globalt nät där EPN kan betraktas som den europeiska förtätningen. Fem av SWEPOS fundamentalstationer – Kiruna, Mårtsbo (Gävle), Visby, Borås, Onsala – ingår i IGS-nätet.

Figur 3.3.3. De fasta referensstationerna i EUREF Permanent Network (Källa: <http://www.epncb.oma.be>)



Förutom det internationella samarbete som gäller definitioner och tillämpningar av referenssystem, t.ex. ITRS och ETRS, så används dessa stödsystem bl.a. för:

- beräkning av GNSS-produkter, t.ex. noggranna satellitbanor och troposfärparametrar
- klimatforskning och meteorologi
- geodynamiska modeller, t.ex. av landhöjning och kontinentaldrift.

På nationell nivå sker även viss samverkan över nationsgränserna där exempelvis data från ett antal fasta referensstationer i våra grannländer ingår i de svenska RTK-tjänsterna, vilket möjliggör GNSS-mätning i gränsområden utan behov av extrapolering.

3.4 Nationella modeller för geoid och landhöjning

Information

- Med den nationella geoidmodellen SWEN17_RH2000 går det att omvandla höjder över ellipsoiden till höjder över geoiden (och vice versa) över hela Sverige.
- Vid höjdbestämmning med GNSS är osäkerheten beroende av både GNSS-mätningen och geoidmodellen.
- Användning av olika geoidmodeller medför olika höjder i referenssystemet. Det är därför viktigt att dokumentera exakt vilken geoidmodell som används.
- Den nationella landhöjningsmodellen NKG2016LU används i förvaltningen av de nationella referenssystemen.

3.4.1 Nationell geoidmodell

Den senast publicerade nationella geoidmodellen är SWEN17_RH2000, som ger höjder i systemet RH 2000, se [Figur 3.4.1](#).

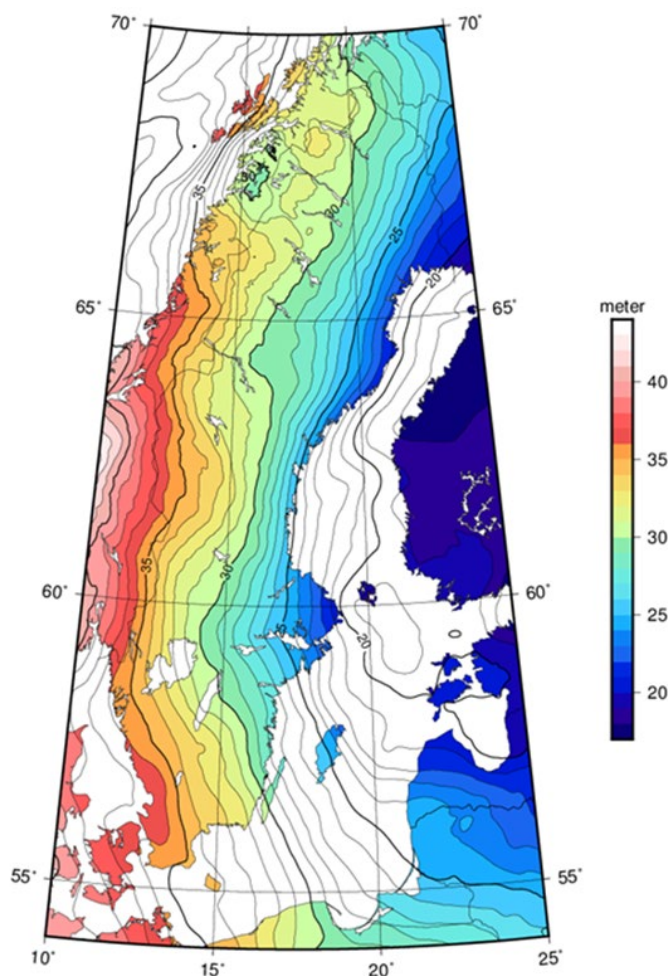
SWEN17_RH2000 är anpassad till SWEREF 99 och RH 2000. Modellen korrigerar för landhöjningen och genomför en restfelsinterpolation vid övergången mellan höjder över ellipsoiden i SWEREF 99 och höjder över havet i RH 2000.

Standardosäkerheten för en geoidhöjd ur SWEN17_RH2000 har skattats till 8-10 millimeter på fastlandet, Öland och Gotland. Ett fåtal områden har större osäkerhet – bl.a. i Vättern, de högsta fjällen i nordväst och längst upp i norr nära gränsen mot Norge. Även till havs har geoidmodellen större osäkerhet; standardosäkerheten är ca 2-3 centimeter i kustnära vatten och troligen runt 5-10 centimeter längre ut.

Vid höjdbestämmning med GNSS tillkommer dessutom osäkerheten i själva GNSS-mätningen. Detta innebär att höjder i RH 2000 som bestämts med GNSS och en geoidmodell normalt sett har en större osäkerhet än avvägda höjder i samma referenssystem. Det är därför viktigt att höjdernas tillkomstsätt tydligt dokumenteras.

Vad gäller övriga nordiska länder så har de kopplat sina respektive geoidmodeller till höjdsystemen på samma sätt som Sverige. Eftersom de delvis bygger på samma geoidberäkning, samt det faktum att referenssystemen i övrigt överensstämmer väl, uppgår skillnaderna mellan modellerna endast till några fåtal centimeter.

Figur 3.4.1. Geoidmodellen SWEN17_RH2000. Ekvidistansen är 1 m.



En närmare beskrivning av geoidmodellen SWEN17_RH2000 finns på [Lantmäteriets webbplats](#). För att bestämma geoidhöjder utifrån koordinater i SWEREF 99 kan den interaktiva tjänsten [Beräkna geoidhöjd](#) användas.

På samma sätt som vid publicering av tidigare geoidmodeller har en "systemmodell", kallad SWEN17_RH70, beräknats för det tidigare nationella höjdsystemet RH 70.

3.4.2 Landhöjningsmodell

Den postglaciala landhöjningen påverkar de nationella geodetiska referenssystemen och modelleras bl.a. för att kunna räkna om koordinater mellan olika referensepoker, se [avsnitt 2.1.3](#).

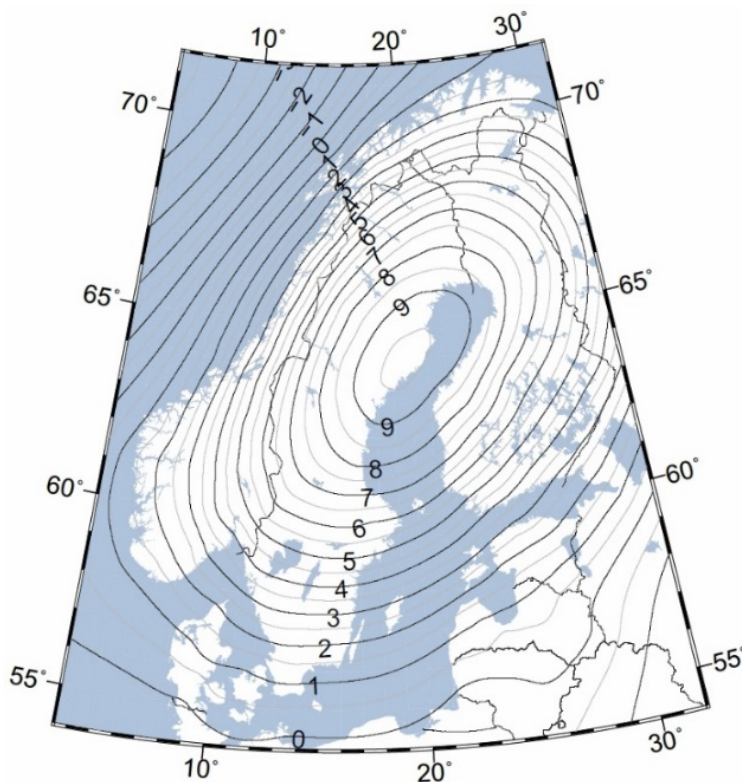
NKG2016LU är den senast publicerade landhöjningsmodellen i de nordiska och baltiska länderna, se [Figur 3.4.2](#). Modellen baseras på data

från fasta referensstationer för GNSS och upprepade precisions-
avvägningar. I Sverige används den t.ex. för att reducera de fasta
referensstationernas koordinater i SWEREF 99 till referensepoken
1999.5 i Lantmäteriets tjänster för lägesbestämning med GNSS.
NKG2016LU finns i två olika versioner – en för *absolut landhöjning* och
en för *avvägd landhöjning*:

- Med absolut landhöjning avses jordskorpans vertikala rörelse
relativt jordens centrum, eller egentligen relativt ett globalt
referenssystem för positionsangivelse som har origo i (eller
nära) jordens centrum, t.ex. ITRS. Lantmäteriets fasta referens-
stationer registrerar därför den absoluta landhöjningen.
- Den avvägda landhöjningen avser landhöjningen relativt den
av nutida klimateffekter opåverkade havsytan, vilket motsvarar
nollnivån i RH 2000. Denna har bestämts via upprepade avväg-
ning, dvs. höjdmätning över geoiden.

I Norden, där det finns tillräckligt med observationer för att ge ett mått
på lägesosäkerheten, skattas standardosäkerheten i NKG2016LU rela-
tivt ITRF2008 till 0,2 mm/år. Det finns även en viss osäkerhet i själva
referenssystemets stabilitet och med allt sammanvägt bedöms den
totala/absoluta standardosäkerheten i modellen vara 0,6 mm/år.

Figur 3.4.2. Avvägd landhöjning i mm/år enligt landhöjningsmodellen NKG2016.



3.5 Lantmäteriets stödtjänster och rådgivning

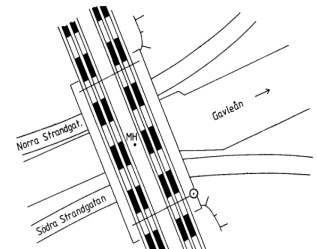

3.5.1 Stompunktsinformation

Information om markerade punkter i nuvarande och äldre nationella referensnät i plan och höjd finns i [Lantmäteriets geodetiska arkiv](#). Stompunkter med koordinater i SWEREF 99 och höjder i RH 2000 tillhandahålls via e-tjänsten [Hitta stompunkt](#), samt bastjänsterna [Stompunkt Direkt](#) och [Stompunkt Visning](#).

Informationen i stompunktstjänsterna följer de preliminära [nationella geodataspecifikationerna](#), och omfattar bl.a. koordinater, höjder, punktbeskrivningar och punktkartor. Se exempel i [Figur 3.5.1](#).

I det geodetiska arkivet ingår inte kommunernas och Trafikverkets stompunkter. Uppgifter om dessa erhålls via respektive huvudman.

Figur 3.5.1. Exempel på stompunktsinformation som kan erhållas via Lantmäteriets e-tjänst med kartstöd.

Höjdpunkt: 137*2*5404 Gavleån	
Allmänt	
Namn	Gavleån
Stompunkt ID	202100-4888_137*2*5404
Alternativa ID	
Stomnät	Nationellt referensnät i höjd
Typ	Höjdpunkt
Kategori	Rikspunkt
Kommun	Gävle (2180) Gävleborgs län (21)
Markering	Ståldubb i gjutning
Historik	2007 Återfunnen
Plan	
SWEREF 99 TM	N 6728500 E 617620
Ursprung	Digitaliserad
Mätmetod	
Mättningsdatum	
Beräkningsdatum	
Kvalitetsklass	
Lägesosäkerhet	100 m
Höjd	
RH 2000	5.768
Ursprung	Utlämnad (RH 2000)
Mätmetod	Avvägning
Mättningsdatum	1987
Beräkningsdatum	2005-03-01
Kvalitetsklass	0
Lägesosäkerhet	0 m
Markhöjd	Markhöjd finns på avstånd 32.7 m i riktning 324 gon från stompunkt.
Lägesbeskrivning	
Vid järnvägen Gävle - Uppsala, 200 m SO om Gävle station, i det SO hörnet av järnvägsbron över Gavleån. Ståldubb i betongfästet, 4.2 m NNV om dess SSO kant, 0.97 m VSV om dess ONO kant, 0.65 m O om ledningsstolpe nummer 41 aBr 18, 6.05 m SSO om den SSO skenan och 0.1 m under banans plan.	
	
	
Anmärkingar	
Övrigt Identisk med PL 40:198 P 361, 470.	

3.5.2 Koordinattransformation

Vanliga koordinattransformationer för enstaka punkter kan utföras online via [e-tjänst](#). För mer komplicerade transformationer eller större datamängder rekommenderas programvaran Gtrans eller motsvarande. För tillgång till Gtrans samt utbildning i programvaran, se [Lantmäteriets webbplats](#).

3.5.3 Rådgivning

I Lantmäteriets förvaltnings- och samordningsansvar ingår även rådgivning och stöd i frågor som rör geodetisk infrastruktur och dess användning, t.ex.

- [kurser inom geodesi](#), t.ex. om koordinatsystem och transformationer eller GNSS-mätning
- [supporttelefon och e-brevlåda](#) för geodesifrågor, SWEPOS och övriga stödtjänster
- utgivning av [Handbok i mät- och kartfrågor](#).

4 Lokal geodetisk infrastruktur

Information

- Geodetisk mätning och geodatainsamling kan idag utföras direkt i SWEREF 99 och RH 2000. Detta förutsätter lokal tillgång till de aktiva eller passiva referensnät som realiserar de nationella referenssystemen.
- Vanligt förekommande lokal geodetisk infrastruktur är de stomnät som förvaltas av Sveriges kommuner och Trafikverket, eller etableras mer tidsbegränsat i samband med t.ex. bygg- och anläggningsprojekt.

Idag har vi en situation med i stort sett enhetliga referenssystem över hela Sverige – SWEREF 99 för lägesbestämning i plan och RH 2000 för lägesbestämning i höjd (se [kapitel 3](#)). Vidare möjliggör GNSS-tekniken geodetisk mätning över långa avstånd med låg mätosäkerhet, t.ex. mot fasta referensstationer. Behovet av yttäckande stomnät över större områden, dvs. den nivå som traditionellt har motsvarats av riksnät, har därmed minskat.

Markerade stompunkter behövs dock fortfarande för att säkra tillgängligheten till referenssystemen på lokal nivå, både i plan och höjd. Stomnät förvaltas därför av bl.a. Sveriges kommuner och Trafikverket.

Kapitel 4 disponeras på följande sätt:

- [Avsnitt 4.1](#) beskriver översiktligt vanliga stomnätstyper och hur de används inom samhällsbyggnad. Den terminologi som tillämpas överensstämmer i stora delar med de preliminära [nationella geodataspecifikationerna](#), samt Trafikverkets definitioner [\[6\]](#).
- [Avsnitt 4.2](#) tar upp behoven av geodetisk infrastruktur på kommunal/lokal nivå, och redovisar tänkbara konsekvenser av övergången till de enhetliga referenssystemen SWEREF 99 och RH 2000. Särskilt framhålls nödvändigheten av en långsiktig, strategisk plan för den lokala geodetiska infrastrukturen.
- [Avsnitt 4.3](#) behandlar den fristående geodetiska infrastruktur som av olika skäl saknar anslutning till den nationella nivån. Där sker anslutning endast om den lokala lägesosäkerheten inte försämras.

4.1 Stomnät för samhällsbyggnad

Information

- Markerade stomnät är ett viktigt komplement till aktiva referensnät.

Stomnät utformas och markeras utifrån de behov som finns av geodatainsamling och kartläggning över tid. Stompunkternas tillkomstsätt avgör vilken lägesosäkerhet punkterna har och därmed möjliga tillämpningsområden. Förvaltarens tillhandahållande av stomnätet underlättas således av god dokumentation av ursprung och kvalitet på stompunkterna.

När nya stompunkter etableras lokalt handlar detta primärt om passiv realisering av SWEREF 99 och förtätning av RH 2000. Vad gäller mätmetodik så används GNSS där så är möjligt. Undantagen gäller framför allt:

- inom områden med tät och hög bebyggelse, där stomnät för terrester mätning ofta är att föredra
- stomnät i höjd, som fortfarande bestäms genom avvägning
- vid tillämpningar med krav på låg lokal lägesosäkerhet och god kontrollerbarhet.

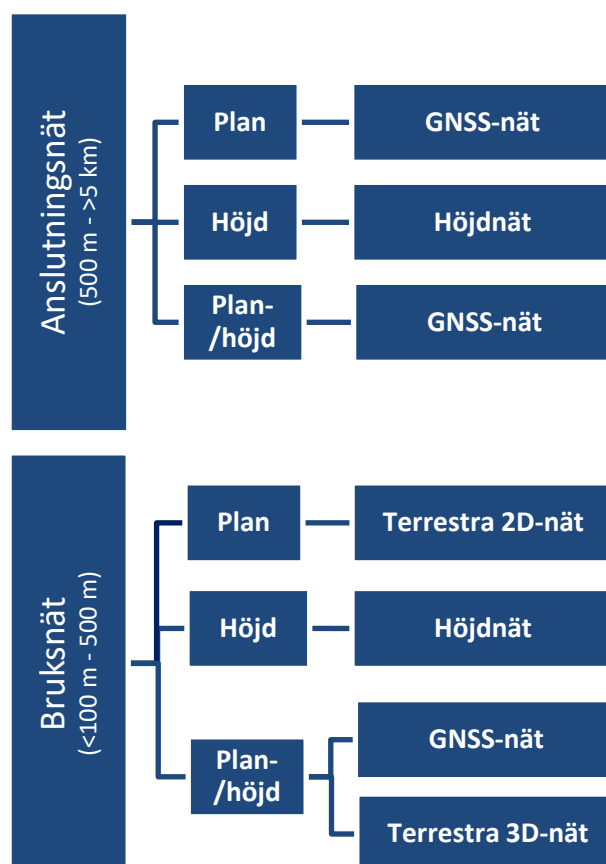
Stomnäten klassificeras utifrån vilka referenssystem de realiserar, hur de utformas och/eller används samt deras hierarkiska status för olika tillämpningar:

- Stomnät kan realisera referenssystem
 - i plan
 - i höjd
 - i plan och höjd i kombination.
- Stomnät kan beskrivas utifrån vilken mätteknik som används vid etablering:
 - höjdnät
 - terrestra 2D-nät, t.ex. triangelnät och polygonnät
 - GNSS-nät
 - terrestra 3D-nät; specialnät för en specifik tillämpning, t.ex. väggnät samt inomhusnät i industrier och övervakningsnät.
- Stomnät kan ha status som
 - riksnät, dvs. den nivå på vilken nationella referenssystem är definierade.
 - anslutningsnät, med relativt långa punktavstånd, som möjliggör vidare förtätning till bruksnät.

- bruksnät, med relativt korta punktavstånd, som blir utgångspunkter för detaljmätning eller lokal lägeskontroll.

[Figur 4.1](#) sammanfattar de vanligaste stomnätstyperna i ovanstående indelning. Där kan man bl.a. se att terrestra metoder idag aldrig används för att etablera anslutningsnät i plan. Kategorin "riksnät" har inte tagits med i figuren då endast ett sådant stomnät används idag, nämligen höjdfixnätet för RH 2000.

Figur 4.1. Vanliga typer av stomnät vid modern samhällsmätning, t.ex. "anslutningsnät i plan, utformat som ett GNSS-nät". Ungefärliga punktavstånd anges inom parentes.



För detaljer kring etablering av olika stomnätstyper hänvisas till [HMK-Stommätning 2020](#).

4.1.1 Terrestra 2D-nät

Terrestra 2D-nät är det traditionella sättet att realisera ett referenssystem i 2D. Plannäten var tidigare indelade i strikta hierarkier eller ordningar, vilket främst var föranlett av den tidens mät- och beräkningsteknik.

I dag har vi däremot ett rikstäckande referenssystem, SWEREF 99, utan indelning i ordningar och en mätningsteknik som domineras av GNSS.

Det tidigare arbetssättet påverkar dock dagens situation på flera sätt:

- Det har gett upphov till den terminologi som fortfarande används inom detta område.
- Det ger förståelse för den kvalitet som kan förväntas i de äldre näten, vars koordinater och höjder fortfarande används, om än ibland transformerade eller omräknade.
- Det ger kunskap som är viktig vid valet av teknisk lösning för en viss tillämpning, eftersom dagens situation i mångt och mycket är en blandning av äldre metoder och ny teknik.

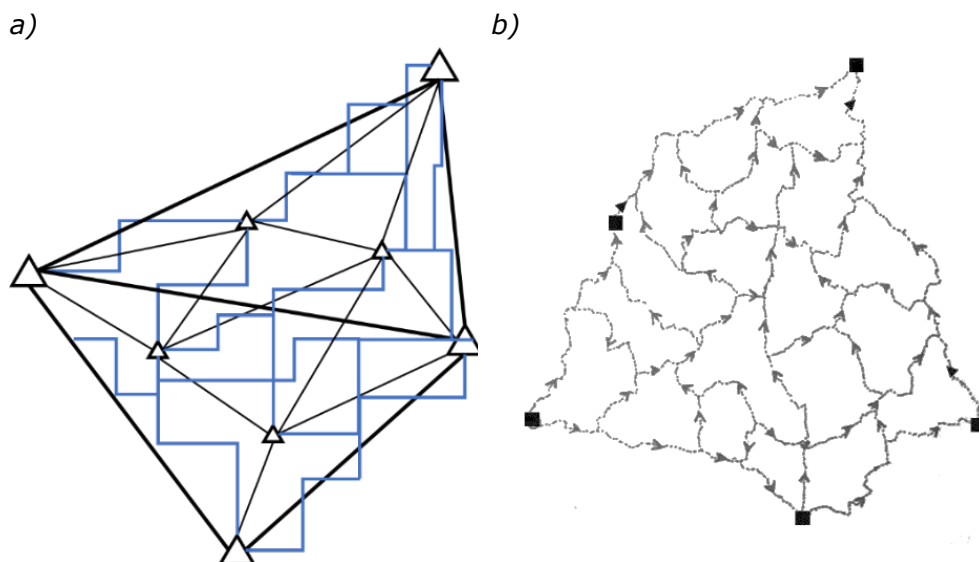
En "historisk" tillbakablick är därför motiverad.

Den traditionella stornätshierarkin

I horisontalled anlades först ett överordnat triangelnät – över ett land eller region – med ett typiskt punktavstånd på 10-30 km. Detta riksnät förtätades sedan i omgångar via anslutningsnät. Slutmålet var bruksnät med 100-200 meters punktavstånd, lämpliga för detaljmätning. Nedväxlingen gjordes med triangel- och polygonnät, se [Figur 4.1.1.a](#).

I höjddled användes ett liknande förfarande, se [Figur 4.1.1.b](#). Genom avvägning växlades riksnätet ned stegvis, i olika ordningar – även här ned till ett punktavstånd på något hundratal meter.

Figur 4.1.1.a-b. Traditionella stornätshierarkier i plan (a) respektive höjd (b), etablerade genom successiv nedväxling i olika ordningar.

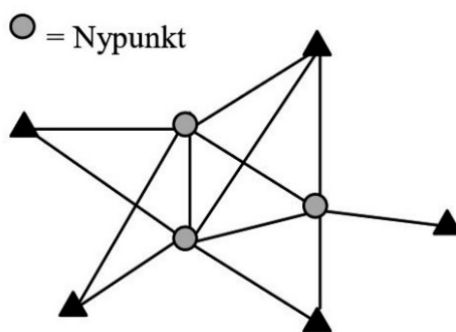


Triangelnät

Ursprungligen avsåg termen "triangelnät" stornät som var mätta med enbart vinkelmätning i trianglar och någon enstaka baslängd. Med utvecklingen av EDM-instrumenten i början på 1950-talet kom dock längdmätning alltmer att ingå i näten och den renodlade triangelgeometrin övergavs.

Definitionen ändrades därför till att omfatta alla typer av stornät som var mätta med kombinerad vinkel- och längdmätning och som inte var uppbyggda i tågform, se [Figur 4.1.1.c](#).

Figur 4.1.1.c. Triangelnätsförtätning.

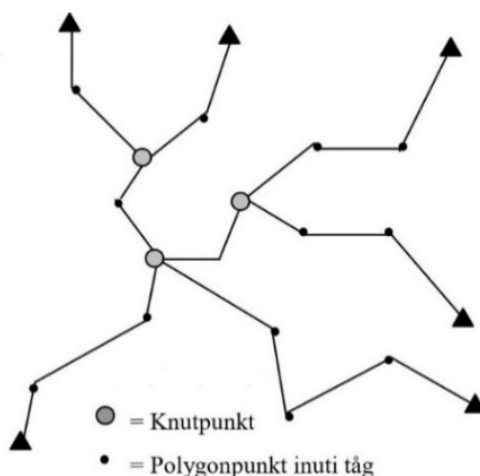


Tidigare var triangelnätens huvudsakliga funktion att utgöra länk mellan riksnät och bruksnät. Den moderna typen av triangelnät används dock för alltifrån övergripande stornät, med sikter upp till en mil, ned till lokala byggnät med sidor på några 10-tal meter.

Polygonnät

Polygonnät var den vanligaste nätformen för plana yttäckande förtätningsnät och bruksnät. Mätmetoden var polär, med successiv vinkel- och längdmätning i form av tåg, se [Figur 4.1.1.d](#).

Figur 4.1.1.d. Stornätsförtätning av triangelnät med ett polygonnät.



I kommunerna byggdes polygonnäten ofta ut så att de blev kommuntäckande, genom att områden med sammanhängande nät (tätorterna) kopplades ihop med polygontåg. När "transportavstånden" var långa etablerades ibland s.k. storpolygontåg – som en sorts mellanform mellan triangel- och polygonmätning, med längre siktlängder och färre punkter.

Vid underhåll och förtätning anslöts nya punkter och nätdelar ofta successivt till tidigare beräknade punkter. Det skapade så småningom problem i förvaltningen av polygonnäten.

Det är polygonpunkterna som har använts i den vardagliga mätningen i samband med samhällsbyggnad, kartläggning, uppbyggnad av geodatabaser, fastighetsbildning m.m. Renodlade polygonnät nymäts dock inte längre.

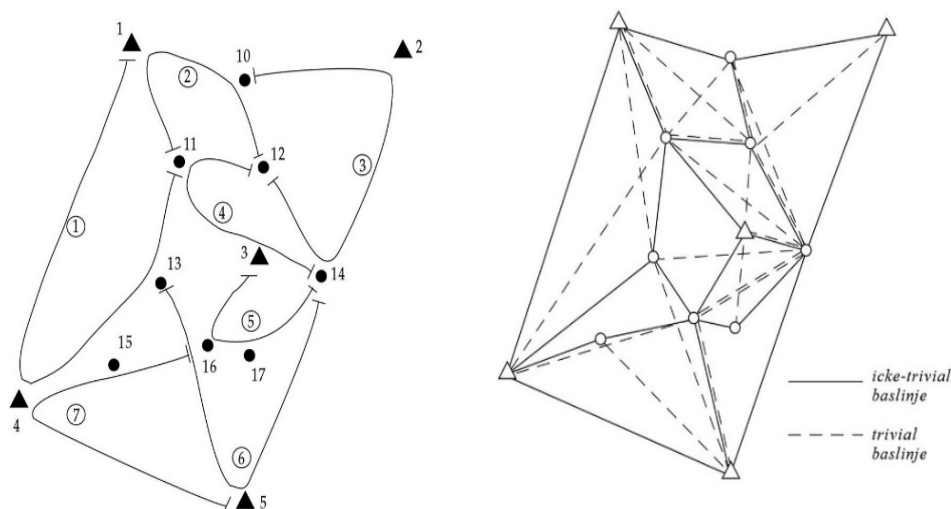
4.1.2 GNSS-nät

GNSS-nät utgör ett alternativ till traditionellt etablerade terrestra 2D-nät, framför allt över större områden eller när direktsikt mellan punkterna inte är möjligt eller önskvärt.

En grundförutsättning vid uppbyggnad av GNSS-nät är – som vid all GNSS-mätning – fri sikt uppåt, mot satelliterna. I den mån nätet ska utnyttjas för terrester mätning (inmätning och utsättning) så anpassas punkternas placering och inbördes sikt till den teknikens krav.

GNSS-stommätningen utförs som *statisk mätning* med förhållandevis långa observationstider, där två eller fler GNSS-mottagare mäter samtidigt. Ur dessa konstrueras tre-dimensionella *baslinjer* som går vidare till stamnätsberäkningen. Se [Figur 4.1.2](#).

Figur 4.1.2. Exempel på en planerad GNSS-stommätning i sessioner. Triviala baslinjer är linjärt beroende av de icke-triviala.



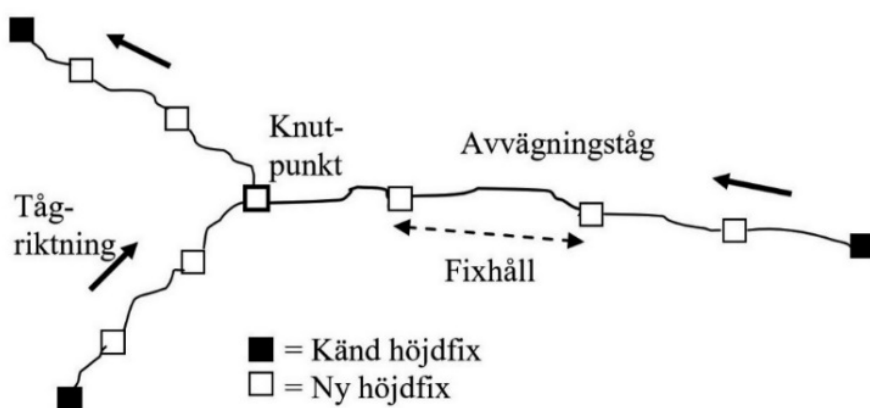
Den vanligaste GNSS-baserade mättekniken – nätverks-RTK – är **inte** att betrakta som en stommättningsmetod! Den är mycket användbar i många sammanhang men stompunkter ska ha väl bestämda lägen i förhållande till varandra, vilket punktvis inmätning med RTK-teknik inte ger.

Normalt etableras, mäts och beräknas GNSS-nät både i plan och höjd, men för att tjäna som stommät i höjd bör GNSS-mätningarna kompletteras med avvägning.

4.1.3 Höjdnät

Passiva referensnät för höjdangivelser etableras via avvägningsteknik, den metod som – rätt använd – ger lägst mätosäkerhet. Höjdnäten byggs upp av höjdtåg på det sätt som beskrivs i [Figur 4.1.3](#).

Figur 4.1.3. Principiell utformning av ett avvägningssät: Två höjdfixar utgör ett fixhåll. Fixhållen läggs samman till avvägningståg som möts i knutpunkter. Tåg och knutpunkter bildar ett nät som beräknas utifrån kända utgångspunkter.



Avvägningen kontrolleras genom tur- och returmätning (dubbelavvägning) och markering av höjdfixar görs företrädesvis i fast berg.

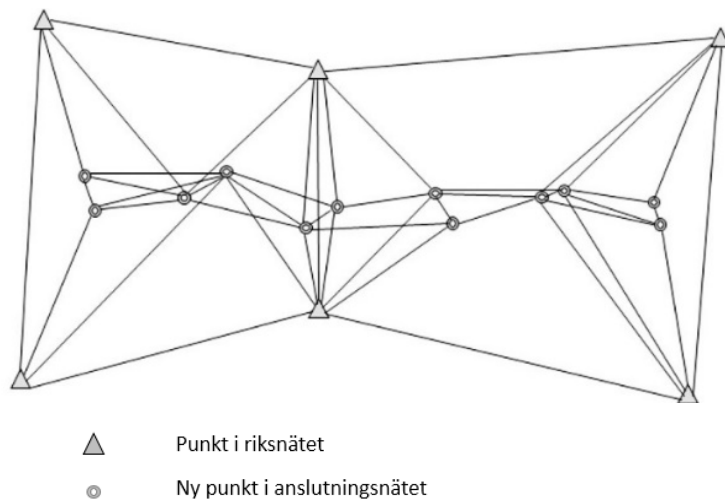
4.1.4 Stommät för anläggning av infrastruktur

Referenssystem för anläggning av infrastruktur realiserar ofta aktivt – och är därmed GNSS-anpassade – om det rör sig om projekt över större geografiska områden med många aktörer, t.ex. vägprojekt. I många fall krävs dock en kombination av aktiv och passiv realisering, exempelvis i järnvägsprojekt. Nedan ges några exempel på stommät i dessa sammanhang, huvudsakligen hämtade från den tekniska specifikationen för byggmätning, SIS-TS 21143:2016 [\[12\]](#).

Anslutningsnät utformas ofta som parpunktsnät, se [Figur 4.1.4.a](#). Näten används t.ex. för anslutning av bruksnät för järnvägs-, väg- eller större ledningsprojekt.

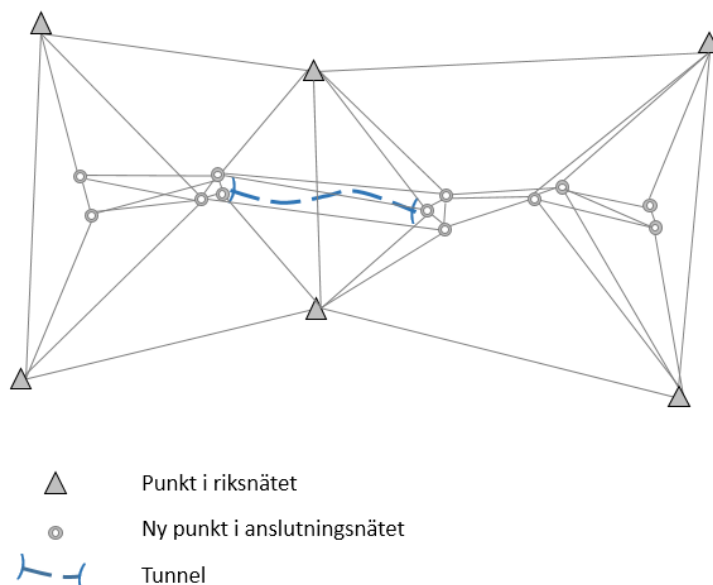
Anslutningspunkterna bestäms i första hand i plan även om punkterna i ett GNSS-nät också blir höjdbestämda. För höjdbestämning används i stället avvägning och näten separeras som regel i plan och höjd.

Figur 4.1.4.a. Anslutningsnät med parpunkter.



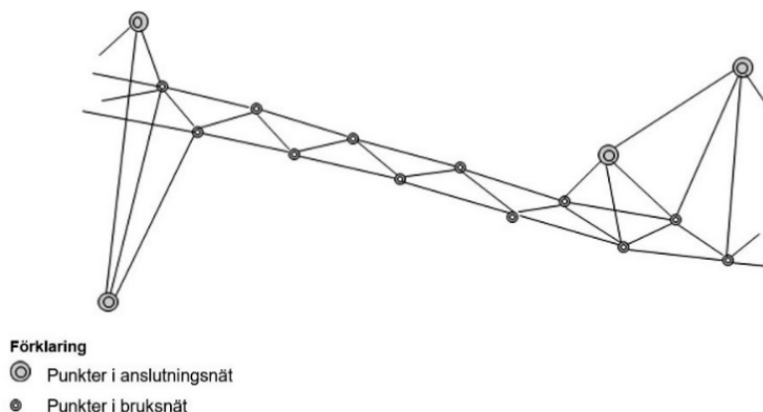
I tunnelprojekt ska man göra speciella åtgärder. Åtgärderna består av att man förstärker upp antalet markeringar i varje påslag vid tunneldrivningen. Antalet bör vara minst tre för att försäkra sig om att minst två finns kvar om en skulle försvinna. Det möjliggör att man sedan kan gå vidare med traditionell mätning genom tunneln, se [Figur 4.1.4.b.](#)

Figur 4.1.4.b. Anslutningsnät i projekt med speciella åtgärder vid påslag för tunneldrivning.



För långsträckta projekt är olika typer av fackverk en vanlig utformning, eftersom de är stabilare i sidled än t.ex. polygontåg, se [Figur 4.1.4.c](#).

Figur 4.1.4.c. Långsträckt fackverksnät.



Mer om "långsträckta objekt" finns beskrivet i den tekniska rapporten [HMK-TR 2019:1 \[11\]](#). Se även det "korrektionsfria" nätet i [Figur 2.4.3.c](#).

4.1.5 Specialnät

Specialnät kan t.ex. vara aktuella i tillämpningar som kännetecknas av

- höga lokala kvalitetskrav och stränga toleranser
- att det kan finnas krav på "beröringsfri" mätning för att inte störa en pågående industriprocess eller ett mätresultat
- att det ofta är fokus på att studera förändringar, ibland i realtid.
- att det därför även kan krävas kopplingar till signalsystem med tillhörande beslutsprocess (t.ex. övervakning av dammar).

Det ställer speciella krav på mätplanering och nätutformning. I normalfallet sker designen därför mindre utifrån mätningstekniska aspekter och mer baserat på de krav som själva tillämpningen ställer.

Se även "fristående referenssystem" i [avsnitt 4.3](#).

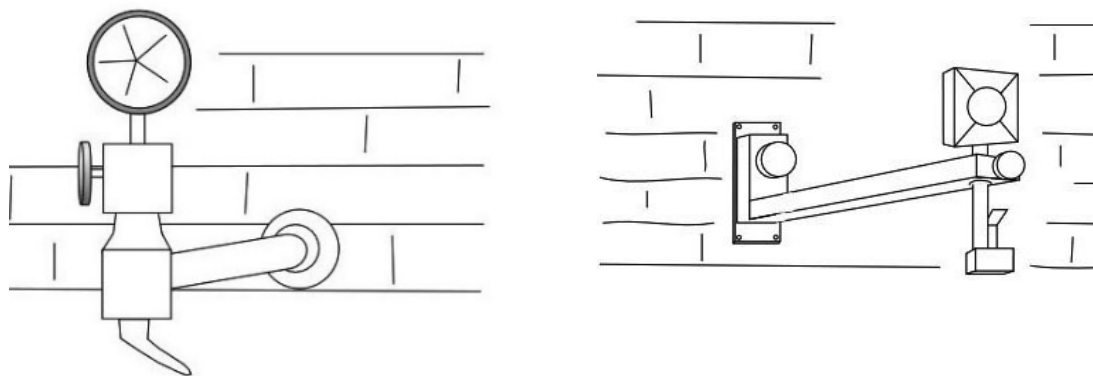
4.1.6 Stompunktsmarkering

Som framgått kan en stompunkt ha flera syften. Gemensamt är dock att dess markering ska vara tillräckligt bestående för den tillämpning som punkten skapats för. Vidare ska den uppfylla de krav på lägesstabilitet som ställs.

Det är särskilt viktigt att en stompunktsmarkering utförs på ett så tryggt sätt att punkten får lång livslängd samt att den kan identifieras och lokaliseras enkelt och effektivt.

- Ståldubb i berg, sten eller betong är ett lämpligt markerings-sätt för samtliga punkttyper, alternativt något annat sätt som garanterar god stabilitet i både plan och höjd.
- Markering av stompunkter med rör i mark bör endast ske när annan markering inte är möjlig. Röret slås då ner i fast mark till frostfritt djup och skyddas med däcksel.
- Polygonnät i tätortsmiljö har, historiskt sett, oftast markerats med punkter i gatunätet – alternativt kompletterat med excent-riska markeringar i byggnader.
- En annan lösning i tätorter är etablering av väggmarkerade stommät med väggpunkter för användning via fri station, se [Figur 4.1.6.a.](#)

Figur 4.1.6.a. Två exempel på väggmarkeringar.



Punktbeskrivningar och/eller distanspålar underlättar återfinnandet och gör identifieringen säkrare – även om det i dag är fullt möjligt att lokalisera punkter/markeringar med hjälp av GNSS-teknik. Tydlig märkning kan också i viss mån reducera ”klåfingrighet” på grund av ren okunskap, se [Figur 4.1.6.b.](#)

Figur 4.1.6.b. Exempel på märkning av stompunkt.



Tillfälliga mätpunkter kräver naturligtvis inte samma kvalitet på markeringen som stompunkter, så länge de uppfyller kravet för den aktuella tillämpningen.

För allmänna rekommendationer kring markeringar hänvisas till det äldre dokumentet [HMK-Geodesi: Markering](#), som tillsammans med sin aktualitetsbeskrivning utgör en god beskrivning över hur markering av stompunkter och andra mätpunkter bör utföras.

4.2 Förvaltning av lokal geodetisk infrastruktur

Samhällets behov av geodetisk infrastruktur utgår i stor utsträckning från det lokala/kommunala perspektivet: detaljplanering, fastighetsbildning, bostadsbyggande m.m.

Sveriges kommuner har därför ett långsiktigt intresse av att en sådan infrastruktur finns tillgänglig på lokal nivå, både för egen verksamhet och för andra aktörer. Likaså har Trafikverket ett långsiktigt behov av stornät i anslutning till vägar och järnvägar.

I samhällsbyggnadsprocessen finns en tydlig trend mot mer enhetliga och obrutna informationsflöden. Insamling av geodata måste kunna ske snabbt och tillförlitligt, liksom utbytet av geodata mellan olika aktörer. Detta har medfört att kommunal geodataförsörjning i allt större utsträckning bygger på en nationell geodetisk infrastruktur och enhetliga referenssystem.

Enhetlighet beträffande referenssystemen innebär flera fördelar:

- enklare utbyte, tillhandahållande och användning av geodata
- mer enhetlig kvalitetsmärkning
- bättre utnyttjande av GNSS-baserad mätningsteknik och andra moderna datainsamlingsmetoder
- möjlighet att använda förädlade data och modeller som bygger på de nya referenssystemen (t.ex. den nationella höjdmodellen)
- minskat behov av stornätsunderhåll, både nationellt och lokalt.

I avsnitten [4.2.1](#) och [4.2.2](#) beskrivs övergången till SWEREF 99 respektive RH 2000 ur en lokal stornätsförvaltares perspektiv. Bl.a. redovisas hur den typiska arbetsprocessen har sett ut, vad övergången har inneburit med avseende på befintliga stornät och geodata samt vilka problem som kommunerna eventuellt behöver komma tillrätta med för att kunna arbeta rationellt och kvalitetssäkert i de enhetliga referenssystemen.

Den översyn av de egna stornäten som många lokala stornätsförvaltare genomförde i samband med övergången behöver i vissa fall kompletteras – dels för att anpassa förvaltningen till de faktiska behoven, dels för att säkerställa att de stornät som underhålls är av tillräckligt god kvalitet. I [avsnitt 4.2.3](#) finns därför förslag på vad en kommunal förvaltningsplan för den geodetiska infrastrukturen bör innehålla.

4.2.1 Passiv realisering av SWEREF 99

Information

- De äldre lokala stornäten i plan har ofta haft en bristande geometri, både internt och i förhållande till regionala och rikstäckande nät.
- Om den bristande geometrin har åtgärdats i samband med övergången till SWEREF 99 så kan god överensstämmelse mellan aktiv och passiv realisering förväntas, t.ex. nätverks-RTK i förhållande till terrester mätning från stornätet.

I dag är övergången till SWEREF 99 i princip helt genomförd. I och med detta kan georeferering antingen ske direkt via det aktiva referensnätet SWEPOS, eller via de stornät som förvaltas av kommunerna, Trafikverket och Lantmäteriet. För att detta ska kunna ske på ett enhetligt sätt behöver dock stornätets status i SWEREF 99 vara kartlagd.

Mot bakgrund av den historik som beskrivs i [avsnitt 4.1.1](#) har de lokala stornäten i plan ofta haft en bristande geometri, både internt och i förhållande till regionala och rikstäckande nät. Inför övergången analyserades deformationer i de lokala stornäten, dvs. den bristande geometri som gör att mätningar i förhållande till olika utgångspunkter inte går ihop. Med stöd av detta avgjordes sedan behoven av upprätning med hjälp av nymätning och restfelsmodellering inför övergången till SWEREF 99.

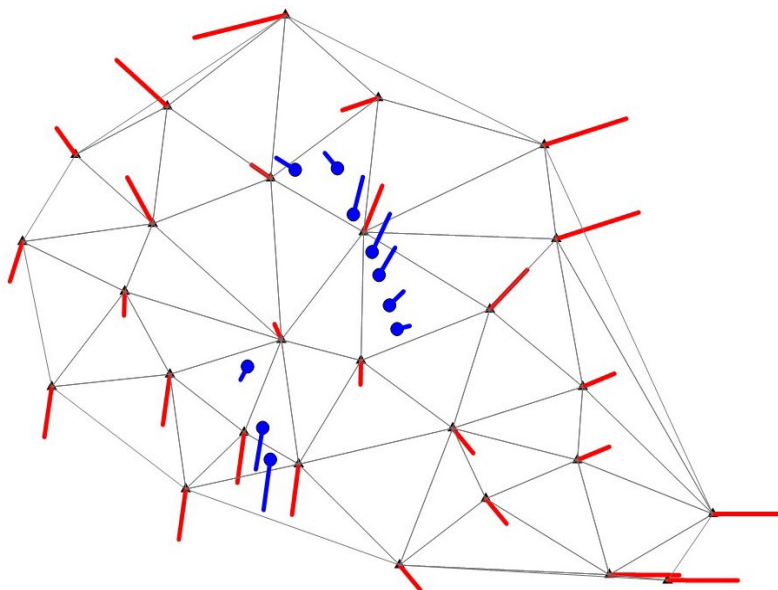
För att förstå vilka egenskaper stornätet har **efter övergången** till SWEREF 99 behöver vi titta på vilka steg som ingick i framtagandet av restfelsmodellen:

1. För att få en grov uppfattning om geometrin i det äldre lokala referenssystemet kontrollerades vilka restfel som erhöles vid beräkningen av RIX 95-sambanden.
2. I vissa fall gjordes en informationskartläggning av det lokala stornätets uppbyggnad och status – hur det anslutits, byggts ut, förtätats etc.

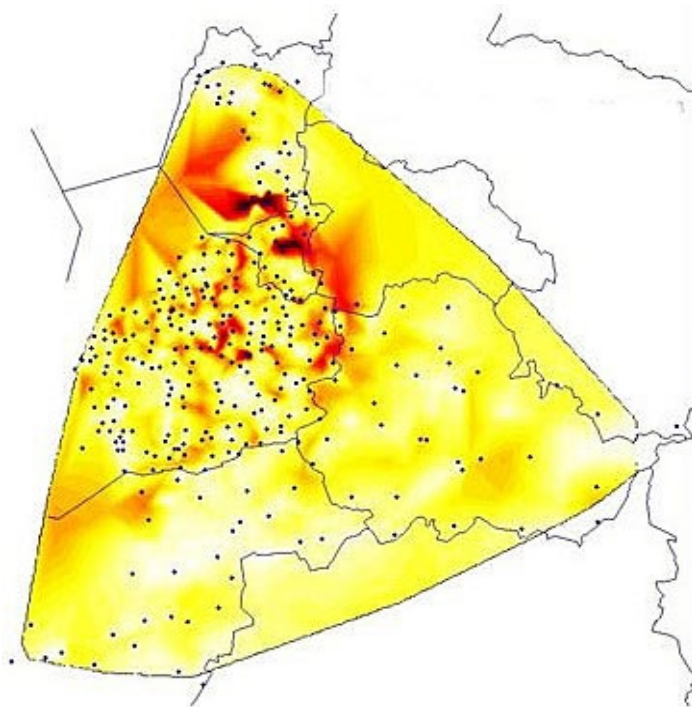
3. Utifrån detta avgjordes behoven av kompletterande nymätningar av lokala stompunkter med GNSS (i SWEREF 99) för att synliggöra brister i geometrin mer i detalj. Dessa punkter kallas även restfelspunkter.
4. Mätningarna på restfelspunkterna utfördes med statisk GNSS – eller vanligare, genom nätverks-RTK med återbesök. Det som styrde teknikvalet var främst befintliga mätresurser.
5. Koordinater på restfelspunkterna, både i det lokala referenssystemet och nymätta SWEREF 99-koordinater, användes sedan för att skapa ett nytt transformationssamband.
6. En restfelsmodell togs fram – som stornätsförvaltaren kunde använda för transformation av geografiska data, genom att interpolera restfelen i passpunkterna enligt den princip som visas i [Figur 4.2.1.a](#).
7. Restfelsmodellen verifierades genom mätning av ytterligare punkter. Analys med hjälp av bl.a. variationskartor (se [Figur 4.2.1.b](#)) gav underlag för att avgöra vidare åtgärder – t.ex. ytterligare kompletteringsmätningar eller strykningar av punkter, dvs. en iterativ process av stegen 4–7.

Hur långt denna successiva förfining av restfelsmodellen togs berodde främst på vilken ambitionsnivå som stornätsägaren hade beträffande upprätning av geometrin, och självfallet även på omfattningen av deformationerna i stornätet. God kunskap om det egna stornätet var i detta sammanhang en framgångsfaktor.

Figur 4.2.1.a. Passpunkternas passfel, vars storlek och riktning här visas i rött, används för att interpolera fram restfel för de punkter som ska transformeras (de blå punkterna mellan de trianglar som bildas av passpunkterna).



Figur 4.2.1.b. Variationskarta där restfelen i punkterna har viktats i förhållande till avstånden till omgivande punkter. Denna typ av underlag togs fram i samband med översyn av de kommunala stornäten inför övergång till SWEREF 99.



Nästa steg i övergången var transformationen av alla geografiska databaser till SWEREF 99, med vald kartprojektion (se [Figur 3.1.2](#)). Normalförfarandet var här att alla geodata som var lagrade med koordinater i det äldre lokala referenssystemet räknades om med transformations sambandet, samtidigt som de rätades upp (dvs. korrigerades) med restfelsmodellen.

Geodata som i övergångsskedet hade mätts in i SWEREF 99 och transformerats till det befintliga systemet återfördes till SWEREF 99 med hjälp av inversen till det använda transformationssambandet.

Sammanfattningsvis har övergången till SWEREF 99 inneburit följande för de lokala stornätens status:

- Transformation av de lokala stornäten till SWEREF 99 har utgått från ett relativt glest nät av passpunkter: RIX 95-punkter, kompletterat med lokala "restfelpunkter". Passpunkterna är bestämda med låg absolut lägesosäkerhet i SWEREF 99.
- Övriga punkter i stornäten har koordinatsatts och korrigerats för geometriska deformationer i stornätet. Den absoluta lägesosäkerheten har härigenom förbättrats något medan den lokala lägesosäkerheten mellan närbelägna punkter och objekt som mätts in ifrån dessa punkter i huvudsak är oförändrad.

- Transformationsförfarandet har inneburit att de gamla stomnäten i princip kan användas på samma sätt som tidigare för detaljmätning med god lokal lägesosäkerhet och överensstämmelse med objekt som mätts in före övergången till SWEREF 99.

Detta innebär dock inte per automatik att all inmätning och hantering av geodata kan ske problemfritt efter bytet av referenssystem. Av de skäl som beskrevs ovan har restfelsmodellerna hanterat geometrifelen i stomnätet mer eller mindre väl. Äldre geodata kan därför fortfarande innehålla deformationer som blir synliga först vid nymätning i det aktuella området.

På motsvarande sätt kan transformerade stompunkter av lägre kvalitet fortplanta deformationer när de används som utgångspunkter för inmätning, eller vid förtätning och komplettering av stomnätet.

4.2.2 Lokal förtätning av RH 2000

Information

- De äldre lokala stomnäten i höjd har ofta haft en god intern geometri. Dålig anslutning till regionala och rikstäckande nät, inklusive brister i dessa överordnade nät, har dock försvårat utbytet av höjdinformation.
- Införandet av RH 2000 har gjort det möjligt för lokala stomnätsägare att ansluta sina höjdnät till ett gemensamt rikstäckande höjdsystem av mycket hög kvalitet.

Det nationella höjdsystemet RH 2000 används idag i en majoritet av Sveriges kommuner. Övergången har i de flesta fall skett genom analys och omräkning av de äldre lokala höjdnäten, med nya utgångshöjder i RH 2000. Den önskvärda arbetsprocessen såg, grovt sett, ut enligt följande:

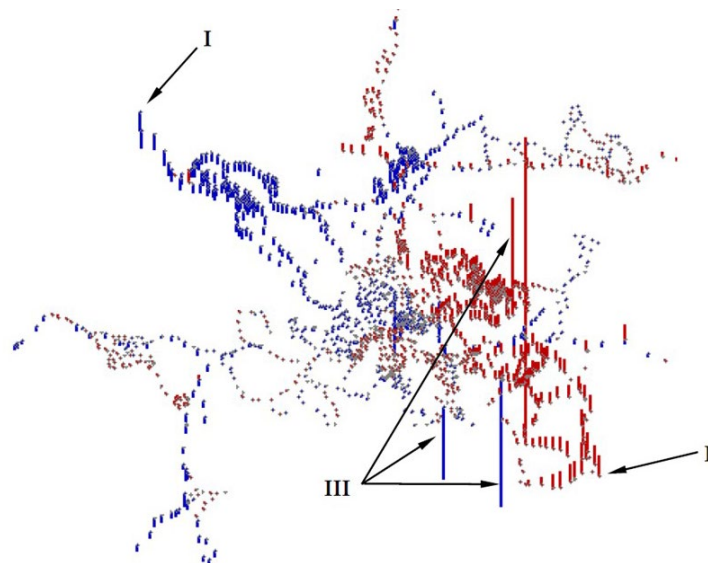
1. De lokala stomnätsägarna har skickat lokala höjder för sina stompunkter, samt de höjdmätningar (dvs. avvägningssdata) som ligger till grund för stomnätet, till Lantmäteriet för en första analys.
2. Om behov funnits har sedan stomnätsägaren, utifrån Lantmäteriets rekommendationer, utfört kompletterings- och anslutningsmätningar för att möjliggöra utjämning i RH 2000 och kartläggning av eventuella deformationer i det lokala stomnätet.

3. Efter genomförd analys och utjämning av det lokala stornätet har Lantmäteriet skapat en rättad/uppdaterad databas med alla punkter och mätningar som stornätsägaren levererat. Samtliga punkter som ingått i utjämningen av det lokala nätet har då fått nya höjder i RH 2000.

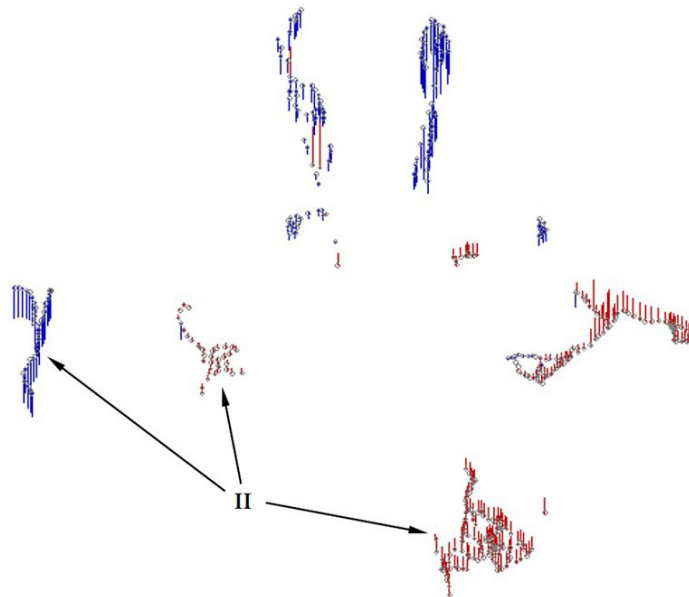
Kartläggningen av deformationer i de lokala höjdsystemen har skett med s.k. restfelsbilder av det slag som visas i [Figur 4.2.2.a](#) och [Figur 4.2.2.b](#). Med hjälp av dessa exempel kan man bl.a. illustrera följande (se motsvarande romerska siffror i figurerna):

- I. Deformationer i det lokala höjdsystemet orsakade av dåliga eller alltför få anslutningspunkter vid beräkningen av lokala höjder.
- II. Olika delar av nätet som ligger på olika nivåer trots att de är bestämda i ett gemensamt höjdsystem, till exempel RH 00. Detta beror sannolikt på att delnäten var för sig är anslutna på punkter med dåligt bestämda höjder i det gemensamma systemet. Det kan resultera i att ett höjdskick (systemskillnad) behöver tas fram för olika delar av kommunen, se [Figur 4.2.2.c](#).
- III. Enstaka punkter som avviker i förhållande till sin omgivning. En trolig förklaring till detta är att de lokala höjder som jämförs med höjderna i RH 2000 inte härstammar från samma mätningar som användes vid nytjämningen i RH 2000. Detta bör man ha i åtanke vid vidare analys av nätet. Vid framtagande av höjdskick för transformation av höjder bör inte dessa punkter vara med och påverka resultatet.

Figur 4.2.2.a. Exempel på deformationer i ett lokalt höjdnät. Positiva restfel visas i rött och negativa i blått.

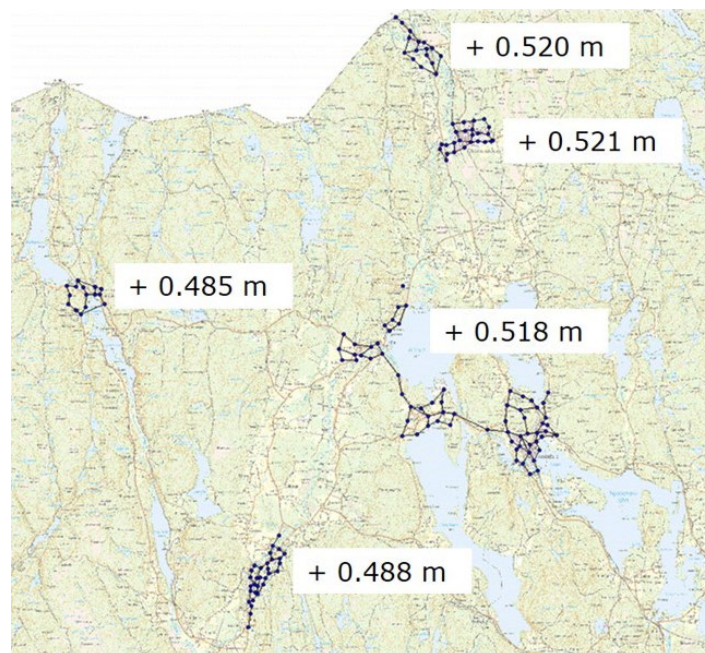


Figur 4.2.2.b. Exempel på systematiska nivåskillnader i olika delar av det lokala stomnätet, trots att de realiserar samma höjdsystem.



Kartläggningen visar huruvida ett eller flera höjdskit/konstanter bör användas för att transformera de detaljer som har höjdbestämts från stomnätet, se [Figur 4.2.2.c](#). I några få fall har man istället använt lutande plan eller höjdkorrektionsmodeller (baserade på restfelsinterpolering eller rutnät). Observera att de bestämda skiften endast har applicerats på detaljerna – **inte** på höjdfixarna, som ju redan fått höjder i RH 2000 i samband med ny utjämning.

Figur 4.2.2.c. Exempel på höjdskit i Eda kommun. Skillnaden mellan skiften, som maximalt uppgår till 36 mm, beror huvudsakligen på den bristande geometrin i det äldre referenssystemet RH 00.



Precis som i fallet med SWEREF 99 kan man alltså konstatera att de lokala stornäten i höjd har ojämn kvalitet beroende på historik och tillkomstsätt. De äldre kommunala höjdsystemen hade ofta sitt ursprung i rikets höjdsystem RH 00, även om andra ursprung också är vanliga. Brister i de äldre nationella höjdsystemen har i dessa fall fortplantats till de lokala näten via anslutningspunkterna. I en kommun där flera lokala höjdnät varit anslutna till RH 00 har det därför i praktiken funnits flera olika höjdsystem.

4.2.3 Långsiktig planering av geodetisk infrastruktur

Information

- En långsiktig planering av infrastrukturen på lokal/kommunal nivå krävs för att säkra den framtida mätningstekniska verksamheten och en fortsatt tillförlitlig geodataförsörjning.

De lokala/kommunala stornäten representerar stora värden som informationsbärare. Exempelvis bygger mycket av de geodata som utnyttjas inom samhällsbyggnad på kända relationer till stornäten, t.ex. de kommunala primärkartorna och fastighetsindelningen i tätort.

Utbyggnaden av den nationella geodetiska infrastrukturen har dock gjort att de lokala förutsättningarna har förändrats. I takt med den ökade användningen av GNSS-teknik har det löpande underhållet av markerade stornät upphört på många håll, ibland utan att kommunerna själva tagit ett medvetet beslut i denna riktning.

Detta kan medföra ökade kostnader och förseningar i ett senare skede, t.ex. om underlag för lokal lägesbestämning saknas i samband med detaljplanering och exploatering. Varje kommun bör därför ha en långsiktig/strategisk plan för hur den lokala geodetiska infrastrukturen ska utformas och utvecklas för att kunna säkra den mätningstekniska verksamheten och en tillförlitlig geodataförsörjning.

Denna strategiska plan bör ta upp det aktuella behovet av stompunkter i både plan och höjd men också beakta vilken beredskap som behövs för att möta framtida behov av komplettering eller nyetablering. I samband med detta är det också viktigt att ansvariga organisationer ser över den mätningstekniska kompetensen och beredskapen att själv utföra eller upphandla nödvändiga mätningssupdrag.

Behovet att underhålla stornät i plan och/eller höjd varierar också kraftigt beroende på om det är fråga om tätort eller landsbygd och kan även förändras med tiden. Särskilda behov kan uppstå i samband med

samhällsutvecklingen eller i anslutning till särskilda byggprojekt som ställer krav på en utbyggnad av den mätningstekniska infrastrukturen.

Beroende på lokala förutsättningar och behov kan alltså en strategisk plan se ut på olika sätt. I [Bilaga A.2](#) finns en checklista över olika aspekter att ta hänsyn till vid upprättande av en sådan plan.

Se även [HMK-Geodesi: Markering](#) för återställande av punkt och andra operativa förvaltningsåtgärder.

4.3 Fristående referenssystem och stomnät

Information

- Fristående referenssystem används främst inom avgränsade områden eller projekt där anslutning till ett överordnat system skulle kunna försämra kvaliteten internt genom att ett yttre tvång påförs.
- Andra orsaker till etablering av fristående referenssystem och stomnät kan vara att det aktuella projektet ställer särskilda krav på inmätningen och nätutformningen.
- Fristående eller projektanpassade referensnät bör passas in i de nationella referenssystemen, åtminstone ungefärligt, så länge inte ett yttre tvång försämrar den lokala lägesosäkerheten.

Två motiv har traditionellt använts för att **inte** ansluta till ett överordnat referenssystem:

- Anslutningen är orimligt kostsam i förhållande till nyttan.
- Anslutning skulle kunna försämra kvaliteten internt genom att ett yttre tvång påförs från det överordnade systemet.

Det första motivet har rimligen spelat ut sin roll i och med GNSS-teknikens möjligheter medan det andra fortfarande är relevant. Då fristående eller projektanpassade referenssystem används bör dock någon form av inplacering i de nationella systemen alltid göras, t.ex. för sampresentation med eller komplettering av en geodatabas.

4.3.1 Byggmätning och byggnät

Referenssystem på en byggplats ställer sådana kvalitetskrav att passiv realisering – markerade punkter och konventionell terrester mätning – ofta är enda möjligheten. Lokala triangelnät har t.ex. länge använts i samband med bygg- och anläggningsverksamhet, med höga kvalitetskrav och stränga toleranser.

I sådana projekt sker inmätning och utsättning av *detaljpunkter* från primär- och sekundärpunkter, dvs. punkter i byggplatsens stomnät eller förtätningar av detta.

Dessa byggplatspunkter ska vara beständiga under den tid som byggnadsprojektet pågår. Markeringen kan vara av tillfällig karaktär men måste vara väl definierad. Punkterna placeras och markeras med omsorg eftersom de utsätts för stor skaderisk under byggnadstiden.

Detaljpunkter är lägesmarkeringar för byggnadsdelar eller komponenter. De markeras på det exakta läget, eller strax intill komponenten, för att utgöra kontroll efter montage. Valet av markeringsätt påverkas bl.a. av den kvalitet som krävs vid utsättningen.

4.3.2 BIM – Building Information Modelling

Det kan ändå vara klokt att anamma ett "infrastrukturtänk" även vid bygg- och anläggningsnätens etablering och förvaltning, eftersom de ofta är relaterade till anläggningar som har lång livslängd och representerar stora ekonomiska värden. Verksamheten kan också vara förenad med miljörisker, arbetsmiljörisker eller säkerhetsrisker – för individer och ibland för hela samhället. Därför är det motiverat att ha en väl utvecklad mätning- och kontrollverksamhet – och kostnaderna för denna är vanligen marginella i förhållande till totalkostnaden.

Inom BIM har man tagit fasta på detta vid utveckling av det "livscykel-perspektiv" som präglar bygg- och anläggningsverksamhet enligt detta koncept. Livscykeln omfattar hela kedjan projektering-byggnation-förvaltning-avveckling, inklusive mätning i objektets olika skeden.

Mer om kopplingen BIM, Geodesi och GIS (*Geografiska Informations-System*) finns beskrivet i den tekniska rapporten [HMK-TR 2016:4 \[8\]](#).

4.3.3 Fristående system för fastighetsbildning

Kraven på lägeskvalitet i samband med fastighetsbildning har traditionellt avsett förhållandet mellan olika objekt och företeelser inom förrättningsområdet (t.ex. byggnader, vägar och fastighetsgränser), dvs. den lokala lägesosäkerheten.

Ju tätare bebyggelse, desto större krav har ställts på närsambanden. Detta har i sin tur medfört att sammanhängande planområden i tätort ofta stämmer relativt väl i SWEREF 99 efter övergången. Eventuella avvikelser mellan de gränser och detaljer som mäts in via stomnät respektive de som mäts in direkt i SWEREF 99 (främst via nätverks-RTK) medför i vissa fall problem som behöver hanteras. Åtgärderna kan både avse avgränsade kvalitetshöjande åtgärder eller mer långsiktig översyn av den kommunala geodetiska infrastrukturen, se vidare [avsnitt 4.2.3](#).

För mindre samhällen, fritidsbebyggelse och liknande etablerades tidigare små lokala plansystem – ofta med en bristfällig anslutning till överordnat system, men med god intern geometri. Uttrycket "1000/1000-system" har uppkommit genom att en lämplig punkt i närområdet valdes som origo för det fristående referenssystemet, men med koordinatvärden skilda från noll (t.ex. $x = 1000$, $y = 1000$) för att undvika negativa koordinatvärden. Se [Figur 4.3.3.a](#).

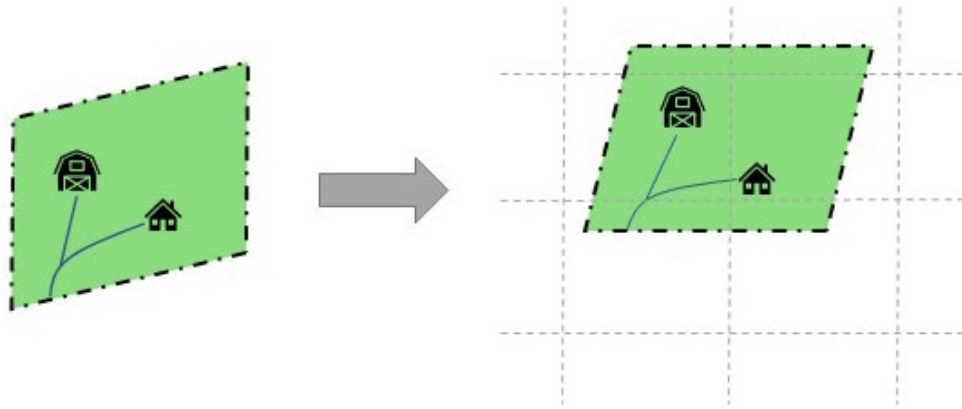
Figur 4.3.3.a. Exempel på koordinatlista som upprättats för ett fristående 1000/1000-system i samband med fastighetsbildning.

<u>K O O R D I N A T F Ö R T E C K N I N G .</u>			
<u>Gränspunkter</u>			
Punkt	Markering	X	Y
1	rg	420.33	554.42
2	rg	392.56	555.81
3	rg	391.88	560.92
4	rg	365.35	562.18
5	rg	361.27	566.36
6	rg	360.39	610.81
7	db	385.91	608.10
8	db	423.92	604.31
9	rg	426.09	634.50
10	rg	364.90	638.68

För redovisning i t.ex. den nationella registerkartan gjordes ofta grafisk inpassning av de lokala "koordinatöarna" via digitalisering av kartdetaljer eller ortofoton, så att de passade i de äldre nationella referenssystemen (kartbladen). I ett senare skede har dessa data i sin tur transformerats till SWEREF 99, mer eller mindre bristfälligt. Den absoluta lägesosäkerheten för fastighetsgränser och tillhörande geodata kan därför variera avsevärt, från under meternivå till flera hundra meter.

Med tillgång till modern geodetisk infrastruktur, främst SWEREF 99 och GNSS-mätning direkt mot fasta referensstationer, finns det möjlighet att – t.ex. genom inpassning, se [Figur 4.3.3.b](#) – georeferera mycket av den fastighetsinformation som idag bara finns noggrant lägesbestämd i de fristående systemen. Detta är också önskvärt med tanke på behoven av en sammanhängande samhällsbyggnadsprocess, där olika aktörer enkelt vill kunna bedöma datakvaliteten baserat på en enhetlig/tillförlitlig kvalitetsmärkning.

Figur 4.3.3.b. Exempel på transformation från fristående referenssystem till ett väldefinierat (nationellt) referenssystem. Inpassningen bör i möjligaste mån bevara den tidigare bestämda interna geometrin i området.



5 Referensförteckning

5.1 Referenser i löptext, figurer m.m.

- [1] Alfredsson A, Alm L, Dahlström F, Jivall L, Kempe C, Wiklund P (2019): [*Förvaltning av de nationella geodetiska referensnäten*](#), Lantmäterirapport 2019:1, Lantmäteriet, Gävle.
- [2] Andersson B, Alfredsson A, Nordqvist A och Kilström R (2015): [*RIX 95-projektet – slutrapport*](#), Lantmäterirapport 2015:4, Gävle.
- [3] Häkli P, Lidberg M, Jivall L, Nørbech T, Tangen O, Weber M, Pihlak P, Aleksejenko I och Paršeliūnas E (2016): [*The NKG2008 GPS campaign - final transformation results and a new common Nordic reference frame*](#), Journal of Geodetic Science. Volume 6, Issue 1.
- [4] JCGM (2008): [*Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement*](#), Working Group 1 of the Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM/WG 1).
- [5] Jivall L & Lidberg M (2000): [*SWEREF 99 – an updated EUREF realisation for Sweden*](#), EUREF Publication No. 9, 167-175, Tromsø, Norge.
- [6] Johansson S G (2016): [*Koordinatbaserade referenssystem*](#), Trafikverket, TDOK 2016:0257, Borlänge.
- [7] Persson C-G, Lithén T, Lönnberg G & Svärd T (2015): [*Terminologi, principer och trender inom geodatakvalitet*](#), Teknisk rapport, HMK-TR 2015:1, Lantmäteriet, Gävle.
- [8] Persson, C-G & Lithén T (2016): [*I gränslandet BIM – GIS – Geodesi*](#), Teknisk rapport, HMK-TR 2016:4, Lantmäteriet, Gävle.
- [9] Persson, C-G (2018a): [*Mät- och lägesosäkerhet – en lathund*](#), Teknisk rapport HMK-TR 2018:1, Lantmäteriet, Gävle.
- [10] Persson, C-G (2018b): [*Beräkning och analys av stornät – med tonvikt på plana, terrestra nät*](#), Teknisk rapport, HMK-TR 2018:3, Lantmäteriet, Gävle.
- [11] Persson, C-G (2019): [*Mätning och redovisning av bygg- och anläggningsobjekt - med tonvikt på långsträckta objekt i 3D*](#), Teknisk rapport, HMK-TR 2019:1, Lantmäteriet, Gävle.
- [12] SIS (2016): Teknisk specifikation SIS-TS 21143:2016, [*Byggmätning – Geodetisk mätning, beräkning och redovisning av byggnadsverk och infrastruktur*](#), Swedish Standards Institute/TK 147.

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

5.2 Lästips, webbsidor m.m.

Följande bokkapitel rekommenderas både som allmän kurslitteratur och för fördjupning:

- Lars Harrie, red. (2008): [*Geografisk informationsbehandling – teori, metoder och tillämpningar*](#), 6:e upplagan. Lund: Studentlitteratur
 - kapitel 4: Referenssystem och kartprojektioner.
- Lantmäteriet, LU, KTH och HiG (2012): [*Geodetisk och fotogrammetrisk mättnings- och beräkningsteknik*](#).
 - kapitel 1: Introduktion
 - kapitel 2: Jordmodeller
 - kapitel 3: Kartprojektioner
 - kapitel 4: Höjdsystem
 - kapitel 5: Geodetiska referenssystem
 - kapitel 9: Mätosäkerhet

Diverse information, länkar, webbtjänster m.m. som rör geodesifrågor finns på Lantmäteriets webbplats:

- [Referenssystem](#)
- [Koordinattransformationer](#)
- [GPS och satellitpositionering](#)
- [SWEPOS](#)
- [Kontaktuppgifter](#)

Det finns även ett omfattande [referensbibliotek](#) på HMK:s webbplats www.lantmateriet.se/HMK. Observera att fler undersidor finns tillgängliga via menyval.

Bilaga A Checklistor/lathundar

A.1 Koordinattransformation

Koordinattransformationer bör hanteras i enlighet med följande checklista. Den är främst framtagen för inpassningstransformation men kan i tillämpliga delar användas även i samband med överräkning.

- ❖ Innan ett transformationssamband används ska dess giltighet/kvalitet verifieras på ett antal punkter som har kända koordinater/höjder i båda systemen.
- ❖ Vid användning av ett fördefinierat transformationssamband, t.ex. från huvudman/kravställare, ska giltighetsområde och passfel vara kända.
- ❖ Vid framtagning av ett nytt/tillfälligt transformationssamband, ska minst 3–5 passpunkter mätas in genom två oberoende bestämningar. Passpunkternas passfel ska redovisas tillsammans med beräkningsresultatet.
- ❖ Avståndet mellan passpunkterna, samt deras fördelning inom området, ska anpassas så att skillnaderna i referenssystemens geometrier återspeglas i restfelen.
- ❖ Användningen av transformationssamband ska inte ske utanför giltighetsområdet.
- ❖ Före realtidsberäkning i fält ska kontroll ske av att rätt samband är lagrat i instrumentet och att sambandet producerar korrekta resultat, t.ex. genom mätning mot "känd" punkt.
- ❖ Använda transformationssamband ska dokumenteras. Alternativt ges en referens (filnamn, parameterlista, webbadress etc.) till ett officiellt samband, publicerat av Lantmäteriet eller annan systemägare. Att enbart ange använd programvara räcker inte.
- ❖ De modeller som användas för restfelsinterpolation ska dokumenteras och redovisas.
- ❖ Om inte Lantmäteriets beräkningsprogram Gtrans används ska det egna transformationsprogrammet kontrolleras mot detta.

A.2 Förvaltning av lokal geodetisk infrastruktur

Sveriges kommuner har ett långsiktigt intresse av att förvalta och tillgängliggöra en geodetisk infrastruktur på lokal nivå, se [avsnitt 4.2.3](#). När så är lämpligt bör detta ske i samverkan med Lantmäteriet, grannkommuner eller andra intressenter. Nedanstående checklista tar upp några av de frågeställningar som kan belysas i en förvaltningsplan.

- ❖ Vilken geodetisk infrastruktur finns tillgänglig inom kommunen? Beskriv referenssystem, tillgängliga fasta referensstationer för GNSS, samt stomnät/stompunkter i plan och höjd. Klargör vem som är huvudman för dessa.
- ❖ Vilka aktörer använder den geodetiska infrastrukturen och till vad? Beskriv behoven inom kommunen, både nuläge och framtida behov som kan förväntas med anledning av samhällsutvecklingen, teknikutvecklingen m.m.
- ❖ Hur har de kommunala stomnäten byggts upp och vilken status har de idag? Kartlägg hur övergången till SWEREF 99 och RH 2000 har gått till, vilket mätningstekniskt underlag som låg till grund för övergången och vad resultatet blev.
- ❖ Hur och i vilken omfattning sker underhåll av de kommunala stomnäten idag? Beskriv om det finns delar av den lokala geodetiska infrastrukturen som behöver prioriteras eller som kräver särskild översyn.
- ❖ Hur sker tillhandahållande och information till tänkta användare? Specificera vilken information om stompunkter som bör lagras i den kommunala databasen för att underlätta användningen, t.ex. ursprung och kvalitet.
- ❖ Hur ser kommunens mätningstekniska verksamhet ut? Sker den i egen regi eller via upphandling? Beskriv vilka specifikationer och/eller arbetsrutiner man arbetar efter.
- ❖ Har kommunen tillgång till egen mätningsteknisk utrustning? Beskriv rutiner för kontroll och underhåll av denna.
- ❖ Kartlägg vilken kompetens och vilka resurser som finns för att utföra etablering eller ajourhållning av stompunkter i plan och höjd.
- ❖ Undersök vilka möjligheter som finns till samverkan med Lantmäteriet, med grannkommuner eller med andra intressenter.

A.3 Schablonmässig mät- och lägesosäkerhet

I denna bilaga sammanfattas ungefärlig lägesosäkerhet för punkter i olika referensnät. Här redovisas även de ungefärliga mät- och lägesosäkerheter som kan förväntas vid geodetisk mätning och geodatainsamling.

- Tabell A.3.a: Ungefärlig lägesosäkerhet i SWEREF 99 för olika typer av utgångspunkter.
- Tabell A.3.b: Ungefärlig lägesosäkerhet i RH 2000 för olika typer av utgångspunkter.
- Tabell A.3.c: Ungefärlig lägesosäkerhet för geodetiska mätmetoder.
- Tabell A.3.d: Ungefärlig lägesosäkerhet för bild- och laserbaserade datainsamlingsmetoder.

Vissa av tabellerna publicerade i snarlik form i den tekniska rapporten HMK-TR 2018:1, *"Mät- och lägesosäkerhet vid geodatainsamling – en lathund"*. Dessa har dock justerats och kompletterats något. Hänvisningarna till de handböcker där man kan hitta mer detaljerad/metodspecifik information om mätosäkerhet har uppdaterats på motsvarande sätt.

Begreppet "mätosäkerhet" och övrig GUM-terminologi definieras i [HMK – Ordlista och förkortningar](#), senaste version. Där sammanfattas även GUM-terminologins relation till geodesiområdet och ISO-standarder för geodatakvalitet. Skillnaden mellan mät- och lägesosäkerhet kan sammanfattas enligt följande:

- Mätosäkerhet är ett mått på osäkerheten i en specifik mät- eller insamlingsmetod, utan hänsyn till vilka utgångspunkter som används.
- Lägesosäkerhet är ett mått på osäkerheten i ett specifikt referenssystem eller i det referensnät som realiserar systemet, antingen för enstaka punkter eller för större datamängder. Eventuell osäkerhet i utgångspunkterna förväntas ingå i detta mått.
- För mätmetoder som bygger på direkt georeferering, t.ex. nätverks-RTK, kan mätosäkerhet och lägesosäkerhet sägas vara likvärdiga begrepp.

Observera att alla redovisade värden på mät- och lägesosäkerhet är schablonmässiga. De ersätter således inte behovet av kvalitetskontroll för att verifiera mät- och lägesosäkerhet. Däremot kan de vara ett stöd för att välja mätmetod, utgångspunkter, toleranser vid kontrollmätning m.m.

Tabell A.3.a. Ungefärlig lägesosäkerhet i SWEREF 99 för olika typer av utgångspunkter.

	Standardosäkerhet i SWEREF 99 (mm)	
	Plan	Höjd
Fasta referensstationer		
SWEPOS, fundamentalstationer	1	1–2
SWEPOS, övriga klass A/B	2–3	3–5
Nationella stompunkter		
Klass 1 (försäkringspunkter)	5	5
Klass 2 (RIX 95)	10	-
Anslutningspunkter		
Bestämda med GNSS-teknik	6–8	10
Bestämda med terrester teknik	10–15	-
Brukspunkter		
Bestämda med GNSS-teknik	10	15
Bestämda med terrester teknik	15–20	-

Tabell A.3.b. Ungefärlig lägesosäkerhet i RH 2000 för olika typer av utgångspunkter.

	Standardosäkerhet, RH 2000 (mm)
Punkter i det nationella höjdnätet	3
Anslutningspunkter i höjd	5
Brukspunkter i höjd	5–10

Tabell A.3.c. Ungefärlig lägesosäkerhet i SWEREF 99/RH 2000 för olika geodetiska mätmetoder.

Geodetisk mätmetod		Standardosäkerhet (mm)		Kommentar
		plan	höjd	
Terrester detaljmätning (Se HMK – GNSS-baserad detaljmätning avsnitt 2.1.1 + Bilaga E för mer detaljerad information om mät- och lägesosäkerhet)	Prismastång med stöd	som utgångspunkterna (men > 5)	som utgångspunkterna	höjd avser trigonometrisk höjdbestämmning
	Handhållen prismastång	större än utgångspunkterna (men > 15)	som utgångspunkterna	
GNSS-baserad detaljmätning (Se HMK – GNSS-baserad detaljmätning avsnitt 2.2. + Bilaga D för mer detaljerad information om mät- och lägesosäkerhet)	Enkelstations-RTK	≥ mätosäkerheten	≥ mätosäkerheten	lägesosäkerheten beror på referensstationens osäkerhet
	Nätverks-RTK mot SWEPOS, med antennstöd	5–18	10–30 (nationell-/regional geoidmodell)	lägesosäkerheten beror bl.a. på förtätningsgraden (10-, 35- eller 70-km-nät)
	Nätverks-RTK mot SWEPOS, med handhållen lodstång	15–25	10–30 (nationell-/regional geoidmodell)	

Tabell A.3.d. Ungefärlig mät- och lägesosäkerhet för bild- och laserbaserade insamlingsmetoder.

Dokument	Insamlingsmetod/produkt	HMK – standardnivå 1	HMK – standardnivå 2	HMK – standardnivå 3	Kommentar
HMK – Flygfotografering 2017, Tabell 2.3.1	Flygfotografering. Lägesosäkerhet ideala förhållanden (standardosäkerhet plan/höjd, mm)	150–500 / 300–750	80–120 / 120–180	20–50 / 30–70	Standardosäkerheten i plan följer den geometriska upplösningen i flygbilden. Standardosäkerheten i höjd är ca. 50% högre. Se HMK-Flygfotografering avsnitt 2.3.3 för detaljerad information om lägesosäkerhet och 2.3.2 för vad som kan mätas i olika upplösningar.
	Geometrisk upplösning, flygbild (mm)	200–500	80–120	20–50	
HMK – Flygburen laserskanning 2017, Tabell 2.3.1	Flygburen laserskanning. Lägesosäkerhet ideala förhållanden (standardosäkerhet plan/höjd, mm)	300 / 100	150 / 50	50 / 20	Standardosäkerheten i plan är ca. 3 gånger standardosäkerheten i höjd. Osäkerheten beror på punkttätheten. Se HMK-Flygburen laserskanning avsnitt 2.3.3 för detaljerad information om lägesosäkerhet och 2.3.2 för vad som kan mätas i olika punkttätheter.
	Punkttäthet (punkter/m ²)	0,5 – 2	6 – 12	20 – 30	
HMK – Fordonsburen laserskanning 2017, Tabell 2.3.1	Fordonsburen laserskanning. Lägesosäkerhet ideala förhållanden (standardosäkerhet plan/höjd, mm)	-	-	<20 / <20	Endast angiven för HMK-standardnivå 3. Punkttäthet och bildupplösning följer branschstandard.
	Punkttäthet (punkter/m ²)	-	-	1500	
	Geometrisk upplösning, bilder (mm)	-	-	10	

Tabellen fortsätter på nästa sida.

Dokument	Insamlingsmetod/produkt	HMK – standardnivå 1	HMK – standardnivå 2	HMK – standardnivå 3	Kommentar
HMK – Terrester laserskanning 2020, Tabell 2.3.1	Terrester laserskanning. Mätosäkerhet ideala förhållanden (standardosäkerhet plan/höjd, mm)	-	-	<3/<3	Endast angiven för HMK-standardnivå 3. Punkttäthet ges indirekt via krav på minsta objektstorlek som ska kunna tolkas i punktmolnet.
	Terrester laserskanning. Lokal lägesosäkerhet ideala förhållanden (standardosäkerhet plan/höjd, mm)	-	-	<5 / <5	
	Terrester laserskanning. Absolut lägesosäkerhet ideala förhållanden (standardosäkerhet plan/höjd, mm)	-	-	<20 / <20	
HMK – Höjddata 2017, Tabell 2.3.1	Höjdmodell från flygbilder. Lägesosäkerhet ideala förhållanden	Se siffrorna för HMK – Flygfotografering			Tabell 2.3.1 i HMK – Höjddata innehåller även standardosäkerheten för blandade förhållanden.
	Höjdmodell från flygburen laserskanning. Lägesosäkerhet ideala förhållanden	Se siffrorna för HMK – Flygburen laserskanning			
HMK – Ortofoto 2017, Tabell 2.3.1	Ortofoton från flygbilder. Lägesosäkerhet i plan, ideala förhållanden	Se HMK – Flygfotografering, siffrorna för lägesosäkerhet i plan			Standardosäkerheten följer den geometriska upplösningen i ortofotot. Vissa objekt kan vara svårare att mäta i ortofoton jämfört med stereomodell.
MK- Fotogrammetrisk detaljmätning 2017, Tabell 2.3.1	Mätning i stereomodell	Se siffrorna för HMK – Flygfotografering			Se kommentar för HMK-Flygfotografering
	Mätning i plan i ortofoto eller stereomodell. Höjder interpolerade ur höjdmodell	Se HMK – Flygfotografering, siffrorna för lägesosäkerhet i plan För lägesosäkerhet i höjd: Se siffrorna för HMK – Flygburen laserskanning om höjdmodellen kommer från laserskanning. Se siffrorna för HMK – Flygfotografering om höjdmodellen kommer från flygbilder			Standardosäkerheten i plan följer den geometriska upplösningen i ortofotot.eller flygbilden. Vissa objekt kan vara svårare att mäta i ortofoton jämfört med stereomodell.