

HMK
- handbok i mät- och kartfrågor

Geodetisk infrastruktur

2021



Förord till version 2021

Denna version av HMK – Geodetisk infrastruktur är resultatet av en mindre översyn som genomförts av medarbetare på enheten för geodetisk infrastruktur, Lantmäteriet. Några av förändringarna i version 2021 är

- främst korrektur och språkliga förbättringar
- avsnittet *Geodetisk mättnings- och beräkningsteknik* har kortats ner och flyttats till inledningen av kapitel 2
- avsnitten *Byggmätning och byggnät* samt *BIM – Building Information Modelling* är något omarbetade
- en för detta dokument specifik ordlista har lagts till som en bilaga
- hänvisningar – länkar – till annan plats i dokumentet är inte längre blåmarkerade.

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

Gävle 2022-03-15

Tina Kempe, Lantmäteriet

Innehållsförteckning

Förord till version 2021	3
Innehållsförteckning	5
1 Inledning	7
1.1 Om dokumentet	7
1.2 Om Handbok i mät- och kartfrågor	8
2 Introduktion till referens- och koordinatsystem	11
2.1 Geodetisk mättnings- och beräkningsteknik.....	11
2.2 Referenssystem och referensnät.....	12
2.2.1 Dimension och geografisk utbredning	13
2.2.2 Referensytor och jordmodeller	14
2.2.3 Hantering av jordens dynamik.....	16
2.2.4 Koordinatsystem för geografisk lägesbestämning.....	18
2.2.5 Geodetiska referensnät.....	19
2.3 Kartprojektioner	20
2.3.1 Grundprinciper för kartprojektion.....	21
2.3.2 Avbildningsfel.....	22
2.3.3 Vanligt förekommande kartprojektioner	23
2.4 Koordinattransformationer	27
2.4.1 Transformation via överräkning.....	27
2.4.2 Inpassningstransformation.....	28
2.5 Sammanfattning	30
3 Nationell geodetisk infrastruktur	31
3.1 SWEREF 99 – tredimensionellt referenssystem.....	32
3.1.1 Systemdefinition och egenskaper.....	32
3.1.2 Kartprojektioner – tvådimensionella koordinatsystem.....	35
3.1.3 Referensnät i SWEREF 99	37
3.1.4 Nationell förvaltning av SWEREF 99.....	39
3.1.5 SWEREF 99 i ett internationellt perspektiv	41
3.2 RH 2000 – referenssystem i höjd.....	43
3.2.1 Systemdefinition och egenskaper.....	43
3.2.2 Referensnät för mätning i RH 2000	46
3.2.3 Nationell förvaltning av RH 2000.....	47
3.2.4 RH 2000 i ett internationellt perspektiv.....	49
3.3 Swepos – ett aktivt nät av fasta referensstationer för GNSS	50
3.3.1 Klassificering och förvaltning av stationerna	51

3.3.2	Rikstäckande tjänster för GNSS-mätning.....	54
3.3.3	Swepos i ett internationellt perspektiv	55
3.4	Nationella modeller för geoid och landhöjning	56
3.4.1	Nationell geoidmodell.....	56
3.4.2	Landhöjningsmodell.....	57
3.5	Lantmäteriets stödtjänster och rådgivning	59
3.5.1	Stompunktsinformation.....	59
3.5.2	Koordinattransformation.....	60
3.5.3	Rådgivning.....	60
4	Lokal geodetisk infrastruktur	61
4.1	Stomnät för samhällsbyggnad	62
4.1.1	Terrestra 2D-nät	64
4.1.2	GNSS-nät.....	66
4.1.3	Höjdnät.....	67
4.1.4	Stomnät för anläggning av infrastruktur	68
4.1.5	Specialnät	70
4.1.6	Stompunktsmarkering	70
4.2	Förvaltning av lokal geodetisk infrastruktur.....	72
4.2.1	Passiv lokal realisering av SWEREF 99.....	73
4.2.2	Lokal förtätning av RH 2000	76
4.2.3	Långsiktig planering av lokal geodetisk infrastruktur.....	79
4.3	Fristående referenssystem och stomnät.....	80
4.3.1	Byggmätning och byggnät.....	80
4.3.2	BIM – Building Information Modelling.....	81
4.3.3	Fristående system för fastighetsbildning	82
5	Referensförteckning.....	85
5.1	Referenser i löptext, figurer m.m.....	85
5.2	Lästips, webbsidor m.m.....	86
Bilaga A:	Checklistor	89
A.1	Koordinattransformation.....	89
A.2	Förvaltning av lokal geodetisk infrastruktur.....	90
Bilaga B:	Ordlista till handboken	91

1 Inledning

1.1 Om dokumentet

Syfte och avgränsningar

Syftet med "HMK – Geodetisk infrastruktur 2021" är att ge aktuell information om den geodetiska infrastrukturen som kan användas för geografisk lägesbestämning i Sverige.

Dokumentet är inte avsett som en lärobok, med undantag för kapitel 2.

Disposition

Kapitel 2 ger en introduktion till geodesi och geografisk lägesbestämning.

Kapitel 3 och kapitel 4 beskriver nationell respektive lokal geodetisk infrastruktur och är tänkt att ge läsaren en förståelse för hur sådan infrastruktur kan etableras och användas t.ex. för den geodetiska mätning eller geodatainsamling som beskrivs i andra HMK-dokument.

Både Trafikverket och Sjöfartsverket har geodetiska referensnät med nationell täckning, men eftersom de inte är tillgängliga för "allmänheten" i samma utsträckning som de kommunala och officiella nationella referensnäten, så beskrivs de inte närmare i handboken.

Kapitel 5 innehåller litteraturförslag för vidare fördjupning. Referenser i löpande text är markerade med hakparenteser.

Bilaga A innehåller checklistor för koordinattransformationer och förvaltning av lokal geodetisk infrastruktur.

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

Texttrutor i handboken

En del av de numrerade handboksavsnitten inleds med vita texttrutor som har rubriken "Information". De innehåller beskrivningar eller sammanfattningar som inte är styrande.

Till skillnad från övriga geodesidokument i HMK-serien innehåller handboken inga texttrutor med rubrikerna "Krav" eller "Rekomendation".

Terminologi

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

I övrigt följer HMK standardiserad eller allmänt accepterad terminologi inom berörda områden, men det finns ingen ambition att HMK ska vara generellt normerande. Terminologin inom HMK är dock samordnad för att handböckerna ska kunna tolkas och användas på ett entydigt sätt.

HMK använder GUM-terminologi [6], med viss svenskspråkig anpassning till *geodesi-* och *geografiområdet* – exempelvis *lägesosäkerhet*.

1.2 Om Handbok i mät- och kartfrågor

Information

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

Publicering av HMK

HMK – Handbok i mät- och kartfrågor är en samling handböcker och tekniska rapporter för ämnesfördjupning, omvärldsbevakning m.m.

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

Målgrupp

HMK riktar sig till yrkesverksamma eller studerande inom geodata- och samhällsbyggnadsområdet. HMK är särskilt tänkt att fungera som stöd vid kravställning/beställning, vid genomförande av geodatainsamling eller vid framtagande av geodataprodukter.

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

Handböcker för geodetisk mätning och övrig användning av *geodetisk infrastruktur* listas i Tabell 1.

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

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

Tillämpning av HMK

Kraven som finns i de andra HMK-handböckerna kan användas på tre olika sätt:

- Kraven kan ingå för att beskriva ett *grundutförande* enligt HMK. Det motsvarar en allmän/branschgemensam syn på fackmannamässig yrkesutövning. Vad som ska ingå i grundutförande kan justeras i överenskommelse mellan beställare och utförare.
- Kraven kan ingå i en teknisk specifikation där handboken varit stöd för innehållet. Hänvisningar sker sedan till den tekniska specifikationen i de dokument som beskriver kravställning och upphandling.
- Kraven bygger på föreskrift/lag och ska följas, oavsett vilka övriga krav som finns beskrivna inom HMK.

Krav som beskriver grundutförande eller ingår i en teknisk specifikation blir juridiskt bindande endast om de inkluderas i upphandlingsunderlag, eller i motsvarande avtal eller regelverk. I så fall måste korrekta hänvisningar användas 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 myndigheter och företag inom geodata- och mättningsområdet. Den viktigaste samverkansformen är HMK:s referensgrupp. Referensgruppen 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 anmälan till hmk@lm.se.

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

2 Introduktion till referens- och koordinatsystem

Information

- Geografisk lägesbestämning kräver att det finns en geodetisk infrastruktur i form av referenssystem och referensnät.
- Den geodetiska infrastrukturen byggs upp och förvaltas lokalt, nationellt och internationellt.

Att det finns geodata – geografiskt lägesbestämd information – är viktigt för många delar i den fysiska planering och samhällsbyggnation som pågår idag.

För geografisk lägesbestämning måste det finnas en geodetisk infrastruktur i form av bl.a. *referenssystem* och *referensnät* att utgå ifrån och ansluta till. Lägesbestämningen och hanteringen av geodata förenklas av att vi idag använder 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 Geodetisk mätning- och beräkningsteknik

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 2.2.5) är förutsättningar för varandra:

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

Geodetisk mätning används bl.a. vid etablering av *stomnät*, stommätning, och vid noggrann inmätning eller utsättning, s.k. detaljmätning. Mer information om geodetisk mätning och beräkning finns i bl.a. HMK - Stommätning 2021, HMK - GNSS-baserad detaljmätning 2021 och HMK - Terrester detaljmätning 2021.

Geodetisk mätning kan utföras med ett flertal olika tekniker, där val av teknik och metod styrs av bl.a. omgivningens förutsättningar och tillämpningens krav på lägesosäkerhet.

Några exempel på metoder och tillämpningar är:

- Terrestra mätmetoder
 - o Vinkel- och längdmätning med teodolit/EDM-instrument, alternativt totalstation
 - o Avvägning
 - o Trigonometrisk höjdbestämmning
 - o Terrester laserskanning för geodatainsamling
- GNSS-teknik
 - o Statisk mätning av baslinjer, för stommätning
 - o *Nätverks-RTK* mot *fasta referensstationer*, för detaljmätning

HMK-TR 2018:3 [13] beskriver närmare kontrollmetoder och tillämpning av korrektioner vid geodetisk mätning, liksom beräkning av stomnät.

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.

HMK:s terminologi för kvalitetsangivelser följer internationella riktlinjer i GUM : Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement [6]. Se även HMK-TR 2015:1 [10].

2.2 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 2.2.1
- vilka jordmodeller och referensytor som används, se avsnitt 2.2.2
- hur jordens dynamik hanteras, se avsnitt 2.2.3

- vilka *koordinatsystem* som används och hur dessa kopplas till jordmodellen, se avsnitt 2.2.4

Utöver detta så kan referenssystem *realiseras* på olika sätt, beroende på vilken typ av geodetiska referensnät som används, se avsnitt 2.2.5.

2.2.1 Dimension och geografisk utbredning

Information

- Geodetiska referenssystem möjliggör lägesbestämning i en, två eller tre dimensioner, globalt eller inom ett visst geografiskt avgränsat område.

Med dimensionen som grund kan referenssystemen delas in i:

- **Tredimensionella 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 objektspecifika tillämpningar, t.ex. *BIM*. Exempel på tredimensionella 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 globala jordmodeller och geodynamiska fenomen, vilket gör dem mer entydiga, sömlösa och därmed lämpade för bred användning. En sådan anpassning kräver dock strikta definitioner, omfattande forskning och mycket noggranna mätmetoder, vilket gör att det nationella ansvaret för dessa främst ligger på utpekade myndigheter – t.ex. Lantmäteriet i Sverige (se kapitel 3).

- **Lokala referenssystem** är avsedda för begränsade områden och tas ofta fram för specifika tillämpningar. Det har t.ex. varit vanligt med s.k. 1000/1000-system för fastighetsbildning i glesbyggd. Idag används lokala 3D-system ofta i bygg- och anläggningsverksamhet och anpassas då till byggnader eller andra objekt inom ett projektområde.

2.2.2 Referensytor och jordmodeller

Information

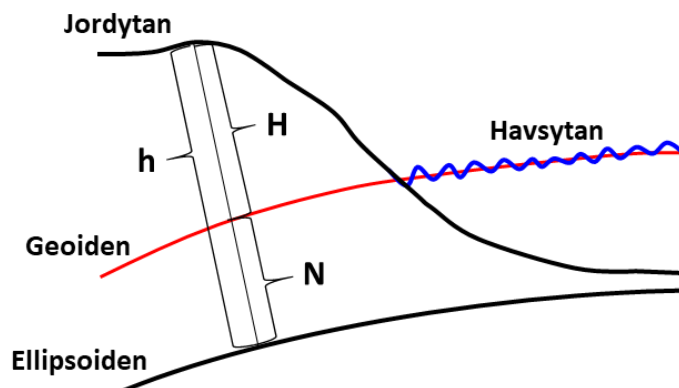
- De grundläggande referensytorna i geodetiska referenssystem är jordytan, geoiden och ellipsoiden.

I definitionen av ett geodetiskt referenssystem ingår en eller flera av följande referensytor (se Figur 1):

- Jordytan, vilket inkluderar kontinenterna och havsytan.
- *Geoiden*, den nivåyta i jordens tyngdkraftsfält som bäst ansluter till havsytan och dess tänkta förlängning under kontinenterna.
- Ellipsoiden, är en matematiskt enkel modell av jordens form som väljs så att den ansluter väl till geoiden.

Genom att beskriva 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 gör det möjligt att definiera 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 1. 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 1)

$$H = h - N$$

Geoidmodeller beräknas med hjälp av tyngdkraftsdata och andra geodetiska observationer.

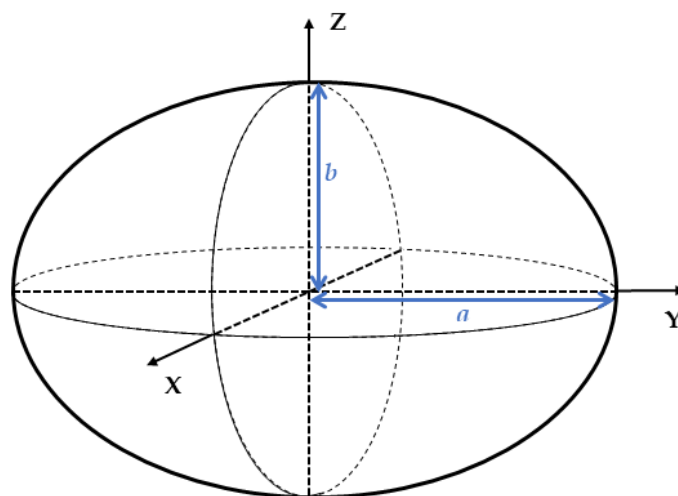
Ellipsoid

En ellipsoid är en geometrisk form som bildas genom att rotera en ellips kring den ena av dess axlar. Till skillnad från geoiden är ellipsoiden helt homogen - och är därmed mycket lätt att definiera matematiskt. Ellipsoiden avviker från en perfekt sfär och formen är vald 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). 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. En referensellipsoid placerad relativt ett geocentriskt koordinatsystem (se avsnitt 2.2.4). a = halva storaxeln och b = halva lillaxeln.



2.2.3 Hantering av jordens dynamik

Information

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

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 *epoker*, som anger vilken tidpunkt koordinatuppgifterna avser och används för övervakning av referenssystemen över tid. Hastigheter anger hur koordinaterna förändras, så att en viss uppsättning koordinatvärden kan knytas till en given epok.

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 hastigheter för att kunna beräkna koordinater vid en annan tidpunkt.
- 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 den viktigaste komponenten att ta hänsyn till i Norden. Effekterna av landhöjningen är ibland tydligt märkbara, se Figur 3. I Sverige har landhöjningen sitt maximum på ca 1 centimeter per år längs Norrlandskusten.

Kontinentaldriften gör att den interna geometrin i ett globalt anpassat referenssystem deformeras relativt snabbt, se Figur 4. På internationell nivå är därför dynamiska referenssystem en förutsättning. Inom en kontinentalplatta som har små interna rörelser kan systemen hanteras annorlunda. I t.ex. *ETRS89* är referensepoken 1989 och koordinaterna har därmed fixerats till kontinentalplattans läge år 1989. Det svenska

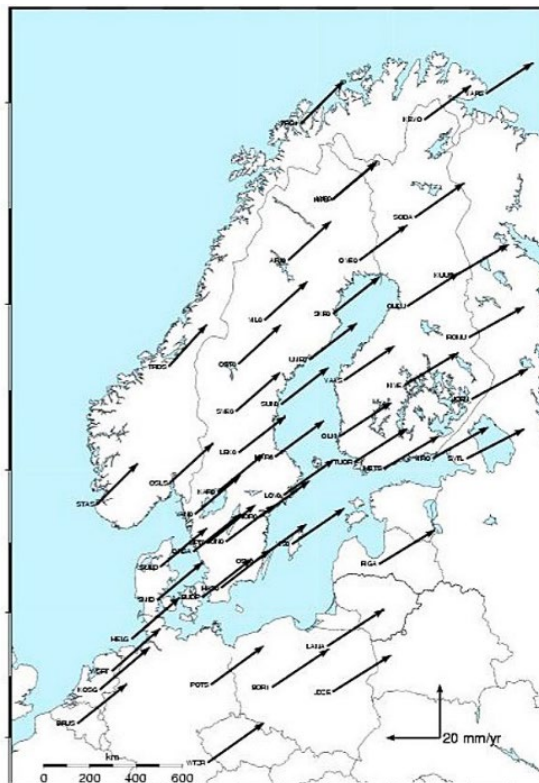
systemet SWEREF 99 är en realisering av ETRS89 – med samma referensepok för kontinentaldriften, se avsnitt 3.1.1.

Den eurasiska plattans rörelse medför att Norden rör sig med en hastighet av ca 2 centimeter per år mot nordost.

Figur 3. Den långsiktiga effekten av landhöjningen syns bl.a. vid kusten nära Sundsvall. De tidigare strandnära sjöbodarna ligger här långt uppe på land.



Figur 4. Den eurasiska plattans rörelsehastighet, bestämd genom kontinuerlig GNSS-mätning på ett antal nordeuropeiska stationer.



2.2.4 Koordinatsystem för geografisk lägesbestämning

Information

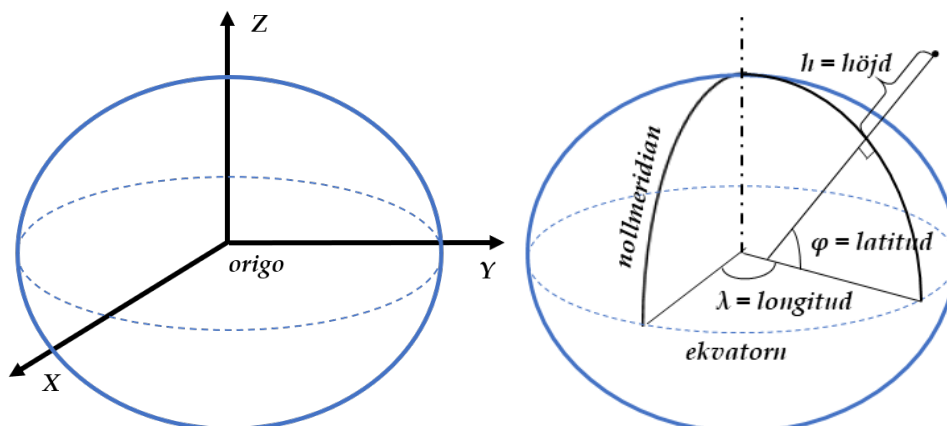
- Koordinatsystem gör det möjligt att ange lägen i förhållande till en viss jordmodell eller kartprojektion.

Koordinatsystem är olika typer av system som gör det möjligt att ange lägen i förhållande till 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 tredimensionella, globalt anpassade referenssystem. Geodetiska koordinater kan också användas för att ange horisontellt läge på jordytan (dvs. 2D), utan höjdangivelse. Se Figur 5.

Figur 5. 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).



Kartografiska 2D-koordinater innebär att ett geodetiskt koordinatsystem avbildas på en plan yta. Detta sker med en kartprojektion, se avsnitt 2.3. Eftersom koordinatvärden i höjdsystem (1D) vanligen benämns

”höjder” så har begreppen ”koordinater” och ”koordinatsystem” i viss utsträckning blivit synonyma med kartografiska 2D-koordinater.

Geocentriska och geodetiska koordinatsystem

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

De geodetiska koordinaterna latitud och longitud används för att uttrycka positioner med vinkelmått. Latituden är vinkeln i nord-sydlig riktning och har latituden noll (0°) i ekvatorsplanet, 90° N i nordpolen och 90° S i sydpolen. Longituden anger vinkeln i öst-västlig ledd med början från nollmeridianen. Den räknas positivt österut och negativt västerut; eller så 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 i geodesisammanhang.

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

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

2.2.5 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. görs tillgängligt för användning i den fysiska verkligheten, genom koordinat- eller höjdbestämmning av de referenspunkter som ingår i ett geodetiskt referensnät, se Figur 6. Detta sker vanligtvis via geodetisk mätning – dels inbördes mellan referenspunkterna, dels i förhållande till ett överordnat referensnät.

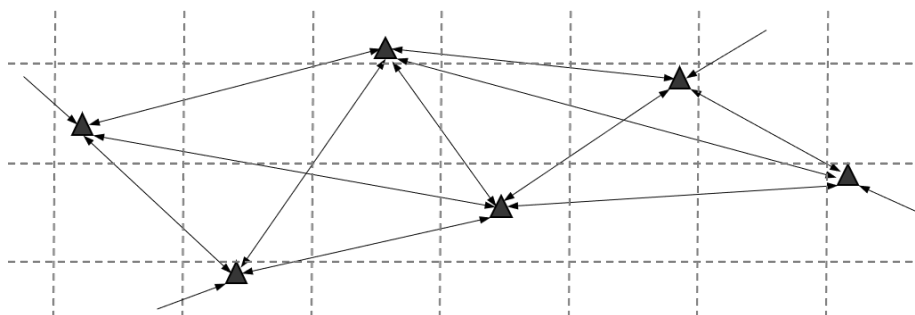
Referensnätets koordinater och höjder kan sedan användas som utgångspunkter för geodatainsamling eller för geografisk lägeskontroll.

Passiva referensnät kallas även stornät, och byggs upp av traditionellt markerade punkter i terräng eller byggd miljö. Punkterna används som referenser vid mätning eller lägeskontroll. I avsnitt 4.1 finns en översikt över olika stornätstyper och hur de kan användas. *Markeringar* har stor betydelse för ett stornäts hållbarhet i ett längre tidsperspektiv. Därför är underhåll av markeringarna en viktig del av stornätens förvaltning, se avsnitt 4.1.6.

Aktiva referensnät baseras på fasta referensstationer för GNSS-mätning. Syftet med aktiva nät är att göra kontinuerlig geodetisk mätning möjlig utan att enskilda referenspunkter behöver besökas. Via aktiva nät kan mätdata hämtas via online-tjänster, i realtid eller via arkiv.

Referensnät har alltid en förvaltare eller ansvarig myndighet. Eftersom det kan finnas flera alternativa sätt att realisera ett referenssystem, med olika kvalitet, så är det viktigt att den organisation som är ansvarig för referenssystemet anger om en särskild (officiell) realisering ska rekommenderas till användare. Även kravställare/beställare bör ange om utförare ska använda en särskild realisering av referenssystemet.

Figur 6. Geodetiska referenssystem realiserar genom att referenspunkter (trianglar) koordinat- eller höjdbestäms genom geodetiska observationer (pilar).



2.3 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 datorskärm. Horisontella geografiska lägen kan då anges med hjälp av ett rätvinkligt koordinatsystem.

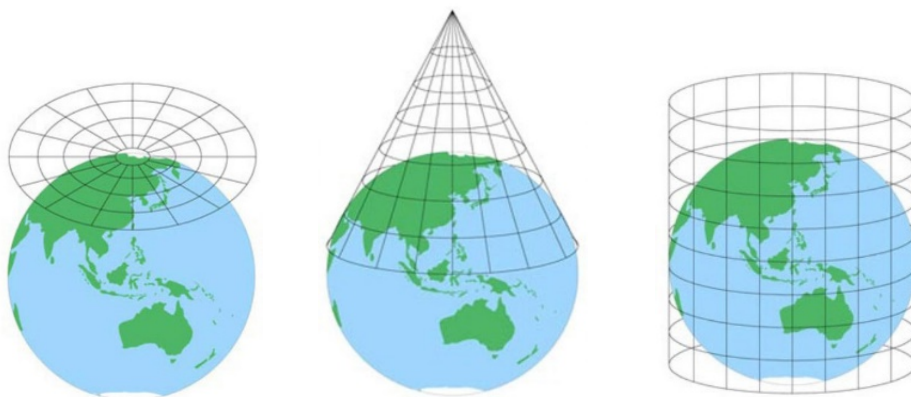
Det sker genom att positioner på jordellipsoiden räknas om till koordinater i ett plan. Valet av projektion styrs i första hand av tillämpningen och projektionens egenskaper – så att ändamålet med kartan/avbildningen uppfylls – men även av det avbildade områdets form. T.ex. är de flesta svenska kartor gjorda i projektionen *Transversal Mercator* (se avsnitt 2.3.3) eftersom den passar bra för landets form och utbredning, men det finns även många andra kartprojektioner.

2.3.1 Grundprinciper för kartprojektion

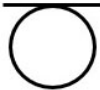




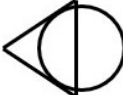
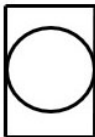
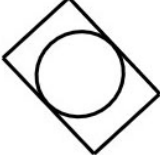
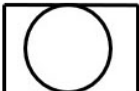
Varje kartprojektion måste kopplas till en väldefinierad jordellipsoid. Projektionens egenskaper beror sedan på val av projektionsparametrar, t.ex. val av medelmeridian, hantering av skalfaktorer och koordinat-tillägg.

Projektionsplanet är en plan yta, en kon eller en cylinder och de olika avbildningarna kallas azimutal, konisk respektive cylindrisk projektion, se Figur 7. "Stående" projektionsplan, som i denna figur, kallas normala medan liggande projektionsplan kallas transversala. I en del kartprojektioner används även snedaxliga projektionsplan, se sammanställning i Figur 8.

Figur 7. Azimutal, konisk respektive cylindrisk kartprojektion.



Figur 8. Indelning av kartprojektioner efter projektionsplanets utformning och placering.

	Normal	Snedaxlig	Transversal
Azimutal			
Konisk			
Cylindrisk			

2.3.2 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, form och variation beror på projektionstypen och växer med ökande avstånd från en centralpunkt eller en centrellinje.

Den dominerande effekten är att skalan varierar och att den efter projektion inte stämmer med "verkligheten". Det får konsekvenser t.ex. i tillämpningar där kartunderlaget ligger till grund för projektering inom bygg- och anläggningsverksamheten där man eftersträvar ett 1:1-förhållande mellan modell och verklighet, se HMK - Stommätning 2021, avsnitt 3.2.4, och HMK-TR 2019:1 [14].

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 behåller därmed sin form i kartplanet. En sådan kartprojektion benämns vinkelriktig eller 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, t.ex. en meridian.

2.3.3 Vanligt förekommande kartprojektioner

Information

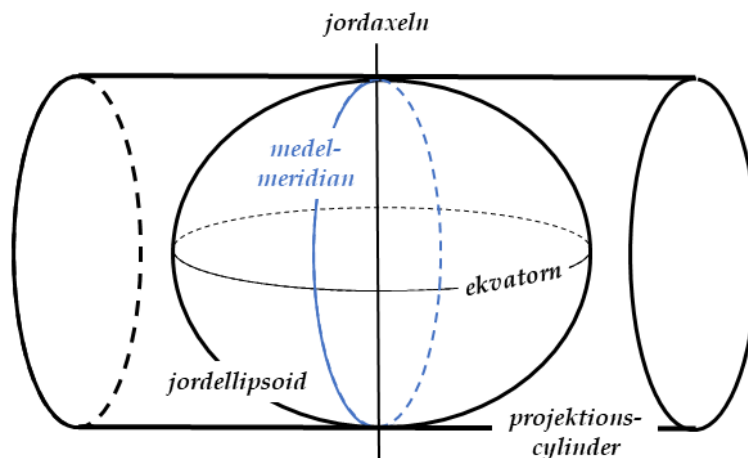
- Transversal Mercator (TM) är den vanligaste kartprojektionen för redovisning av geodata i Sverige.

I detta avsnitt redovisas de kartprojektioner som är mest aktuella för svensk räkning, med fokus på Transversal Mercator. En sammanställning av kartprojektioner finns på Lantmäteriets webbplats.

Transversal Mercator

Transversal Mercator, förkortat *TM*, är en av de viktigaste kartprojektionerna, även internationellt. Se Figur 9.

Figur 9. Kartprojektionen Transversal Mercator.



Transversal Mercator kallas även *Gauss-Krüger* eller Gauss konforma projektion. Projektionen används i första hand för områden som är relativt smala i öst-västlig ledd och större i nord-sydlig ledd. För svensk del har den använts i de äldre nationella referenssystemen och nu även i SWEREF 99.

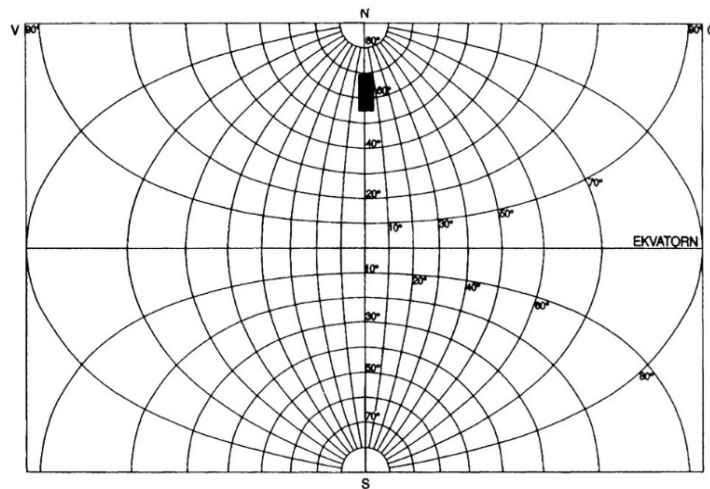
Transversal Mercator är en konform, transversal, cylindrisk projektion som definieras av fyra projektionsparametrar, se Tabell 2. För information om parametervärden för projektioner i SWEREF 99, se avsnitt 3.1.2.

Tabell 2. Projektionsparametrar för Transversal Mercator.

Parameter	Förklaring
Medelmeridian	Anger projektionscylinderns placering i förhållande till ellipsoiden och bildar symmetriaxel för projektionen.
Skalreduktionsfaktor	Kan användas för att fördela skalfelet jämnare över det område där projektionen används (se Figur 11).
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.

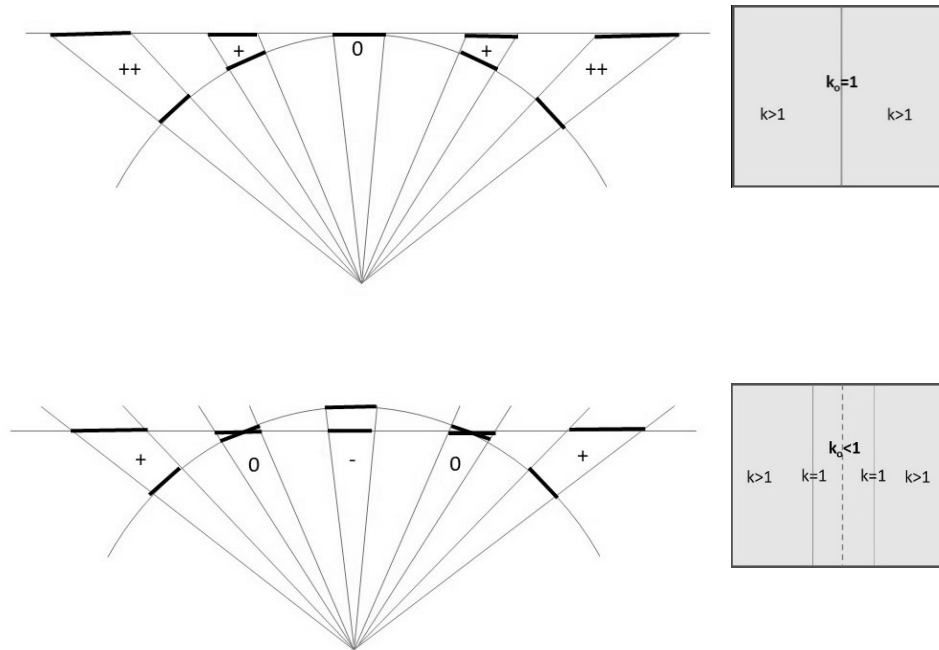
I Figur 10 visas hur meridianer (konstant longitud) och parallellcirklar (konstant latitud) avbildas med Transversal Mercator-projektion. Som det går att se i figuren så avbildas både meridianer och parallellcirklar på jordellipsoiden som krökta linjer i projektionen. Vinkeln mellan en avbildad meridian och medelmeridianen kallas meridiankonvergens.

Figur 10. Gradnätets utseende i Transversal Mercator. Den svarta rektangeln upptill, i mitten av figuren representerar Sveriges läge.



I Figur 11 visas hur projektionsfelet kan minskas med hjälp av en skalfaktor. Det kan också beskrivas som att projektionsplanet "skär" jordellipsoiden.

Figur 11. Projektionsfel **utan** (övre bilden) respektive **med** skalreduktionsfaktor (nedre bilden).

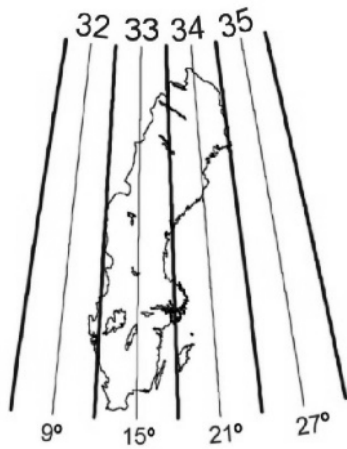


Det övre projektionsplanet i Figur 11 tangerar - vidrör - jordellipsoiden och har skalfaktorn ett ($k_0 = 1$) längs tangeringslinjen/medelmeridianen. Den nedre projektionen har en skalfaktor ($k_0 < 1$) längs medelmeridianen, vilket gör att projektionscylindern "skär" jordellipsoiden i stället för tangerar. Projektionsfelen blir då noll (0) längs 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 användning av UTM i Sverige innebär att zonerna 32N, 33N, 34N och 35N används, se Figur 12.

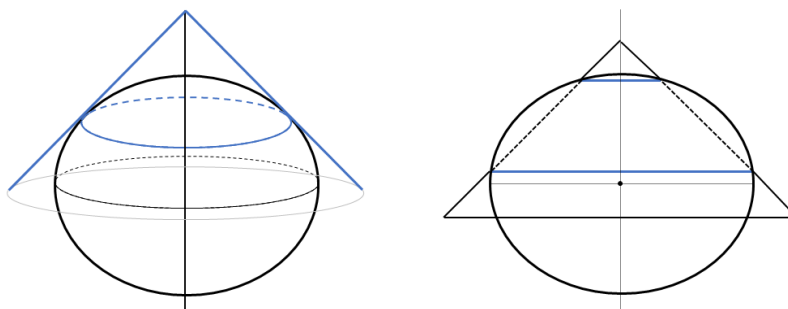
Figur 12. UTM-zoner i Sverige.



Lamberts koniska konforma projektion

Lamberts koniska konforma projektion används vanligtvis i områden med störst utbredning i öst-västlig ledd. Projektionsplanet utgörs av en kon som placeras med en eller två standardparalleller, se Figur 13. Datautbyte enligt EU-direktivet Inspires infrastruktur för geodata ska ske i referenssystemet ETRS89. Till detta system finns bland annat ett för Europa anpassat projektionsplan i Lamberts projektion, som kallas ETRS89 LCC.

Figur 13. Lamberts koniska konforma projektion. Med två standardparalleller (t.h.) blir projektionen "skärande".



2.4 Koordinattransformationer

Information

- Koordinattransformation innebär konvertering av koordinater mellan två olika referens-/koordinatsystem.
- Det finns två huvudtyper av koordinattransformation: överräkning och 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 kallas överräkning. Resultatet från en överräkning kan i princip betraktas som felfritt om den numeriska hanteringen är korrekt, se avsnitt 2.4.1.
- Om analytiskt formelsamband saknas, så kan ett empiriskt (ungefärligt) samband skapas genom inpassning med minsta-kvadratmetoden. En inpassning ger motsägelser i form av *passfel*, samt *restfel* när sambandet tillämpas, se avsnitt 2.4.2.

Det finns många olika sätt att utföra transformationer mellan en-, två- och tredimensionella koordinatsystem. En checklista för koordinattransformation finns i Bilaga A.1.

2.4.1 Transformation via 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 egenskaper blir ibland andra angreppssätt nödvändiga, t.ex. upprepade beräkningar som förfinar resultatet och stegvisa metoder med en kombination av olika formler.

Exempel på koordinattransformation med överräkning är

- konvertering av tredimensionella *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.

2.4.2 Inpassningstransformation

Information

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

Inpassning utförs bl.a. för koordinattransformation mellan två olika referenssystem eller när samband inte kan definieras analytiskt. Vid inpassning bestäms ett transformations samband empiriskt med hjälp av *passpunkter*; punkter vars koordinater och/eller höjder är kända i både från- och till-systemet

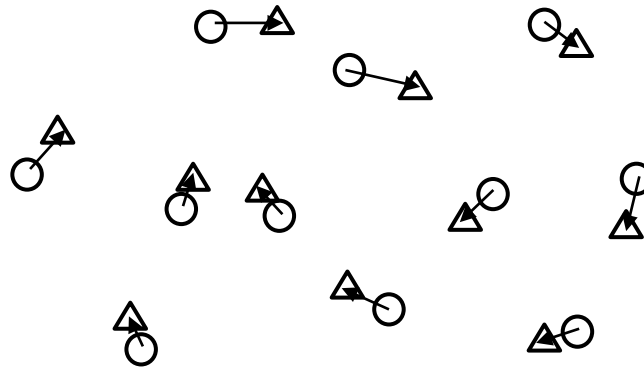
När ett samband som bestämts med inpassning används på punkterna i från-systemet kallas detta inpassningstransformation. Detta kan antingen ske med fördefinierade samband, t.ex. från ansvarig myndighet/kravställare, eller med ett tillfälligt framtaget samband. Tillfälliga samband är sådana som beräknas av användaren, t.ex. i samband med geodetisk mätning (se avsnitt 2.1) där inpassningen kan behövas direkt i fält.

Det är viktigt att de samband som används också redovisas i uppdragsdokumentationen, oavsett om sambanden är fördefinierade eller tillfälliga. Transformations samband som sparas för vidare bruk dokumenteras så att egenskaper och användningsområde tydligt framgår för en möjlig framtida användare.

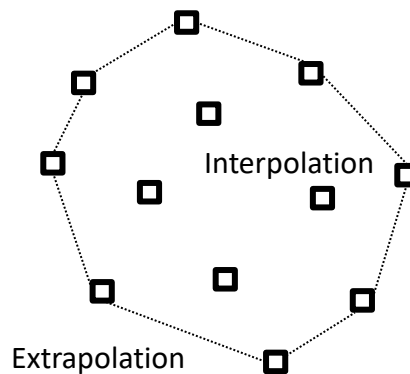
Inpassningstransformation ger alltid vissa kvarstående motsägelser i till-systemet som benämns restfel. Figur 14 illustrerar passfelen i en inpassning i 2D. Restfelen för övriga punkter – som inte är passpunkter – kommer att bero på passfelen i inpassningen. Vid transformation med *restfelsmodell* (se nedan) får passfelet för närliggande passpunkter särskilt stor påverkan på de transformerade punkterna.

Det bör vara en jämn fördelning av passpunkter över det område där transformations sambandet är tänkt att användas, dvs. sambandets giltighetsområde. Giltighetsområdet sammanfaller vanligtvis med den gräns som definieras av de yttersta passpunkterna, så att extrapolation undviks, se Figur 15.

Figur 14. Cirklar visar de lägen som passpunkter i från-systemet får efter transformation. Trianglar visar lägen för motsvarande passpunkter i till-systemet. Pilarna illustrerar avvikelserna mellan dessa lägen, dvs. passfelen.



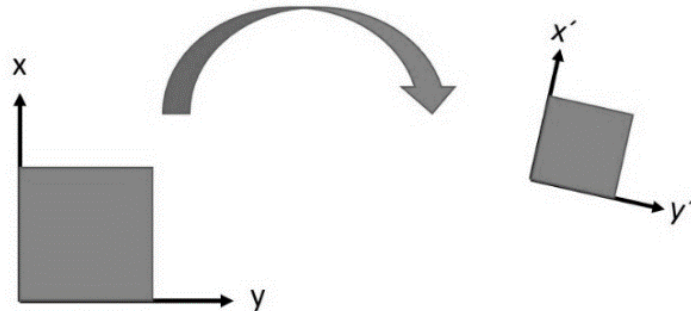
Figur 15. För att undvika extrapolation bör inpassningstransformation endast användas inom området som avgränsas av de yttersta passpunkterna.



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
- tvådimensionell Helmert-transformation; två translationer + en vridning + en skalförändring (fyra parametrar), se Figur 16
- tredimensionell Helmert-transformation; tre translationer + tre vridningar + en skalförändring (sju parametrar).

Figur 16. 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 systemet (x',y') .

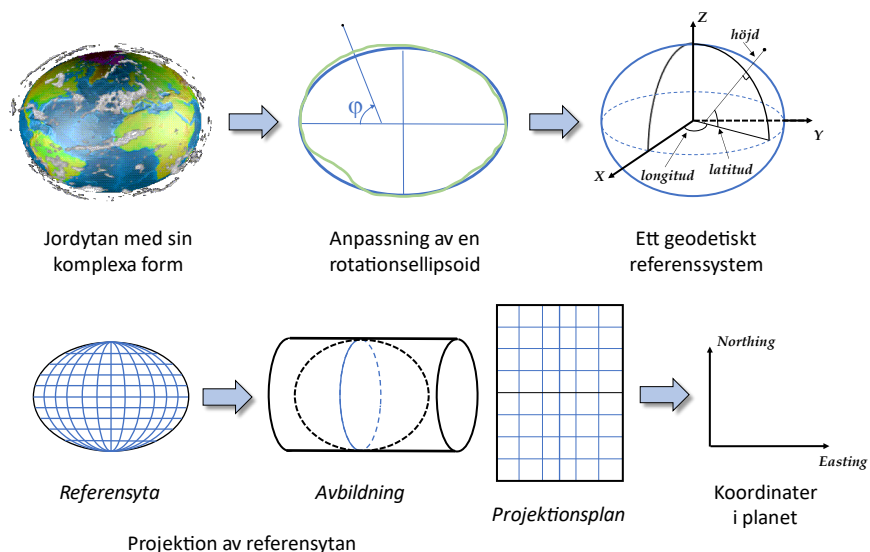


Som tillägg till ett empiriskt transformations samband kan en restfelsmodell beräknas. I restfelsmodellen utnyttjas passfelen från en inpassning som korrektioner för att förbättra sambandet mellan systemen. Vid framtagandet av ett samband till ett överordnat system kan alltså effekter av bristande geometri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

2.5 Sammanfattning

Figur 17 sammanfattar 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 17. 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 3D och 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 [17] redovisar de resonemang och motiv som ligger till grund för de valda sätten att göra SWEREF 99 respektive RH 2000 tillgängliga – dvs. principerna för realisering av referenssystemen.

Till den nationella geodetiska infrastrukturen hör även RG 2000, referenssystemet för tyngdkraft, som har stor betydelse för geoidbestämning. RG 2000 beskrivs närmare i Lantmäterirapport 2019:3 [3].

Du kan läsa om den allmänna målsättningen för den nationella geodetiska infrastrukturen fram till år 2025 i Lantmäteriets strategiska plan för geodesiverksamheten. [9]

3.1 SWEREF 99 – tredimensionellt referenssystem

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 som EU-direktivet Inspire ställer för utbyte av geodata, se även avsnitt 0.

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 går det att få 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

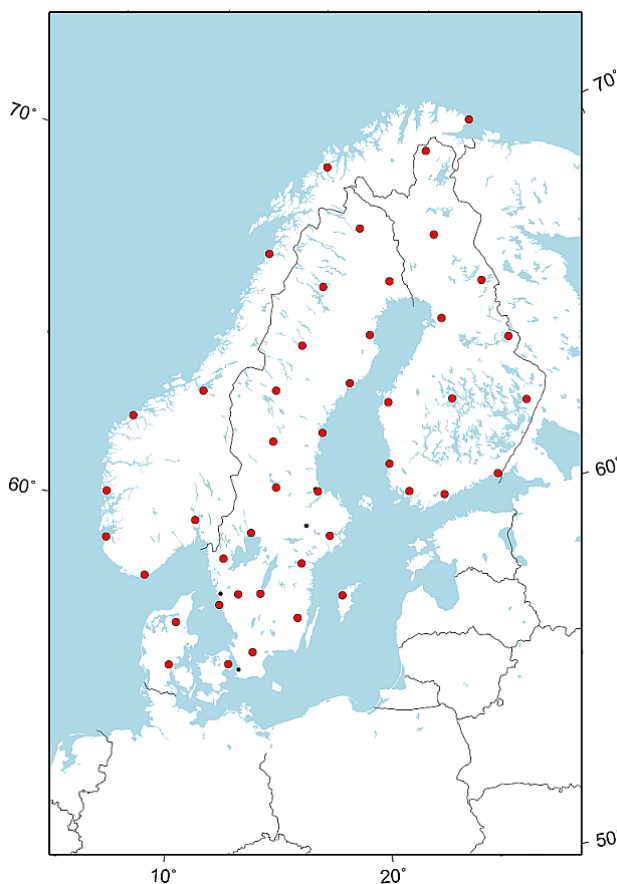
- SWEREF 99 har definierats via GNSS-mätningar på fasta referensstationer i Sverige och nordiska grannländer.
- SWEREF 99 är en internationellt godkänd realisering av det europeiska referenssystemet ETRS89.

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

SWEREF 99 är definierat via GNSS-mätningar på fasta referensstationer med antennenmonument förankrade i fast berggrund, s.k. klass A-stationer. Se avsnitt 3.3.1 för närmare beskrivning av klassificering och förvaltning av de fasta referensstationerna.

SWEREF 99 definierades från början av de 21 ursprungliga Swepos-stationerna, de s.k. fundamentalstationerna. Till grund för koordinatbestämningen ligger statistiska GNSS-observationer från totalt 49 fasta referensstationer i Sverige, Norge, Finland och Danmark som var aktiva sommaren 1999, se Figur 18. Lösningen beräknades i referensepok 1999.5 i det internationella referenssystemet ITRF97 (se avsnitt 0) och räknades därefter över till ETRS89. [7]

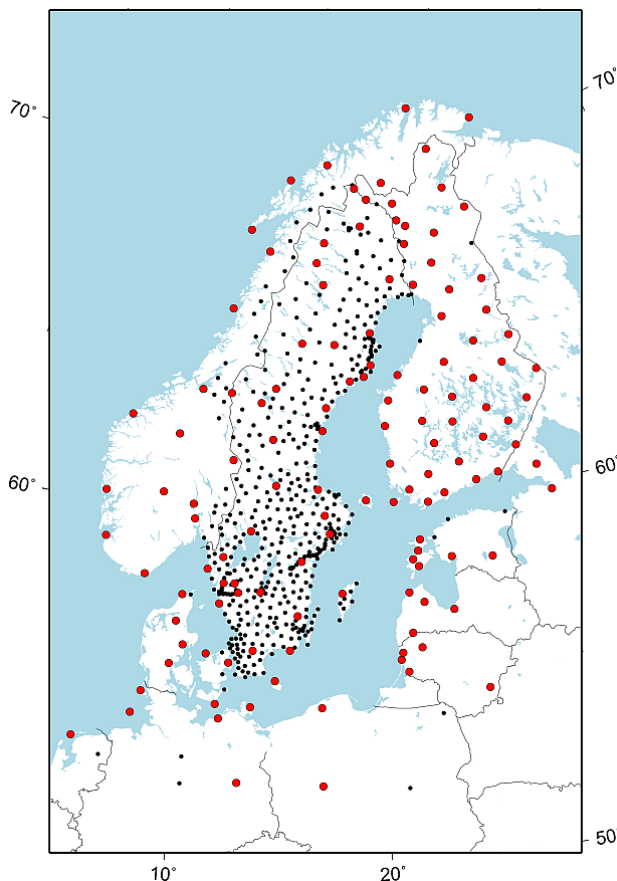
Figur 18. SWEREF 99 definierades från början av de 21 fundamentalstationerna i Swepos-nätet. Avståndet mellan fundamentalstationerna är ca 200 km. Röda punkter visar de definierande stationerna i SWEREF 99-kampanjen. Övriga stationer som ingick i kampanjen är markerade med svarta prickar.



Sedan den ursprungliga beräkningen har Swepos-stationernas koordinater uppdaterats i samband med bl.a. utrustningsbyten och vid införande av nya antenmodeller och beräkningsstrategier.

I början av 2021 uppdaterades SWEREF 99-koordinaterna för Swepositionstationerna som realiserar referenssystemet SWEREF 99. Syftet var att göra SWEREF 99 mer homogent för att det ska hålla bättre för framtiden. I samband med översynen blev antalet definierande stationer ett trettiotal i Sverige och totalt ca 100 stationer i våra grannländer, se Figur 19.

Figur 19. Röda punkter visar de definierande stationerna i SWEREF 99-översynen. Övriga stationer som ingick i beräkningen är markerade med svart.



Skillnaderna mellan de tidigare och de uppdaterade koordinaterna är överlag små och ligger inom specifikationerna för Lantmäteriets tjänster som baseras på Swepos.

SWEREF 99 är ett statistiskt referenssystem (se avsnitt 2.2.3) med bl.a. följande egenskaper:

- Referensellipsoid är GRS 1980, geocentriskt placerad.
- Den externa (plattetektoniska) referenspoken är 1989.0, som för andra ETRS89-realiseringar. Det innebär att referenssystemet representerar den eurasiska kontinentalplattans läge år 1989.

- Den interna referensepoken är 1999.5. Det betyder att koordinaterna 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 – tvådimensionella koordinatsystem

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 användas som referenssystem i plan måste en kartprojektion finnas. För små- respektive storskaliga tillämpningar har därför följande officiella kartprojektioner definierats:

- En nationell projektionszon benämnd SWEREF 99 TM.
- Tolv lokala projektionszoner, som fått sina namn efter medelmeridianens avstånd från Greenwich enligt modellen SWEREF 99 dd mm (där dd anger grader och mm minuter). Se Figur 20.

Liksom i tidigare svenska nationella referenssystem används Transversal Mercator (se avsnitt 2.3.3) eftersom Sverige har stor utbredning i nord-sydlig riktning. Koordinatvärden anges med Northing (N) respektive Easting (E). De äldre koordinatbeteckningarna x och y kan leda till oklarheter och sammanblandningar och undviks därför i kartprojektioner för SWEREF 99.

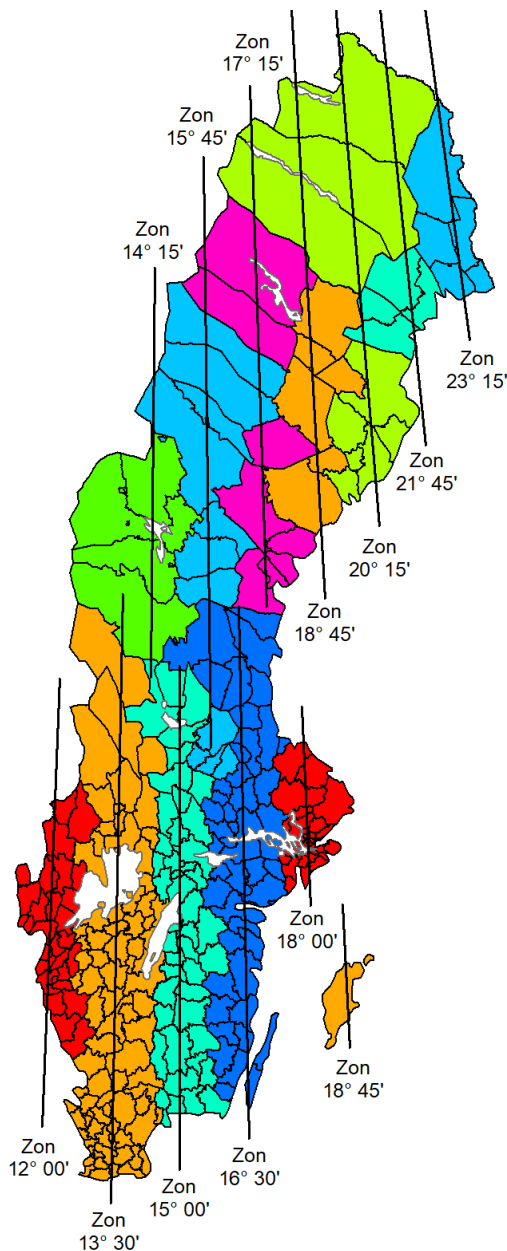
För användning på småskalig/nationell nivå är det en fördel om hela landet kan avbildas skarvlöst i en projektion. I dessa fall rekommenderas SWEREF 99 TM, som överensstämmer med UTM i större delen av landet. Projektionsparametrarna är desamma för SWEREF 99 TM som för UTM zon 33N.

För storskaliga/lokala tillämpningar är det i stället en fördel om avbildningsfelet kan minimeras – eller ignoreras helt för flertalet tillämpningar. Eftersom förstoring är det mest uppenbara 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 20 visas de lokala projektionszoner som används för kommunala tillämpningar. Lokala avvikelser eller annan geografisk indelning kan dock förekomma. [8]

Figur 20. De lokala projektionszoner i SWEREF 99 som används av Sveriges kommuner.



Projektionsparametrar för SWEREF 99 TM och de tolv lokala projektionszonerna anges i Tabell 3.

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. Projektionsparametrar för SWEREF 99.

Projektion	Medelmeridian, λ_0	Skalreduktionsfaktor, 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 i SWEREF 99

Information

Den aktiva realiseringen av SWEREF 99 via Swepos innebär att:

- De Swepos-stationer som definierar SWEREF 99 kan betraktas som felfria.
- Övriga referensstationer i Swepos har låg lägesosäkerhet i SWEREF 99.
- Inga markerade stompunkter i plan kan betraktas som felfria i SWEREF 99, varken på nationell eller lokal nivå. T.ex. bedöms RIX 95-punkterna ha en standardosäkerhet i plan på cirka 1 centimeter.

Geodetisk mätning i SWEREF 99 kan ske med *anslutning* mot aktivt eller passivt referensnät, beroende på vilka krav som ställs på resultatet och vilka referenspunkter som är tillgängliga:

- Stommätning i SWEREF 99 görs både med GNSS och terrestra metoder, se HMK – Stommätning 2021.
- Detaljmätning i SWEREF 99 görs i de flesta fall med RTK-rover eller totalstation, se HMK – GNSS-baserad detaljmätning 2021 respektive HMK – Terrester detaljmätning 2021.
- Vid detaljmätning med totalstation i SWEREF 99 kan GNSS/RTK även användas för att mäta in utgångspunkter (bakåtobjekt) för fri stationsetablering. I detta fall används alltså det aktiva referensnätet i stället för markerade *stompunkter*.

Det finns referensnät för anslutning till SWEREF 99 både på nationell och på kommunal nivå. Den anslutningsmetod som bäst stämmer överens med Lantmäteriets aktiva realisering är genom GNSS-mätning relativt det rikstäckande referensnätet Swepos, se avsnitt 3.3. Användare kan betrakta de klass A-stationer i Swepos som definierar SWEREF 99 som felfria utgångspunkter i SWEREF 99. För klassificering av Swepos-stationer, se avsnitt 3.3.1.

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 övervakas kontinuerligt. Avsnitt 3.3.1 beskriver hur de fasta referensstationerna är fördelade över landet. Anslutning mot Swepos klass A/B kan användas vid etablering av markerade stornät, kontrollpunkter m.m. – oavsett om GNSS eller terrestra mätmetoder används i nästa steg.

Markerade stompunkter i plan kan inte betraktas som felfria i SWEREF 99, utan har alltid en lägesosäkerhet. Den lägesosäkerheten 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 underhålls 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 ner till 35 km.

De stompunkter som beräknades i RIX 95-projektet tillhör klass 2 i SWEREF 99. Eftersom SWEREF 99 är realiserat aktivt, så ingår dessa markerade stompunkter inte längre i Lantmäteriets förvaltning. RIX 95-punkterna har en standardosäkerhet i plan på ca 10 mm. [2]

Inget underhåll görs heller av stompunkterna i de triangelnät som realiserade de äldre nationella referenssystemen i plan.

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 användas 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 väldokumenterad – och styrande för den mätmetod som väljs.

De olika aspekterna av övergången till SWEREF 99 och vad detta innebär för de lokala stommätens status beskrivs närmare i kapitel 4.

3.1.4 Nationell förvaltning av SWEREF 99

Information

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

Den aktiva realiseringen av SWEREF 99 via Swepos innebär att användarnas behov av ett markerat nationellt referensnät har minskat kraftigt. Däremot finns ett förvaltningsbehov av Swepos-stationernas utrustning och närmiljö, samt ständig övervakning av stationernas koordinater. Denna förvaltning beskrivs närmare i avsnitt 3.3.1.

För att se till att lägesbestämning i SWEREF 99 kan ske tillförlitligt över tid görs återkommande inventering och kontrollmätning av ungefär 300 markerade försäkringspunkter. Ursprungligen var försäkringspunkterna identiska med de SWEREF-punkter som hölls fasta vid utjämnningen av RIX 95-nätet. Det innebär att dessa punkter ligger väl spridda över landet på ett inbördes avstånd av ca 50 km.

Nuvarande underhållsplan för försäkringspunkterna baseras på tolv regioner, se Figur 21. Varje år inventeras en region i norr och en i söder, vilket medför att punkterna återbesöks vart sjätte år.

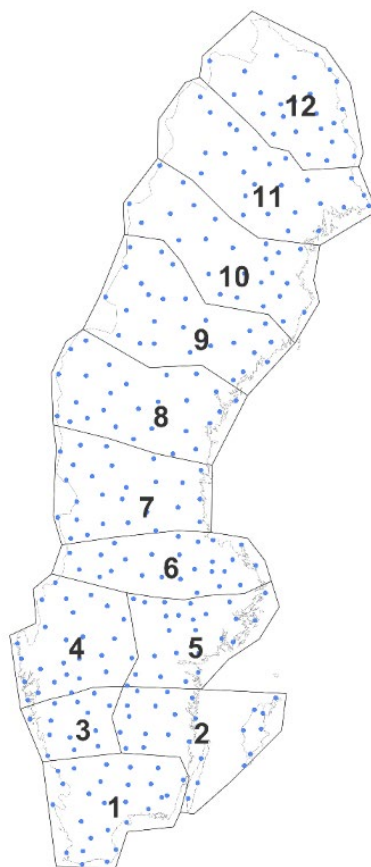
De återkommande mätningarna av försäkringspunkterna är i första hand tänkta för att kontrollera att de GNSS-observationer och beräkningar som ligger till grund för SWEREF 99 är korrekta. Mätningarna ger också möjlighet att kontrollera landhöjningsmodellen och fånga upp övriga geodynamiska rörelser mellan referensstationerna i Swepos-nätet.

Lantmäteriet ersätter punkter som förstörts eller på annat sätt blivit omöjliga att använda, med likvärdiga markeringar enligt följande prioriteringsordning:

- 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.

Mer om förvaltning av de nationella referensnäten finns att läsa i Lantmäterirapport 2019:1 [1].

Figur 21. Lantmäteriets underhåll av de 300 försäkringspunkterna, med inbördes avstånd på ca 50 km, görs systematiskt i 12 områden. Ett område i norr och ett i söder besöks varje år.



3.1.5 SWEREF 99 i ett internationellt perspektiv

ETRS89

Geodata som utbyts enligt EU-direktivet Inspires regelverk ska anges i en realisering av ETRS89, t.ex. SWEREF 99. Se Tabell 4.

Inspire säger att följande kartprojektioner ska användas:

- LAEA – Lambert azimuthal equal-area projection.
- LCC – Lambert conformal conic projection, se avsnitt 2.3.3.
- TMzn – Transversal Mercator tillsammans med angiven projektionszon, t.ex. SWEREF 99 TM, se avsnitt 3.1.2.

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

Tabell 4. Referens- och koordinatsystem för datautbyte enligt Inspire.

Koordinattyp	Koordinatsystem	Skalområde
3D	ETRS89 (X, Y, Z)	–
3D	ETRS89 (lat, long, ellh)	–
2D, horisontellt	ETRS89-LAEA	–
2D, horisontellt	ETRS89-LCC	<1:500 000
2D, horisontellt	ETRS89-TMzn	>1:500 000

För att få en ETRS89-realiserings godkänd krävs att EUREF:s föreskrifter följs strikt. Det innebär att realiseringen ska anslutas till det globala referenssystemet ITRS vid den plattetektoniska referensepoken 1989.0.

SWEREF 99 är den officiella svenska realiseringen av det europeiska referenssystemet ETRS89. Det medför att SWEREF 99 stämmer väl överens med övriga europeiska ETRS89-realiserings inom den stabila delen av den eurasiska kontinentalplattan.

I Tabell 5 redovisas skillnaden mellan SWEREF 99 och några grannländers ETRS89-realiserings. Skillnaderna är alltså relativt små men kan vara av betydelse vid arbete i projekt över nationsgränserna eller vid eventuell användning av stompunkter/referensstationer i grannländerna.

Tabell 5. Skillnader mellan SWEREF 99 och andra nordiska ETRS89-realiseringar. Alla värden i millimeter. [4]

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

Om grannländers fasta referensstationer ingår i nationella tjänster för lägesbestämning med GNSS, så hanteras detta vanligen genom att tjänsteleverantören beräknar koordinater i den egna nationella realiseringen.

ITRS/ITRF

Det mest noggranna globala referenssystemet är ITRS (*International Terrestrial Reference System*). ISO-standarden 19161-1 [5] beskriver grunderna och kraven för ITRS, samt hur det ska användas.

ITRS 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. Du kan läsa mer om transformationer mellan ITRF och SWEREF 99 på [Lantmäteriets webbplats](#).

WGS 84

När man utför s.k. absolut positionsbestämning med satellitsystemet GPS, dvs. utan referensdata från fasta referensstationer eller andra markbaserade stödsystem, ges läget i det tredimensionella referenssystemet WGS 84.

Precis som ITRS är WGS 84 ett dynamiskt system som består av både koordinater och hastigheter och kan alltså uttryckas i valfri epok. Eftersom den eurasiska kontinentalplattan rör sig med några centimeter per år innebär det att WGS 84 (aktuell epok) och SWEREF 99 (plattekttonisk 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 stämmer väl överens 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 vardaglig användning 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 3.4.1.

Genom Lantmäteriets geodetiska arkiv kan du 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.

RH 2000 definieras av ett rikstäckande referensnät som ursprungligen innehöll ca 50 000 markerade höjdfixar, se Figur 22. Höjdfixarna ligger längs ca 100 km långa slingor, med ett inbördes avstånd av ca 1 km. Mätningarna för RH 2000 gjordes huvudsakligen med motoriserad avvägning i den tredje nationella precisionsavvägningen som pågick mellan 1979 och 2003. I Figur 23 och Figur 24 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 möjliggöra god täckning och anslutning av lokala höjdnät.

RH 2000 har bl.a. följande egenskaper:

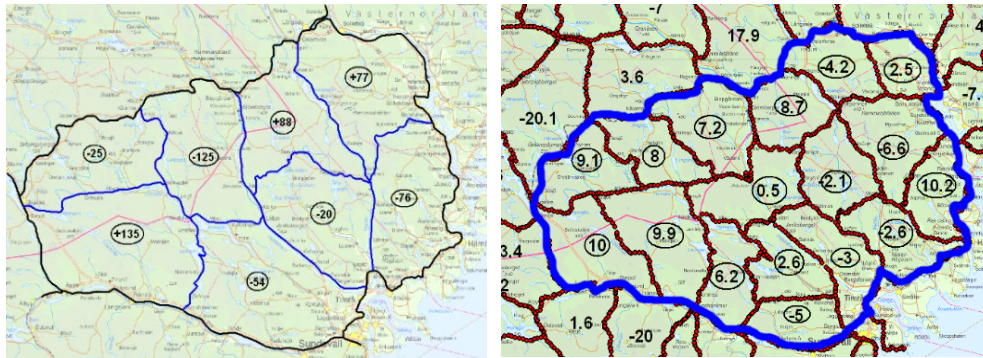
- Systemets teoretiska definition följer riktlinjerna för EVRS, European Vertical Reference System, där det bl.a. specificeras att s.k. normalhöjder och nolldjord ska användas.
- Nollnivån i RH 2000 är Normaal Amsterdams Peil (NAP), en traditionell referensnivå för höjdbestämning i Europa.
- Alla mätningar korrigerades för jordkrökning, temperatur och stånglängd samt tidjord.
- Referensepoken är 2000.0 med avseende på landhöjningen.

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

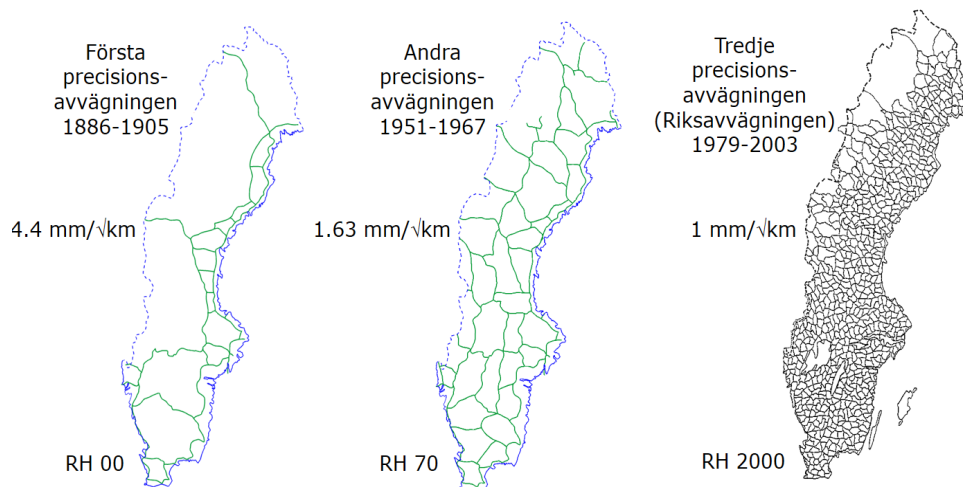
Figur 22. En typisk höjdfix i RH 2000-nätet.



Figur 23. Exempel på avvägningsslingor som låg till grund för RH 70 (t.v.) respektive RH 2000 (t.h.). Slutningsfelen för slingorna är angivna i mm. Som du kan se har RH 2000 både bättre yttäckning och mindre lägesosäkerhet än tidigare höjdsystem.



Figur 24. De referensnät som har realiserat de nationella höjdsystemen RH 00, RH 70 och RH 2000. Den skattade mätosäkerheten för respektive precisionsavvägning avser dubbelavvägda sträckor.



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 stämmer överens 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 göras med *anslutning* mot antingen passivt eller aktivt referensnät. Utförandet beror på vilka krav som ställs på resultatet och vilka referenspunkter som är tillgängliga.

- Stommätning i RH 2000 görs antingen med
 - finavvägning,
 - korresponderande trigonometrisk höjdmätning (dvs. med totalstation),
 - eller med statisk GNSS tillsammans med geoidmodell. Vid statisk GNSS-mätning med geoidmodell kan det ibland vara lämpligt att avväga utgångspunkterna för att få bättre höjdkvalitet i GNSS-nätet. Se HMK – Stommätning 2021.
- Detaljmätning i RH 2000 görs oftast med
 - totalstation (se HMK – Terrester detaljmätning 2021),
 - eller med GNSS/RTK tillsammans med geoidmodell. Se HMK – GNSS-baserad detaljmätning 2021.

Vid detaljmätning med totalstation i RH 2000 kan GNSS/RTK även användas som utgångspunkter (bakåttobjekt) för fri stationsetablering. Ofta behöver dock sådana utgångspunkter kompletteras med minst en höjdfix.

En fördel med anslutning genom terrester mätning mot höjdfix är att man får läget erhålls direkt i höjdsystemet, dvs. ingen transformation är nödvändig. GNSS-mätning kräver en geoidmodell som måste dokumenteras.

Det finns referensnät för RH 2000 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. Detta förutsatt att de stämmer överens med närliggande höjdfixar i riksnätet.

I samband med införandet av RH 2000 har många kommunala höjdnät utjämnats på nytt. Den tredje precisionsavvägningen planerades för att göra det möjligt att ansluta kommunala höjdnät och därför är idag många lokala höjdfixar väl bestämda i RH 2000, med förhållandevis små systematiska skillnader över kommungränserna.

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

Den absoluta standardosäkerheten i RH 2000 för kommunala höjdfixar beror dock till stor del på om de lokala höjdnäten har anslutits till RH 2000 med avvägning eller GNSS. Höjdfixarnas standardosäkerhet påverkas även av kvaliteten i de kommunala mätningar som använts vid beräkningen. I de kommunala höjdnäten är avstånden mellan höjdfixarna ofta 100–500 meter.

Huvudalternativet till avvägning är i de flesta fall att realisera RH 2000 genom stommätning med GNSS. Det sker i så fall relativt det aktiva referensnätet (Swepos) eller lämpliga höjdfixar. Eftersom GNSS-mätningen ger höjd över ellipsoiden krävs i dessa fall att man omvandlar dem till höjder i RH 2000 via en geoidmodell, se avsnitt 3.4.1.

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 av RH 2000

Lantmäteriets förvaltning av RH 2000 sker i första hand genom underhåll av höjdfixar i riksnätet. De ca 50 000 höjdfixar som ingick i den tredje precisionsavvägningen hade följande fördelning av markeringstyper:

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

En mindre andel av höjdfixarna försvinner varje år, främst i tätort och i samband med större infrastrukturprojekt. Lantmäteriet inventerar höjdfixarna systematiskt från söder till norr. Undantag görs för de höjdfixar som blivit omöjliga eller säkerhetsmässigt begränsade att komma åt, t.ex. där vägar byggts om till motorväg eller vajerräckesväg.

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

I samband med inventeringen uppdateras alla punktbeskrivningar. Året därpå avvägs nya höjdfixar från närmast omgivande punkter, med sådan metodik att höjderna får samma kvalitet som de äldre. Samtidigt kontrolleras att de närliggande höjdfixarna inte har rubbats. Om det visar sig att någon av de använda höjdfixarna har rubbats, så görs ytterligare avvägning mot närmast liggande fix o.s.v. tills överensstämmelse med äldre höjdbestämmningar uppnåtts.

Du kan läsa mer om förvaltningen av de nationella referensnäten beskrivs 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 enligt det europeiska höjdsystemet EVRS och uppfyller därmed också kraven i EU-direktivet Inspire. Läs mer om Inspire i [HMK - Introduktion 2017](#), avsnitt 3.5.

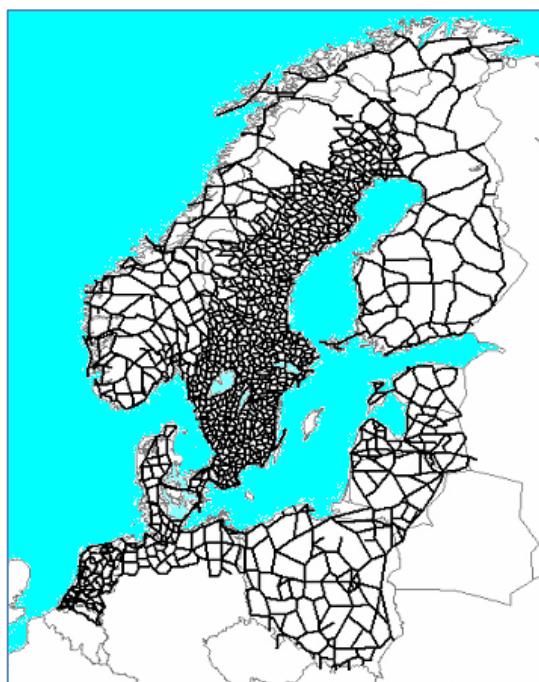
EVRS förvaltas av EUREF på motsvarande sätt som ETRS89. Höjdsystemet är uppbyggt av nationella avväggnings- och landhöjningsdata för att underlätta utbyte av höjdinformation inom Europa. European Vertical Reference Frame 2019 (EVRF2019) är den senaste officiella realiseringen av EVRS.

I Tabell 6 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 25.

Tabell 6. Överensstämmelse mellan RH 2000 och några grannländers höjdsystem vid respektive riksgrens. Alla värden är angivna i millimeter.

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

Figur 25. Avvägningslinjerna i BLR (Baltic Levelling Ring). Slutberäkningen av RH 2000 gjordes genom utjämning av dessa observationer.



3.3 Swepos – ett aktivt nät av fasta referensstationer för GNSS

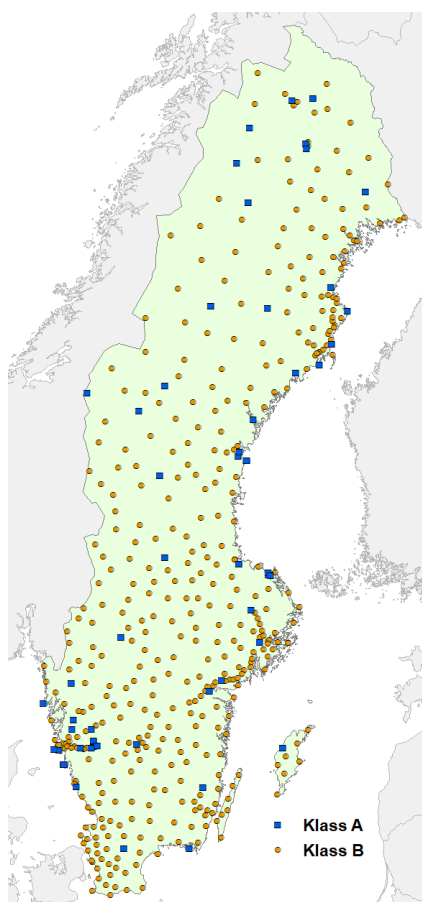
Information

- Swepos är ett nationellt nät av fasta referensstationer som gör det möjligt att mäta med GNSS direkt i SWEREF 99 och indirekt i RH 2000, via geoidmodell.

Swepos är ett aktivt referensnät bestående av fasta referensstationer för GNSS, se Figur 26. 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 går det då att få:

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

Figur 26. Fasta referensstationer i Swepos-nätet, februari 2023. GNSS-observationer skickas löpande från referensstationerna till Swepos två data-center.



3.3.1 Klassificering och förvaltning av stationerna

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, bl.a. det amerikanska GPS, det ryska Glonass och det europeiska Galileo. Satellitobservationerna från alla fasta referensstationer överförs i realtid till Lantmäteriets två data-center, via fasta dataförbindelser eller 4G. I driftledningscentralen kvalitetskontrolleras och konverteras GNSS-data till standardiserade format innan de skickas vidare för användning i olika tjänster för lägesbestämning med GNSS och till lagring i dataarkiv.

Referensstationerna i Swepos-nätet kategoriseras som klass A eller klass B beroende på vilka krav som finns på stabilitet och reservkapacitet.

- Kraven för klass A baseras på att realiseringen av SWEREF 99 ska vara hållbar på lång sikt. Ett antal Swepos-stationer ingår även i två viktiga internationella nätverk av fasta referensstationer för GNSS, se avsnitt 3.3.3. För dessa stationer finns särskilda riktlinjer.
- För klass B handlar kraven främst om att möjliggöra riktäckande tjänster för GNSS/RTK-mätning.

Typiska klass A- och klass B-stationer visas i Figur 27.

Figur 27. Exempel på fasta referensstationer i Swepos-nätet, klass A (vänster) respektive klass B (höger).



Utrustningen på referensstationerna inventeras, underhålls och uppgraderas löpande. Lantmäteriet testar nya GNSS-antennerna innan de installeras på en station, och för antenner som ska användas på klass A-stationer utförs ofta dessutom individuell antennkalibrering.

Övervakning av alla stationers koordinater sker via regelbundna beräkningar; se vidare under rubriken Beräkning och analys av GNSS-data från Swepos nedan.

Swepos klass A

Klass A-stationerna har de mest stabila koordinaterna över tid eftersom deras antennfundament är förankrade i fast berggrund. Till klass A-stationerna hör de 21 fundamentalstationerna som ligger till grund för det nationella referenssystemet SWEREF 99, se avsnitt 3.1.

Fundamentalstationerna har dubbla antennfundament, se Figur 28. Det möjliggör utrustningsbyte vid behov, t.ex. för att kunna inkludera nya satellitsignaler, samtidigt som långa tidsserier hålls intakta.

Figur 28. De 21 fundamentalstationerna har två antenninstallationer – på isolerad betongpelare samt på fackverksmast (vänster respektive höger i bild).



Övrig utrustning på klass A-stationerna finns vanligtvis i en fristående teknikbod. Där finns reservkapacitet för GNSS-mätning, datakommunikation och strömförsörjning som kan aktiveras i händelse av problem. Tillsyn av klass A-stationerna sker varje år, främst för underhåll av reservkraft och teknikbodar.

På fundamentalstationerna sker återkommande kontrollmätningar av pelarna och masterna (där GNSS-antennerna är monterade) utifrån ett passivt stomnät med ståldubbsmarkeringar runt pelaren. Syftet med kontrollmätningarna är att upptäcka lokala rörelser.

Swepos klass B

Klass B-stationernas GNSS-antennerna är monterade på byggnadsfasader eller -tak, och har inte dubblad utrustning i samma omfattning som klass-A stationerna. Klass B-stationer används i normalfallet vid förtätning/utbyggnad av de rikstäckande tjänsterna för lägesbestämning, se avsnitt 3.3.2. Därmed är de en klar majoritet (ca 90 %) av de fasta referensstationerna i Swepos.

Tillsyn av klass B-stationer sker vid behov, t.ex. i samband med utrustningsbyte.

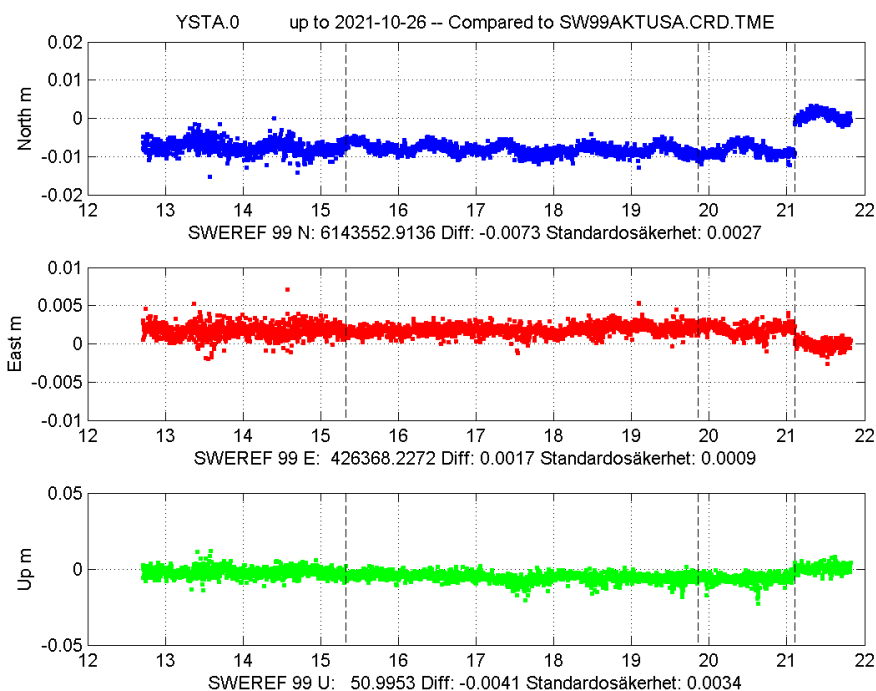
Beräkning och analys av GNSS-data från Swepos-stationerna

I förvaltningen av det aktiva referensnätet ingår att övervaka kvaliteten på GNSS-data samt stationernas koordinater. Regelbunden efterberäkning av GNSS-data från Swepos-stationerna utförs både timvis, dagligen och veckovis.

Vissa koordinatavvikelser kan vara förväntade, t.ex. när GNSS-antenn eller radom byts. Andra avvikelser upptäcks över tid, t.ex. säsongbundna 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 – utreds alltid och åtgärdas när det bedöms vara lämpligt, t.ex. genom uppdatering av referensstationens koordinater.

Figur 29 visar koordinattidsserien för en klass B-station. Tidsserien bygger på koordinater från den dagliga beräkningen av Swepos-nätet och fungerar som stöd för kartläggning av eventuella avvikelser.

Figur 29. Swepos-stationerna övervakas löpande genom timvisa, 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 (m) är anpassade till datamängderna. De streckade vertikala linjerna visar tidpunkter för förändringar av beräkningsinställningarna, som kan förklara ev. "hopp" i tidsserierna.



De regelbundna beräkningarna har även andra 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 se till att förändringar i Swepos-nätet (t.ex. stationsutrustning eller mjukvara för beräkning) ger så liten påverkan som möjligt för användaren, t.ex. genom att när det behövs uppdatera koordinater i de tjänster som utnyttjar Swepos.

Du kan läsa mer om Swepos-beräkningar och analyser i avsnitt 2.4 i Lantmäterirapport 2019:1 [1].

3.3.2 Rikstäckande tjänster för GNSS-mätning

Information

- Det finns flera leverantörer av fasta referensstationer och rikstäckande tjänster för noggrann lägesbestämning med GNSS i Sverige.
- Alla rikstäckande nätverks-RTK-tjänster bygger på det nationella Swepos-nätet, med vissa lokala variationer.

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

Lantmäteriet och ett antal privata tjänsteleverantörer tillhandahåller rikstäckande nätverks-RTK-tjänster. Om alla tjänsteleverantörer nyttjar 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. Vilken nätverks-RTK-tjänst som nyttjas kan påverka vilken mätosäkerhet som kan fås vid mätning.

Lantmäteriet utför övervakning och koordinatberäkning av alla referensstationer som används för Lantmäteriets tjänster, och ser därmed till att realiseringen av SWEREF 99 sker på ett enhetligt sätt.

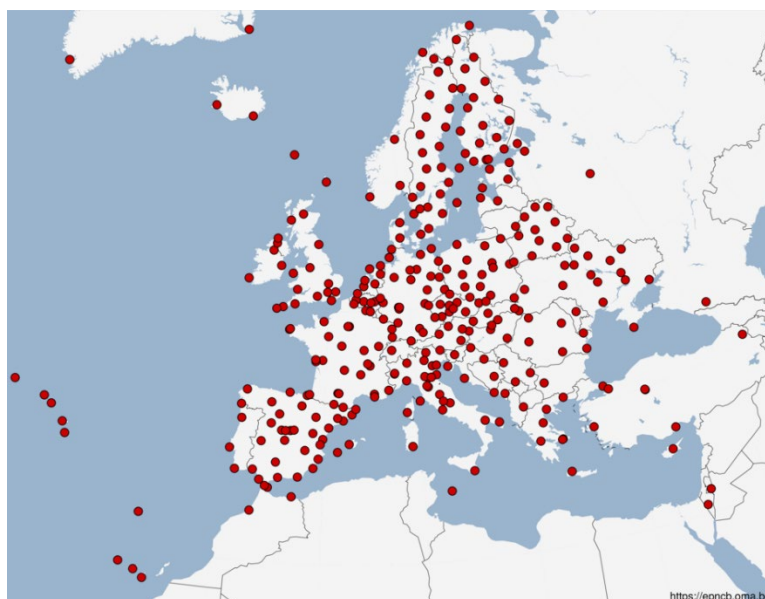
Utöver nätverks-RTK finns även realtidstjänster för mindre krävande användningsområden (DGNSS), samt tjänster som ger tillgång till GNSS-data för efterberäkning (RINEX) och tjänster som genomför automatisk efterberäkning av egna mätdata. Information om vilka tjänster för GNSS-mätning som finns får du via respektive tjänsteleverantör. Aktuell stationsförvaltare kan lämna motsvarande information om de fasta referensstationerna.

3.3.3 Swepos i ett internationellt perspektiv

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

- EUREF Permanent Network (EPN), se Figur 30, består av drygt 300 stationer med koordinater noggrant bestämda i ETRS89, se avsnitt 0. EPN kan alltså sägas vara 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, som EPN är den europeiska förtätningen av. Fem av Swepos fundamentalstationer – Kiruna, Mårtsbo (Gävle), Visby, Borås, Onsala – ingår i IGS-nätet.

Figur 30. De fasta referensstationerna i EUREF Permanent Network.
(Källa: <https://epncb.eu>)



Förutom det internationella samarbetet kring definitioner och tillämpningar av referenssystem, t.ex. ITRS och ETRS, så används dessa nätverk bl.a. för

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

Det förekommer även viss samverkan över nationsgränserna där exempelvis data från ett antal fasta referensstationer i våra grannländer kan ingå i svenska RTK-tjänster, vilket gör GNSS-mätning möjlig 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 omvänt) över hela Sverige.
- Vid höjdbestämmning med GNSS är osäkerheten beroende av både GNSS-mätningen och geoidmodellen.
- Användning av olika geoidmodeller ger 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 31.

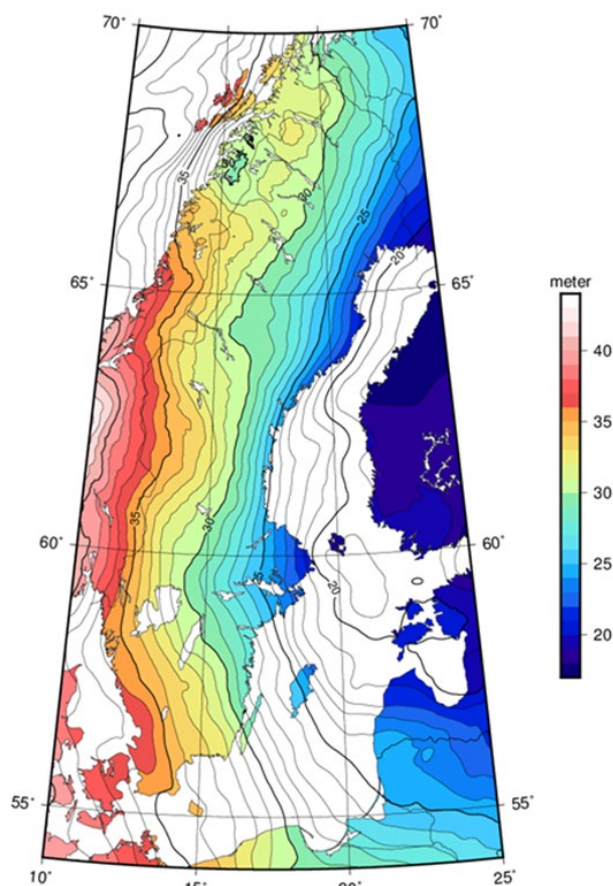
Modellen är baserad på en gravimetrisk geoidmodell som har anpassats till referenspunkter som är inmätta i både SWEREF 99 och RH 2000. Dessutom har ett halvt års landhöjningskorrektion tillämpats för att ta hänsyn till att referenssystemen har olika referensepoker – för SWEREF 99 är referensepoken 1999.5, och för RH 2000 är den 2000.0.

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 dokumentera hur höjderna har tillkommit.

De övriga nordiska länderna har 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 stämmer väl överens, är skillnaderna mellan modellerna endast några få centimeter.

Figur 31. Geoidmodellen SWEN17_RH2000. Ekvidistansen är 1 m.



Du kan läsa mer om geoidmodellen SWEN17_RH2000 på [Lantmäteriets webbplats](#). För att bestämma geoidhöjder utifrån koordinater i SWEREF 99 kan du använda den interaktiva tjänsten [Beräkna geoidhöjd](#).

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

3.4.2 Landhöjningsmodell

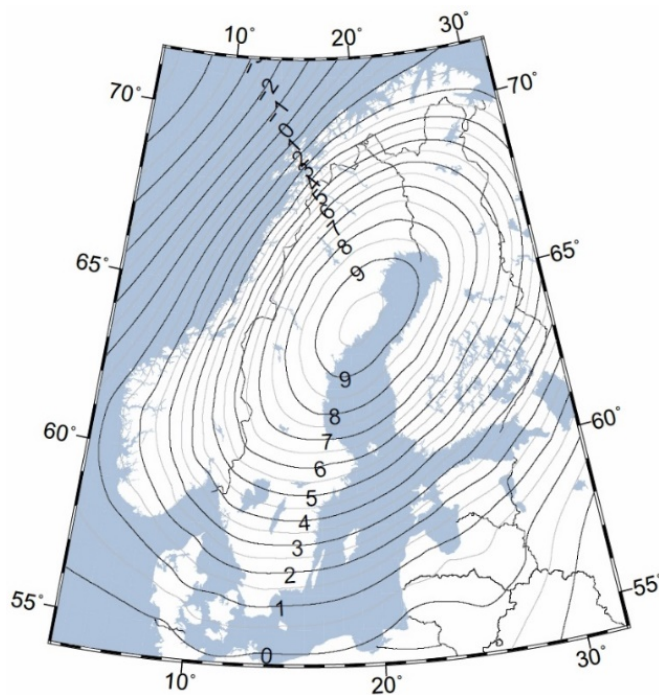
Den postglaciala landhöjningen påverkar de nationella geodetiska referenssystemen och modelleras bl.a. för att kunna räkna om koordinater mellan olika referenspoker, se avsnitt 2.2.3.

NKG2016LU är den senast publicerade landhöjningsmodellen i de nordiska och baltiska länderna, se Figur 32. Modellen baseras på data från fasta referensstationer för GNSS och upprepade precisionsavvägningar. I Sverige används modellen t.ex. för att reducera de fasta referensstationernas koordinater till epoken 1999.5 – som är referensepoken för SWEREF 99 – 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 menar vi 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 referensstationer registrerar därför den absoluta landhöjningen.
- Avvägd landhöjning är landhöjning relativt den av nutida klimateffekter opåverkade havsytan, vilket motsvarar nollnivån i RH 2000. Den har bestämts genom upprepade avvägning, dvs. höjdmätning över geoiden.

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

Figur 32. Avvägd landhöjning i mm/år enligt landhöjningsmodellen NKG2016LU.



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](#). Du kan få information om stompunkter med koordinater i SWEREF 99 och höjder i RH 2000 via e-tjänsten [Hitta stompunkt](#), samt geodata-tjänsterna [Stompunkt direkt](#) och [Stompunkt visning](#).

Informationen i stompunktstjänsterna bygger på de preliminära nationella specifikationerna för geodata, och innehåller bl.a. koordinater, höjder, punktbeskrivningar och punktkartor. Se exempel i Figur 33.

I det geodetiska arkivet ingår inte stompunkter som ägs av andra myndigheter eller andra organisationer, t.ex. kommuner och Trafikverket. Uppgifter om dem får du via respektive huvudman.

Figur 33. Exempel på stompunktsinformation från Lantmäteriets e-tjänst Hitta stompunkt.

Höjdpunkt: 137*2*5404 Gavleån


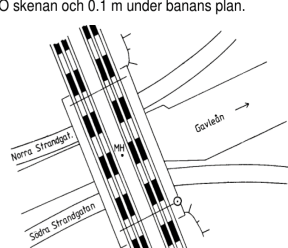
Allmänt	
Namn	Gavleån
Stompunkt ID	202100-4888_137*2*5404
Alternativa ID	
Stomnät	Nationellt referensnät i höjd
Typ	Höjdpunkt
Kategori	Rikspunkt
Kommun	Gävle (2180) Gävleborgs län (21)
Markering	Ståldubb i gjutning
Historik	2007 Återfunnen

Plan	
SWEREF 99 TM	N 6728500 E 617620
Ursprung	Digitaliserad
Mätmetod	
Mättningsdatum	
Beräkningsdatum	
Kvalitetsklass	
Lägesosäkerhet	100 m

Höjd	
RH 2000	5.768
Ursprung	Uttjämnad (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.



Anmärkningar

Övrigt
Identisk med PL 40:198
P 361, 470.

3.5.2 Koordinattransformation

De vanligaste koordinattransformationerna kan du göra online via [e-tjänst](#), för enstaka punkter. För mer komplicerade transformationer eller större datamängder rekommenderas programvaran Gtrans eller motsvarande. Gtrans är fritt tillgängligt och kan laddas ner från [Lantmäteriets webbplats](#). Där kan du också läsa om utbildning i programvaran.

3.5.3 Rådgivning

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

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

4 Lokal geodetisk infrastruktur

Information

- Geodetisk mätning och geodatainsamling kan idag göras direkt i SWEREF 99 och RH 2000. Det förutsätter att användare har tillgång till de aktiva eller passiva referensnät som realiserar de nationella referenssystemen.
- Den vanligaste lokala geodetiska infrastrukturen är de stornät som förvaltas av Sveriges kommuner och Trafikverket, eller etableras mer tidsbegränsat i samband med t.ex. bygg- och anläggningsprojekt.

Idag har vi i stort sett enhetliga referenssystem över hela Sverige – SWEREF 99 för lägesbestämning i plan och RH 2000 för lägesbestämning i höjd (se kapitel 3). GNSS-tekniken gör också geodetisk mätning möjlig över långa avstånd med låg mätosäkerhet, t.ex. mot fasta referensstationer. Behovet av yttäckande stornät 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. Stornät förvaltas därför av bl.a. Sveriges kommuner.

Kapitel 4 innehåller följande:

- Avsnitt 4.1 ger en översiktlig beskrivning av vanliga stornätstyper och hur de används inom samhällsbyggnad. Terminologin stämmer i stora delar överens med de preliminära nationella specifikationerna för geodata, samt med Trafikverkets definitioner. [8]
- 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. I avsnittet betonas att det är viktigt att ha en långsiktig strategisk plan för den lokala geodetiska infrastrukturen.
- Avsnitt 4.3 behandlar fristående geodetisk infrastruktur som av olika skäl saknar anslutning till den nationella nivån. I sådana fall görs 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 geodata-insamling och kartläggning nu och i framtiden. Hur stompunkterna har tillkommit avgör vilken lägesosäkerhet punkterna har och därmed hur de kan användas. God dokumentation av stompunkternas ursprung och kvalitet underlättar därför förvaltning och användning av stomnätet.

När nya stompunkter etableras för lokal användning handlar det oftast om passiv realisering av SWEREF 99 och förtätning av RH 2000. När det är möjligt används GNSS-teknik för att etablera stompunkterna. Undantagen är framför allt

- inom områden med tät och hög bebyggelse
- stomnät i höjd, som fortfarande bestäms genom avvägning
- vid tillämpningar med krav på låg lokal lägesosäkerhet och god kontrollerbarhet.

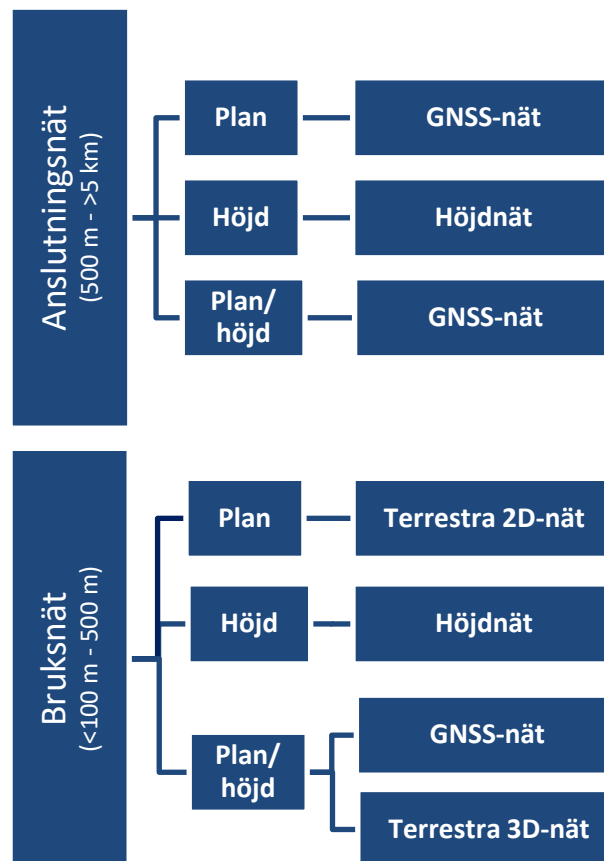
Stomnäten kan klassificeras beroende på vilka referenssystem de realiserar, hur de utformas, används eller deras hierarkiska status för olika tillämpningar:

- 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. vägnät och inomhusnät i industrier och övervakningsnät.

- Stomnät kan ha status som
 - o riksnät, dvs. den nivå på vilken nationella referenssystem är definierade
 - o anslutningsnät, med relativt långa punktavstånd, som gör det möjligt att förtäta dem till bruksnät
 - o bruksnät, med relativt korta punktavstånd, som blir utgångspunkter för detaljmätning eller lokal lägeskontroll.

Figur 34 sammanfattar de vanligaste stomnätstyperna i ovanstående indelning. Där framgår bl.a. se att terrestra metoder idag aldrig används för att etablera anslutningsnät i plan. Kategorin "riksnät" har inte tagits med i figuren eftersom endast ett sådant stomnät används idag, nämligen höjdfixnätet för RH 2000.

Figur 34. Vanliga typer av stomnät vid modern samhällsmätning, t.ex. "anslutningsnät i plan, utformat som ett GNSS-nät". Ungefärliga punktavstånd anges inom parentes.



Du kan läsa mer om etablering av olika stomnätstyper i HMK-Stommätning 2021.

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 motiverades av den tidens mät- och beräkningsteknik.

I dag har vi däremot ett rikstäckande referenssystem, SWEREF 99. Referensnätet i SWEREF 99 är inte indelat i ordningar eftersom realiseringen gjorts med låg mätosäkerhet över långa avstånd med GNSS-teknik.

Det tidigare arbetssättet påverkar dock dagens situation på flera sätt:

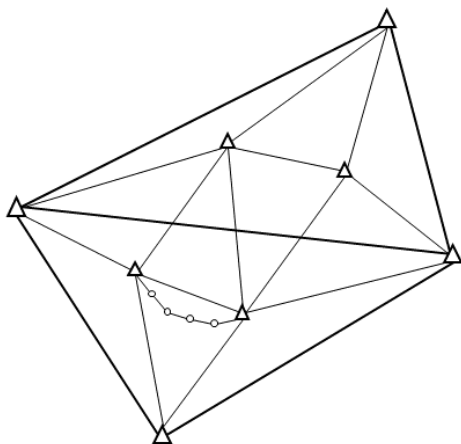
- Det har gett upphov till den terminologi som fortfarande används inom detta område.
- Det ger förståelse för den kvalitet som kan förväntas i de äldre näten, vars koordinater och höjder fortfarande används, om än ibland transformerade eller omräknade.
- Det ger kunskap som är viktig vid valet av teknisk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

Vi gör därför en "historisk" tillbakablick.

Den traditionella stornätshierarkin

I horisontalled anlade man först ett överordnat triangelnät – över ett land eller en region – med ett typiskt punktavstånd på 10-30 km. Detta referensnät förtätades sedan i omgångar via anslutningsnät. Slutmålet var att skapa bruksnät med 100–200 meters punktavstånd, som var lämpliga för detaljmätning. Nerväxlingen gjordes med triangel- och polygonnät, se Figur 35.

Figur 35. Traditionell stornätshierarki i plan, etablerad genom successiv nerväxling i olika ordningar.

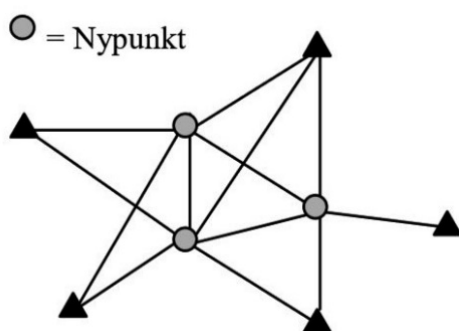


Triangelnät

Ursprungligen betydde 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 blev det allt vanligare att längdmätning ingick i näten och man övergav den reno-odlade triangelgeometrin.

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 36.

Figur 36. Triangelnätsförtätning.

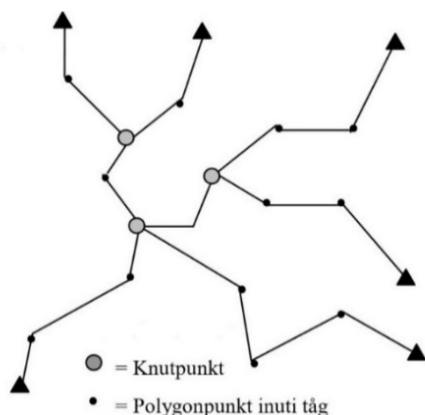


Tidigare var triangelnätens huvudsakliga funktion att fungera som länk mellan riksnät och bruksnät. Den moderna typen av triangelnät används dock för alltifrån övergripande stornät, med punktavstånd upp till en mil, ner till lokala byggnät med sidor på några 10-tal meter.

Polygonnät

Polygonnät var den vanligaste nätformen för plana yttäckande förtätningsnät och bruksnät. De etablerades genom polär mätning med stegvis vinkel- och längdmätning i form av tåg, se Figur 37.

Figur 37. 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 var det vanligt att man anslöt nya punkter och nätdelar successivt till tidigare beräknade punkter. Det skapade så småningom problem i förvaltningen av polygonnäten, med geometriskillnader mellan nätdelarna, orsakade av bl.a. bristfälliga anslutningar och otillräcklig kontroll av utgångpunkter.

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

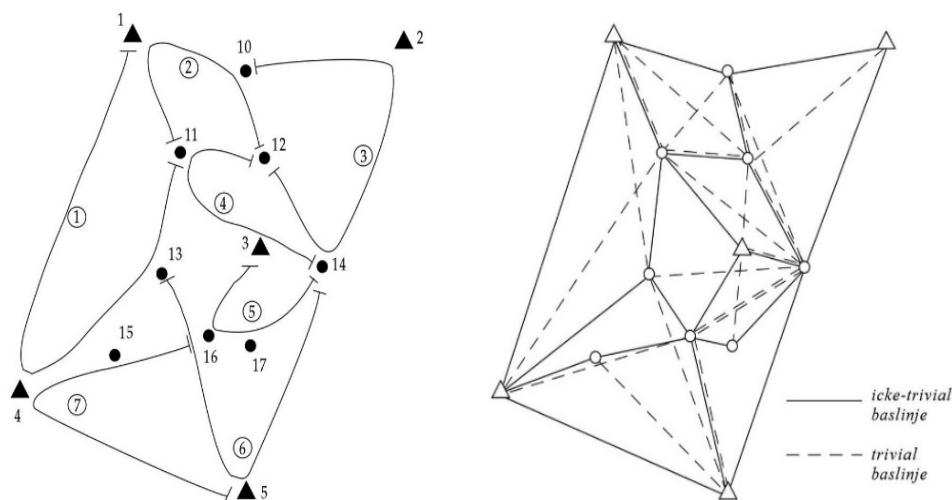
4.1.2 GNSS-nät

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

En grundförutsättning vid uppbyggnad av GNSS-nät är - som vid all GNSS-mätning - fri sikt uppåt, mot satelliterna. Om nätet ska användas för terrester mätning (inmätning och utsättning) så måste punkternas placering och inbördes sikt anpassas till de krav som den terrestra tekniken ställer.

GNSS-stommätning utförs som statisk mätning med förhållandevis långa observationstider, där två eller fler GNSS-mottagare mäter samtidigt. Ur mätningarna konstrueras tredimensionella baslinjer som går vidare till stomnäsberäkningen. Se Figur 38.

Figur 38. Exempel på planering av GNSS-stommätning i sessioner. Triviala baslinjer är linjärt beroende av de icke-triviala.



Den vanligaste GNSS-baserade mättekniken – nätverks-RTK – kan inte betraktas som en stommättningsmetod! Den är mycket användbar i många sammanhang men stompunkter ska ha väl bestämda lägen i förhållande till varandra, och det ges inte av punktvis inmätning med RTK-teknik.

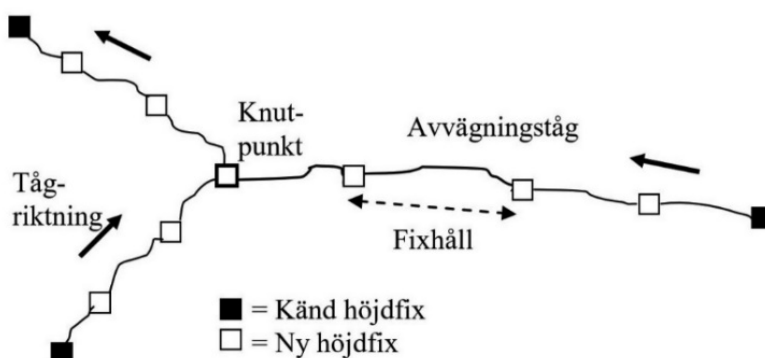
Normalt etableras, mäts och beräknas GNSS-nät både i plan och höjd, men för att fungera som stommät i höjd bör GNSS-mätningarna kompletteras med avvägning.

4.1.3 Höjdnät

Passiva referensnät för höjdangivelser etableras via avvägningsteknik, den metod som – rätt använd – ger lägst mätosäkerhet. Höjdnäten byggs upp av höjdtåg, som Figur 39 visar.

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

Figur 39. Principiell utformning av ett avvägningsnät: Två höjdfixar bildar ett fixhåll. Fixhållen läggs samman till avvägningståg som möts i knutpunkter. Tåg och knutpunkter bildar ett nät som beräknas utifrån kända utgångspunkter.



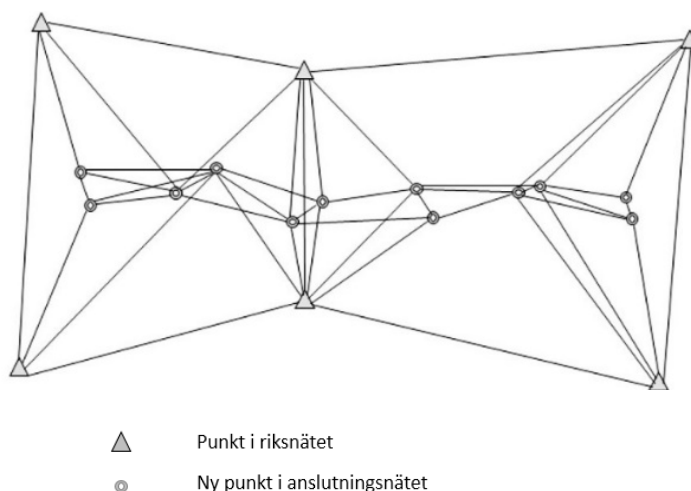
4.1.4 Stomnät för anläggning av infrastruktur

Referenssystem för anläggning av infrastruktur realiserar ofta aktivt – och är därmed GNSS-anpassade – om det rör sig om projekt över större geografiska områden där många aktörer arbetar, t.ex. vägprojekt. I många fall krävs dock en kombination av aktiv och passiv realisering, exempelvis i järnvägsprojekt. Nedan får du några exempel på stomnät i dessa sammanhang, huvudsakligen hämtade från den tekniska specifikationen för byggmätning, SIS-TS 21143:2016 [15].

Anslutningsnät utformas ofta som parpunktsnät, se Figur 40. 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 man har oftast separata nät i plan och höjd.

Figur 40. Anslutningsnät med parpunkter.

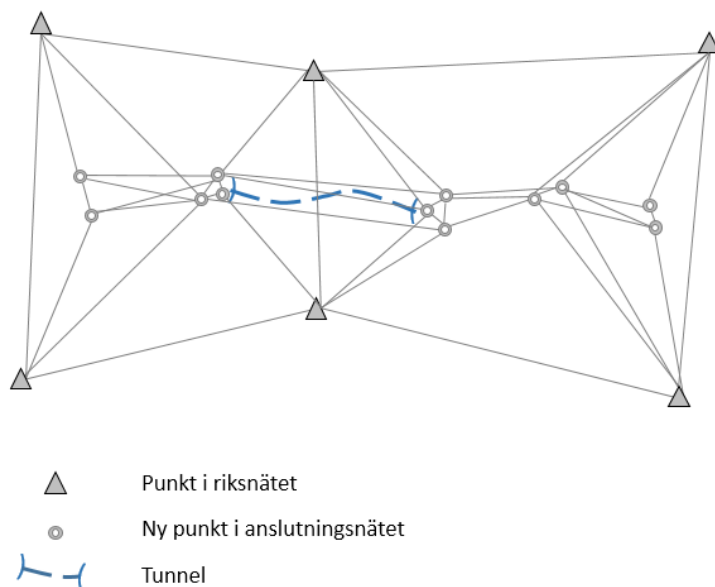


I tunnelprojekt bör det finnas fler stompunkter vid varje påslag vid tunneldrivningen. Antalet bör vara minst tre för att försäkra sig om att minst två finns kvar om en skulle försvinna. Det gör att det sedan är möjligt att gå vidare med traditionell mätning genom tunneln, se Figur 41.

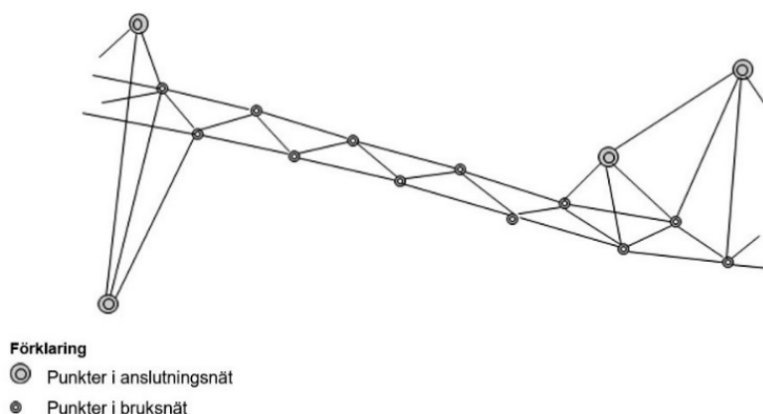
För långsträckta projekt är olika typer av fackverk en vanlig utformning, eftersom de är stabilare i sidled än t.ex. polygontåg, se Figur 42.

Du hittar mer information om "långsträckta objekt" i den tekniska rapporten HMK-TR 2019:1 [14].

Figur 41. Anslutningsnät i projekt med speciella åtgärder vid påslag för tunneldrivning.



Figur 42. Långsträckt fackverksnät.



4.1.5 Specialnät

Specialnät kan t.ex. vara aktuella i tillämpningar som kräver

- höga lokala kvalitetskrav och stränga toleranser
- "beröringsfri" mätning för att inte störa en pågående industriprocess eller ett mätresultat
- att det 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).

Specialnät 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.

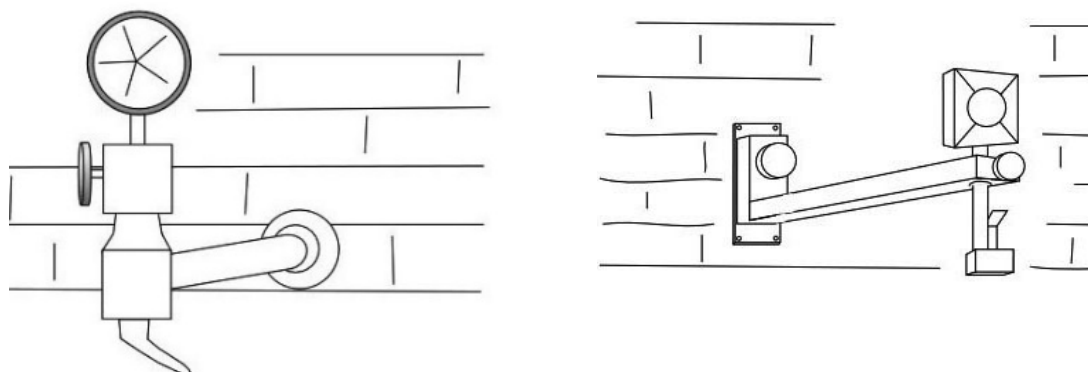
4.1.6 Stompunktsmarkering

Som vi har visat kan en stompunkt ha flera syften. Gemensamt är dock att markeringen ska vara tillräckligt bestående för den tillämpning som punkten skapats för. Dessutom ska den uppfylla de krav på lägesstabilitet som ställs.

Det är särskilt viktigt att en stompunktsmarkering utförs så att punkten får lång livslängd samt att den kan hittas och identifieras enkelt och effektivt.

- Ståldubb i berg, sten eller betong är ett lämpligt markeringsätt som garanterar god stabilitet för samtliga punkttyper.
- Markering av stompunkter med rör i mark bör endast ske när det inte är möjligt att sätta någon annan markering. Röret slås då ner i fast mark till frostfritt djup och skyddas med däcksel.
- Polygonnät i tätortsmiljö har oftast markerats med punkter i gatunätet – eller kompletterats med excentriska markeringar i byggnader.
- En annan lösning i tätorter är att använda väggmarkerade stommät tillsammans med fri station, se Figur 43.

Figur 43. Två exempel på väggmarkeringar.



Punktbeskrivningar och/eller distanspålar underlättar återfinnandet av punkten och gör identifieringen säkrare – även om det i dag är fullt möjligt att hitta punkter/markeringar med hjälp av GNSS-teknik. Tydlig märkning kan också minska "klåfingrighet" på grund av ren okunskap, se Figur 44.

Figur 44. Exempel på märkning av stompunkt.



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

Du hittar allmänna rekommendationer kring markeringar i det äldre dokumentet [HMK-Geodesi: Markering](#), som tillsammans med sin aktualitetsbeskrivning ger en god beskrivning över hur markering av stompunkter och andra mätpunkter bör göras.

4.2 Förvaltning av lokal geodetisk infrastruktur

Samhällets behov av geodetisk infrastruktur grundar sig i stor utsträckning på 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. Trafikverket har också ett långsiktigt behov av stomnät 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.

Enhetliga referenssystemen ger flera fördelar:

- enklare utbyte, tillhandahållande och användning av geodata
- möjlighet till mer enhetlig kvalitetsmärkning
- möjlighet till 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 stomnätsunderhåll, både nationellt och lokalt.

I avsnitten 4.2.1 och 4.2.2 beskrivs övergången till SWEREF 99 respektive RH 2000 ur en lokal stomnätsförvaltares perspektiv. Bl.a. redovisas kortfattat hur den typiska arbetsprocessen har sett ut och vad övergången har inneburit för befintliga stomnät och geodata. Vidare berörs problem som kommunerna eventuellt behöver lösa för att kunna arbeta rationellt och kvalitetssäkert i de enhetliga referenssystemen.

Den översyn av de egna stomnäten som många lokala stomnätsförvaltare gjorde i samband med övergången behöver i vissa fall kompletteras – dels för att anpassa förvaltningen till de faktiska behoven, dels för att säkerställa att de stomnät som underhålls är av tillräckligt god kvalitet. I avsnitt 4.2.3 får du därför förslag på vad en kommunal förvaltningsplan för den geodetiska infrastrukturen bör innehålla.

4.2.1 Passiv lokal realisering av SWEREF 99

Information

- De äldre lokala stornäten i plan har ofta haft 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 du förvänta dig att aktiv och passiv realisering stämmer överens, t.ex. nätverks-RTK i förhållande till terrester mätning från stornätet.

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

De lokala stornäten i plan har ofta haft bristande geometri (se avsnitt 4.1.1), 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 analysen bedömdes behoven av att med nymätning och restfelsmodellering "räta upp" de lokala stornäten inför övergången till SWEREF 99.

Restfelsmodell vid övergång 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:

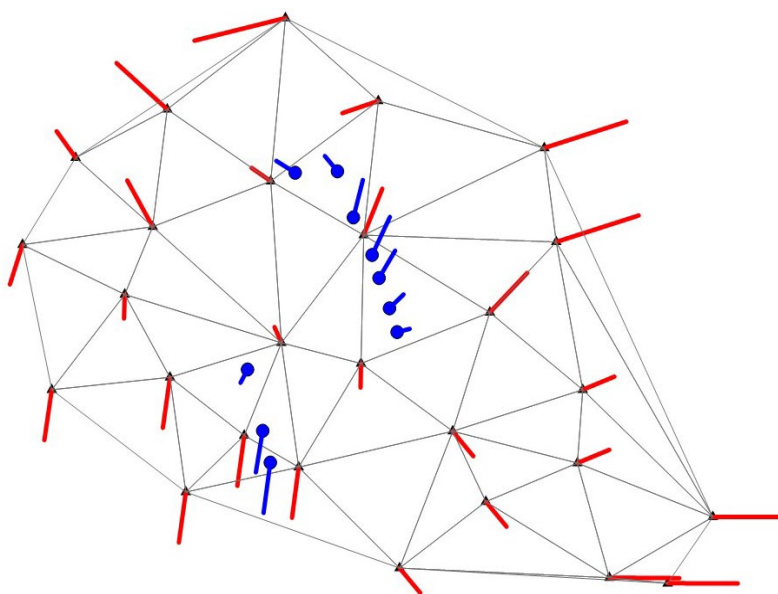
1. RIX 95-punkterna, som har koordinater både i SWEREF 99 och det äldre lokala referenssystemet, kompletterades med nymätningar av lokala stornätets punkter med GNSS (i SWEREF 99) för att kunna kartlägga brister i stornätsgeometrin. Dessa kompletterande punkter kallas även restfelspunkter.
2. I vissa fall gjordes även en informationskartläggning av det lokala stornätets uppbyggnad och status – hur det anslutits, byggts ut, förtätats etc.
3. Mätningarna på restfelspunkterna gjordes vanligtvis med nätverks-RTK med återbesök, eller statisk GNSS. Det som styrde teknikvalet var oftast vilka mätresurser som stornätsägaren hade tillgång till.

4. Koordinater på restfelpunkterna, både i det lokala referenssystemet och nymätta SWEREF 99-koordinater, användes sedan för att skapa ett nytt transformationssamband.
5. En restfelsmodell togs fram och analyserades för att besluta om vidare åtgärder – t.ex. ytterligare kompletteringsmätningar eller strykningar av punkter, dvs. en iterativ process.

Det var i första hand stomnätsägarens ambitionsnivå för upprättning av geometrin som styrde hur långt den successiva förfiningen av restfelsmodellen togs, och självfallet även på omfattningen av deformationerna i stomnätet. Att stomnätsägaren hade god kunskap om det egna stomnätet var i detta sammanhang en framgångsfaktor.

Stomnätsägaren kunde använda restfelsmodellen för transformation av geografiska data, genom att interpolera restfelen i passpunkterna enligt den princip som visas i Figur 45.

Figur 45. 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).



Transformation av äldre lokala referenssystem

Nästa steg i övergången var att transformera alla geografiska databaser till SWEREF 99, i kombination med vald kartprojektion (se Figur 20). Normalförfarandet var att alla geodata som var lagrade med koordinater i det äldre lokala referenssystemet räknades om med transformationssambandet, 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 det omvända (inversa) transformationssambandet i de fall man haft möjlighet att sortera ut dem.

De lokala stomnätens egenskaper efter övergången till SWEREF 99

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

- Transformation av de lokala stomnäten till SWEREF 99 baserades på 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 stomnäten har fått SWEREF 99-koordinater genom transformation, samtidigt som geometriska deformationer i stomnätet rätats upp. 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.
- Transformationsmetoden 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 automatiskt att all inmätning och hantering av geodata kan ske problemfritt efter bytet av referenssystem. Av de skäl som beskrivits ovan har restfelsmodellerna hanterat geometrifelen i stomnätet mer eller mindre bra. 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 stornäten i höjd har ofta haft god intern geometri. Dålig anslutning till regionala och rikstäckande nät, inklusive brister i dessa överordnade nät, har försvårat utbytet av höjdinformation.
- Införandet av RH 2000 har gjort det möjligt för lokala stornätsägare att ansluta sina höjdnät till ett rikstäckande höjdsystem av mycket hög kvalitet.

Det nationella höjdsystemet RH 2000 används idag i princip i alla 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 ut ungefär så här:

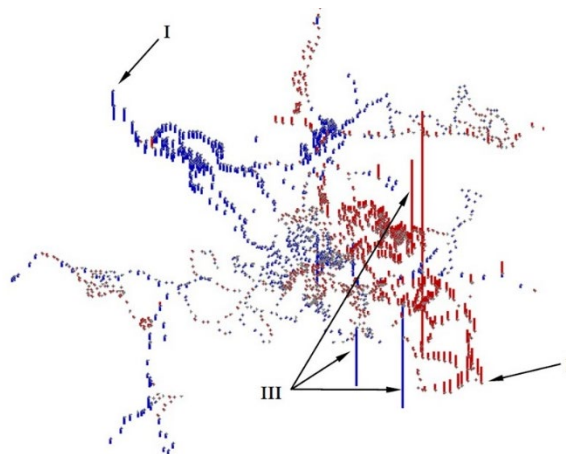
1. De lokala stornätsägarna har skickat lokala höjder för sina stompunkter, samt de höjdmätningar (dvs. avvägningssdata) som ligger till grund för stornätet, till Lantmäteriet för en första analys.
2. Stornätsägaren har sedan gjort kompletterings- och anslutningsmätningar för att utjämning i RH 2000 och kartläggning av eventuella deformationer i det lokala stornätet skulle bli möjlig. Omfattningen av den här delen har styrts dels av Lantmäteriets rekommendationer, dels av stornätsägarens ambitionsnivå.
3. Efter genomförd analys och utjämning av det lokala stornätet har Lantmäteriet skapat en ny 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 46 och Figur 47. Med hjälp av exemplen kan vi bl.a. illustrera (se motsvarande romerska siffror i figurerna):

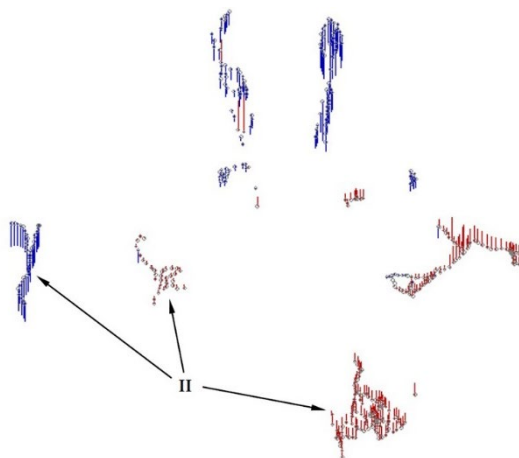
- I. Deformationer i det lokala höjdsystemet orsakade av dåliga eller alltför få anslutningspunkter vid beräkningen av lokala höjder.

- II. Olika delar av nätet som ligger på olika nivåer trots att de är bestämda i ett gemensamt höjdsystem, t.ex. RH 00. Detta beror sannolikt på att delnäten var för sig är anslutna på punkter med dåliga höjder i det gemensamma systemet. Då kan olika systemskillnader (konstanter för transformation av höjdsatta detaljer) behöva tas fram för olika delar av kommunen, se Figur 48.
- 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 nyutjämnningen i RH 2000. Detta bör man tänka på vid fortsatt analys av nätet. När systemskillnader tas fram för transformation av höjder bör inte sådana punkter vara med och påverka resultatet.

Figur 46. Exempel på deformationer i ett lokalt höjdnät. Positiva restfel visas i rött och negativa i blått.

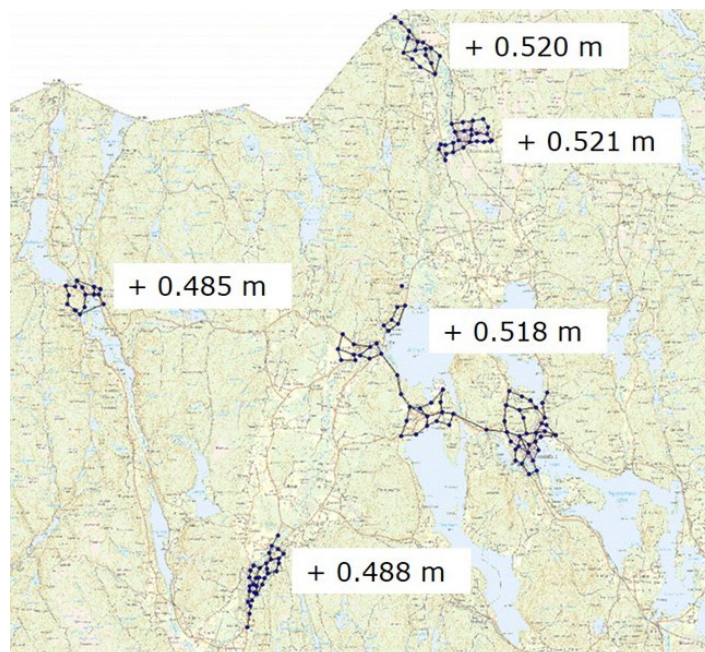


Figur 47. Exempel på systematiska nivåskillnader i olika delar av det lokala stornätet, trots att de realiserar samma höjdsystem.



Kartläggningen visar om ett eller flera systemskillnader/konstanter bör användas för att transformera de detaljer som har höjdbestämts från stomnätet, se Figur 48. I några få fall har man i stället använt lutande plan eller höjdkorrektionsmodeller (baserade på restfelsinterpolering eller rutnät). Observera att systemskillnaderna endast ska användas för detaljerna – inte för höjdfixarna, som ju redan fått höjder i RH 2000 i samband med ny utjämning.

Figur 48. Exempel på transformationskonstanter i Eda kommun. Skillnaden mellan höjdnäten, 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 stomnäten i höjd har ojämn kvalitet, beroende på historik och hur de har skapats. 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 lokal geodetisk infrastruktur

Information

- På lokal/kommunal nivå krävs en långsiktig förvaltning av infrastrukturen 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 nyttjas 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.

En strategisk 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 mätningssuppdrag.

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 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 hållbara och stabila 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 och ska kunna användas utan arbetsmiljö- eller säkerhetsrisker.

Bygg- och anläggningsnäten är ofta relaterade till anläggningar som har lång livslängd och representerar stora ekonomiska värden. Det kan därför vara klokt att anamma ett "infrastrukturtänk" vid etablering och förvaltning även av bygg- och anläggningsnät. Därför är det motiverat att ha en väl utvecklad mättnings- och kontrollverksamhet – och kostnaderna för denna är vanligen marginella i förhållande till totalkostnaden.

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 eller vid de inmätningar som behövs för sammanställningar, ritningar och relationshandlingar.

4.3.2 BIM – Building Information Modelling

BIM – Building Information Modelling – är en arbetsmetod för detaljerad modellering av byggnader och anläggningar. En viktig aspekt i BIM-konceptet är hantering av anläggningsinformation på ett strukturerat sätt i anläggningsobjektets livscykel, dvs. genom hela kedjan projektering–byggnation–förvaltning–avveckling, inklusive mätning i objektets olika skeden.

Geodesin är länken mellan verkligheten och modellen, eller mellan den fysiska och den digitala världen. I takt med att automatiseringen i byggbranschen har ökat, liksom användningen av prefabricerade element, så har geodesin kommit att få större betydelse än tidigare eftersom kraven på koordinattransformationerna har ökat.

I BIM-tillämpningar används "äka" tredimensionella koordinatsystem (se avsnitt 2.2.1) som är definierade relativt fysiska objekt, t.ex. en byggnad eller infrastrukturobjekt. Det innebär att de saknar koppling till de referensytor som vanligtvis används inom geodesin.

Du kan läsa mer om kopplingen mellan BIM, geodesi och GIS (Geografiska InformationsSystem) i den tekniska rapporten HMK-TR 2016:4 [11].

Att georeferera en BIM-modell till ett kartografiskt koordinatsystem som är separerat i plan och höjd, dvs. 2D + 1D, innebär att geometrierna förvrängs. Transformationen mellan BIM-modellens 3D-koordinatsystem och det kartografiska koordinatsystemet behöver i vissa fall delas upp i plan och höjd. [16]

Även HMK – Terrester laserskanning 2021 beskriver hur data i ett lokalt 3D-system kan georefereras.

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 den lokala lägesosäkerheten. 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 avse både avgränsade kvalitetshöjande åtgärder och 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 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 49.

Figur 49. Exempel på koordinatlista som upprättats för ett fristående 1000/1000-system i samband med fastighetsbildning.

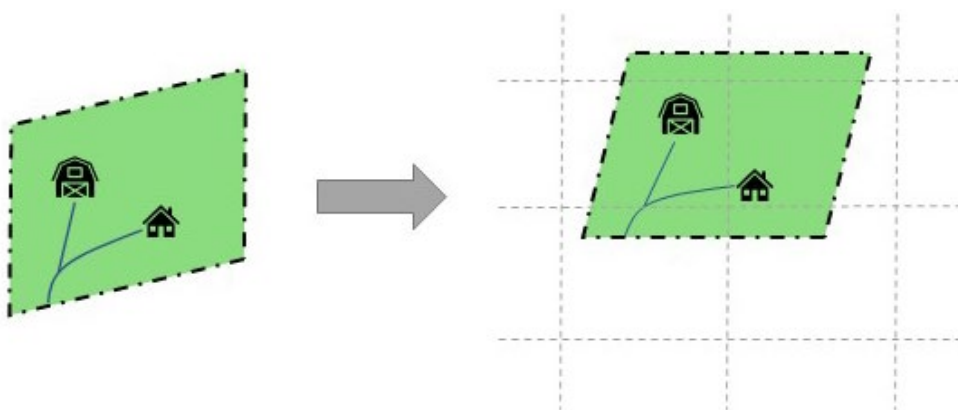
<u>K O O R D I N A T F Ö R T E C K N I N G .</u>			
<u>Gränspunkter</u>			
Punkt	Markering	X	Y
1	rg	420.33	554.42
2	rg	392.56	555.81
3	rg	391.88	560.92
4	rg	365.35	562.18
5	rg	361.27	566.36
6	rg	360.39	610.81
7	db	385.91	608.10
8	db	423.92	604.31
9	rg	426.09	634.50
10	rg	364.90	638.68

För att kunna redovisa fastighetsindelningen på de allmänna kartorna gjordes ofta grafisk inpassning av de lokala "koordinatöarna" genom digitalisering av kartdetaljer eller ortofoton, så att de passades in i de

äldre nationella referenssystemen. Inpassningar av det här slaget kan vara av mycket låg kvalitet, men uppfyllde de krav som då ställdes. I ett senare skede har dessa data i sin tur transformerats till SWEREF 99 och även denna transformation har naturligtvis en viss osäkerhet. 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 50 – 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 och tillförlitlig kvalitetsmärkning.

Figur 50. Exempel på transformation från fristående referenssystem till ett väldefinierat (nationellt) referenssystem. Inpassningen bör i möjligaste mån bevara den interna geometrin från den ursprungliga bestämningen.



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] Engfeldt A (2019): [*RG 2000 – a comprehensive overview of the new gravity reference frame of Sweden*](#), Lantmäterirapport 2019:3, Lantmäteriet, Gävle.
- [4] Häkli P, Lidberg M, Jivall L, Nørbech T, Tangen O, Weber M, Pihlak P, Alekseyenko 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.
- [5] International Organization for Standardization (2020): *Geographic information – Geodetic references – Part 1: International terrestrial reference system (ITRS), ISO 19161-1:2020*, Genève, Schweiz.
- [6] 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).
- [7] Jivall L & Lidberg M (2000): [*SWEREF 99 – an updated EUREF realisation for Sweden*](#), EUREF Publication No. 9, 167-175, Tromsø, Norge.
- [8] Johansson S G (2016): [*Koordinatbaserade referenssystem*](#), Trafikverket, TDOK 2016:0257, Borlänge.
- [9] Lantmäteriet (2018): [*Lantmäteriets geodesistrategi 2018-2025*](#), Lantmäteriet, Gävle.
- [10] Persson C-G, Lithén T, Lönnberg G & Svärd T (2015): [*Terminologi, principer och trender inom geodatakvalitet*](#), Teknisk rapport, HMK-TR 2015:1, Lantmäteriet, Gävle.
- [11] Persson, C-G & Lithén T (2016): [*I gränlandet BIM – GIS – geodesi*](#), Teknisk rapport, HMK-TR 2016:4, Lantmäteriet, Gävle.
- [12] Persson, C-G (2018a): [*Mät- och lägesosäkerhet vid geodatainsamling – en lathund*](#), Teknisk rapport HMK-TR 2018:1, Lantmäteriet, Gävle.

- [13] Persson, C-G (2018b): [Beräkning och analys av stomnät – med tonvikt på plana, terrestra nät](#), Teknisk rapport, HMK-TR 2018:3, Lantmäteriet, Gävle.
- [14] 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.
- [15] SIS (2016): Teknisk specifikation SIS-TS 21143:2016, [Byggmätning – Geodetisk mätning, beräkning och redovisning av byggnadsverk och infrastruktur](#), Swedish Standards Institute/TK 147.
- [16] Uggla, G (2019): [Connecting digital and physical representations through semantics and geometry](#), Licentiate Thesis, TRITA-ABE-DLT-1914, Kungliga Tekniska högskolan, Stockholm.
- [17] Ågren, J, Engberg, L E (2010): [Om behovet av nationell geodetisk infrastruktur och dess förvaltning i framtiden](#), LMV-rapport 2010:11, Lantmäteriet, Gävle.

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 (2021): [Geodetisk och fotogrammetrisk mättnings- och beräkningsteknik](#).
 - Kapitel 1: Introduktion
 - Kapitel 2: Jordmodeller
 - Kapitel 3: Kartprojektioner
 - Kapitel 4: Geodetiska referenssystem
 - Kapitel 8: 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 [läsarkiv](#) på HMK:s webbplats <https://www.lantmateriet.se/hmk>. Observera att fler undersidor finns tillgängliga via menyval.

Internationella standarder:

- För en engelskspråkig beskrivning av begrepp och termer inom ämnesområdet; *International Organization for Standardization (2019): Geographic information – Referencing by coordinates, ISO 19111:2019, Geneve, Schweiz.*
- Geodetisk infrastruktur; *International Organization for Standardization (2019): Geographic information – Geodetic register, ISO 19127:2019, Geneve, Schweiz.*

Bilaga A: Checklistor

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 transformations samband används ska dess giltighet/kvalitet verifieras på ett antal punkter som har kända koordinater/höjder i båda systemen.
- ❖ Vid användning av ett fördefinierat transformations samband, t.ex. från huvudman/kravställare, ska giltighetsområde och passfel vara kända.
- ❖ Vid framtagning av ett nytt/tillfälligt transformations samband, 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 transformations samband 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 transformations samband 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 används 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 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 stornät/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 stornäten 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 stornäten 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

Bilaga B: Ordlista till handboken

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

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

Term	Förklaring
<i>aktivt referensnät</i>	<i>referensnät</i> där referenspunkterna är <i>fasta referensstationer</i> för GNSS
<i>anslutning</i>	(inom <i>geodesin</i>) den process där observationer kopplas till ett <i>referenssystem</i> , vanligen via nät-utjämnning eller <i>koordinattransformation</i>
<i>BIM</i>	Building Information Modelling. Koncept för detaljerad modellering och informationshantering av byggnader och anläggningar.
<i>dynamiskt referenssystem</i>	<i>Referenssystem</i> där koordinaterna förändras med tiden, t.ex. på grund av plattetektonik eller andra geodynamiska rörelser. Lägen anges med koordinater vid given tidpunkt och hastigheter.
<i>epok</i>	(inom astronomi och <i>geodesi</i>) tidpunkt för observation
<i>ETRS89</i>	European Terrestrial Reference System 1989. Europeiskt <i>referenssystem</i> .
<i>fast referensstation</i>	GNSS-utrustning som etableras för kontinuerlig mätning på <i>utgångspunkt</i> ; utgör grunden för <i>aktiva referensnät</i>
<i>Gauss-Krügers projektion</i>	synonymt med Transversal Mercator-projektion (TM) och Gauss konforma projektion
<i>geocentriska koordinater</i>	koordinater i ett tredimensionellt, rätvinkligt <i>koordinatsystem</i> med origo i jordens tyngdpunkt; koordinatsystemets Z-axel är parallell med jordens rotationsaxel, X-axeln går ut genom den punkt där nollmeridianen skär ekvatorn och Y-axeln skär ekvatorn så att ett <i>högerorienterat koordinatsystem</i> bildas
<i>geodesi</i>	läran om jordens form och uppmätning

Term	Förklaring
<i>geodetiska koordinater</i>	geodetisk latitud och geodetisk longitud, med eller utan höjdsangivelse; geodetisk latitud för en punkt definieras som vinkeln mellan punktens normal mot ellipsoiden och ekvatorsplanet, och geodetisk longitud som vinkeln mellan nollmeridianplanet och det meridianplan som innehåller punktens normal mot ellipsoiden
<i>geodetisk infrastruktur</i>	geodetiska <i>referenssystem</i> och de fysiska markeringar eller anläggningar (t.ex. <i>fasta referensstationer</i>) som används för att <i>realisera</i> dem; kan även inkludera definitioner och konventioner för tillämpning
<i>geoid</i>	ekvipotentialyta (nivåyta) i jordens tyngdkraftsfält som bland annat innehåller oceanernas medelnivå
<i>geoidmodell</i>	modell för omvandling av höjder över ellipsoiden till höjder över <i>geoiden</i> , t.ex. vid GNSS-mätning
<i>georeferering</i>	anslutning av en geodatamängd till ett officiellt <i>referenssystem</i>
GNSS	Global Navigation Satellite Systems. Samlingsnamn för satellitbaserade navigations- och positioneringssystem.
<i>grundutförande</i>	(inom HMK) den uppsättning krav i en handbok som anses sammanfalla med fackmannamässigt utförande
GUM	Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. Internationell standard för mätosäkerhet.
<i>högerorienterat koordinatsystem</i>	Koordinatsystem som är konstruerat så att X-, Y-, (och i förekommande fall Z-) axlarna kan motsvaras av högra handens tumme, utsträckta pekfinger respektive vinklade långfinger. Handen hålls med handflatan uppåt, tummen pekar åt höger (visar X-axelns positiva riktning), pekfingeret rakt fram ifrån kroppen (visar Y-axelns positiva riktning) och långfingeret uppåt (visar Z-axelns positiva riktning)

Term	Förklaring
<i>höjdfix</i>	noggrant höjdbestämd och markerad <i>stompunkt</i> som ingår i ett höjdnät
<i>höjdsystem</i>	<i>referenssystem</i> för höjdangivelser, vanligen höjd över <i>geoiden</i>
IGS	International GNSS Service. Frivilligbaserad organisation under den internationella geodesiassociationen, IAG, som erbjuder fritt tillgängliga GNSS-satellitbanor, -klockor och andra produkter av hög kvalitet.
<i>kartesiska koordinater</i>	koordinater i ett rätvinkligt <i>koordinatsystem</i> ; inom <i>geodesin</i> används två eller tre koordinataxlar
<i>kartprojektion</i>	matematisk avbildning av den krökta jordytan på ett plan
<i>koordinatsystem</i>	system för lägesangivelser med hjälp av koordinater, t.ex. Northing, Easting i ett tvådimensionellt, plant koordinatsystem eller <i>geocentriska koordinater</i> i ett tredimensionellt system
<i>koordinattransformation</i>	omvandling av koordinater mellan två <i>referens-</i> eller <i>koordinatsystem</i>
<i>lägesosäkerhet</i>	osäkerhet i positionsangivelser; en utvidgning av termen mätosäkerhet till att även omfatta positioner beräknade ur mätdata
<i>markering</i>	(inom <i>geodesin</i>) punktformat objekt som placerats i terräng eller byggd miljö för geodetisk mätning och lägeskontroll; se även <i>stompunkt</i>
<i>normalhöjd</i>	höjdangivelse i relation till havsytan, längs lodlinjen; används för att ange höjder i <i>RH 2000</i>
<i>nätverks-RTK</i>	den vanligaste metoden för relativ GNSS-mätning i realtid där flera referensstationer utnyttjas
<i>passfel</i>	avvikelse mellan transformerade och ursprungliga värden i till-systemet vid <i>koordinattransformation</i>
<i>passivt referensnät</i>	<i>referensnät</i> med traditionellt markerade punkter i terräng eller byggd miljö som uppsöks vid behov av mätning eller lägeskontroll

Term	Förklaring
<i>passpunkt</i>	punkt som är gemensam för från-system och till-system vid <i>koordinattransformation</i>
<i>projektionszon</i>	uppdelning av en <i>kartprojektion</i> i mindre områden eller zoner i syfte att reducera projektionsfelen, vanligen genom förflyttning av medelmeridianen
<i>realisering</i>	(inom <i>geodesin</i>) specifik uppsättning av punkter med koordinater eller höjder i ett <i>referensnät</i>
<i>referensellipsoid</i>	specifik ellipsoid som används för att approximera jordens form, definiera koordinataxlar m.m. i ett geodetiskt <i>referenssystem</i>
<i>referensnät</i>	nätverk av geodetiska punkter (<i>stompunkter</i>) eller referensstationer som används för lägesbestämning; utgör den fysiska <i>realiseringen</i> av <i>referenssystem</i>
<i>referenssystem</i>	(inom <i>geodesin</i>) samlingsnamn på system för lägesbestämning och positionsangivelser i en, två eller tre dimensioner
<i>restfel</i>	skillnaden mellan beräknat och observerat värde, t.ex. vid nätutjämning eller <i>koordinattransformation</i>
<i>restfelsmodell</i>	modell för att hantera och reducera bristfälliga geometrier vid transformation mellan två <i>referenssystem</i>
<i>RH 2000</i>	Rikets höjdsystem 2000. Det nya nationella <i>höjdsystemet</i> och den svenska <i>realiseringen</i> av EVRS.
<i>RIX 95</i>	Rikstäckande stornätsprojekt från 1995 och framåt. Syftade till att underlätta övergång från äldre lokala <i>referenssystem</i> till <i>SWEREF 99</i> samt skapa fler lättillgängliga punkter för <i>GNSS</i> -mätning.
<i>statiskt referenssystem</i>	<i>referenssystem</i> där koordinaterna är oförändrade över tid (jfr. <i>dynamiskt referenssystem</i>)
<i>stornät</i>	sammanhängande nät av <i>stompunkter</i> som genom inbördes geodetisk mätning och utjämning utgör en passiv <i>realisering</i> av ett geodetiskt <i>referenssystem</i>

Term	Förklaring
<i>stompunkt</i>	lägesbestämd <i>markering</i> ingående i ett <i>stomnät</i>
<i>SWEN17_RH2000</i>	nationell <i>geoidmodell</i>
<i>Swepos</i>	Det svenska nationella nätet av <i>fasta referensstationer</i> för <i>GNSS</i> -mätning. Ett urval av stationerna används för att definiera <i>SWEREF 99</i> .
<i>SWEREF 99</i>	den svenska <i>realiseringen</i> av det europeiska referenssystemet <i>ETRS89</i>
<i>TM-projektion</i>	<i>Transversal Mercator-projektion</i> . Vanlig <i>kartprojektion</i> som används i <i>SWEREF 99</i> ; vinkelriktig och cylindrisk. Synonymt med Gauss konforma projektion och <i>Gauss-Krügers projektion</i> .
<i>translation</i>	parameter som beskriver förflyttning längs en koordinataxel vid <i>koordinattransformation</i>
<i>utgångspunkt</i>	(inom <i>geodesin</i>) punkt med kända koordinater eller höjder som används för att ansluta geodetiska mätningar till ett <i>referenssystem</i>
<i>WGS 84</i>	World Geodetic System 1984. Globalt <i>referenssystem</i> som används av <i>GPS</i> -systemet. Finns även en ellipsoid med samma namn.