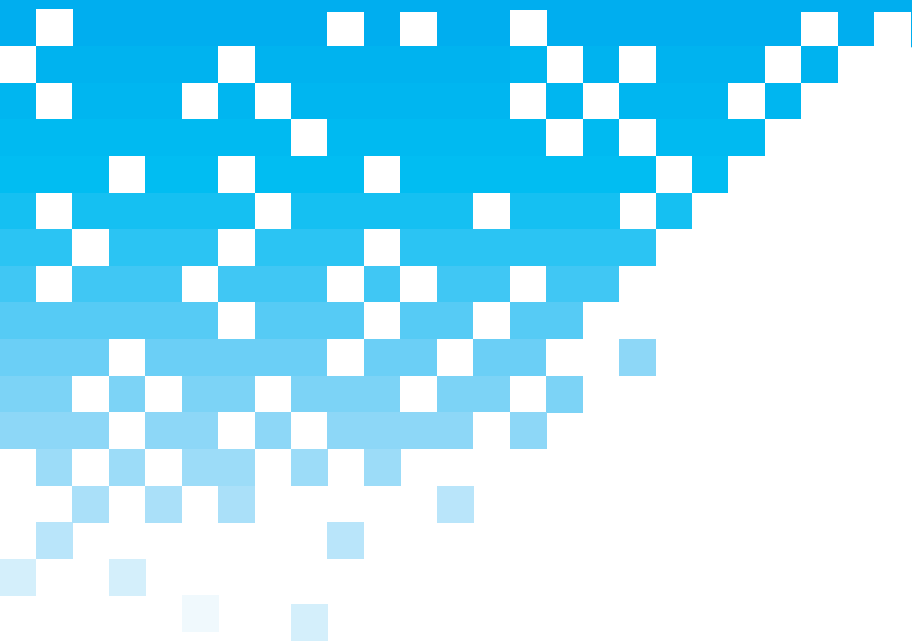


HMK

- handbok i mät- och kartfrågor

Geodesi: Geodetisk infrastruktur

2015



Förord

HMK-Geodesi 2015 består av fyra dokument som tillsammans utgör HMK-Geodesi, samt ett femte dokument som tillkommer vid 2016 års revidering.

Arbetet med HMK-Geodesi: Geodetisk infrastruktur har huvudsakligen utförts av Anders Alfredsson, Lantmäteriet.

Arbetsgruppen har dessutom bestått av Johan Sunna, Lars Jämtnäs, Lars Engberg, Lantmäteriet samt övriga medarbetare på enheten för geodetisk infrastruktur (Lantmäteriet) som på olika sätt bidragit med granskning av dokumentet.

HMK-Geodesi har varit öppet tillgängligt för remiss under två perioder, i mars 2015 samt i november 2015.

Under 2016 kommer dokumenten genomgå en revision i samband med att HMK-Geodesi Teknisk specifikation och metodval tas fram.

Gävle 2016-01-26

Anders Alfredsson

Projektledare Geodesi

[Samlade förord](#)

Innehållsförteckning

1	Inledning	5
1.1	Syfte och målgrupp	5
1.2	Avgränsningar	6
1.3	Ingående dokument i HMK-Geodesi	6
1.4	Framtida määttekniker i HMK	9
1.4.1	Nätverks-DGNSS	9
1.4.2	PPP (Precise Point Positioning)	10
1.5	Mätosäkerhet - GUM	10
1.6	God mätsed	10
1.7	Juridiska frågeställningar	10
2	Geodetisk infrastruktur	11
2.1	Referenssystem	11
2.1.1	Olika typer av referenssystem	12
2.1.2	Kartprojektioner	14
2.1.3	Geodynamik	16
2.1.4	Relationer mellan olika referenssystem	17
2.2	Referensnät	20
2.2.1	Aktiva referensnät	20
2.2.2	Passiva referensnät (stomnät)	21
2.2.3	Osäkerhet, "känd punkt"	22
2.3	SWEREF 99	22
2.3.1	Definition av SWEREF 99	22
2.3.2	Realisering av SWEREF 99	23
2.3.3	Projektionszoner	23
2.3.4	SWEREF 99 - Referensnät	25
2.4	RH 2000	26
2.5	Äldre nationella referenssystem	27
2.5.1	RT 90	27
2.5.2	Regionsystemen RT R01 - RT R12	28
2.5.3	RH 70, RHB 70 och RH 00	29
2.6	Lokalt använda referenssystem	30
2.6.1	Kommunala system i plan	30
2.6.2	Kommunala system i höjd	31
2.6.3	Fristående och projektanpassade system	31
2.7	Geoidmodeller	31

2.7.1	SWEN08.....	31
2.8	Koordinattransformationer och samband	34
2.8.1	SWEREF 99 – RT 90.....	36
2.8.2	RT 90 – RT R01-RTR12.....	37
2.8.3	SWEREF 99 – Lokala system	37
2.8.4	RH 2000 – RH 70 (RH 00)	38
2.8.5	X,Y,Z – lat, long, ellipsoidhöjd	38
2.9	Geografiskt indexsystem	38
2.10	Inspire.....	39
3	Markeringar	40
4	Referenser (lästips)	41
4.1	Läs mer	41
A	Checklistor	42
A.1	God mätsed	42
A.2	Checklista för transformationer.....	44
B	Mätobjekt.....	45
C	Kinematisk positions- och orienteringsbestämning	53
C.1	Inledning.....	53
C.2	GNSS	53
C.2.1	Felkällor	54
C.2.2	Utrustning	55
C.3	Tröghetsnavigeringssystem	55
C.3.1	Tröghetsmåtenhet	56
C.3.2	Felkällor	56
C.4	Systemintegrering av GNSS och INS.....	57
C.4.1	Odometer (distansmätare)	58
C.5	Beräkningsmetoder	59
C.6	Insamlingsprocessen	61
C.6.1	Planering och förberedelser	62
C.6.2	Datainsamling.....	64
C.6.3	Efterbearbetning.....	65
C.7	Leverans.....	66

1 Inledning

HMK-Geodesi behandlar geodetisk mätning, både stommätning och detaljmätning. HMK-Geodesi utgör en ersättning till HMK-Referenssystem och geodetisk mätning (HMK-ReGe) som har utkommit i årliga revisioner sedan 2012. HMK-ReGe kommer att fasas ut i och med publiceringen av HMK-Geodesi och då samtliga HMK-dokument anpassats till denna.

Följande HMK-standardnivå omfattas, läs mer i [HMK-Geodatakvalitet 2015](#), avsnitt 2.6:

HMK-standardnivå 2:

- Mätning och kartläggning av tätort för kommunal detaljplanering och dokumentation

HMK-standardnivå 3:

- Projektinriktad mätning och kartläggning för projektering och byggande

HMK-Geodesi är dock i första hand anpassad för geodetisk mätning enligt standardnivå 3.

Frågor om upphandling, tillstånd och sekretess behandlas i [HMK-Introduktion 2015](#), avsnitt 3.

Tekniska termer och förkortningar förklaras i [HMK-Ordlista och för-kortningar](#), version juni 2015 eller senare.

1.1 Syfte och målgrupp

Syftet med HMK-Geodesi är i första hand att förse beställare och utförare av geodetisk mätning med en kunskapsbas och rekommendationer för att kunna utnyttja eller utvärdera olika geodetiska mätmetoder. I stor utsträckning handlar detta om att anamma s.k. *god mätsed* utifrån behov och förutsättningar. Se även bilaga A.1.

Målgruppen beställare och utförare förutsätts gälla i vid mening. Riktlinjerna i HMK-Geodesi är därför inte begränsade till upphandling av mätningstekniska tjänster, utan kan även användas som underlag för regelverk eller rutiner som formuleras internt inom organisationer och myndigheter. Däremot har de olika dokumenten inom HMK-Geodesi olika fokus, antingen som utförarstöd eller som beställarstöd. Se vidare i avsnitt 1.3.

1.2 Avgränsningar

HMK-Geodesi innehåller råd och riktlinjer för geodetisk mätning, med följande avgränsningar:

HMK-Geodesi omfattar geodetiska tillämpningar motsvarande HMK-standardnivåer 2 och 3. Av denna anledning behandlas inte fritids- eller navigeringstillämpningar med låga krav på lägesosäkerhet – och inte heller vetenskapliga tillämpningar med krav på låg mätosäkerhet (t.ex. mätning av landhöjningen eller andra rörelser i jordskorpan).

Branschspecifika tillämpningar som bygger på geodetiska tekniker, såsom maskinstyrning, behandlas inte.

Fokus i dokumentet ligger i första hand på mätprocessen – inte på mätinstrument eller övrig teknisk utrustning. För sådan information hänvisas till manualer och tekniska specifikationer från respektive tillverkare eller leverantör.

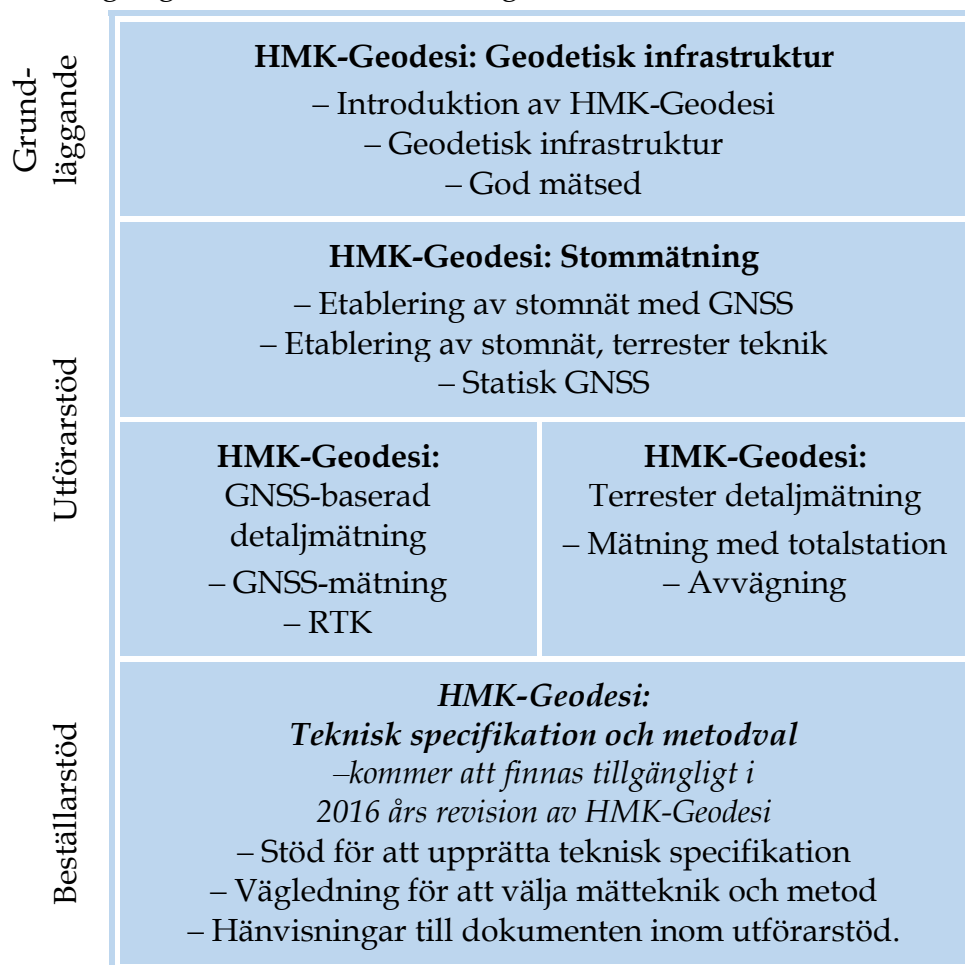
1.3 Ingående dokument i HMK-Geodesi

HMK-Geodesi består av fyra dokument i 2015 års version, se tabell 1.3, som tillsammans samlar råd och riktlinjer för geodetisk mätning. HMK-Geodesi kommer revideras årligen, framtida struktur och omfattning är ännu inte beslutad.

Tabell 1.3. Ingående dokument i HMK-Geodesi 2015.

Dokument	Kortnamn	Kort beskrivning
HMK-Geodesi: Geodetisk infrastruktur	HMK-Ge: Infra	Inledande dokument som presenterar HMK-Geodesi samt innehåller information om den svenska geodetiska infrastrukturen.
HMK-Geodesi: Stommätning	HMK-Ge: Stom	Dokument med rekommendationer kring stommätning.
HMK-Geodesi: GNSS-baserad detaljmätning	HMK-Ge: GNSS	Dokument med rekommendationer för GNSS-baserad detaljmätning.
HMK-Geodesi: Terrester detaljmätning	HMK-Ge: Terrester	Dokument med rekommendationer för terrester detaljmätning.
<i>HMK-Geodesi: Teknisk specifikation och metodval Kommer att finnas tillgängligt i 2016 års revision av HMK-Geodesi</i>	<i>HMK-Ge: Metod</i>	<i>Vägledning för att välja mätteknik och metod baserat på kvalitetskrav.</i>

De i HMK-Geodesi ingående dokumenten följer en inbördes struktur enligt figur 1.3 och är tänkta att ge stöd åt varandra.



Figur 1.3. Den sammanhängande strukturen av HMK-Geodesi 2015.

HMK-Geodesi: Geodetisk infrastruktur är ett inledande dokument som dels presenterar dokumentserien HMK-Geodesi och dels ger övergripande information om vår geodetiska infrastruktur och geodetisk mätning i allmänhet.

Dokumentet är skrivet med utgångspunkt i att vara informativt utan att bli alltför detaljrikt. Syftet är att ge läsaren en bred grund för att kunna ta till sig rekommendationerna som återfinns i utförarstöden, utan att ta på sig en utbildningsroll.

HMK-Geodesi: Stommätning beskriver processer och krav som bör beaktas vid etablering av stompunkter med terrester och/eller GNSS-teknik.

HMK-Geodesi: GNSS-baserad detaljmätning innehåller samlade råd och riktlinjer för geodetisk detaljmätning med GNSS. Rekommendationerna inleds med en allmängiltig del för GNSS-mätning

och följs sedan av metodbeskrivningar av för de olika GNSS-teknikerna.

HMK-Geodesi: Terrester detaljmätning beskriver terrester mätning, såsom mätning med totalstation och avvägning. Tyngdpunkten ligger i detta dokument på beskrivningar av mätprocedurer.

HMK-Geodesi: Teknisk specifikation och metodval kommer att innehålla teknisk specifikation för geodetisk mätning samt en metodvalsdel med hänvisningar till utförarstödens olika metodbeskrivningar. Syftet med dokumentet blir att utifrån givna krav på kvalitet och förutsättningar ge vägledning till beställning av geodetisk mätning och/eller val av passande mätteknik och metod.

Dokumentet följer strukturen i övriga HMK-dokument. Beställare använder kapitel 2, *Teknisk specifikation*. Kapitel 3, *Genomförande*, riktar sig mot utförarens val av mätmetod.

Dokumentet kommer att finnas tillgängligt i 2016 års revision av HMK-Geodesi (se www.lantmateriet.se/hmk för aktuell tidplan).

När HMK-geodesi läses med start uppifrån i strukturen får läsaren en bred uppfattning om geodetisk mätning och en god förståelse av vilken tillämpning de olika teknikerna lämpar sig för. Om syftet med användningen av handboken istället är tillgång till en teknisk specifikation samt att avgöra vilken teknik och metod som passar för ett specifikt mätprojekt kan ingången till handboken vara Teknisk specifikation och metodval, då blir läsaren hänvisad till lämpligt utförandestöd. För mer förståelse kan läsaren välja att gå högre upp i strukturen.

1.4 Framtida mättekniker i HMK

Här följer några korta beskrivningar av existerande mättekniker som kommer att beskrivas i senare versioner av HMK-Geodesi.

1.4.1 Nätverks-DGNSS

Nätverks-DGNSS är en kodbaserad GNSS-teknik för relativ lägesbestämning av en rovermottagare med hjälp av liknande infrastruktur som används för nätverks-RTK. Korrekt utförd möjliggör nätverks-DGNSS en relativ mätosäkerhet på decimeternivå.

Det stationsnätverk som används för nätverks-DGNSS behöver inte ha samma täthetsgrad som för nätverks-RTK. Dessutom är DGNSS mindre känsligt för lokala störningar i form av brus och signalavbrott jämfört med RTK.

DGNSS-mätning sker typiskt med en handhållen enhet med integrerad antenn, men den kan också utföras med RTK-utrustning.

1.4.2 PPP (Precise Point Positioning)

PPP (Precise Point Positioning) är en metod som baseras på odifferentierade kod- och fas-observationer med GNSS, se Bilaga C. Det innebär att det inte behövs några referensmottagare på marken vid mätning, utan sådana används i ett tidigare skede för att korrigera ban- och klockdata. Med precisa ban- och klockdata m.m. möjliggörs lägesbestämning på decimeternivå vid kinematiska tillämpningar och metoden kan även ge tillförlitliga positioner på högre höjder.

1.5 Mätosäkerhet - GUM

I HMK är skrivningar som rör noggrannhet och datakvalitet numera terminologiskt anpassade till *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* (GUM), där det centrala begreppet är mätosäkerhet. I [HMK-Ordlista, juni 2015](#) finns förklaringar till de GUM-termer, fackuttryck och förkortningar som används. Där finns också en beskrivning av skillnaderna mellan ISO 19157 och HMK:s GUM-influerade terminologi. Även [HMK-TR 2015:1](#) utgör ett komplement beträffande GUM och den geodatakvalitetsterminologi i övrigt som tillämpas i HMK.

1.6 God mätsed

Rekommendation

God mätsed bör känneteckna all geodetisk mätning, se [Bilaga A.1](#) eller en mer [fullständig version](#).

Det finns en gemensam grund av något som brukar benämnas *god mätsed*. Det är allmängiltiga "sanningar" – eller sunt förnuft kombinerat med ett kvalitetstänkande genom hela mätprocessen.

Med god mätsed får utförare bättre möjligheter att identifiera de faktorer som bidrar till en låg mätosäkerhet eller mindre risk för grova fel vid geodetisk mätning. Dessutom underlättas kontroll av att produktkraven är uppfyllda, samt annat informationsutbyte mellan utförare och beställare.

1.7 Juridiska frågeställningar

Ansvarsfrågor i ett projekt eller uppdrag ska tydliggöras i specifikation eller avtal, till exempel vad gäller arbetsmiljö, fältarbete och sekretess. De lagar, regler och principer som berör geodetisk mätning på olika sätt beskrivs i [HMK-Introduktion](#), kapitel 3.

2 Geodetisk infrastruktur

Geodesins huvuduppgift är att genom olika typer av mätningar bestämma punkters läge på jordytan, deras höjd över havsytan och deras tyngdkraftsvärden. Oavsett metod är all mätning relativ. Det absoluta läget kan i strikt mening inte bestämmas utan mätningen sker alltid i förhållande till andra punkter, som redan är kända.

För att få entydighet behövs *referenssystem* som kopplats i ett fast förhållande till jorden, t.ex. *höjdsystem*, *plana koordinatsystem* och *3-dimensionella system* (i 1D, 2D respektive 3D).

I detta kapitel behandlas referenssystem, referensnät och koordinattransformationer med fokus på de nationella referenssystemen samt deras nordiska, europeiska och globala motsvarigheter och relationerna till dessa.

Referensnät är ett nät av punkter som används för att realisera ett referenssystem. Dessa nät kan vara passivt eller aktivt realiserade.

- *Passiva referensnät* representeras av markerade punkter i terrängen. Sådana nät benämns vanligen *stomnät* och sättet att bestämma de ingående *stompunkterna* kallas *stommätning*. Det finns både *stomnät i plan* och *stomnät i höjd*.
- Ett *aktivt referensnät* utgörs av ett antal permanenta referensstationer. SWEPOS, det nationella nätet av permanenta referensstationer, är ett exempel på detta.

Mer information om geodesi och referenssystem – bl.a. en ordlista och en formelsamling – finns på Lantmäteriets webbplats:

www.lantmateriet.se/geodesi

2.1 Referenssystem

Krav

- Tillsammans med koordinatuppgift i 3D ska referenssystem anges.
- Tillsammans med koordinatuppgift i 2D ska referenssystem och kartprojektionssystem anges.
- Tillsammans med höjduppgift (1D) ska höjdsystem anges, samt om geoidmodell använts ska höjduppgiftens tillkomst tydligt dokumenteras.

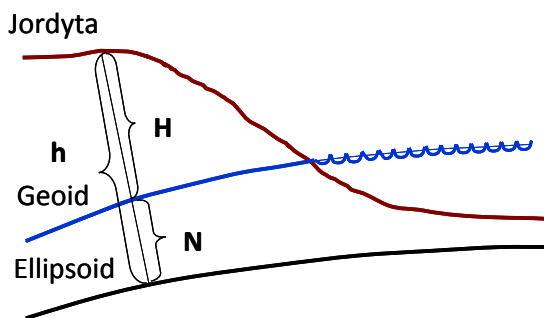
Skillnaden mellan begreppen *referenssystem* och *koordinatsystem* är att begreppet *koordinatsystem* förutom själva referenssystemet även beskriver vilket koordinatformat som används. En punkts läge kan

således anges i flera olika koordinatsystem inom ett och samma referenssystem. Som exempel kan nämnas att en punkt i SWEREF 99 kan anges med geocentriska eller geodetiska koordinater eller i någon av projektningszonerna, det är därför viktigt att tillsammans med en lägesuppgift, en position, alltid ange i vilket referenssystem uppgiften gäller.

I den geodetiska beskrivningen av jorden används tre olika grundläggande ytor, se

Figur 2.1.:

- *Jordytan*, som även innefattar havsytan.
- *Geoiden*, den nivåyta i jordens tyngdkraftsfält som bäst ansluter till havsytan.
- *Jordellipsoiden*, den matematiska modell, rotationsellipsoid, som bäst ansluter till geoiden.



Figur 2.1. De tre grundläggande ytorna för den geodetiska beskrivningen av jorden.

Definitionen av geodetiska referenssystem bygger på dessa tre ytor, deras inbördes relationer och deras förändringar över tiden. Referenssystemen utgör grunden för den mätningstekniska verksamheten (projektering, kartläggning, byggande, fastighetsbildning m.m.).

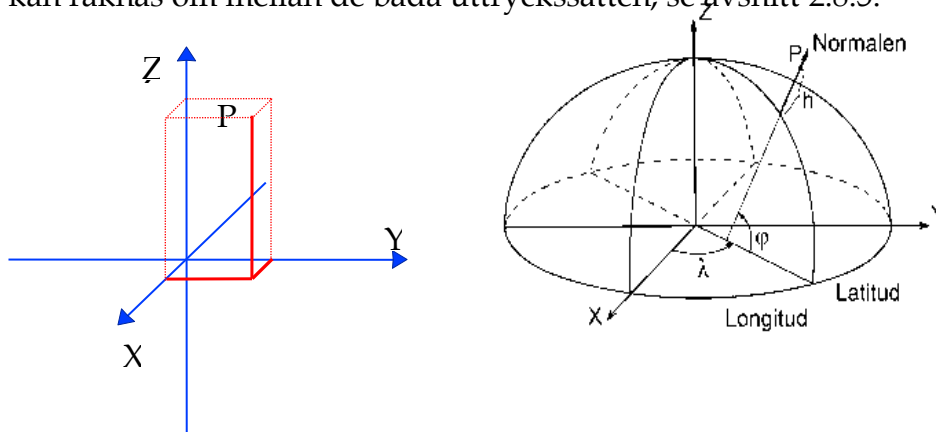
2.1.1 Olika typer av referenssystem

Tredimensionella system (3D)

Behovet av tredimensionella referenssystem har ökat i takt med en ökad användning av satellitbaserade mätmetoder (GNSS). Exempel på sådana system är WGS 84 och SWEREF 99. I de nya, globalt anpassade referenssystemen kan en position definieras på ett entydigt sätt, som kan användas över hela jorden.

Av

Figur 2.1.1 framgår att positioner i 3D kan uttryckas med kartesiska, geocentriska koordinater (X, Y, Z) eller som geodetiska koordinater latitud (φ), longitud (λ) och höjd över ellipsoiden (h). Koordinater kan räknas om mellan de båda uttryckssätten, se avsnitt 2.8.5.



Figur 2.1.1. De två uttryckssätten för positioner i 3D. Geocentriska koordinater (X, Y, Z) till vänster och geodetiska koordinater latitud (φ), longitud (λ) och höjd över ellipsoiden (h) till höger.

I geocentriska koordinatsystem placeras origo i jordens mittpunkt med Z -axeln längs jordens rotationsaxel. X -axeln går ut genom punkten där nollmeridianen skär ekvatorn och Y -axeln placeras så att ett högerorienterat tredimensionellt koordinatsystem erhålls.

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

Geodetiska koordinater kan anges med tre olika format. Antingen 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. $15^\circ 30'36'' = 15^\circ 30,6' = 15,51^\circ$

Inom sjö- och luftfart är grader och decimala minuter det klart dominerande formatet för att redovisa latitud och longitud, medan det i andra tillämpningar kan vara mer blandat.

I standarden SS-EN ISO 6709:2009 rekommenderas dock användning av formatet grader, minuter och sekunder (med eventuella decimaler) samt att latitud normalt bör anges före longitud.

Plana koordinatsystem (2D)

Tvådimensionella referenssystem – (plana) koordinatsystem – har ingen direkt koppling till höjdkomponenten. Exempel är RT 90 och lokala, kommunala system. Plana koordinater beräknas antingen genom en projektion av läget på ellipsoiden till ett plan, s.k. (kart)projektion, se avsnitt 2.1.2, eller genom att etablera ett lokalt plant koordinatsystem.

Höjdsystem (1D)

”Höjd över havet” anges i ett *höjdsystem*. Höjdsystemet har en väl definierad nollpunkt och realiseras av *fixpunkter* på marken, som är inmätta – vanligen genom avvägning – och höjdbestämda.

Sverige har genom åren haft tre nationella höjdsystem: RH 00, RH 70 och nu senast RH 2000. Nära förknippat med höjdsystemen är geoiden samt den landhöjning som bland annat de nordiska länderna är utsatta för. När begreppet ”höjd över havet” används är det egentligen höjd över geoiden som avses. Geoiden är alltid vinkelrät mot tyngdkraften. Med höjd över havet (H) avses alltså avståndet längs lodlinjen från den aktuella punkten till geoiden.

Tyngdkraftssystem

De flesta geodetiska mätningssystem påverkas på ett eller annat sätt av tyngdkraftens storlek och riktning. Värdet på tyngdkraften anges i ett så kallat tyngdkraftssystem. Det officiella nationella tyngdkraftssystemet idag baseras på absoluta tyngdkraftsmätningar från 1976 och benämns RG 82. Efter detta har instrumenten som mäter absolut tyngdkraft (absolutgravimetrar) blivit bättre och mätosäkerheten sjunkit. Lantmäteriet har sedan 2006 ett sådant instrument och har påbörjat arbetet med ett nytt tyngdkraftssystem, RG 2000, som beräknas vara klart under senare delen av 2016. Tyngdkraftsmätning används bl.a. för geoidbestämning och vid precisionsavvägning.

2.1.2 Kartprojektioner

Genom en kartprojektion avbildas alltså den krökta jordytan på en plan yta. Valet av projektion styrs av tillämpningen och projektionens egenskaper, så att ändamålet med kartan uppfylls. De flesta svenska kartor är gjorda i *Transversal Mercator* (*Gauss-Krügers projektion*), eftersom den passar landets form och utbredning väl, men det finns ett flertal andra kartprojektioner för andra ändamål.

Kartprojektioner ger alltid någon typ av avbildningsfel. Olika kartprojektioner ger olika typer av fel.

Projektionsplanet utgörs av ett plan, en kon eller en cylinder och kallas då azimutal, konisk respektive cylindrisk projektion. Stående projektionsplan benämns normala, liggande kallas transversala. I en del kartprojektioner används även snedaxliga projektionsplan.

Transversal Mercator

Transversal Mercator är internationellt sett en av de viktigaste kartprojektionerna, går även under benämningen Gauss-Krüger eller Gauss' konforma projektion. Används företrädesvis över områden som är relativt smala i öst-västlig ledd och utbredda i nord-sydlig. För Sveriges del så har den använts både i de äldre nationella systemen och nu även i SWEREF 99.

Kartprojektionen är en liggande (transversal) cylindrisk projektion som styrs av fyra parametrar, se tabell 2.1.2.

Tabell 2.1.2. Kartprojektionsparametrar för Transversal Mercator.

Parameter	Förklaring
Medelmeridian	Placerar projektionscylindern i förhållande till ellipsoiden.
Skalreduktionsfaktor	Kan användas för att fördela skalfelet jämnare över den zon där projektionen tillämpas.
N-avdrag	Konstant avdrag för den nordliga koordinaten. Vanligtvis satt till noll (0).
E-tillägg	Konstant tillägg i öst-led för att undvika negativa koordinater.

För mer information om vilka parametervärden som är aktuella i SWEREF 99, se avsnitt 2.3.2.

UTM – Universal Transverse Mercator

Det finns även ett globalt system av projektionszoner baserat på Transversal Mercator, kallat UTM. Totalt är det 60 zoner som var och en har en bredd på 6°. Utöver indelningen i öst-västlig ledd delas även norra och södra halvklotet in med olika konstanter för den nordliga koordinaten. Används strikt UTM i Sverige innebär det tillämpning av zonerna 32N, 33N, 34N och 35N.

Lamberts koniska konforma

En konisk normal projektion som vanligtvis används i områden med övervägande väst-östlig utbredning. Projektionsplanet utgörs av en kon som placeras med en eller två standardparalleller.

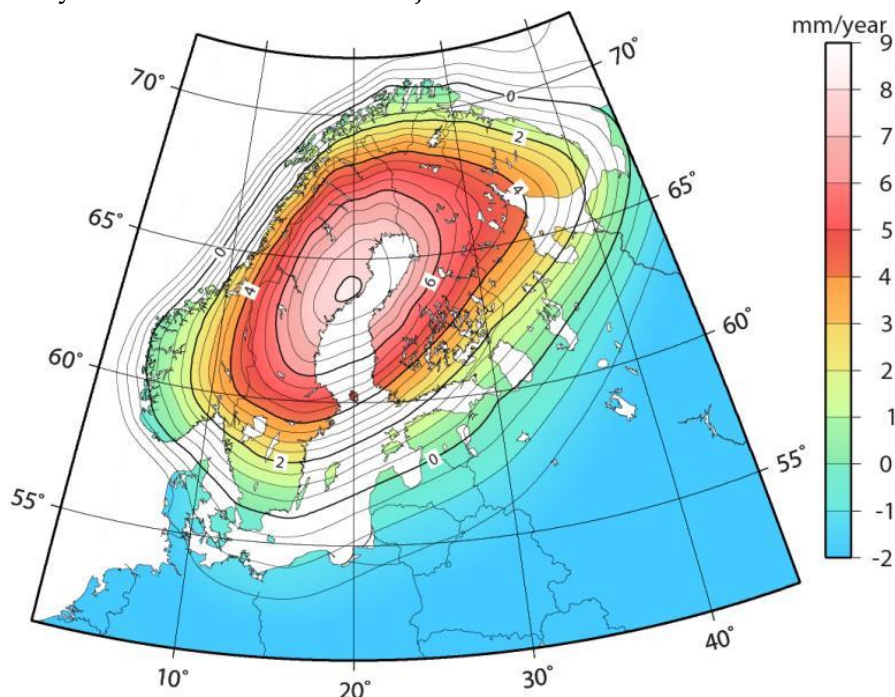
Vid datautbyte enligt Inspire i referenssystemet ETRS 89 kan bland annat ett projektionsplan anpassat för Europa användas, vilket då benämns ETRS 89 LCC.

2.1.3 Geodynamik

Landhöjning

Redan i början på 1700-talet observerades att jorden höjde sig i Norden. Orsaken troddes vara att havsvattnet försvann och fenomenet kallades då för "vattuminskning". Det har visat sig att det är landet som höjer sig efter att ha varit tungt belastat av den kilometertjocka isen under senaste istiden.

Landhöjningen (se Figur 2.1.3) kan modelleras utifrån bland annat upprepade avvägningar, havsvattenståndmätningar på mareografer och GNSS-mätningar. Den ger en långsiktig påverkan på referenssystemen, framför allt i höjddled.



Figur 2.1.3. Landhöjningsmodellen NKG2005LU.

Kontinentaldrift

Den förändring av kontinentalplattornas inbördes läge som orsakas av kontinentaldriften gör att den interna geometrin i ett globalt re-

ferensssystem relativt snabbt deformeras. På internationell nivå medför det att referenssystemen måste hanteras med epoker.

Inom en kontinentalplatta med små interna rörelser kan referenssystemen hanteras annorlunda. För Europas del har epoken låsts till 1989 och på så sätt fixeras koordinaterna. Det europeiska referenssystemet ETRS 89 monitoreras kontinuerligt och relationen till de internationella realiseringarna i ITRF hålls uppdaterade.

Det svenska SWEREF 99 är en realisering av det europeiska ETRS 89 och på motsvarande sätt är referensepoken med avseende på kontinentaldriften satt till 1989, se avsnitt 2.3.

Geoiden

När begreppet "höjd över havet" används i dagligt tal är det i striktare mening höjd över *geoiden* som avses. Geoiden är den nivåytan som sammanfaller med världshavens medelnivå och har en tänkt förlängning in under kontinenterna. Ytan är, i varje punkt, vinkelrät mot tyngdkraftens riktning. De olika referensytorna beskrivs förenklat i figur 2.1.

För att omvandla höjder över ellipsoiden – t.ex. GNSS-mätta höjder – till höjder över havet används en så kallad *geoidmodell*.

2.1.4 Relationer mellan olika referenssystem

Nationella vs. internationella referenssystem

Mellan nationella och internationella referenssystem finns ett ömsesidigt beroende. De nationella systemen behöver ha en nära koppling till de internationella systemen, som i sin tur behöver observationer från de nationella. Därför har det internationella samarbetet intensifierats under det senaste decenniet, och bl.a. lett till att de svenska referenssystemen är realiseringar av motsvarande europeiska system.

Med lag- och regelstöd från EU och EuroGeographics utgör det europeiska referenssystemet ETRS 89 (*European Terrestrial Reference System 1989*) ryggraden i alla geografiska och geodetiska projekt på europeiskt territorium, såväl på nationell som på internationell nivå. ETRS är i sin tur länkat till den globala nivån: ITRS (*International Terrestrial Reference System*).

Det globala referenssystemet ITRS är dynamiskt och inkluderar en hastighetsmodell. Koordinater och hastigheter i ITRS beräknas på data från olika tidsintervall och dessa lösningar benämns ITRF, *International Terrestrial Reference Frame*. WGS 84, vilket också är ett dynamiskt referenssystem, är sedan 1994 anslutet till ITRS och de

senaste WGS 84-realiseringarna avviker från den anslutna ITRF-lösningen på cm-nivå. För närvarande är skillnaden mellan SWEREF 99 och WGS 84 ungefär en halvmeter.

ETRS 89 förvaltas av den internationella geodesiassociationen IAG:s underkommission EUREF. Samma kommission förvaltar även det europeiska höjdsystemet EVRS (*European Vertical Reference System*). Det är uppbyggt på nationella avväggnings- och landhöjningsdata för att underlätta utbyte av höjdinformation inom Europa, två europeiska realiseringar finns: EVRF2000 och EVRF2007, se [Info-blad 15](#).

I Sverige realiseras de europeiska referenssystemen av SWEREF 99 och RH 2000, se avsnitten 2.3 respektive 2.4.

Definitionen av SWEREF 99 innebär att koordinater i referenssystemet är statiska med avseende på både europeiska plattans drift och landhöjningen (dock med olika epoker, se avsnitt 2.3.1). SWEREF 99 är den svenska realiseringen av ETRS 89, vilka därför kan likställas på europeisk nivå. I Tabell 2.1.4.a-b redovisas resultaten av några jämförelser mellan de nordiska grannländernas referenssystem, vilka kan vara av intresse i projekt i närheten av eller över riksgränserna.

Tabell 2.1.4.a. Skillnader mellan SWEREF 99 och de nordiska ETRS 89-realiseringarna. Alla värden i mm. (Häkli et.al 2015)

Land	Referenssystem	dN	dE	dU
Danmark	ETRS 89	10	1	-25
Finland	EUREF-FIN	-2	3	5
Norge	EUREF89	5	-19	-14

Tabell 2.1.4.b. Från en studie av våra grannländers höjdsystems avvikelse mot RH2000 vid respektive riksgräns. Enhet: mm.

Land	Benämning	Skillnad mot RH2000
Finland	N2000	2
Norge	NN2000 (Normal Null av 2000)	2
Danmark	DVR90 (Dansk Vertikal Reference 1990)	22

Vid vissa speciella tillämpningar kan en transformation mellan ITRF och SWEREF 99 vara nödvändig. För mer information se sidan [Transformation ITRF - SWEREF 99](#) på lantmäteriets webbplats.

Vad gäller geoidmodeller så har de övriga nordiska länderna kopplat de till sina referenssystem på samma sätt som Sverige, och eftersom de delvis bygger på samma geoidberäkning samt det faktum att referenssystemen i övrigt överensstämmer väl uppgår skillnaderna endast till några fåtal centimeter.

Vi arbeten nära eller över riksgränserna bör skillnader mellan berörda länders kartbladsindelning/indexsystem tas i beaktning, eftersom dessa vanligen ligger till grund för stråkplanering, dataleveranser etc. Här finns ingen motsvarande enhetlighet så där får helt enkelt något av systemen väljas.

Nationella vs. lokala/regionala referenssystem

Än i dag figurerar lokala referenssystem parallellt med de nationella. Det kan vara mer eller mindre fristående kommunala system och gäller numera främst höjdsystem.

Sambanden mellan det egna systemet och det nationella bör bestämmas och ansvariga för lokala/regionala referenssystem bör överväga en övergång till de nationella systemen SWEREF 99 och RH 2000. Det bidrar till en ökad nationell samordning och användning av geodata. Vidare underlättas utbytet av data mellan olika aktörer. Själva övergångsarbetet innebär också en översyn och förbättring av de egna referensnäten.

Beträffande SWEREF 99 tillkommer att GNSS-baserad lägesbestämning effektiviseras genom att "rätt" referenssystem erhålls redan vid mätningen och att momentet med transformation därmed blir överflödigt.

En övergång till RH 2000 underlättar dessutom användningen av den [nationella höjdmodellen](#), som utgör ett bra exempel på nödvändigheten av ett (inter)nationellt höjdsystem utan begränsningar av administrativa gränser för t.ex. infrastruktur och miljötillämpningar. Ibland kan ett *höjdskiift* (\pm en konstant) bestämmas för att få en approximativ koppling till RH 2000. Detta bör dock inte betraktas som den slutgiltiga lösningen utan som första steget mot en övergång.

Mer information om införandet av SWEREF 99 och RH 2000 finns på Lantmäteriets webbplats, www.lantmateriet.se/refsys.

För tillfället (januari 2016) har 277, av 290 kommuner, gått över till SWEREF 99 och 177 stycken till RH 2000. Status vad gäller anslutningen kan följas på webbplatsen [PROFS](#).

2.2 Referensnät

2.2.1 Aktiva referensnät

Information

I förhållande till enkelstations-RTK ger ett referensstationsnät i kombination med nätverks-RTK flera fördelar, t.ex. större räckvidd med bibehållen mätosäkerhet och bättre kvalitetskontroll.

En nationell nätverks-RTK-tjänst möjliggör också sömlös mätning i gränstrakterna genom samverkan mellan grannländernas motsvarande tjänster. Projektanpassad nätverks-RTK minskar mätosäkerheten ytterligare.

Aktiva referensstationer kan etableras som en del av en nationell geodetisk infrastruktur eller i egen regi. Den nationella infrastrukturen för GNSS-mätning består idag av det nationella nätet av fasta referensstationer, SWEPOS, Sjöfartsverkets nät för deras dGPS-tjänst. Aktiva referensnät finns även i form av lokala referensstationer som drivs i användarregi.

De 21 fundamentalstationerna i SWEPOS är viktiga i ett nationellt perspektiv, då de definierar referenssystemet SWEREF 99. Det nationella nätverket med aktiva referensstationer har förtätats kontinuerligt och används i olika GNSS-tjänster, framför allt genom nätverks-RTK-tjänster. Utsända korrektioner är kvalitetssäkrade och kompenserade för t.ex. landhöjningen. Olika aktörer kan använda data från SWEPOS-stationerna i egna nätverks-RTK-tjänster, och även komplettera med egna fasta referensstationer.

Genom samverkan över landsgränserna används data från ett antal fasta referensstationer i våra grannländer i de nationella tjänsterna, t.ex. vid beräkning av korrektioner i gränstrakterna; och vice versa i de övriga länderna. Exempel på nät av fasta referensstationer och GNSS-tjänster i våra grannländer finns i Tabell 2.2.1.

Tabell 2.2.1. Exempel: nät av fasta referensstationer och GNSS-tjänster i Norden.

Land	Nät eller tjänst
Sverige	SWEPOS, Leica SmartNet, Trimble VRS now, Topnet Live
Finland	FinnRef, VRSnet.fi
Norge	SATREF, Leica SmartNet
Danmark	GST, GPSnet.dk och Leica SmartNet Danmark

Projektanpassad nätverks-RTK utgör nätverks-RTK med kortare avstånd mellan referensstationerna där även radioutsändning används för distributionen av korrekationer. Projektanpassad nätverks-RTK minskar mätosäkerheten, ned till nivåer som tidigare endast gick att uppnå med totalstation.

I Sverige kan även det europeiska stödsystemet EGNOS samt regionala och globala kommersiella tjänster – med såväl mark- som satellitbaserad distribution av data – användas.

2.2.2 Passiva referensnät (stomnät)

Rekommendation

- a) Punktbeskrivningar bör inte innehålla koordinat- och höjduppgifter och gamla kopior av dessa bör inte användas.
- b) Punktbeskrivningar, positioner/höjder etc. bör inhämtas från huvudmannen i samband med det aktuella mätprojektet.

Passiva referensnät är det traditionella sättet att realisera ett referenssystem. I horisontalled har först ett överordnat triangelnät anlagts (över ett land eller region) med ett typiskt punktavstånd på 10-30 km. Detta nät har sedan förtätats i omgångar (ordningar), ända ned till en täthet lämplig för detaljmätning.

I höjddled har en liknande konstruktion använts (och används fortfarande). Mättekniken är (precisions)avvägning. Olika ordningar utnyttjas vanligtvis eftersom det är rationellt och billigare att först mäta ett stormaskigt höjdnät med noggrannast tänkbara teknik och sedan förtäta med mindre noggrann mätning.

De markerade punkterna i referensnätet bär upp referenssystemet. Som en följd av detta är det naturligtvis viktigt att ajourhålla de markerade punkterna, så att inte den fysiska basen för referenssystemet går om intet.

På nationell nivå realiseras numera SWEREF 99 aktivt, så det finns inte längre något passivt nationellt referensnät i plan att ajourhålla. Däremot ajourhålls höjdnätet som realiserar RH 2000.

För mätning lokalt i kommuner kommer det även fortsättningsvis att behövas en komplettering med fast markerade punkter, för att säkra tillgången till referenssystemen både i plan och höjd. Fasta markeringar kan även krävas för speciella ändamål, t.ex. i bygg- och anläggningsverksamheten, se Ågren et.al. 2011.

Tillhandahållande av stornätsinformation

Stornätsinformation från de nationella näten i plan och höjd (koordinater, höjder, punktbeskrivningar, punktkartor etc.) finns i Lantmäteriets [Geodetiska arkiv](#) och tillhandahålls via avtalstjänsten Digitalt Geodetiskt Arkiv (DGA). Där finns dock inte t.ex. kommunernas och Trafikverkets punkter med. För att få uppgifter om dessa kontaktas respektive huvudman. En förstudie kring ett nationellt stompunktsregister blev klar under 2014. Utvecklingen av en nationell tjänst är under utredning.

2.2.3 Osäkerhet, "känd punkt"

Alla stompunkter som inte definierar referensnätet har en lägesosäkerhet. All form av relativ mätning som använder utgångspunkter som inte ingår i referenssystemets realisering ska alltså ta denna osäkerhet i beaktande när det absoluta läget i referenssystemet beräknas. För en översiktlig uppskattning av osäkerhet för olika referensnät, se HMK-Ge: Metod, bilaga A (kommande dokument i revision 2016).

2.3 SWEREF 99

2.3.1 Definition av SWEREF 99

Referenssystemet SWEREF 99 är en realisering av ETRS 89, genomförd 1999 enligt då gällande riktlinjer. SWEREF 99 antogs som officiell realisering av ETRS 89 vid EUREF-mötet sommaren 2000.

SWEREF 99 definieras av 21 permanenta fundamentalpunkter. Vid etableringen av referenssystemet användes data från nationella permanenta referensstationer i Sverige, Norge, Finland och Danmark. Systemet baseras på observationer från sommaren 1999, vilket innebär att punkternas inbördes läge refererar till tidsepoken 1999.5.

Lösningen beräknades i ITRF 97 epok 1999.5 och har därefter räknats tillbaka till ETRS 89 enligt de riktlinjer som EUREF föreskriver. Korrektioner för rörelser inom den europeiska plattan har ej påförts. SWEREF 99 är alltså ett statiskt system med externepoken 1989.0 (med avseende på europeiska plattans drift) och internepoken 1999.5 (med avseende på landhöjningen).

Trots att SWEREF 99 är ett 3D-system så har Lantmäteriet valt att endast låta SWEREF 99 realisera det nationella referenssystemet i horisontalled, som ett plant koordinatsystem i 2D.

2.3.2 Realisering av SWEREF 99

De ursprungliga 21 permanenta fundamentalstationerna i det aktiva SWEPOS-nätet definierar SWEREF 99. SWEPOS-nätet har sedan starten byggts ut och förtätats för att möjliggöra tillhandahållande av positionstjänster såsom nätverks-RTK, och omfattar 2015-12-31 totalt 368 stationer.

Syftet med SWEPOS är:

Att realisera och monitorera det nationella referenssystemet SWEREF 99

Att tillhandahålla data från GNSS-satelliterna för navigering, positionsbestämning och vetenskapliga ändamål

Att monitorera GNSS-systemens integritet.

SWEPOS etablerades i samarbete mellan Lantmäteriet, Onsala rymdobservatorium, Chalmers Tekniska Högskola, projektet "GPS-resurser i Norrbotten" och Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut. I juli 1995 var de grundläggande 21 referensstationerna i försöksdrift. Under tidsperioden 1995-1999 finansierades och utformades SWEPOS av Banverket, Försvarmakten, Telia och Vägverket. Lantmäteriet svarar idag för drift och vidareutveckling av nätverket.

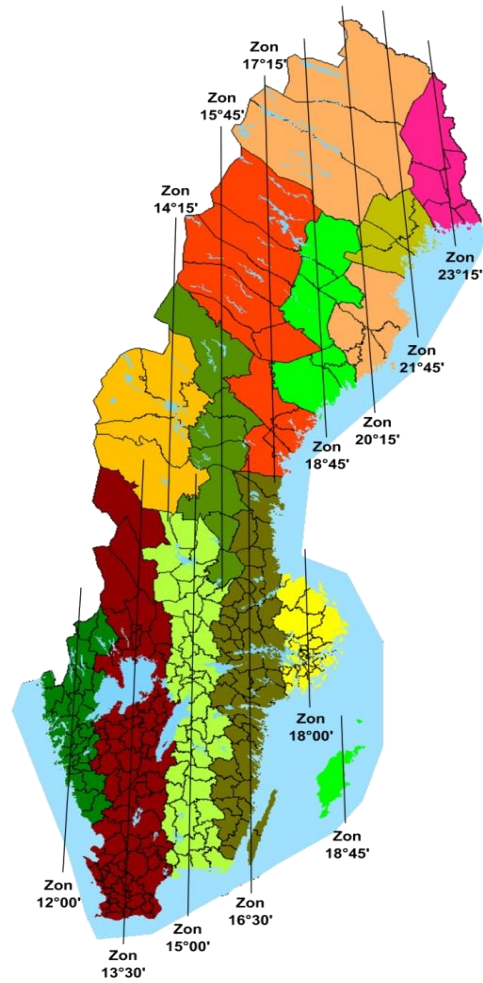
2.3.3 Projektionszoner

De kartprojektioner som används i SWEREF 99 är Transversal Mercator-projektioner med olika projektionsparametrar. För nationella ändamål används SWEREF 99 TM.

För att få större måttriktighet vid regionala och lokala tillämpningar finns, i tillägg till det nationella SWEREF 99 TM, även *regionala projektionszoner* till SWEREF 99, se Figur 2.3.3, med projektionsparametrar enligt tabell 2.3.3. Zonerna betecknas efter medelmeridianens avstånd från Greenwich enligt modellen:

SWEREF 99 dd mm, där *dd* anger grader och *mm* minuter.

Överräkning mellan SWEREF 99 TM och de regionala projektionszonerna kan göras felfritt fram och tillbaka.



Figur 2.3.2. Projektionszonerna i SWEREF 99.

OBS att projektionszonerna i Figur 2.3.2 i de flesta fall följer kommungränserna men de är inte på något sätt bindande för kommunerna. Det innebär att lokala avvikelser kan förekomma och att andra användare kan ha en annan indelning. Exempelvis tillämpar Trafikverket en egen indelning för delar av sin verksamhet, se [TDOK 2014:0930 - Koordinatbaserade referenssystem](#).

Tabell 2.3.3. Projektionsparametrar, SWEREF 99

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

2.3.4 SWEREF 99 – Referensnät

Referenssystemet SWEREF 99 realiseras enbart av de 21 permanenta fundamentalstationerna. Alla övriga koordinatbestämda punkter, ingående i aktiva eller passiva referensnät, har en standardosäkerhet som ska beaktas, se avsnitt 2.2.3.

SWEREF-punkter

Benämningen SWEREF-punkter avser passivt markerade punkter av klass 1 i SWEREF 99 som mätts in direkt mot SWEPOS-nätet. SWEREF-punkterna hölls fasta i utjämningsberäkningarna av RIX 95. Punktavståndet mellan SWEREF-punkterna är ungefär 35 km och punkterna är fördelade yttäckande över landet.

Ett urval på ungefär 300 SWEREF-punkter utgör även försäkringspunkter till SWEREF 99. Dessa försäkringspunkter mäts om vart sjätte år för att verifiera kvaliteten i den aktiva definitionen av SWEREF 99 samt utgöra underlag för vidare studier av geodynamiska rörelser.

RIX 95

Syftet med projektet RIX 95 var ursprungligen att förtäta och GNSS-anpassa riksnätet i plan. Det resulterade i ett yttäckande nät av punkter med ett inbördes punktavstånd på ungefär 7 km. Tillsammans med triangelpunkterna i RT 90 finns det totalt ungefär 10 000 RIX 95-punkter av klass 2.

Nätet utjämnades i SWEREF 99 genom att hålla SWEREF-punkterna fasta. För att utjämna punkterna i RT 90 hölls triangelpunkterna i RT 90-nätet fasta. RIX 95-punkterna bedöms ha en standardosäkerhet i plan på 6 mm i SWEREF 99, se Andersson et.al. (2015).

Där det var möjligt användes befintliga stompunkter i kommunala stomnät som RIX 95-punkter. Det möjliggjorde sambandsberäkningar mellan de nationella och lokala referenssystemen, vilket var en förutsättning för det vidare arbetet med att införa SWEREF 99 på kommunal nivå.

Lantmäteriet underhåller inte nätet med RIX 95-punkter idag.

2.4 RH 2000

Höjdsystemet RH 2000 realiseras **passivt**, dvs. via fysiska markeringar. Samtliga höjdfixar som ingår i den senaste riksavvägningen, och som har en inbördes korrekt höjdskillnad, utgör realiseringen i höjdded.

RH 2000 blev officiellt år 2005. Det representeras på marken av cirka 50 000 fixpunkter och har därmed mycket bättre nationell täckning än sina föregångare RH 00 och RH 70.

Med införandet av RH 2000 har det för första gången skapats möjligheter för alla lokala användare att ansluta sina lokala höjdnät till ett höjdsystem som såväl regionalt som lokalt håller en mycket hög kvalitet.

Mätningarna utfördes under åren 1979-2003 i Sveriges tredje nationella precisionsavvägning (Riksavvägningen) som höll bättre kvalitet än de tidigare precisionsavvägningarna. Nollnivån i RH 2000, liksom i RH 70, definieras av Normaal Amsterdams Peil (NAP). Detta är en punkt i Amsterdam som används som nollpunkt även i andra europeiska länder.

Nätet är anslutet till våra grannländer och beräknat enligt europeisk standard, vilket innebär att RH 2000 kan betraktas som en del av det europeiska höjdsystemet.

2.5 Äldre nationella referenssystem

Då nya nationella referenssystem har införts får de äldre rikssystemen ungefär samma dignitet som övriga lokala/regionala system. Skillnaderna mellan de olika nationella höjdsystemen beror främst på landhöjningen mellan mätperioderna – som är olika över landet – men delvis även på att de precisionsavvägningar de baseras på är av olika kvalitet. Avvikelserna mellan RH 00 och RH 70 ligger mellan -4 cm i Sydsverige och +83 cm i norra Sverige. Skillnaden mellan RH 70 och RH 2000 varierar mellan + 7 cm och + 32 cm.

Därför gäller det att vara tydlig med vilket höjdsystem som avses – särskilt i dialogen med externa utförare, som inte alltid är bekanta med historiken och systemtillhörigheten. Risken för systemsammanblandningar är större mellan olika höjdsystem än mellan olika plansystem, eftersom det inte går att utläsa av själva höjduppgiften vilket höjdsystem som avses. Felaktigheter kan också få större konsekvenser.

Något som kan vara lätt att glömma bort är att även beräkningsformlerna kan förändras när ett koordinatsystems parametrar ändras – t.ex. från RT90 på *Bessels ellipsoid* till SWEREF 99 på referensellipsoiden *GRS 80*.

2.5.1 RT 90

Det tidigare nationella referenssystemet Rikets koordinatsystem 1990 (RT 90) utgörs av den tredje rikstrianguleringen som påbörjades 1967 i Skåne och utfördes som en heltäckande triangulering med ett förstaklass-nät med sidlängder på cirka 3 mil. Detta förstärktes sedan med ett andraklass-nät med sidlängder på cirka 1 mil. Mätningarna utfördes med längdmättningsinstrument.

RT 90 användes bland annat i de allmänna kartorna fram till 2007.

Projektionszoner

Kartprojektionerna som används i RT 90 är Transversal Mercator och den nationella projektionen benämns RT 90 2,5 gon V 0:-15. Utöver den nationella finns även fem andra projektionszoner med lokalt anpassade medelmeridianer. De i RT 90 använda kartprojektionsparametrarna framgår av tabell 2.5.1.

Medelmeridianerna i RT-systemen utgick ursprungligen från nollmeridianen definierad i Stockholms gamla observatorium och zonenbredden sattes till 2,5 gon. Medelmeridianerna anges i tabell 2.5.1 i grader relativt Greenwich.

Tabell 2.5.1. Projektionsparametrar, RT 90. X-avdrag och y-tillägg i meter.

Projektion	Medel- meridian, λ_0	Skalreduktions- faktor, k_0	x- avdrag, x_0	y-tillägg, y_0
RT 90 7,5 gon V 0:-15	11°18'29.8"E	1	0	1 500 000
RT 90 5 gon V 0:-15	13°33'29.8"E	1	0	1 500 000
RT 90 2,5 gon V 0:-15	15°48'29.8"E	1	0	1 500 000
RT 90 0 gon 0:-15	18°03'29.8"E	1	0	1 500 000
RT 90 2,5 gon O 0:-15	20°18'29.8"E	1	0	1 500 000
RT 90 5 gon O 0:-15	22°33'29.8"E	1	0	1 500 000

Lokala origon

I RT-systemen finns även en konvention för att ange ett lokalt origo, det vill säga avdrag i x och y, baserat på 100-kilometersrutor. Detta anges i slutet av koordinatsystemets beteckning. Anledningen till att lokala origon används är att koordinatvärden hanterades manuellt med penna och papper. Idag, då den mesta hanteringen sker digitalt, ställer lokala origon till mer besvär än vad de underlättar. Det är främst vid transformation av geografiska data som lokala origon försvårar hanteringen.

Exempel:

'0:-15' innebär standardfallet med $x_0 = 0$ och $y_0 = 1\,500\,000$ m

'61:-1' definierar ett lokalt origo med $x_0 = -6\,100\,000$ m och $y_0 = 100\,000$ m. '61:-1' kan också skrivas som '61:14-15'

2.5.2 Regionsystemen RT R01 – RT R12

För att ge användarna möjligheter att få tillgång till koordinater från den tredje rikstrianguleringen innan hela arbetet var klart, så indelades Sverige i tolv regioner. Efterhand som trianguleringen fortskred från söder till norr beräknades koordinater i motsvarande regionsystem, RT R01 - RT R12. Varje sådant system tilldelades en fast punkt med koordinater i RT 38 (eller i något av grannregionsystemen).

Indelningen av projektionszoner och hanteringen av lokala origon följer motsvarande definitioner som för RT 90.

2.5.3 RH 70, RHB 70 och RH 00

RH 70

Rikets höjdsystem 1970, RH 70, baseras på den andra precisionsavvägningen av Sverige som genomfördes under åren 1951-1967.

RH 2000 har sedan år 2005 ersatt RH 70 som officiellt nationellt höjdsystem. På marken representeras RH 70 av cirka 9 700 markerade fixpunkter från den andra precisionsavvägningen.

RHB 70

RHB 70 är inte ett höjdsystem i egentlig mening, snarare en förtätning och i viss utsträckning en ommätning av RH 70.

RHB 70 är beteckningen för höjder som har beräknats i systemet RH 70, men med nya mätningar av god kvalitet från den tredje precisionsavvägningen.

RH 00

Rikets höjdsystem 1900, RH 00, baseras på den första precisionsavvägningen av Sverige som genomfördes under åren 1886-1905.

På marken representeras RH 00 av cirka 2 500 markerade fixpunkter från den första precisionsavvägningen. För att täcka behovet av underlag för den allmänna kartläggningen, har precisionslinjenätet genom åren förtätats i flera steg med ett stort antal punkter i den så kallade linjeavvägningen.

Som nollnivå valdes medelvattenytan i Stockholm år 1900, representerad av en markerad punkt på Riddarholmen i centrala Stockholm.

I nationella sammanhang har RH 00 spelat ut sin roll, men på lokal och regional nivå finns fortfarande många tillämpningar där RH 00 används. Många lokala höjdnät är anslutna till RH 00. Då täckningen och kvaliteten på den första precisionsavvägningen var dålig och då senare förtätningar höll ännu sämre kvalitet var anslutningspunkterna ofta mycket dåliga.

2.6 Lokalt använda referenssystem

Rekommendation

- a) SWEREF 99 och RH 2000 bör införas på lokal nivå och ersätta lokala referenssystem i plan och höjd.
- b) Någon form av stomnätstrategi bör tas fram av stomnätägare

Det pågår ett arbete med att ersätta de lokala referenssystemen i både plan och höjd och successivt införa SWEREF 99 samt RH 2000 på lokal nivå. För mer information samt aktuell status se webbplatsen [Införande av SWEREF 99 och RH 2000](#).

2.6.1 Kommunala system i plan

De kommunala koordinatsystemen bygger på lokala stomnät som vanligen är anslutna till riksnätet, oftast RT 38, RT P (preliminärt RT 38) eller något av de tolv regionsystemen (RT R01 – RT R12). De lokala näten har ofta fått en något avvikande geometri jämfört med riksnätet. Förutom att systemen ofta används med ett lokalt origo, kan även en vridning och en skalförändring gentemot riksnätet finnas.

Det förekommer även flera olika koordinatsystem inom en och samma kommun, som ett resultat av de sammanslagningar till större kommuner som ägt rum.

Lokala plansystem innehåller ofta deformationer som försvårar användning av GNSS direkt i systemet. Det krävs därför en upprätning av det lokala systemet för att få ett homogent system som är väl lämpat för GNSS-mätning. En sådan upprätning görs ofta i samband med införandet av SWEREF 99.

1000/1000-system

För mindre samhällen, fritidsbebyggelse och liknande har små lokala plansystem skapats, ofta med en bristfällig anslutning till överordnade system, även om den interna noggrannheten kan vara god. Inpassning har gjorts via digitalisering av kartdetaljer eller i ortofoto. Med GNSS-mätning mot referensstationer finns dock möjlighet att ansluta systemen till riksnätet till rimliga kostnader.

Uttrycket "1000/1000-system" har uppkommit genom att en punkt i området definierats med koordinaterna ($x = 1000$, $y = 1000$) för att undvika negativa koordinater.

2.6.2 Kommunala system i höjd

De kommunala höjdsystemen är betydligt fler än de plana systemen. De har ofta sitt ursprung i rikets höjdsystem RH 00, eftersom många lokala höjdnät är mycket gamla och RH 00 fram till 1970-talet var det rikssystem som fanns tillgängligt. På grund av den ojämna kvaliteten i systemet RH 00, måste dock dessa kommunala system betraktas som mer eller mindre lokala. I en kommun med flera lokala höjdnät anslutna till RH 00 finns därför i praktiken flera olika höjdsystem.

2.6.3 Fristående och projektanpassade system

Det finns i huvudsak två motiv 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.

Exempel på det förstnämnda är *fristående system*, s.k. 1000/1000-system, vid mätning för fastighetsbildning i glesbygd. Exempel på det andra är *projektanpassade system* i bygg- och anläggningsverksamheten. I båda fallen bedöms det räcka med en approximativ anslutning – t.ex. med GNSS-teknik, så länge mätosäkerheten lokalt är liten.

Projektanpassade referenssystem realiserar ofta **aktivt** – och är därmed GNSS-anpassade, se avsnitt 2.2.1 – om det rör sig om projekt över större geografiska områden med många aktörer, t.ex. väg- eller järnvägsprojekt. Referenssystem på t.ex. en byggplats ställer dock sådana kvalitetskrav att **passiv** realisering – markerade punkter och konventionell terrester mätning – är enda möjligheten. I många fall är dock en kombination av aktiv och passiv realisering erforderlig, till exempel inom järnvägsprojekt.

2.7 Geoidmodeller

2.7.1 SWEN08

En geoidmodell (eller ett geoidhöjdsystem) är en modell som kan användas för att omvandla mätta höjder över ellipsoiden h till höjder över havet H (se Figur 2.1). Det bör observeras att begreppet geoidmodell här används i en ganska lös mening. I det fall andra komponenter än själva geoidhöjden har bakats in i modellen, till exempel olika korrektioner, förekommer i vissa sammanhang termerna höjdkorrektionsmodell eller höjdomvandlingsmodell. Då korrektionerna ifråga är väldigt små används vanligtvis begreppen geoidmodell eller geoidhöjdsystem.

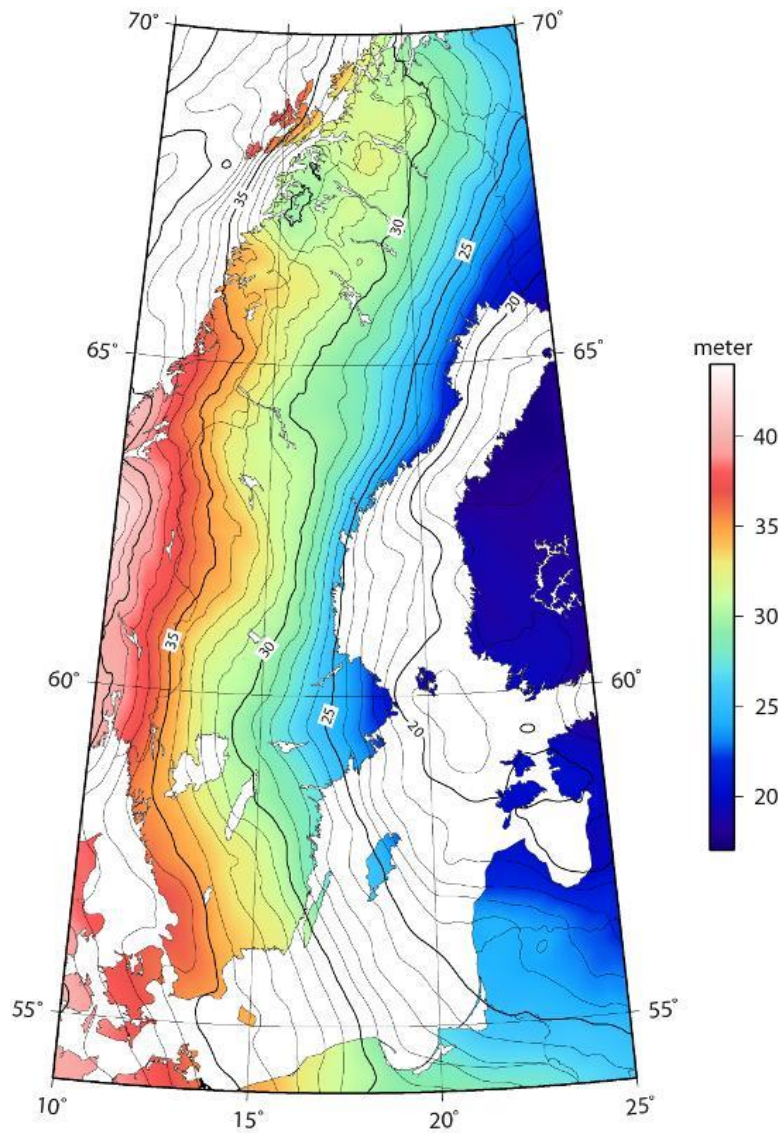
Gällande nationella geoidmodeller är SWEN08_RH2000 och SWEN08_RH70, som ger höjder i systemen RH 2000 respektive RH70. Se Figur 2.7.1.

Standardosäkerheten för en geoidhöjd ur SWEN08_RH2000 har skattats till 10-15 millimeter över hela landet med undantag av det område i nordvästra fjällen där den tredje precisionsavvägningen inte dragit fram. Där och till havs är standardosäkerheten högre, troligen runt 5-10 centimeter.

Höjder i RH 2000 som bestämts med GNSS och en geoidmodell har alltså normalt en större osäkerhet än avvägda höjder i samma referenssystem. Trots att höjder kan anges i samma referenssystem är det därför viktigt att tillkomstsättet tydligt dokumenteras.

Osäkerheten för SWEN08_RH70 är motsvarande under förutsättning att benämningen RH 70 här motsvaras av det höjdsystem som realiseras av RH 70-höjderna för stabila fixar från den andra precisionsavvägningen och av RHB 70-höjderna för fixarna i den tredje precisionsavvägningen. Mer förklaringar och detaljer finns i [LMV-rapport 2009:1](#) som beskriver geoidmodellerna närmare.

För att beräkna geoidhöjd ur SWEN08 kan den interaktiva tjänsten [Geoidhöjd](#) på Lantmäteriets webbplats användas.



Figur 2.7.1. Geoidmodellerna SWEN08.

2.8 Koordinattransformationer och samband

I första hand används referenssystemet SWEREF 99 och höjdsystemet RH 2000. Plana koordinater redovisas i det nationella SWEREF 99 TM eller i de regionala projektionszonerna till SWEREF 99, se avsnitt 2.3.3.

Plana SWEREF 99-koordinater benämns Northing (N) respektive Easting (E). De äldre beteckningarna x och y kan leda till tvetydigheter och sammanblandningar. De bör därför fasas ut.

Då fristående eller projektanpassade referenssystem används bör en grov inplacering i de nationella systemen med hjälp av en koordinattransformation göras.

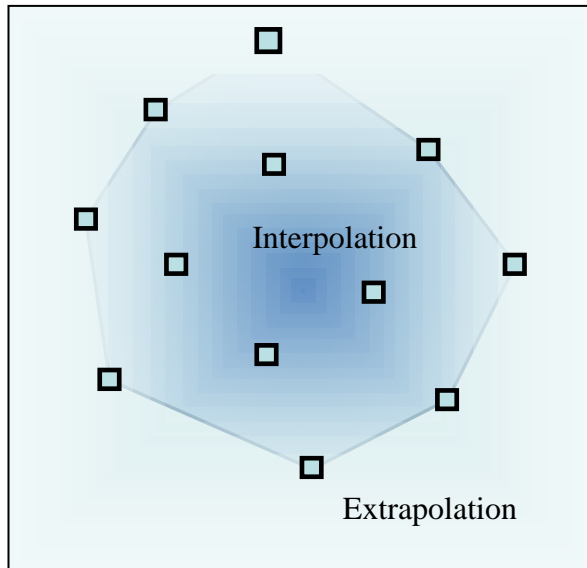
Då en koordinattransformation blir nödvändig hanteras den enligt checklisten i Bilaga 0. Särskilt viktigt är att undvika extrapolation – användning utanför transformationsformelns giltighetsområde (se Figur 2.8).

Transformation innebär att en uppsättning koordinater överförs från ett koordinatsystem (*från-systemet*) till en ny uppsättning koordinater i ett annat koordinatsystem (*till-systemet*). Transformations samband finns för både 1-, 2- och 3-dimensionella koordinatsystem.

Det går att skilja på definitionsmässiga/analytiska transformations samband (*överräkning*) och empiriska samband (*inpassning*).

Ett exempel på överräkning är konvertering av tredimensionella kartesiska koordinater (X, Y, Z) till latitud, longitud och höjd över referensellipsoiden.

Vid inpassning bestäms transformationsparametrarna med minsta-kvadratmetoden, utgående från *passpunkter* vars koordinater är kända i både från- och tillsystemet. Passpunkterna ska vara jämnt fördelade över det område där transformationsformeln är tänkt att användas, formelns *giltighetsområde*.



Figur 2.8. En transformation bör endast användas inom sitt giltighetsområde. På så sätt undviks extrapolation.

Omvänt bör inte transformation ske utanför den gräns som definieras av de yttersta passpunkterna, se Figur 2.8. Komplettering med en *restfelsmodell* minskar osäkerheten i en empirisk transformation.

Några ytterligare exempel på transformationer:

- *Translation* i höjd mellan två höjdsystem med hjälp av ett skift, som normalt är bestämt genom inpassning.
- Konvertering av höjder över ellipsoiden till höjder över geoiden med geoidmodell, dvs. även det ett empiriskt samband.
- Transformation mellan två plana referenssystem baserad på inpassning. Formeln kan vara officiellt publicerad, given av beställaren eller beräknad av utföraren. Normalt ingår fyra parametrar (*Helmerttransformation*).
- Direktprojektion från latitud/longitud (φ, λ) till plana koordinater, eller omvänt. En inpassningstransformation mellan det överordnade systemet och ett plant system.
- Byte av projektionszon i SWEREF 99, exempelvis från SWEREF 99 TM till en regional zon; en strikt matematisk överräkning.
- 7-parametertransformation mellan två tredimensionella referenssystem; vanligen en inpassningstransformation.
- En *unitär transformation*, i planet, (tre parametrar) bibehåller skalan.

Ofta sker transformationen direkt i fält – i *realtid* – genom att beräkningsformeln finns tillgänglig i instrumentet.

Restfelsmodeller

Som komplement till ett empiriskt transformations samband kan en restfelsmodell beräknas. Då utnyttjas de kvarvarande restfelen i en inpassning som korrektioner och den interna geometrin i systemen anpassas. Vid framtagandet av ett samband till ett överordnat system kan alltså effekter av en bristande geometri i från-systemet minskas.

Restfelsmodeller används i stor utsträckning vid införande av SWEREF 99 i kommuner, men även mellan RT 90 och SWEREF 99 samt mellan RT 90 och regionsystemen.

2.8.1 SWEREF 99 – RT 90

Det officiella sambandet mellan SWEREF 99 och RT 90 baseras på en s.k. *direktprojektion*. Det är samma typ av beräkning som vid en kartprojektion men med skattade parametrar, anpassade till det plana systemet RT 90 2,5 gon V 0:-15. Utöver sambandet finns även en nationell restfelsmodell framtagen. Parametrarna för direktprojektionssambandet framgår av tabell 2.8.1, och restfelsmodellen är bland annat implementerad i programvaran Gtrans.

Trafikverket har tagit fram en egen restfelsmodell för transformation mellan RT 90 och SWEREF 99, vilken ska användas för järnvägsinformation, se [TDOK 2014:0930 – Koordinatbaserade referenssystem](#).

Tabell 2.8.1. Parametrar för direktprojektionssambandet mellan SWEREF 99 och RT 90.

Parameter	Värde
Projektionstyp	Gauss-Krüger (Transversal Mercator)
Referensellipsoid	GRS 80
Halva storaxeln (a)	6378137
Inverterad avplattning (1/f)	298.257222101
Medelmeridian, λ_0	15°48'22.624306" öster om Greenwich
Latitud för origo	0°
Skalreduktionsfaktor, k_0	1.00000561024
N-avdrag	-667.711 m
E-tillägg	1500064.274 m

Observera att ellipsoidparametrar för GRS 80 ska användas. Mer om [transformationen](#) finns på Lantmäteriets webbplats.

Äldre 7-parametersamband

Tidigare fanns även ett samband som var framtaget som en 7-parametertransformation officiellt publicerat, men det ska alltså inte användas.

2.8.2 RT 90 – RT R01-RTR12

Mellan RT 90 och regionsystemen RT R01-RT R12 finns transformationsamband i form av plana Helmerttransformationer. För att ta hand om skillnader i den interna geometrin mellan systemen finns även restfelsmodeller tillgängliga för samtliga regionsystem. Transformationsambanden finns publicerade i programvaran Gtrans.

2.8.3 SWEREF 99 – Lokala system

Transformationsamband mellan SWEREF 99 och lokala system har tagits fram i projektet RIX 95. I och med att sambanden etablerats underlättas ett införande av SWEREF 99 i kommunen. Sambanden kan även användas för att transformera data innan SWEREF 99 införts.

RIX 95-sambanden kan vid behov erhållas från Lantmäteriets enhet [Geodetisk infrastruktur](#).

2.8.4 RH 2000 – RH 70 (RH 00)

När det gäller transformationer i höjddled finns inget bra samband på nationell nivå, vilket främst beror på kvalitetsbrister i de tidigare höjdsystemen.

Då lokala höjdsystem som baserats på ett äldre nationellt system i de flesta fall är att betrakta som rent lokala bör en analys och utredning ske för att ta fram lokala transformationssamband mellan systemen. Mer information och argument till detta finns beskrivet i [Infoblad 7](#).

2.8.5 X,Y,Z – lat, long, ellipsoidhöjd

En form av översättning som konverterar tredimensionella kartesiska koordinater till geodetiska koordinater, eller omvänt, med en uppsättning formler. Det finns flera olika angreppssätt för att utföra transformationen mellan koordinatsystemen.

Vanligtvis kan en sluten approximativ formel användas, men iterativa förfaranden är också vanliga. Skillnaden mellan den slutna formeln och ett iterativt förfarande kan maximalt uppgå till någon tiondels millimeter för normala tillämpningar i Sverige (höjden < 20 000 m). Formler och kontrollpunkt för en approximativ formel finns beskrivet på Lantmäteriets [webbplats](#).

2.9 Geografiskt indexsystem

Ett *geografiskt indexsystem* är ett sätt att lokalisera företeelser med olika grad av rumslig osäkerhet. Stor ruta anger stor osäkerhet om var företeelsen exakt finns och med minskade rutor minskar även osäkerheten. Systemet kan användas för olika former av rapportering och analys men även för att redovisa planer – t.ex. stråkplaner vid flygfotografering och laserskanning – samt för att definiera områden för datainsamling och leverans av geodata, t.ex. ortofotofiler. OBS! Indexsystem är inte detsamma som bladindelning av en karta.

I samband med införandet av det nationella referenssystemet SWEREF 99 har ett nytt nationellt indexsystem introducerats. Följande krav har legat till grund för framtagningen av detta:

- Systemet ska vara uppbyggt av kvadratiska rutor för att få en enhetlig indelning över hela landet.
- Systemet ska vara hierarkiskt (tillåta olika grader av upplösning). Denna hierarki ska vara knuten till beteckningen.
- Systemet ska vara enkelt för användarna och bör vara konstruerat så att GIS-programvaror kan stödja det.

Indexsystemet i SWEREF 99 utgår från rutor med storleken 100 km × 100 km som sedan delas in i mindre rutor. En systembeskrivning

finns i [nr 11](#) av Lantmäteriets infoblod om referenssystem och transformationer. Systemet relateras till SWEREF99 TM, men kan även användas i de regionala zonerna tillsammans med zonbeteckning.

2.10 Inspire

EU-direktivet Inspire beskrivs i [HMK-Introduktion](#), avsnitt 3.5. Data som utbyts enligt Inspire ska anges i ett antal listade referenssystem och koordinatsystem, se tabell 2.10. SWEREF 99 och RH 2000 uppfyller kraven för att motsvara ETRS 89 respektive EVRS.

Tabell 2.10. Referens- och koordinatsystem för datautbyte enligt Inspire.

Koordinattyp	Koordinatsystem	Skalområde
Tredimensionellt	ETRS 89 (X,Y,Z)	-
Tredimensionellt	ETRS 89 (lat, long, ellh)	-
Plan	ETRS 89-LAEA	-
Plan	ETRS 89-LCC	<1:500 000
Plan	ETRS 89-TMzn	>1:500 000
Höjd	EVRS	-

De kartprojektioner som används inom Inspire är:

LAEA - Lambert azimuthal equal-area projection.

LCC - Lambert conformal conic projection, se avsnitt 2.1.2.

TMzn - Transversal Mercator tillsammans med definierad projektionszon, se avsnitt 2.1.2.

3 Markeringar

Den fysiska markeringen är det synliga resultatet av en geodetisk mätning. Det är av stor vikt att markeringen utförs på ett betryggande sätt så att punkten senare kan identifieras och lokaliseras effektivt. Syftena med en markerad punkt kan vara flera, men gemensamt är att markeringen ska vara tillräckligt bestående för att uppfylla de tillämpningsområden som punkten skapats för. Vidare ska markeringen uppfylla de krav på lägesstabilitet som krävs för punkten.

För rekommendationer kring markeringar hänvisas till den äldre [HMK-Markering](#) som tillsammans med [aktualitetsbeskrivningen](#) ger en god bild över hur en punkts markering ska utföras.

I det framtida förvaltningsarbetet med HMK kommer kapitlet *Markering* att uppdateras och inkluderas i HMK-Geodesi.

4 Referenser (lästips)

Andersson, B, Alfredsson, A, Nordqvist, A och Kilström, R: 2015, *RIX 95-projektet – slutrapport, LM-rapport 2015:4*, Gävle 2015

Häkli, P, Lidberg, M, Jivall, L, Nørbech, T, Tangen, O, Weber, M, Pihlak, P, Aleksejenko, I och Paršeliūnas, E: 2015, *The NKG2008 GPS campaign - final transformation results and a new common Nordic reference frame*, (under utarbetande)

Ollvik, L:2011, *BVS 584.02 – Koordinatbaserade referenssystem*, Trafikverket TDOK2014:0930, Borlänge 2015

Ågren, J, Engberg, L E: 2010, *Om behovet av nationell geodetisk infrastruktur och dess förvaltning i framtiden*, LM-rapport 2010:11, Gävle 2010.

4.1 Läs mer

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

Fler länkade referenser finns under [HMK-Referensbibliotek-/Referenssystem](#) på HMK:s webbplats www.lantmateriet.se/HMK .

A Checklistor

A.1 God mätsed

God mätsed är inte knuten till någon viss mätmetod eller mätutrustning utan avser "sanningar" som är mer eller mindre allmängiltiga.

- 1 Mätningen ska ge såväl ett produktionsresultat som en deklARATION av mätosäkerheten. Båda delarna är lika viktiga och måste få ta tid.
- 2 Ett mål är att eliminera de grova felen samt att reducera de systematiska och slumpmässiga avvikelserna.
- 3 Kontrollera: en mätning är ingen mätning! Överbestämningar görs i första hand för att hitta grova fel.
- 4 Ordning och reda är A och O, från början till slut. Det är svårt att i efterhand skapa ordning ur kaos.
- 5 Dokumentera även för dig själv, du glömmer fortare än du tror. Märk upp de handlingar som ingår i uppdraget men städa successivt bort sådant som inte ska sparas. Skriv dagbok i mer omfattande projekt.
- 6 En del i detta är spårbarhet. Möjlighet att kunna gå bakåt i en hanteringskedja – vid flera transformationer i sekvens, om olika geoidmodeller har använts etc.
- 7 Tillämpa beprövade och etablerade metoder. Därigenom utnyttjas andras erfarenheter och andra förstår hur du har gjort. De kan då kontrollera ditt resultat – alternativt utnyttja det i sin tur – eftersom de kan bedöma dess användbarhet.
- 8 Skaffa dig kunskap om den teknik, den utrustning och de metoder du använder – dels för att kunna utföra mätningarna på rätt sätt, dels för att förstå varför när något går fel.
- 9 I det ingår insikt om förekommande felkällor och de metoder som finns för att reducera deras inverkan på mätresultatet. Ingen kedja är starkare än sin svagaste länk.
- 10 Sätt dig även in i den tillämpning varifrån beställningen av ditt mätuppdrag kommer så att du kan anpassa kvaliteten på utförandet. För hög mätosäkerhet är naturligtvis inte acceptabelt, men även "överkvalitet" bör normalt undvikas.

- 11 Tänk efter före, dvs. planera processen i förväg. Mätuppdrag är till stor del ett logistikproblem och god planering ger vinster i såväl tid och pengar som kvalitet.

A.2 Checklista för transformationer

- 1 Innan en transformationsformel används ska dess giltighet inom projektområdet verifieras på ett antal punkter som har kända koordinater/höjder i båda systemen.
- 2 Vid användning av officiella eller av beställaren givna transformationssamband ska giltighetsområde och mätosäkerhet vara kända.
- 3 Vid bestämning av en ny transformationsformel ska minst 5 passpunkter mätas in genom två oberoende bestämningar. Restfelen i passpunkterna ska redovisas tillsammans med beräkningsresultatet.
- 4 Avståndet mellan passpunkterna, samt fördelningen av passpunkterna i området, ska anpassas efter den interna geometrin mellan referenssystemen så att skillnader i geometrin återspeglas i restfelen.
- 5 Användningen av transformationssamband ska inte ske utanför giltighetsområdet.
- 6 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.
- 7 Använda transformationssamband ska dokumenteras. Alternativt ges en referens (filnamn, parameterlista, webbadress etc.) till ett officiellt samband, publicerat av Lantmäteriet eller annan systemägare. Att enbart ange använd programvara räcker inte.
- 8 Om restfelsmodell finns ska den användas för restfelsinterpolation, vilket minskar spänningen mellan systemen och därmed mätosäkerheten. Även denna modell ska dokumenteras.
- 9 Om inte Lantmäteriets beräkningsprogram Gtrans används ska det egna transformationsprogrammet kontrolleras mot detta.

B Mätobjekt

Denna bilaga redovisar ett antal exempel på hur (svårdefinierbara) objekt kan mätas in, så att objekten definieras geometriskt på ett entydigt sätt.

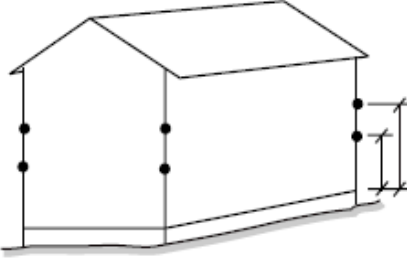
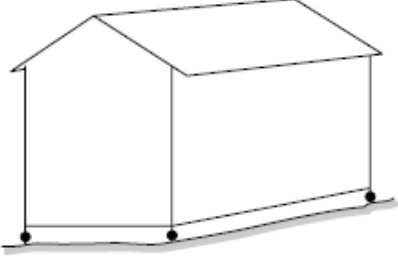
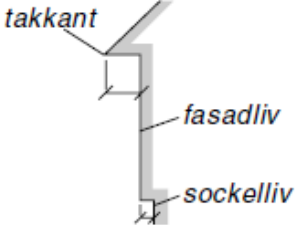
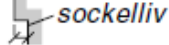

Ambitionsnivån vid inmätning kan naturligtvis variera, varför de flesta objekt redovisas nedbrutna i flera delutföranden. I vissa fall redovisas också alternativa utföranden.

Det viktiga är att klargöra vid beställning och redovisning hur objekt ska respektive har mätts.

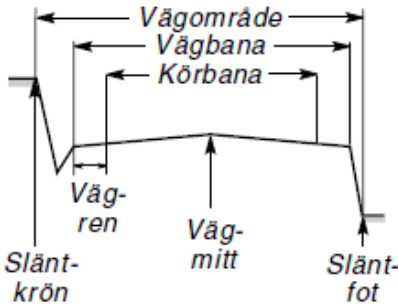


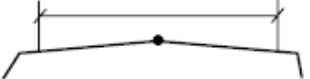

Varje objekt och utförande är numrerat. I specifikationer vid upphandling kan därigenom omfattning, alternativa utföranden och eventuella avsteg/tillägg beskrivas med referens till respektive nummer.

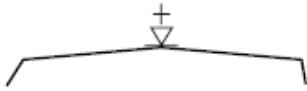
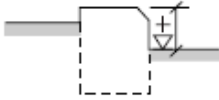

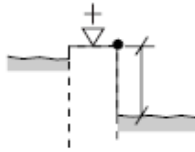
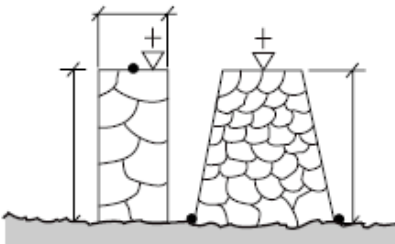
Teckenförklaring till figurerna.

- Punktläge vid inmätning i plan
- ⊕ Punktläge vid inmätning i höjd
- †† Mått i plan/höjd

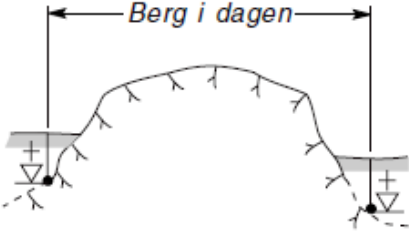
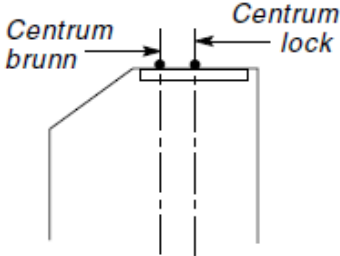
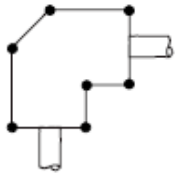
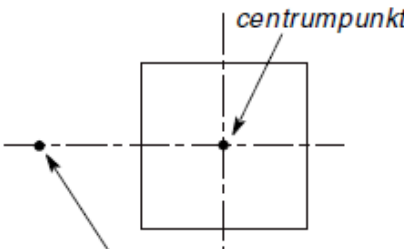
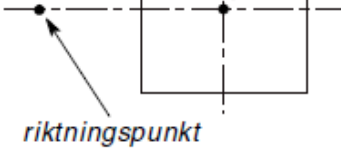
Nr	Objekt/utförande	Figur
1	BYGGNAD Plan	
1.1	Brytpunkter (hörn) på fasadliv mäts. Vid synligt lutande fasader mäts två punkter/hörn och punkternas höjd relativt sockel eller markyta anges (ex. 0.5/2.5 m över sockel).	
1.2	Brytpunkter (hörn) på sockelliv mäts.	
1.3	(Nedlodad) takkant och fasadliv bestäms relativt varandra (ex. takkant 0.4 m utanför fasad).	
1.4	Sockelliv och fasadliv bestäms relativt varandra (ex. fasad 0.08 m utanför sockel).	
	Höjd	
1.5	Punkt(er) på sockel mäts.	

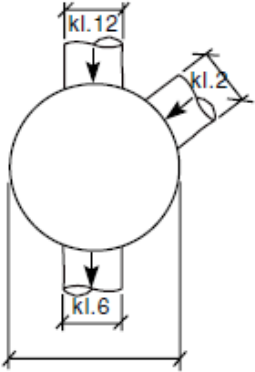
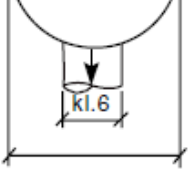
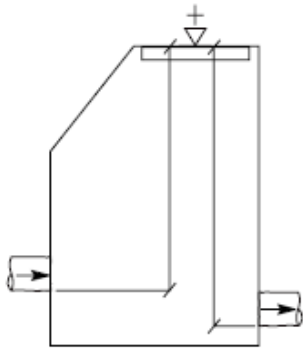

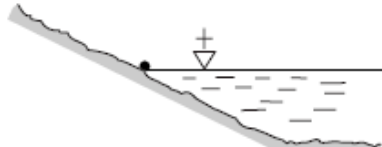
Nr	Objekt/utförande	Figur
2	TRAPPA, ALTAN Plan	
2.1	Brytpunkter (hörn) mäts direkt eller bestäms med mått från inmätta hushörn.	
2.2	Dimension för trapp-plan bestäms och antal steg anges.	
	Höjd	
2.3	Trapp-plan resp. altans överkant mäts.	
2.4	Mark framför trappa resp. anslutande mark vid altan mäts.	
Nr	Objekt/utförande	Figur
3	SKÄRMTAK Plan	
3.1	Brytpunkter (hörn) på takkant mäts direkt eller bestäms med mått från inmätta hushörn.	
	Höjd	
3.2	Golv eller mark under skärmtak mäts.	
3.3	Tak bestäms direkt eller relativt inmätt punkt på golv (mark).	

Nr	Objekt/utförande	Figur
4	<p>VÄG, GATA</p> <p>Defintioner</p> <p>Körbana: Del av väg avsedd för fordonstrafik.</p> <p>Vägbana: Körbana jämte eventuella vägrenar och uppställningsfält.</p> <p>Vägområde: Den mark som tagits i anspråk för väganordning.</p>	
	<p>Plan</p> <p>Inmätning var 20:e meter.</p>	
4.1	Vägbanekant mäts. Ange om kantsten finns. Vägbanekant avslutas vid infarter omedelbart innanför tomtgräns.	
4.2	Körbanekant mäts.	
4.3	Vägmitt mäts. Ange körbanebredd.	
4.4	Vägområdesgräns mäts.	
4.5	Kantlinje för gång-/cykelbana mäts direkt eller bestäms med breddmått från inmätt vägbane- kant.	
4.6	Kantlinje för vägbana på tomtmark mäts.	

Nr	Objekt/utförande	Figur
	Höjd Inmätning var 20:e meter vid jämn och måttlig lutning. I övrigt var 10:e meter.	
4.7	Vägmitt mäts.	
4.8	Vägbanekant mäts. Vid kantsten mäts höjden nedanför denna och kantstenshöjden anges.	
4.9	Vägområdesgräns mäts.	
5	HÄGNADER Plan	
5.1	Stödmur mäts i ytterkant.	
5.2	Smalare stenmur (<0.5 m) mäts i mittlinjen och murbredd anges.	
5.3	Bredare stenmur mäts i båda kantlinjerna vid murfot.	
5.4	Plank och staket mäts i mittlinje vid brytpunkter (stolplägen).	
5.5	Häck mäts i mittlinje.	

Nr	Objekt/utförande	Figur
	Höjd	
5.6	Murar mäts på murkrön och murhöjd anges.	Se figurer under Nr 5.1-5.3
5.7	Plank och staket mäts vid mark och plank-/stakethöjd anges.	
5.8	Häck mäts vid mark.	
6	TRÄD	
	Plan	
6.1	Stam mäts och trädslag anges.	
6.2	Stamdiameter 1.3 m över mark anges.	
6.3	Krondiameter anges.	
	Höjd	
6.4	Mark vid stam mäts.	
6.5	Trädhöjd anges.	

Nr	Objekt/utförande	Figur
7	BERG I DAGEN	
7.1	Begränsningslinje som omger synligt berg samt berg som är täckt av jord, grus etc. till < 0.1 m djup mäts.	
8	LEDNINGAR, LEDNINGSDETALJER Plan	
8.1	Ledningsbrunn mäts i centrum av lock.	
8.2	På nedstigningsbrunn rekonstrueras och mäts brunnens centrum.	
8.3	Vid mätning i öppen ledningsgrav mäts större brunnar/fundament för tele och fjärrvärme i brytpunkter (hörn).	
8.4	Mindre ledningsdetaljer (ventil, brandpost, kabelskåp etc.) mäts i centrumpunkt.	
8.5	Vid ledningsdetalj med riktad kartsymbol mäts riktningspunkt.	

Nr	Objekt/utförande	Figur
8.6	Avloppsledningars riktningar från brunn anges med klockriktning. Utgående ledning är alltid kl. 6.	
8.7	Brunnsdiameter och ledningsdiameter anges.	
8.8	Luftledningar mäts i stolplägen.	
	Höjd	
8.9	Avloppsbrunn mäts på lockets överkant, i centrum.	
8.10	Avloppsledningars vattengång (botten av rör) bestäms relativt brunnslockets överkant.	
9	STRANDLINJE, VATTENYTA	
9.1	När strandlinje inmäts i plan skall lugnvatten- ytan på minst två platser mätas i höjd.	

C Kinematisk positions- och orienteringsbestämning

C.1 Inledning

Gemensamt för all geodatainsamling från rörlig plattform är att georeferering av insamlade data sker i förhållande till sensors beräknade position under insamlingen. Vid insamlingen loggas data från GNSS och systemets IMU (*Inertial Measurement Unit*) med hög frekvens, och genom efterberäkning kan systemets position och orientering vid varje tidpunkt sedan bestämmas med mycket hög kvalitet.

En synkroniserad tidsmärkning av både positionsbestämd bana och mätdata gör det möjligt att matcha datamängderna och på så sätt georeferera insamlade mätdata.

Krav och rekommendationer i detta kapitel vänder sig både till beställaren och till utföraren. För beställaren är det till exempel viktigt att veta vilka kvalitetsparametrar som bör kontrolleras vid leverans samt vilka toleransnivåer som kan anses vara godtagbara.

C.2 GNSS

För tillfället finns två globala navigeringssystem - GPS och GLONASS - med 31 respektive 24 operationella satelliter (2013). När det europeiska systemet Galileo är fullt utbyggt (Full Operational Capability) kommer ytterligare 27 satelliter att finnas tillgängliga.

Satellitssystemen skiljer sig bland annat genom att inklinationen, det vill säga vinkeln mellan satellitbanorna och ekvatorsplanet, är 55 grader för GPS och 64,8 grader för GLONASS. Det innebär en något sämre täckning för GPS på nordligare breddgrader.

C.2.1 Felkällor

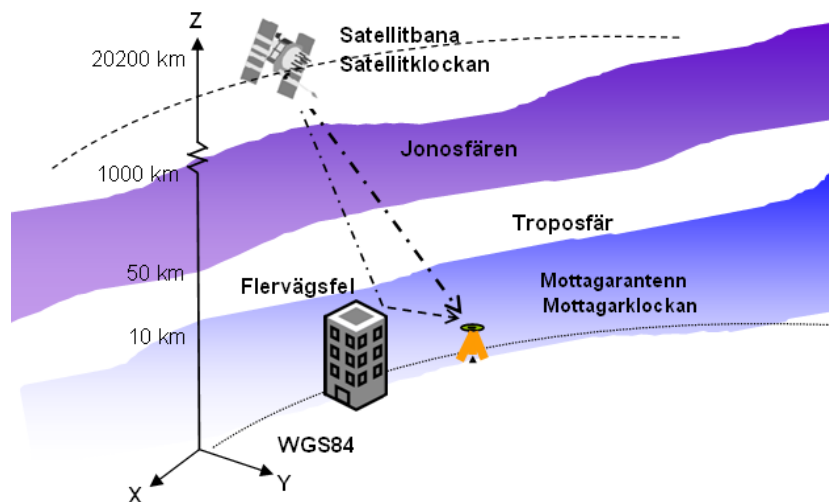
Krav

Flertalet av felkällorna kan reduceras av operatören. Denne ska ha tillräcklig kompetens för att kunna bedöma när, hur och var GNSS-mätning kan eller bör genomföras.

Information

- GNSS begränsas av felkällor som kan delas in i tre grupper. De största felkällorna i varje grupp är:
- Satellit: ban- och klockfel.
- Signalpropagering: jonosfär- och troposfärsrefraktion.
- Mottagare: Flervägsfel, antennens fascentervariation och klockfel.

De felkällor som påverkar satellitmätning går oftast att reducera eller eliminera genom att använda *relativa* mätmetoder. Vid relativ mätning används minst två mottagare, varav den ena är uppställd på en känd position.



Figur C.2.1. Felkällor som påverkar GNSS-mätning.

Operatören kan minska bidraget från många av felkällorna genom att vara medveten om när, hur och var mätning kan ske. Exempel på parametrar som påverkar mätningen är *jonosfärsförhållanden*, *flervägsfel* och hantering av *antennmodeller*, se Figur C.2.1.

För en grundligare beskrivning av GNSS och felkällorna rekommenderas HMK-Ge: GNSS och Lantmäterirapporten [Introduktion till GNSS](#).

C.2.2 Utrustning

Rekommendation

- a) Utrustningen bör kunna ta emot satellitsignaler från både GPS och GLONASS.
- b) GNSS-mottagaren bör kunna mäta samtidigt på GPS-/GLONASS-satelliternas L1- och L2-frekvens, dvs. en fler-frekvensmottagare.

En avancerad geodetisk GNSS-utrustning består av mottagare och antenn som kan hantera både *fas*- och *kod-observationer* på bägge frekvensbanden (L1 och L2). Vid realtidsmätning behövs en kommunikationslänk (GSM/Radio/GPRS) för att kunna ta emot korrektionsdata.

C.3 Tröghetsnavigeringssystem

Information

Ett tröghetsnavigeringssystem (INS) består av sensorer som mäter acceleration och vinkelhastighet för ett rörligt objekt. Sensorerna brukar benämnas tröghetsmätenhet (IMU), som tillsammans med en processor bildar ett INS.

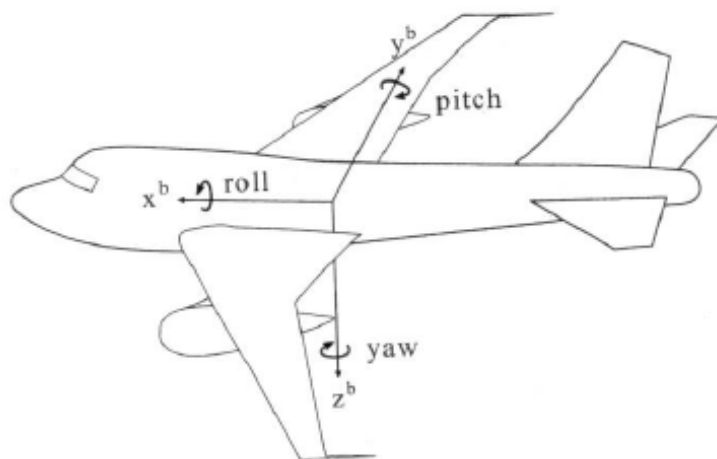
Tröghetsnavigeringssystem eller *Inertial Navigation Systems* (INS), bygger på att ett objekts hastighet och position kan bestämmas relativt ett yttre känt koordinatsystem. Ett INS består av sensorer som mäter vinkelhastigheten och en kraft som kan relateras till objektets acceleration. Sensorerna är systemets tröghetsmätenhet eller *Inertial Measurement Unit* (IMU), som via en processor omvandlar storheterna till position och hastighet.

I motsats till GNSS är INS ett *autonomt* system – oberoende av någon yttre referens förutom initialvärdena enligt leverantörens rekommendation. Systemet karaktäriseras dock av fel som ackumuleras med tiden och kombineras därför oftast med något annat system, till exempel GNSS.

C.3.1 Tröghetsmätenhet

Tröghetsmätenheten består av tre vinkelräta *accelerometrar* och *gyroskop* vilket möjliggör bestämningen av *roll*, *pitch* och *heading/yaw*, se Figur C.3.1.

- *Accelerometern* mäter de krafter (f) som sensorn är utsatt för i en viss riktning. Krafterna kan vara statiska (konstant hastighet) eller dynamiska orsakat av rörelse eller vibration. För att lösa ut accelerationen korrigeras den uppmätta kraften för tyngdkraftsaccelerationen, \tilde{g} .
- *Gyroskopet* mäter vinkelhastigheten i en riktning och kan därmed hålla reda på ändringar i positionen relativt den initiala positionen. Tre gyroskop vinkelräta mot varandra, möjliggör att positionsändringar för *roll*, *pitch* och *heading/yaw* kan bestämmas.



Figur C.3.1. Illustration av roll (x^b), pitch (y^b) och heading/yaw (z^b) (*Inertial Navigation Systems with Geodetic applications*, Jekeli C. 2001).

C.3.2 Felkällor

Osäkerheten i mätningarna med accelerometer och gyroskop ackumuleras med tiden, vilket kallas *drift*. Hur stor driften är påverkas av hårdvaran; olika systemalgoritmer samt hur länge systemet varit utan uppdaterade värden (position och hastighet) från ett externt system. Därav kommer behovet av integrering med något annat system.

Innan datainsamlingen startas, måste IMU:n initialiseras och under insamlingen bör en ominitialisering göras för att reducera/eliminera driften av IMU:n. Följ de råd och rekommendationer som ges av tillverkaren/leverantören av plattformen.

C.4 Systemintegrering av GNSS och INS

Information

GNSS och INS är två system med olika egenskaper och är därför utmärkta komplement till varandra. GNSS är beroende av en yttre referens (satelliter) medan INS är ett autonomt system.

Integrering av GNSS och INS används i stor omfattning vid kinematisk positionsbestämning, för att bland annat möjliggöra kontinuerlig mätning utan avbrott. Ur många aspekter är alltså INS och GNSS utmärkta komplement till varandra. INS och GNSS är *oberoende* respektive *beroende* av yttre referens och mätfelen är av typen *lång-* respektive *kortvågiga*. Långvågiga effekter karaktäriseras av att de ackumuleras över tid medan kortvågiga effekter är relativt stora i början men minskar med tiden.

Det finns olika nivåer av *systemintegrering*, där skillnaden är när och hur data delas mellan systemen. Här presenteras två av dem, *lös* respektive *tät* integrering (eng. loose and tight integration), se Tabell C.4.

I den lösa integreringen består av två helt separata system med var sitt så kallat *Kalman-filter*, där position och hastighet skattas utifrån indata från IMU respektive GNSS-mottagaren.

Tabell C.4. Fördelar och nackdelar för lös respektive tät systemintegrering mellan GNSS och INS.

Indata	Fördelar	Nackdelar
Lös integrering	Enkel implementering med två separerade navigeringssystem.	Systemet blir mer känsligt vid tappad låsning mot mindre än fyra satelliter.
Tät integrering	GNSS kan fortfarande uppdatera INS vid låsning mot mindre än fyra satelliter. Snabbare initialisering av periodobekanta och lägre osäkerhet i navigeringslösning.	Operatören har liten/ingen kontroll över positionsberäkningen.

Vid tät integrering skickas råa GNSS-observationer direkt till ett kombinerat Kalman-filter för GNSS och INS, där position och hastighet skattas med indata från båda systemen.

Förutom snabbare initialisering, d.v.s. bestämning av fasmätningens periodobekanta, kan GNSS fortfarande uppdatera INS vid låsning mot mindre än fyra satelliter, vilket inte är fallet i den lösa integrationen.

C.4.1 Odometer (distansmätare)

Vid fordonsburna tillämpningar används, i tillägg till GNSS och INS, en odometer (distansmätare), som i regel är monterad på fordonets däck. Distansmätaren stöttar IMU:n – speciellt när GNSS-mottagaren inte kan ta emot signaler, t.ex. i tunnlar.

Odometern har ett liknande samplingsintervall som tröghetssystemet, >100 Hz.

C.5 Beräkningsmetoder

Krav

- a) Vid efterberäkning med *Virtuell Referensstation* (VRS) ska om möjligt extrapolering undvikas och minst fyra referensmottagare som innesluter insamlingsområdet användas. Förväntad mätosäkerhet är bland annat beroende på avståndet till – och täthet mellan – referensstationerna.
- b) För PPP krävs en elevationsgräns på 5-7 grader, och minst 20 minuters konvergenstid, för att uppnå en standardosäkerhet < 100 mm.

Information

- Förväntat (schablonmässig) standardosäkerhet för relativa metoder och PPP:
- Relativ fasberäkning: Baslinjeberäkning ger 10 mm + 1-2 ppm (plan) och 30 mm + 1-2 ppm (höjd).
- Precise Point Positioning (PPP): < 100 mm plan/höjd vid användning av precisa ban- och klockprodukter från "International GNSS Service" (IGS) eller "Center for Orbit Determination in Europe" (CODE).
- Beslutet om vilken beräkningsmetod som ska användas bör bland annat baseras på tillgängliga referensmottagare och krav på mätosäkerhet.

Beräkning av insamlad data kan göras genom att använda en eller flera *referensmottagare – relativ eller absolutberäkning*. Dock begränsas metoderna av avståndet till referensmottagarna, som inte bör överstiga rekommenderade baslinjelängder för att erhålla en viss standardosäkerhet. En sammanställning över beräkningsmetoderna redovisas i Tabell C.5. Termen *baslinje* avser avståndet mellan referens- och den rörliga GNSS-mottagaren.

Relativ fasberäkning

Relativ efterberäkning kan göras mot en eller flera referensmottagare. Generellt gäller att vid korta baslinjer (20-30 km) kan fel-

källorna (jonosfär, troposfär och satellitbanor) anses vara korrelerade och därmed kan felen elimineras/reduceras.

Vid efterberäkning beräknas i de flesta fall periodobekanta från två riktningar, start och slut. För att kunna bestämma periodobekanta från bägge riktningar måste den mobila enheten ligga inom en viss radie från närmaste referens. Avståndet varierar beroende på beräkningsstrategi/programvara, följ rekommendationer från tillverkaren.

- **Enkelstation:** Beräkningen baseras på korta baslinjer (20-30 km) och bygger på att felkällorna vid referensmottagare och den rörliga mottagaren är kraftigt korrelerade och kan därmed elimineras/reduceras. Vid längre baslinjer och stora höjdskillnader bör annan beräkningsmetod användas.
- **Multi-station:** Vid beräkningen används flera referensmottagare. Beräkningen är uppbyggd genom att sekventiellt beräkna varje baslinje mellan referensmottagaren och den rörliga GNSS-mottagaren för att därefter kombinera ihop lösningarna i en *nätutjämnning*. Baslinjen under mätning kan ökas genom att t.ex. kombinera ihop flera frekvenser (så kallad jonosfärsfri linjärkombination).
- **Virtuell Referensstation:** Utifrån omkringliggande referensmottagare skapas en yttäckande modell som skattar effekten av *jonosfär, troposfär* och *satellitbanor* för det aktuella området. Med hjälp av denna modell skapas en *Virtuell Referensstation (VRS)*, i närheten av GNSS-mottagaren, som är korrigerad för felkällorna utifrån modellen. Mottagarens position bestäms relativt VRS:en som om data kom från en fysisk enkelstation.
Till skillnad från övriga relativa metoder bör operatören vara medveten om att referensmottagarna måste innesluta insamlingsområdet (minst fyra referensmottagare), det vill säga extrapolering bör undvikas vid positionsbestämning. Förväntat standardosäkerhet beror dels på avståndet mellan referensstationerna i nätverket och dels på hur långt från närmaste station den rörliga mottagaren befinner sig.

Precise Point Positioning (PPP)

Precise Point Positioning (PPP) är en metod som baseras på odifferentierade kod- och fas-observationer, och har fördelen att inga lokala referensmottagare behövs.

Med endast en mottagare och precisa ban- och klockprodukter från IGS/CODE, tillsammans med eventuella atmosfärskorrekktioner, möjliggörs positionering på sub-decimeternivå för kinematiska till-

lämpningar. Förväntat standardosäkerhet vid kinematisk positionsbestämning är < 100 mm i plan och höjd.

Beroende på antal tillgängliga satelliter, och utan atmosfärskorrekationer, konvergerar PPP efter ca 20 minuter, och inom 10 minuter har lösningen en standardosäkerhet < 250 mm.

Med precisa atmosfärskorrekationer och vid integrering med INS reduceras konvergenstiden. Elevationsgränsen, för flygburna tillämpningar, rekommenderas till 5-7 grader.

Tabell C.5. Sammanställning över olika beräkningsmetoder och förväntad standardosäkerhet för respektive metod. VRS står för Virtuellt Referensstation och är en programvaruspecifik beräkningsmetod.

Metod	Relativa metoder			Semi-absolut
	Enkelstation	Multi-station	VRS	PPP (kinematisk)
Standardosäkerhet - plan/höjd [mm]	10/30 + 1-2 ppm	10/30 + 1-2 ppm	-	< 100
Rekommenderad baslinje [km]	< 20-30	< 75	Innanför definierat nätverk	-

C.6 Insamlingsprocessen

Information

Insamlingsprocessen för flygburna tillämpningar kan delas in i tre delar:

- 1) Planering och förberedelse
- 2) Datainsamling
- 3) Efterbearbetning

Vid insamling av data kan processen delas in i tre delar: planering och förberedelse, datainsamling respektive efterbearbetning. Delarna är lika viktiga och – korrekt utförda – bidrar de alla till att minska risken för fel som medför att mätningen måste göras om. Råd och rekommendationer som ges förutsätter att datamängden har samlats in med en *flerfrekvens-mottagare* och genom *kinematisk, relatiomätning*.

C.6.1 Planering och förberedelser

Krav

- a) För att undvika flervägsfel och signalstörningar ska om möjligt GNSS-antennen placeras på behövt avstånd (\geq meter) från övriga antenner. Varierande eller lågt "signal-to-noise"-tal (SNR) indikerar störningar på mätsignalen.
- b) För att undvika mätning under ogynnsamma förhållanden ska aktuell satellitkonfiguration och jonosfärsaktivitet kontrolleras via till exempel Lantmäteriets jonosfärsmonitor.
- c) Sker datainsamling i gränstrakterna ska tillgång till referensdata i angränsande länder säkerställas.

Före datainsamling ska planering av insamlingsrutten göras, bland annat för att säkerställa tillgängligheten på satelliter och referensdata. Detta är speciellt viktigt vid datainsamling på nordliga (> 64 grader) breddgrader.

- **Flervägsfel:** Flervägsfel är normalt inget problem vid flygburen insamling, men kan vara svåra att upptäcka om de förekommer. En indikation på störningar i signalen är ett för lågt eller varierat *signal-to-noise-tal*. Hänsyn bör tas till detta vid installation av GNSS-antennen, följ rekommendationer från tillverkare/leverantör. Exkludera för lågt liggande satelliter - de kan öka förekomsten av flervägsfel.
- **Jonosfärsprediktion:** Jonosfären är den enskilt största felkällan och kan ge upphov till bland annat svårigheter att bestämma periodobekanta (fixlösning). Vid låg jonosfärsaktivitet kan fördröjningen elimineras genom att kombinera frekvenserna, s.k. *jonosfärsfri linjärkombination*. Däremot, vid hög jonosfärsaktivitet reduceras endast fördröjningen, vilket kan medföra svårigheter att beräkna långa baslinjer. På Lantmäteriets webbplats fås aktuell jonosfärsstatus; följ dessa råd!

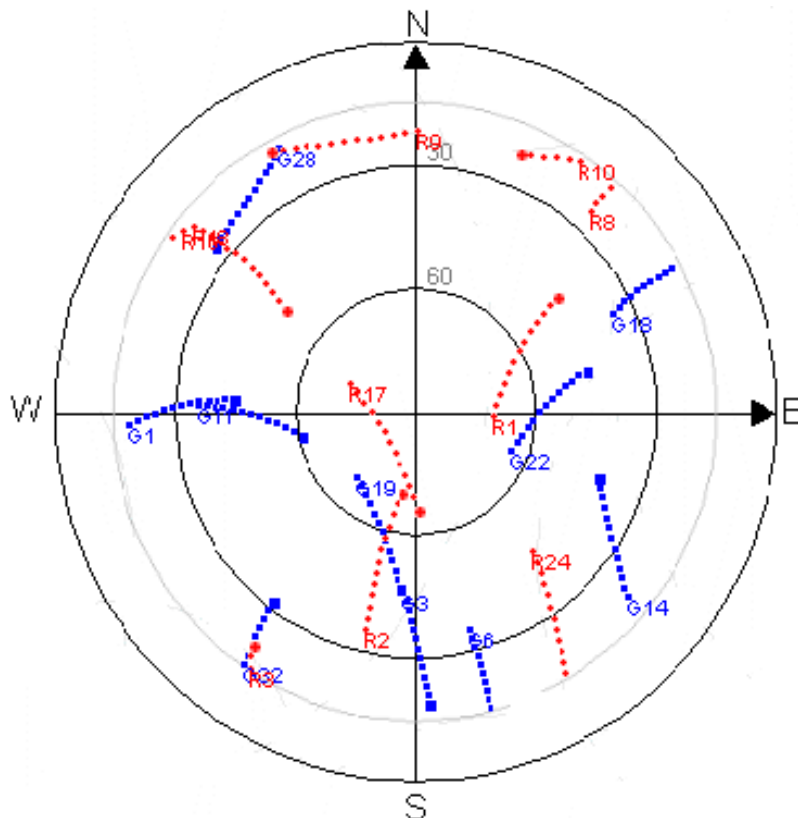
<https://swepos.lantmateriet.se/tjanster/jonomonitor/jonomonitor.aspx>

- **Kalibrering av instrument:** För att insamlade mätdata ska kunna georefereras med hög kvalitet måste förhållandet mellan GNSS-antenn, systemets IMU och ingående sensorer vara känt. System för luft- eller fordonsburen insamling är vid leverans internt kalibrerade av leverantören.

Kalibreringen verifieras sedan med jämna mellanrum, exempelvis vid årlig service. Vektorn mellan IMU och GNSS-antenn bestäms vanligen med totalstation för att säkerställa en låg mätosäkerhet, och kalibreringsparametrarna verifieras normalt i samband med varje nytt insamlingstillfälle.

- **Referensstationer:** Vid datainsamling kan referensdata från angränsande länder behövas. Lantmäteriet har beräknade koordinater i SWEREF 99 för flertalet av de angränsande referensstationerna. Referensdata tillhandahålls däremot av respektive operatör i det aktuella landet. Se Tabell 2.2.1 för en lista på operatörer i våra grannländer.
- **Satellitkonfiguration:** Satellittillgängligheten och satellitgeometrin varierar över dagen och bör därför kontrolleras innan insamling. Satellitgeometrins påverkan på förväntad mätosäkerhet kallas *Dilution of Precision*, och anges ofta med det s.k. PDOP-talet. Lantmäteriet har en e-tjänst där satelliter och satellitgeometri för GPS och GLONASS redovisas för valfri tid, position och elevationsvinkel, se Figur C.6.1.

https://swepos.lantmateriet.se/tjanster/preddop/_in.aspx



Figur C.6.1. Skyplot som visar hur GPS (blå) och GLONASS (röda) satelliter förflyttar sig under en timme i förhållande till en GNSS-antenn på den 60:e breddgraden. Den ljusa linjen är vald elevationsvinkel på 15 grader.

C.6.2 Datainsamling

Rekommendation

- a) Minsta antalet satelliter för att bestämma periodobekanta vid kinematisk tillämpning är fem. Fler satelliter ger, teoretiskt, en bättre slutlösning.
- b) Vid VRS-beräkning ska GNSS-mottagaren ligga innanför det definierade nätverket under hela datainsamlingen.
- c) Satellitgeometrin definieras av DOP. Rekommenderat maximalt värde för PDOP är 2.
- d) Loggningsintervallet för INS och GNSS bör ske så tätt som möjligt, 200-250 Hz respektive 1-10 Hz.

Före och under datainsamlingen är det nödvändigt att kontrollera vissa kvalitetsparametrar för att säkerställa att den insamlade datamängden inte har påverkats av för få satelliter eller dålig satellitgeometri (Dilution Of Precision - DOP). Satellitgeometrin är speciellt viktig att observera vid skymd sikt.

- **Antal satelliter:** Vid initialisering av periodobekanta behövs minst fem satelliter. Under mätning ska GNSS-mottagaren ha låsning på minst fyra satelliter - men ytterligare satelliter ökar redundansen vid beräkning. Vid kombination med INS och odometer kan tappad låsning mot satelliter hanteras vid korta tidsintervaller, och beroende på plattform även färre satelliter än fyra.
- **Avstånd till närmaste referensmottagare:** Beroende på beräkningsmetod, bör GNSS-mottagaren befinna sig inom en viss radie från närmaste referensstation vid initialisering (bestämning av fixlösning), följ råd och rekommendationer från tillverkare/leverantör.
- **Loggningsintervall:** En av fördelarna med att använda *INS* är att loggning av data kan ske med väldigt täta intervaller, 200-250 Hz. GNSS-mottagaren bör kunna logga data med en frekvens av 1-10 Hz.
- **Satellitgeometrin:** PDOP anger satelliternas tredimensionella geometriska spridning i förhållanden till GNSS-antennen. Parametern bör uppmärksammas vid skymd sikt och på högre breddgrader ($>60^\circ$), rekommenderade värden PDOP < 2 (idealt), PDOP < 4 (godtagbart).

C.6.3 Efterbearbetning

Krav

Absolutkalibrerade antenmodeller ska alltid användas för att kunna relatera GNSS-observationer till en fysisk punkt (antennens referenspunkt).

Rekommendation

- a) För att säkerställa en bra lösning bör periodobekanta (fixlösning) bestämmas från bägge riktningarna (framåt- och bakåtlösning).
- b) Elevationsgränsen bör ligga i intervallet 13-20 grader för GPS och GLONASS.
- c) Eftersträva att alltid använda precisa ban- och klockprodukter.

Information

Vid efterberäkning kommer slutkoordinaterna att vara definierade i samma referenssystem som referensdata. SWEPOS-stationernas koordinater är definierade i SWEREF 99 (Sveriges ETRS 89-realiserings), vilket inte är detsamma som WGS 84 (ITRF2008).

Nedan ges några generella råd och rekommendationer för efterberäkning av kinematiskt insamlade "bandata". För programvaruspecifika råd hänvisas läsaren till respektive tillverkare/leverantör.

- **Antennmodell:** GNSS-observationer relateras till abstrakta punkter i eller i närheten av antennens elektriska centrum. För att kunna relatera observationerna till en fysisk punkt måste en antennmodell användas. Absoluta modeller från IGS/NGS ska användas vid beräkning. Kalibrerade antenmodeller kan hittas på:

<http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>

- **Elevationsgräns:** Signaler från satelliter på lägre elevationer (nära horisonten) bör undvikas. För att exkludera satelliter

vid horisonten sätts en elevationsgräns. Dock är det viktigt att samtidigt kontrollera att PDOP-värdet inte ökar.

- **Referenssystem:** Vid efterberäkning med data från SWEPOS referensstationer kommer koordinaterna att vara definierade i referenssystemet SWEREF 99 (ETRS 89). Vid PPP-beräkning, kommer koordinaterna däremot att vara definierade i WGS 84 (ITRF08). Skillnaden mellan WGS 84 och SWEREF 99 är ungefär 0,5 meter. För mer information, se [Infoblad n:o 9 – SWEREF 99 och WGS 84](#).
- **Positionslösning:** Fixlösning bör beräknas från bägge riktningar för möjlighet att kontrollera beräkningen. Differensen mellan lösningarna bör ligga nära noll, vilket betyder att periodobekanta har blivit lösta med samma heltal från bägge riktningarna. I Tabell C.6.3. listas förväntade (schablonmässiga) osäkerheter för fix- och flytlösning samt absolutbestämning.

Tabell C.6.3. Förväntad (schablonmässig) standardosäkerhet för fix- och flytlösning samt absolutbestämning för plankomponenten. Osäkerheten i höjd brukar kunna skattas enligt $1.5 * \text{plan}$.

Kvalitet	Standardosäkerhet (plan)
Fixlösning	< 10 cm
Flytlösning	> 30 cm
Absolutbestämning	> 1 m

- **Precisa ban- och klockprodukter:** Eftersträva alltid att använda precisa ban- och klockprodukter. Produkter kan hämtas från CODE (*Center for Orbit Determination in Europe*) eller IGS (*International GNSS Service*). Produkter från IGS:

<http://igsb.jpl.nasa.gov/components/compindex.html>

C.7 Leverans

Det finns ingen standard för leverans av "bandata". Information motsvarande Tabell C.7 bör alltid finnas med i leveransen, oavsett filformat. Det är även lämpligt att redovisa PDOP och antal satelliter per tidpunkt i filen, om sådana data finns tillgängliga.

Produktionsdokumentationen bör, om informationen inte ingår i levererad fil enligt ovan, även inkludera grafer som redovisar standardosäkerhet i orienteringselementen, PDOP, antal satelliter och

differens mellan framåt- och bakåtlösning för de data som insamlats rörande rutten (banan).

Tabell C.7. Obligatoriskt innehåll vid redovisning av "bandata". De två första raderna (stråk-ID och GPS-tidstyp) är gemensam information i filhuvud, medan övriga rader är information per tidpunkt.

Värde	Kommentar
Stråk-ID	Heltal
GPS-tidstyp	0 = veckotid, 1 = absolut tid
GPS-tid	Sekunder med 4 decimaler
Northing (N)	Meter med 3 decimaler
Easting (E)	Meter med 3 decimaler
Up (RH_2000)	Meter med 3 decimaler
Roll	Grader med 5 decimaler
Pitch	Grader med 5 decimaler
Heading/yaw	Grader med 5 decimaler
Standardosäkerhet N/E	Meter med 3 decimaler
Standardosäkerhet Up	Meter med 3 decimaler
Standardosäkerhet roll/pitch	Grader med 4 decimaler
Standardosäkerhet heading	Grader med 4 decimaler