

**HMK**  
- handbok i mät- och kartfrågor

# Geodetisk infrastruktur

2017



## Förord 2017

2017 års revision av de HMK-dokument som beskriver geodetisk infrastruktur och geodetisk mätning har utförts av en arbetsgrupp bestående av Linda Ahlm, Anders Alfredsson, Lars Jämnäs, Kent Ohlsson (samtliga Lantmäteriet) och Lars Kvarnström (LTK Geodesi). Liselotte Lundgren Nilsson (Lidingö stad), Per-Åke Jureskog (Metria) samt medarbetare på enheten för geodetisk infrastruktur (Lantmäteriet) har på olika sätt bidragit med granskning av dokumenten.

Ett nytt dokument har tillkommit sedan 2015: *HMK – Kravställning vid geodetisk mätning*. I och med detta så fasas det äldre dokumentet *HMK – Referenssystem och geodetisk mätning* ut. Övriga dokument kvarstår i reviderad form.

Gävle 2017-08-31

/Lars Jämnäs, samordnare HMK-Geodesi

[Samlade Förord](#)

# Innehållsförteckning

<b>1 Inledning .....</b>	<b>5</b>
1.1 Geodetisk mätning i HMK.....	5
1.2 Om dokumentet .....	6
1.3 Avgränsningar.....	6
<b>2 Geodesi .....</b>	<b>7</b>
2.1 Referenssystem.....	7
2.1.1 Olika typer av referenssystem .....	8
2.1.2 Kartprojektioner .....	10
2.1.3 Geodynamik .....	12
2.1.4 Relationer mellan olika referenssystem.....	13
2.2 Geoidmodeller.....	16
2.2.1 SWEN16.....	16
2.2.2 SWEN08.....	<b>Fel! Bokmärket är inte definierat.</b>
2.3 Koordinattransformationer och samband .....	18
2.3.1 SWEREF 99 – RT 90 .....	20
2.3.2 SWEREF 99 – Lokala referenssystem.....	21
2.3.3 RH 2000 – RH 70 (RH 00).....	21
2.3.4 X,Y,Z – lat, long, ellipsoidhöjd.....	21
2.4 Geografiskt indexsystem.....	21
2.5 Inspire .....	23
<b>3 Nationell Geodetisk infrastruktur .....</b>	<b>24</b>
3.1 SWEREF 99.....	24
3.1.1 Definition och realisering av SWEREF 99 .....	24
3.1.2 Projektionszoner .....	24
3.1.3 Aktiva referensnät .....	26
3.1.4 Passiva referensnät .....	27
3.2 RH 2000 .....	28
3.2.1 Definition och realisering av RH 2000 .....	28
3.2.2 Referensnät .....	29
3.3 Stompunktsinformation.....	29
<b>4 Lokal geodetisk infrastruktur .....</b>	<b>30</b>
4.1 Lokala referenssystem.....	30
4.1.1 Kommunala referenssystem i plan.....	30
4.1.2 Kommunala referenssystem i höjd.....	30
4.1.3 Fristående och projektanpassade system .....	31

4.2 Lokala stomnät .....	31
4.3 GNSS-stomnät .....	33
4.3.1 Anslutningsnät för samhällsbyggnad.....	33
4.3.2 Anslutningsnät för infrastruktur .....	36
4.3.3 Anslutningspunkter, beräkningstjänst .....	38
4.3.4 Bruksnät med statisk GNSS.....	39
4.4 Terrestra bruksnät.....	40
4.4.1 Triangelnät.....	40
4.4.2 Polygonnät .....	41
4.4.3 Polygontåg .....	42
4.5 Markering.....	43
<b>5 Referenser/Läs mer .....</b>	<b>45</b>
5.1 Referenser.....	45
5.2 Andra publikationer .....	45
<b>A Allmänna geodetiska riktlinjer .....</b>	<b>46</b>
A.1 Checklista, God mätsed.....	46
A.2 Checklista för transformationer .....	47
A.3 Schablonskattade standardosäkerheter .....	48
<b>B Kinematisk positions- och orienteringsbestämning.....</b>	<b>50</b>
B.1 Inledning .....	50
B.2 GNSS .....	50
B.2.1 Felkällor.....	51
B.2.2 Utrustning.....	52
B.3 Tröghetsnavigeringssystem.....	52
B.3.1 Tröghetsmåtenhet .....	53
B.3.2 Felkällor.....	53
B.4 Systemintegrering av GNSS och INS .....	54
B.4.1 Odometer (distansmätare).....	55
B.5 Beräkningsmetoder.....	55
B.6 Insamlingsprocessen.....	58
B.6.1 Planering och förberedelser.....	58
B.6.2 Datainsamling .....	60
B.6.3 Efterbearbetning.....	62
B.7 Leverans .....	64

# 1 Inledning

## 1.1 Geodetisk mätning i HMK

Geodetisk mätning behandlas i följande HMK-dokument (kortformerna av dokumentnamnen inom parentes):

- [HMK - Geodetisk infrastruktur 2017](#) (HMK-GeInfra 2017) beskriver de referenssystem och den geodetiska infrastruktur som används i Sverige, nationellt och lokalt.
- [HMK - Stommätning 2017](#) (HMK-Stom 2017) beskriver stommätning med statisk GNSS, totalstation och avvägningsinstrument.
- [HMK - Terrester detaljmätning 2017](#) (HMK-TerDet 2017) beskriver inmätning och utsättning med totalstation och avvägningsinstrument.
- [HMK - GNSS-baserad detaljmätning 2017](#) (HMK-GnssDet 2017) beskriver inmätning och utsättning med GNSS/RTK-teknik.
- [HMK - Kravställning vid geodetisk mätning 2017](#) (HMK-GeKrav 2017) utgör stöd för beställare vid upprättande av teknisk specifikation vid geodetiska mätarbeten, samt stöd till utförare vid val av lämplig mätmetodik.

Syftet med dessa fem dokument är i första hand att förse beställare och utförare med en kunskapsbas för att kunna nyttja och utvärdera geodetiska mätmetoder på bästa sätt, utifrån behov och förutsättningar.

Målgrupperna beställare och utförare förutsätts gälla i vid mening. Riktlinjerna i HMK är därför inte begränsade till upphandling av mätningstekniska tjänster, utan bör även kunna användas som underlag för sådana regelverk, rutiner eller kravspecifikationer som formuleras internt inom den egna organisationen.

Samtliga publicerade HMK-dokument finns tillgängliga för nedladdning via [lantmateriet.se/hmk](http://lantmateriet.se/hmk).

Se [HMK - Introduktion 2017](#), avsnitt 1.7 för hänvisningsregler.

Frågor om upphandling, tillstånd och sekretess behandlas i [HMK - Introduktion 2017](#), kapitel 3.

Tekniska termer och förkortningar förklaras i [HMK - Ordlista och förkortningar](#), senaste version.

## 1.2 Om dokumentet

HMK - Geodetisk Infrastruktur 2017 (i kortform: HMK-GeInfra 2017) är främst ett informationsdokument om referenssystem och referensnät. Dokumentet syftar till att ge stöd till de metodbeskrivande dokumenten avseende grundläggande geodesi samt referenssystem.

Avsnitt 2 beskriver övergripande geodetiska begrepp, med utgångspunkt i den geodesi som är aktuell för att beskriva vår nationella geodetiska infrastruktur.

Avsnitt 3 och 4 beskriver geodetisk infrastruktur utifrån nationellt respektive lokalt perspektiv.

Bilaga A innehåller allmänna geodetiska riktlinjer med checklistor för god mätsed samt transformationer och schablonskattade mätosäkerheter.

Bilaga B beskriver Kinematisk positions- och orienteringsbestämning och härstammar i sin helhet från HMK-Referenssystem och geodetisk mätning 2014; ingen bearbetning av bilagan har skett. På sikt kommer denna bilaga arbetas in i annat HMK-dokument och utgå från HMK-Geodesi.

## 1.3 Avgränsningar

HMK-GeInfra 2017 är tillämpligt för en stor del av den geodetiska verksamhet som ryms under rubriken "samhällsmätning", dvs. stom- och detaljmätning inom plan- och kartläggning, bebyggelseexploatering, förrättningsverksamhet i tätort, samt för infrastrukturprojekt.

Beställaren bör avgöra om och när branschspecifika dokument ska tillämpas.

## 2 Geodesi

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 antingen vara passiva eller aktiva.

- *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](http://www.lantmateriet.se/geodesi)

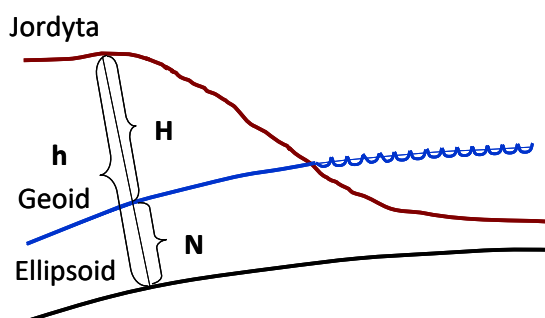
### 2.1 Referenssystem

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 projektionszonerna, 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

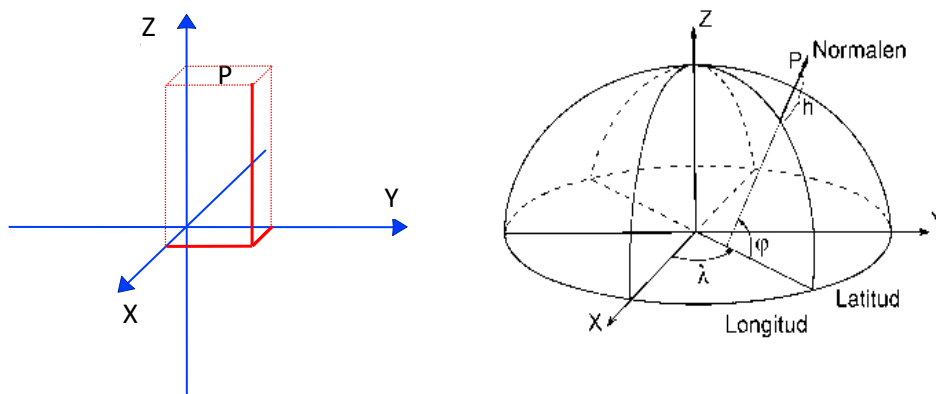
#### Tredimensionella system (3D)

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 ( $\varphi$ ), longitud ( $\lambda$ ) och höjd över ellipsoiden ( $h$ ). Koordinater kan räknas om mellan de båda uttryckssätten, se avsnitt 2.3.4.





**Figur 2.1.1.** De två uttryckssätten för positioner i 3D. Geocentriska koordinater ( $X, Y, Z$ ) till vänster och geodetiska koordinater latitud ( $\varphi$ ), longitud ( $\lambda$ ) 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 de bildar ett högerorienterat tredimensionellt koordinatsystem.

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,  $90^\circ$  N i nordpolen och  $90^\circ$  S i sydpolen. Longituden anger vinkeln i öst-västlig ledd och utgår från nollmeridianen, räknas positivt österut och negativt västerut, alternativt används beteckningarna E och 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 decimala grader vid maskin-till-maskin-tillämpningar och formatet grader, minuter och sekunder (med eventuella decimaler) i övriga fall. Latitud bör normalt anges före longitud.

### Plana koordinatsystem (2D)

Tvådimensionella referenssystem - (plana) koordinatsystem - har ingen direkt koppling till höjdkomponenten. Exempel är RT 90 och

lokala eller 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 är i slutfasen av arbetet med ett nytt tyngdkraftssystem, RG 2000, som beräknas vara klart under senare delen av 2017. 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 och 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 har den använts både i de äldre nationella systemen och nu även i SWEREF 99.

Kartprojektionerna 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 det område där projektionen tillämpas.
N-avdrag	Konstant avdrag för den nordliga koordinaten. Vanligtvis satt till noll (0).
E-tillägg	Konstant tillägg i östlig ledd för att undvika negativa koordinater.

För mer information om vilka parametervärden som är aktuella för SWEREF 99, se avsnitt 3.1.2.

### 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. Om strikt UTM används 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 öst-västlig utbredning. Projektionsplanet utgörs av en kon som placeras med en eller två standardparalleller.

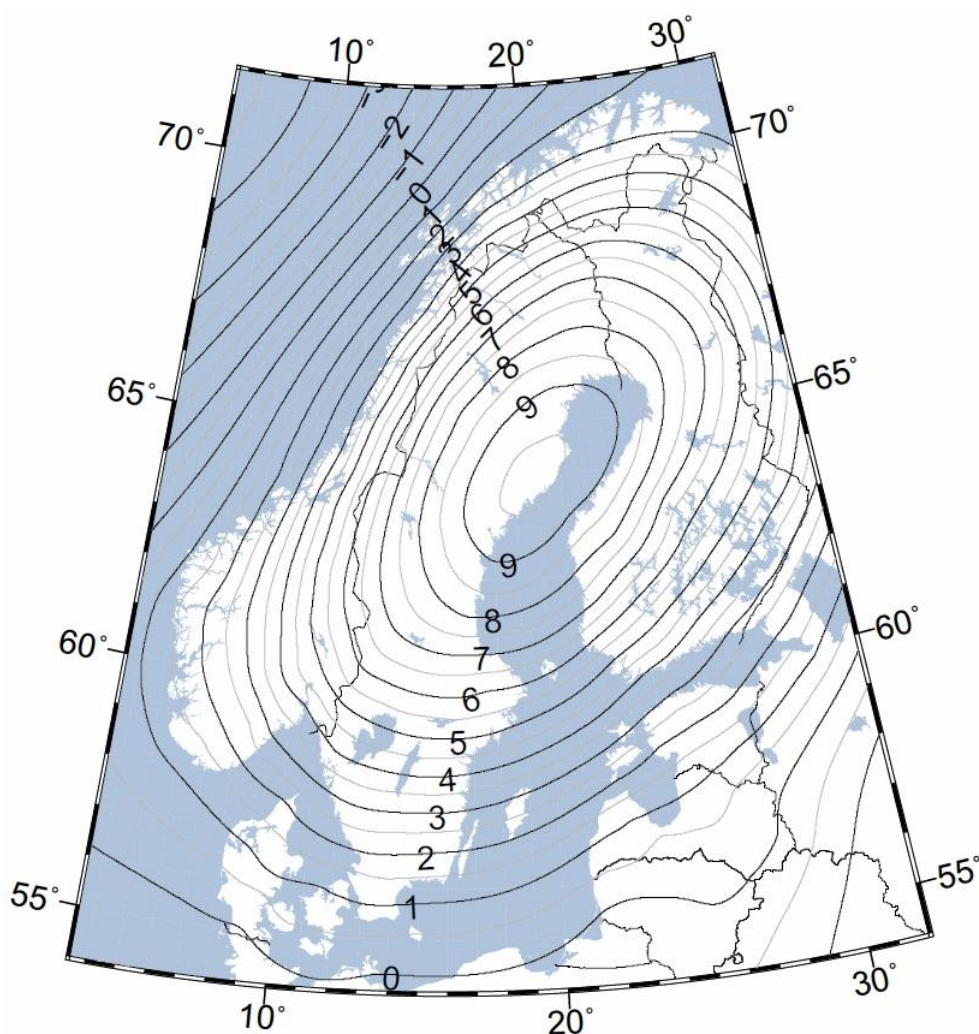
Vid datautbyte enligt Inspire i referenssystemet ETRS89 kan bland annat ett projektionsplan anpassat för Europa användas, vilket då benämns ETRS89 LCC.

### 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 kilometer tjocka isen under senaste istiden.

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



**Figur 2.1.3.** Landhöjningsmodellen NKG2016LU.

#### Kontinentaldrift

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

referenssystem relativt snabbt deformeras. På internationell nivå medför det att referenssystemen måste hanteras med epoker, dvs. att en koordinatbestämning avser en viss tidpunkt.

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 ETRS89 och på motsvarande sätt är referensepoken med avseende på kontinentaldriften satt till 1989, se avsnitt 3.1.1.

### Geoiden

När begreppet "höjd över havet" används i dagligt tal är det i striktare mening höjd över *geoiden* som avses. Geoiden är den nivå-yta 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 ETRS89 (*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 överensstämmer med den anslutna ITRF-lösningen på cm-nivå. För närvarande är skillnaden mellan SWEREF 99 och WGS 84 drygt en halvmeter.

ETRS89 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 [Infoblad 15](#).

I Sverige realiseras de europeiska referenssystemen av SWEREF 99 och RH 2000, se avsnitten 3.1 respektive 3.2.

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 3.1). SWEREF 99 är den svenska realiseringen av ETRS89, 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 ETRS89-realiseringarna. Alla värden i mm. (Häkli et.al 2015)

Land	Referenssystem	dN	dE	dU
Danmark	ETRS89	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 RH 2000 vid respektive riksgräns. Enhet: mm.

Land	Benämning	Skillnad mot RH 2000
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 dem 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 och 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 de 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 *höjdsift* (dvs. en konstant) bestämmas för att få en approximativ koppling till RH 2000. Detta bör dock inte betraktas som en slutlig lösning 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](http://www.lantmateriet.se/refsys).

Status för kommunernas införande av SWEREF 99 och RH 2000 kan följas på webbplatsen [PROFS](#).

## 2.2 Geoidmodeller

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 höjdd-korrektionsmodell eller höjdomvandlingsmodell. Då korrektionerna ifråga är väldigt små används vanligtvis begreppen geoidmodell eller geoidhöjdsystem.

### 2.2.1 SWEN17\_RH2000

Just nu gällande (februari 2018) nationella geoidmodell är SWEN17\_RH2000, som ger höjder i systemet RH 2000; se Figur 2.2.1.

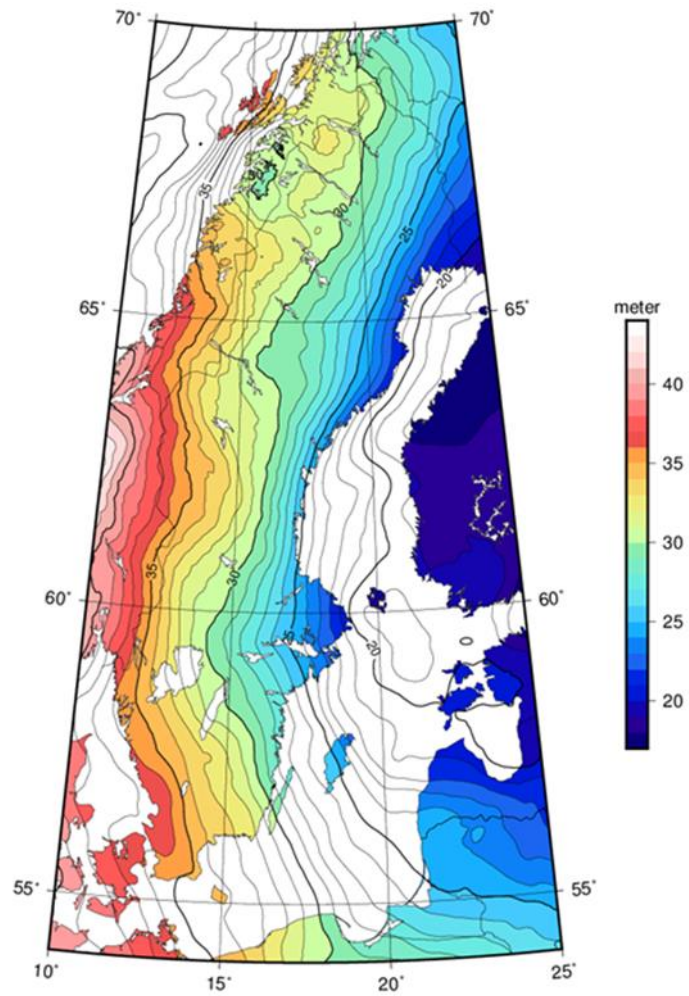
Osäkerheten för en geoidhöjd ur SWEN17\_RH2000 har skattats till 8-10 millimeter (uttryckt som standardosäkerhet) på fastlandet, Öland och Gotland. Ett fåtal områden har större osäkerhet – bl.a. längst upp i norr nära gränsen mot Norge, i Vättern, och de allra högsta fjällen i nordväst. Detta beroende på glesare data samt svårigheten att modellera geoiden i bergsområden. Även till havs har geoidmodellen större osäkerhet; standardosäkerhet ca 2-3 centimeter i kustnära vatten och troligen runt 5-10 centimeter längre ut. Arbete med att förbättra geoidmodellen i Östersjön pågår för närvarande i EU-projektet FAMOS.

Vid höjdbestämning med GNSS tillkommer dessutom osäkerheten i själva GNSS-mätningen. 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. En närmare beskrivning av geoidmodellen SWEN17\_RH2000 finns på <http://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/GPS-och-geodetisk-matning/Referenssystem/Geoiden/Svenska-geoidmodeller/>.

På samma sätt som tidigare har en systemmodell kallad SWEN17\_RH70 beräknats för det tidigare nationella höjdsystemet RH 70.

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





**Figur 2.2.1. Geoidmodellern SWEN17\_RH2000.**

## 2.3 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 3.1.2.

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.

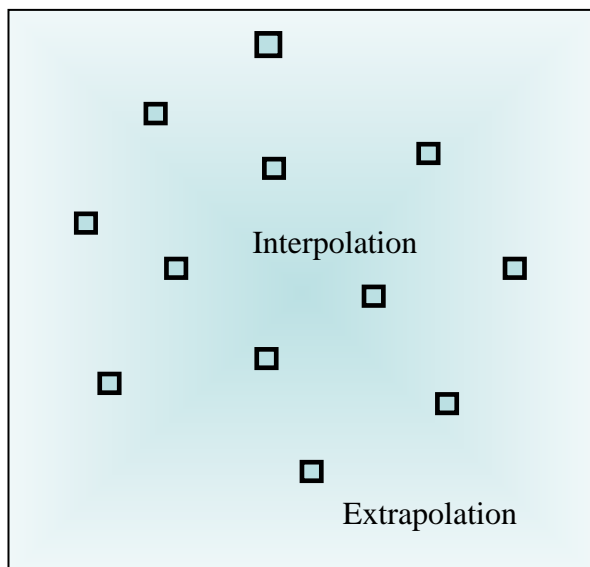
Då en koordinattransformation blir nödvändig hanteras den enligt checklistan i Bilaga A.2. Särskilt viktigt är att undvika extrapolation – användning utanför transformationsformelns giltighetsområde (se Figur 2.3).

*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 definitions mässiga/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 2.3.** 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 2.3. 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 ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ) 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 transformationssamband 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 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.

### 2.3.1 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 2.3.1, och restfelsmodellen är bland annat implementerad i programvaran Gtrans.

**Tabell 2.3.1.** 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, $\lambda_0$	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 med en 7-parametertransformation officiellt publicerat, men det ska alltså inte användas.

### 2.3.2 SWEREF 99 – Lokala referenssystem

Transformationssamband 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 införs.

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

Vid de kommunala övergångarna till SWEREF 99 har vanligtvis RIX 95-sambandet kompletterats med en restfelsmodell för att ta hand om deformationer och spänningar i det lokala referenssystemet.

### 2.3.3 RH 2000 – RH 70 (RH 00)

När det gäller transformationer i höjdled 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](#).

### 2.3.4 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](#).

## 2.4 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 infoblad om referenssystem och transformationer. Systemet relateras till SWEREF99 TM, men kan även användas i de regionala zonerna tillsammans med zonbeteckning.

## 2.5 Inspire

EU-direktivet Inspire beskrivs i [HMK - Introduktion 2017](#), avsnitt 3.5. Data som utbyts enligt Inspire ska anges i ett antal listade referenssystem och koordinatsystem, se tabell 2.5. SWEREF 99 och RH 2000 uppfyller kraven för att motsvara ETRS89 respektive EVRS.

**Tabell 2.5.** Referens- och koordinatsystem för datautbyte enligt Inspire.

Koordinattyp	Koordinatsystem	Skalområde
Tredimensionellt	ETRS89 (X,Y,Z)	-
Tredimensionellt	ETRS89 (lat, long, ellh)	-
Plan	ETRS89-LAEA	-
Plan	ETRS89-LCC	<1:500 000
Plan	ETRS89-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 Nationell Geodetisk infrastruktur

Här presenteras de nu aktuella nationella referenssystemen SWEREF 99 och RH 2000. För information om äldre nationella referenssystem hänvisas till [www.lantmateriet.se/Geodesi](http://www.lantmateriet.se/Geodesi).

### 3.1 SWEREF 99

#### 3.1.1 Definition och realisering av SWEREF 99

Referenssystemet SWEREF 99 är en realisering av ETRS89 och definieras av 21 permanenta fundamentalstationer. 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 ITRF97 epok 1999.5 och har därefter räknats tillbaka till ETRS89 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).

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, men det är fortfarande de ursprungliga fundamentalstationerna som definierar SWEREF 99.

#### 3.1.2 Projektionszoner

SWEREF 99 är i grunden ett tredimensionellt referenssystem där den horisontella delen används som referenssystem i plan genom en kartprojektion. 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 3.1.2, med projektionsparametrar enligt tabell 3.1.2. Zonerna betecknas efter medelmeridianens avstånd från Greenwich enligt modellen:

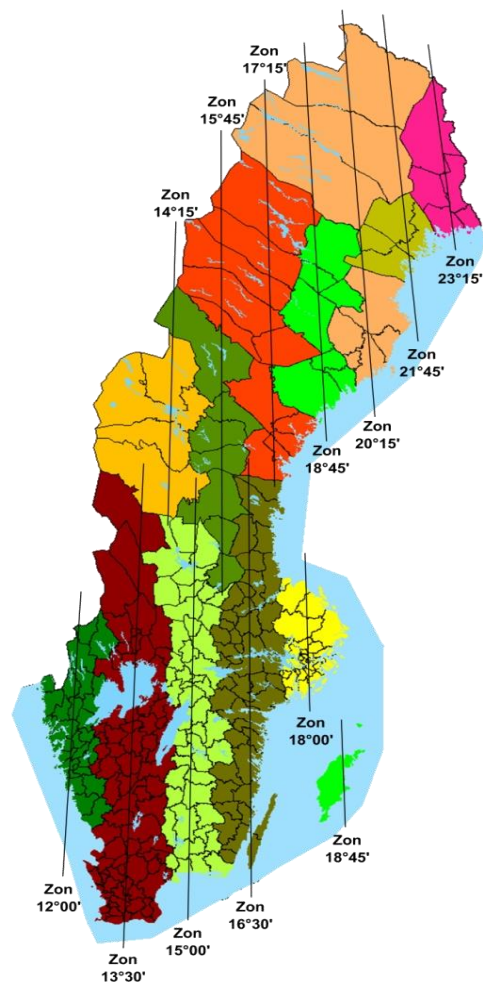
*SWEREF 99 dd mm*, där *dd* anger grader och *mm* minuter.

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



**Tabell 3.1.2.** Projektionsparametrar, SWEREF 99

Projektion	Medel- meridian, $\lambda_0$	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



**Figur 3.1.2.** Projektionszonerna i SWEREF 99.

Observera att projektionszonerna i Figur 3.1.2 i de flesta fall följer kommungränserna men beskriver inte en strikt indelning. 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 2016:0257 - Koordinatbaserade referenssystem](#).

### 3.1.3 Aktiva referensnät

Aktiva referensstationer kan etableras som en del av en nationell geodetisk infrastruktur eller i egen regi. Den nationella infra-strukturen för GNSS-mätning består idag av det nationella nätet av fasta referensstationer, SWEPOS samt Sjöfartsverkets nät för en 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. Andra aktörer kan använda data från SWEPOS-stationerna i egna nätverks-RTK-tjänster, och även komplettera med egna fasta referensstationer.

Genom samverkan över nationsgränserna 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 3.1.3.

**Tabell 3.1.3.** 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	SDFE, GPSnet.dk och Leica SmartNet Danmark

*Projektanpassad nätverks-RTK* innebär nätverks-RTK med kortare avstånd mellan referensstationerna där även radioutsändning används för distributionen av korrektioner. 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 satellit-baserad distribution av data – användas.

### 3.1.4 Passiva referensnät

Referenssystemet SWEREF 99 definieras enbart av de 21 permanenta fundamentalstationerna. Alla övriga koordinatbestämda punkter, ingående i aktiva eller passiva referensnät, har en standardosäkerhet som ska beaktas, se avsnitt 3.3.

#### 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 och nymarkerade punkter i projektet resulterade RIX 95 i totalt ungefär 10 000 punkter av klass 2 i SWEREF 99.

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 sambands-beräkningar 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.

## **3.2 RH 2000**

### **3.2.1 Definition och realisering av RH 2000**

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

RH 2000 blev officiellt år 2005. Det representeras på marken av cirka 50 000 höjdfixar och har därmed en nationell täckning, till skillnad från 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 använts 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.

### 3.2.2 Referensnät

Referensnätet som består av 50 000 höjdfixar är utformat som slingor som vardera är ungefär 100 km långa. Längs med slingorna ligger höjdfixar markerade varje km.

Referensnätet underhålls genom årlig ajourhållning och höjdfixar som försvunnit ersätts endast enligt vissa fastslagna kriterier.

## 3.3 Stompunktsinformation

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 bilaga A.3.

Stomnätsinformation 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.

## 4 Lokal geodetisk infrastruktur

### 4.1 Lokala referenssystem

#### 4.1.1 Kommunala referenssystem i plan

SWEREF 99 är det referenssystem som dominerar på lokal nivå och då i form av en kartprojektion anpassad till den aktuella regionen, se 3.1.2.

De äldre kommunala koordinatsystemen bygger på lokala stornät som vanligen var anslutna till riksnätet, oftast RT 38, RT P (preliminärt RT 38) eller något av de tolv regionsystemen (RT R01 - RT R12). De lokala näten hade ofta en något avvikande geometri jämfört med det nationella nätet. Förutom att systemen ofta användes med ett lokalt origo, kunde även en vridning och en skalförändring finnas. SWEREF 99 har införts på kommunal nivå genom att analysera de deformationer det tidigare referenssystemet hade. Informationen har sedan transformerats och korrigerats med en restfelsmodell för att införa ett homogent referenssystem.

Som ett resultat av de sammanslagningar till större kommuner som ägt rum förekom det även flera olika koordinatsystem inom en och samma kommun.

Inför övergången till SWEREF 99 användes i de flesta kommuner en mätmetodik baserad på nätverks-RTK för att mäta in passpunkter för transformationssamband mellan det lokala referenssystemet och SWEREF 99. Ett yttäckande nät av befintliga stompunkter med stabila markeringar och bra satellittillgänglighet valdes ut och mättes in. Punkterna låg till grund för den restfelsmodell som togs fram och korrigerade bristande geometri i det lokala referenssystemet.

#### 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 geometrin 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.

#### 4.1.2 Kommunala referenssystem i höjd

I höjd används det nationella höjdsystemet RH 2000 i en majoritet av kommunerna. Det har införts genom att räkna om och analysera de

äldre kommunala höjdnäten med utgångshöjder i RH 2000. De äldre kommunala höjdsystemen hade ofta sitt ursprung i rikets höjdsystem RH 00, även om andra ursprung också är vanliga. Då täckningen och kvaliteten på den första precisionsavvägningen var dålig och då senare förtätningar höll ännu sämre kvalitet var anslutningspunkterna ofta mycket dåliga. På grund av den ojämna kvaliteten i höjdsystemet 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.

### 4.1.3 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 realiseras ofta aktivt – och är därmed GNSS-anpassade – 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.

## 4.2 Lokala stornät

Passiva referensnät är det traditionella sättet att realisera ett referenssystem. I horisontal led 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 höjdd led 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 lägsta möjliga mätosäkerhet och sedan förtäta med enklare teknik.

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 realiserar 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).

Behovet av bruksnät inom stadsbebyggelse varierar beroende på bebyggelsestyp. Inom områden med etablerad gles bebyggelse uppstår behov av stomnätsutbyggnad i samband med mer omfattande förtätningsprojekt. Under förutsättning att det finns ett lämpligt underlag i form av ett yttäckande anslutningsnät kan i en sådan situation ett lokalt GNSS-bruksnät etableras, se avsnitt 4.3.4.

Inom områden med tät och hög stadsbebyggelse är GNSS-teknik mindre tillämpbar. I sådana områden lämpar sig ett bruksnät av konventionell typ bättre.

I områden där behov finns av ett konventionellt stomnät finns också behov av lättillgängliga anslutningspunkter. Situationen kan jämföras med anslutningsnät för infrastruktur utformade som trippelpunktsnät eller parpunktsnät. En analog strategi för en tät stadskärna med infrastrukturnäten som förebild kan vara att i ett första steg skapa ett förtätat yttäckande anslutningsnät med GNSS-teknik enligt någon av de modeller som tagits upp ovan. Detta kan då utgöra underlag för vidare förtätning med konventionell teknik i områden där det finns stora svårigheter att använda GNSS-baserade mätmetoder för utsättning och inmätning. Alternativt kan ett glesst lokalt GNSS-bruksnät också utgöra utgångsnät för ett konventionellt bruksnät med punktavstånd < 100 m anpassat för detaljmätning med totalstation. Detta kan utformas som ett specialnät med väggmarkeringar eller som ett polygonnät eventuellt förstärkt med fria uppställningar när antalet mellanpunkter i tågen blir fler än tre.



## 4.3 GNSS-stomnät

Metodbeskrivningar för stommätning finns i HMK-Stom 2017.

### 4.3.1 Anslutningsnät för samhällsbyggnad

I samband med infrastrukturprojekt och samhällsutbyggnad finns ofta behov av ett tätare anslutningsnät än vad RIX 95 erbjuder.

Etablering av förtätningpunkter kan göras genom etablering av stomnät med statisk GNSS-teknik. Anslutningspunkter för dessa stomnät kan utgöras av RIX 95-punkter eller andra kända anslutningspunkter med jämförbar status, alternativt genom att utnyttja det aktiva referensstationsnätet oberoende av befintliga markerade stompunkter. Statiska efterberäkningsdata från permanenta referensstationer kan användas för nätberäkning eller för bestämning av enskilda punkter med en beräkningstjänst.

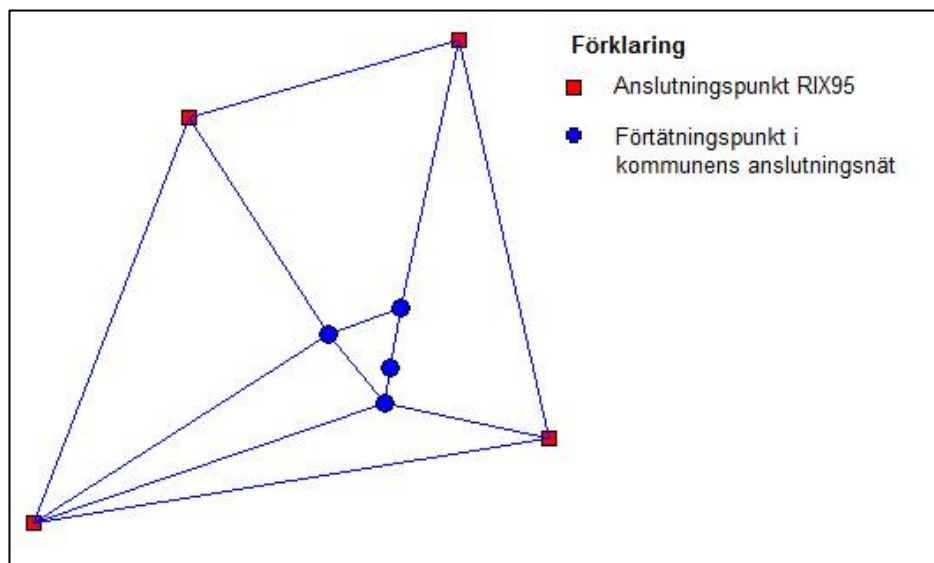
Följande exempel visar hur anslutningen till överordnat nät kan utföras på olika sätt. Förutsättningarna i exemplet är:

- Fyra nypunkter etablerats i en kommun för att ligga till grund för senare förtätning med ett bruksnät inom ett exploateringsområde.
- Nypunkterna i nätet omsluter ett äldre område med bostadsbebyggelse som ska förtätas. Anslutningsnätet upprättas som underlag för bruksnät för detaljmätning inom området.

De olika anslutningsmöjligheterna som exemplet tar upp är:

- Anslutning till överordnade passiva stompunkter, eventuellt med en kompletterade kontrollberäkning av anslutningspunkterna med nätberäkning mot SWEPOS-nätet alternativt med beräkningstjänst.
- Direkt anslutning mot SWEPOS-nätet

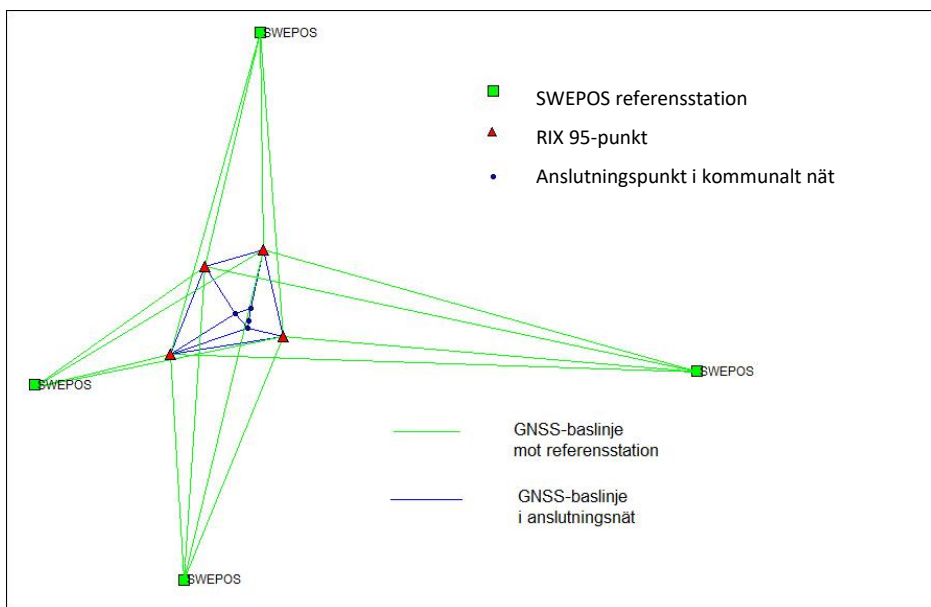
## Anslutning till överordnade passiva stompunkter



**Figur 4.3.1.a:** Förtätning av ett kommunalt anslutningsnät med förtättningspunkter genom statisk GNSS och nätutjämnning. Anslutningspunkterna delvis gemensamma med RIX 95-punkter.

Anslutningspunkterna i exemplet tillhör kommunens yttäckande stomnät och kan också vara gemensamma med befintliga RIX 95-punkter. Om punkterna ingått som passpunkter för det transformations samband som togs fram inför övergången till SWEREF 99 betyder det att nypunkterna i förtättningsnätet får en god koppling till det referenssystem som ligger till grund för inmätning och lagring i kommunens geodatabaser innan kommunen gick över till SWEREF 99.

Vanliga avstånd mellan punkterna i förtättningsnätet är 500-1500 meter och till de kända anslutningspunkterna är det längsta avståndet ca 4000 meter beroende på punkttätheten i RIX 95.



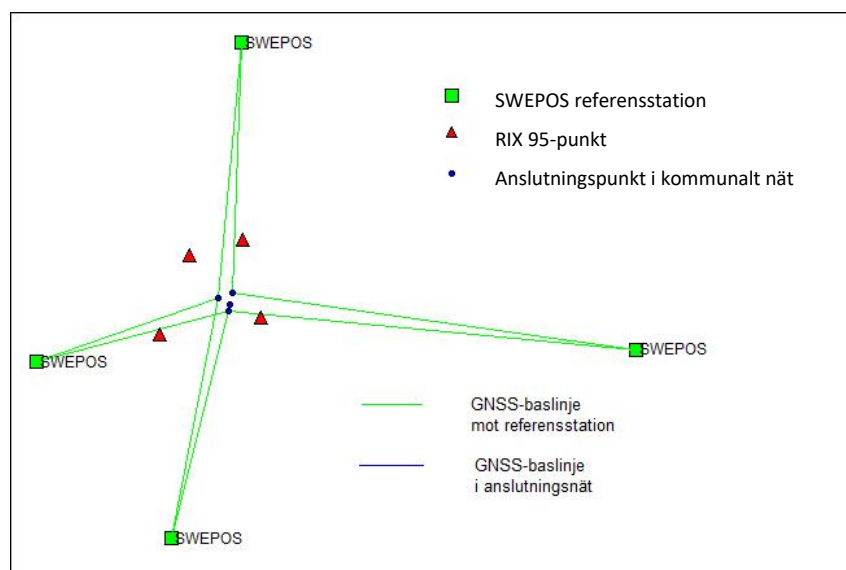
**Figur 4.3.1.b:** Kontrollberäkning av anslutningspunkter som underlag för beräkning av förtättningspunkter i anslutningsnätet.

En kontroll av anslutningspunkternas kvalitet kan göras genom en efterberäkning mot permanenta referensstationer, se figur 4.3.1.b.

Kontrollen görs genom en separat beräkning där anslutningspunkterna ses som nypunkter i en efterberäkning mot de fyra närmaste permanenta referensstationerna.

Observationsdata från de permanenta referensstationerna hämtas hem för egen efterberäkning, alternativt kan en beräkningstjänst användas för beräkning av enstaka punkter.

## Direkt anslutning mot permanenta referensstationer



**Figur 4.3.1.c:** Anslutning av förtätningspunkter i en kommuns anslutningsnät direkt mot permanenta referensstationer.

När lämpliga RIX 95-punkter eller andra anslutningspunkter saknas eller inte är tillförlitliga finns möjligheten att ansluta direkt mot permanenta referensstationer. Observationstiderna för statisk mätning anpassas till skillnaderna i baslinjernas längd internt mellan nypunkterna och mot anslutningspunkterna. Skillnaderna i baslinjernas längder ger också ett nät som är mindre homogent, vilket kan ge en större osäkerhet i höjd. Det kan dock motverkas genom att anslutningen förstärks med avvägning av minst tre nypunkter i nätet.

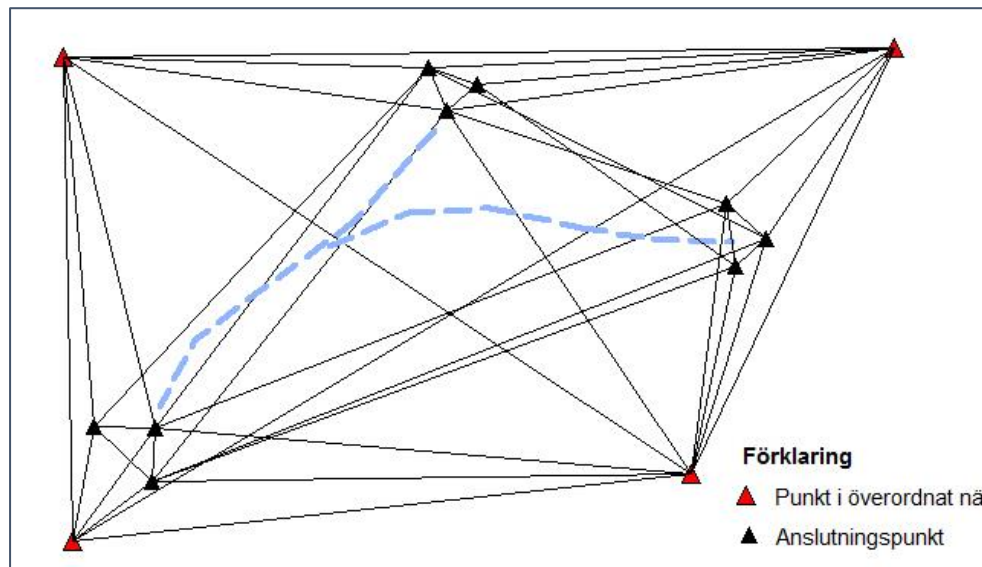
Hela nätet mäts och beräknas i ett sammanhang med referensstationernas koordinater som kända. Observationsdata för berörda referensstationer kombineras med egna observationsdata på nypunkterna med minst tre till fyra samtidiga mottagare.

Tidsåtgången för mätning av hela nätet ökar eftersom sessionslängderna för baslinjerna mot de permanenta referensstationerna måste utökas.

### 4.3.2 Anslutningsnät för infrastruktur

Yttäckande anslutningsnät för infrastruktur i tidiga skeden av projekt där olika alternativa projektlösningar finns mäts på motsvarande sätt som när det gäller nät för samhällsbyggnad. GNSS-teknik tillämpas och anslutning görs till i första hand till RIX 95-punkter eller direkt till permanenta referensstationer. I vissa situationer kan en förtätning av

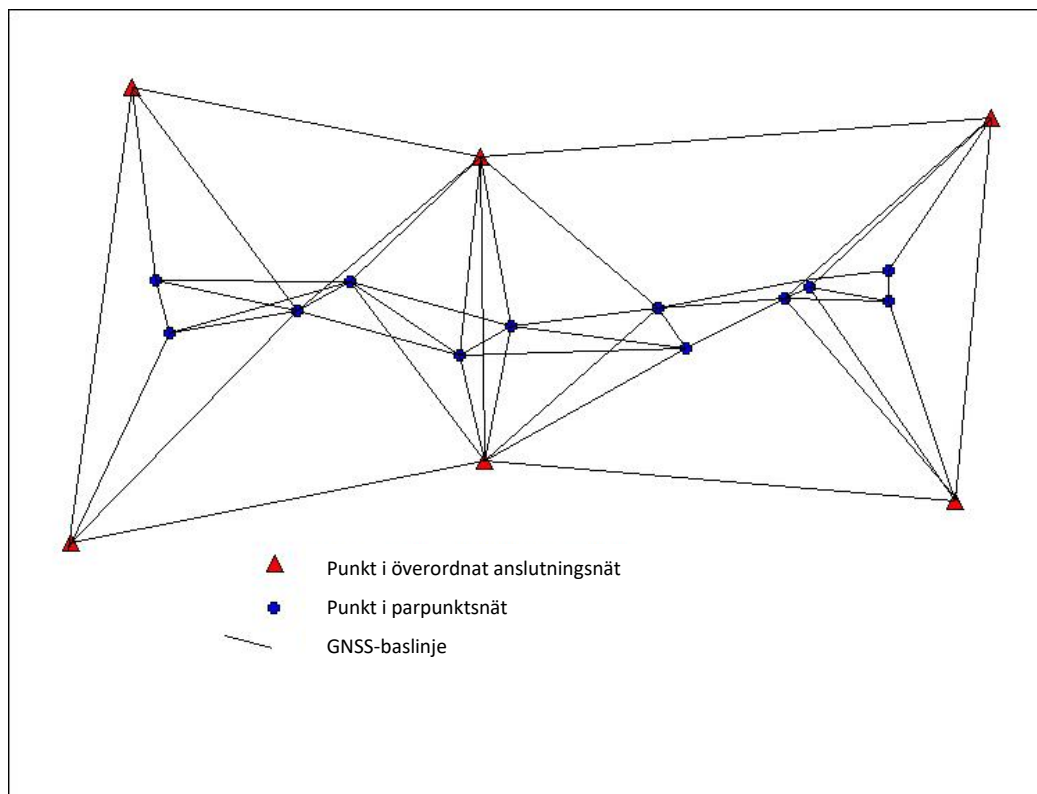
RIX 95-nätet behöva göras i ett första steg som underlag för ett infrastrukturnät.



**Figur 4.3.2.a:** Exempel på anslutningsnät för tunnelmätning.

I infrastrukturprojekt som avser tunnelbyggnad, brobyggnad eller likande ställs höga krav på stark geometri och goda närsamband. Kraven är höga både när det gäller georefererad och lokal läges-osäkerhet. Anslutningsnät utformas ofta i form av parpunkts- eller trippelpunktsnät och mäts med GNSS-teknik. Näten utgör anslutningsnät för bruksnät eller specialnät för järnvägs-, väg- eller större ledningsprojekt. Trippelpunktsnät enligt **Figur 4.3.2.a** tillämpas speciellt vid tunnelprojekt.

Anslutningspunkter i samband med infrastrukturprojekt bestäms i första hand som planpunkter. Stomnät i plan och höjd för infrastruktur separeras som regel även om punkterna i ett GNSS-nät också blir höjdbestämda. Den mätmetod som används för höjdbestämmning är finavvägning.



**Figur 4.3.2.b:** GNSS-infrastrukturnät utformat som parpunktsnät för långsträckta objekt – Väg- eller spåranläggning. Anslutning till RIX 95 eller förtätningspunkt till RIX 95.

Trippelpunktsnät och parpunktsnät är exempel på olika utformningar av ett anslutningsnäts geometri för speciella behov när krav att täcka större sammanhängande områden saknas. I inledande skeden av planeringen av ett större projekt - när det finns olika lokalisering-alternativ - finns ofta behov av att se över och förtäta det yttäckande anslutningsnätet på motsvarande sätt som en kommun har behov av att underhålla ett glesst yttäckande anslutningsnät för framtida utbyggnadsområden.

Punkterna anordnas så att inbördes sikt finns mellan punkterna i varje punktgrupp. I övrigt enligt mätmetodbeskrivning för GNSS-förtätning, se HMK-Stom 2017.

Mätning av höjder utförs med finavvägning och ansluts till riksnätet med dubbelavvägning.

### 4.3.3 Anslutningspunkter, beräkningstjänst

Efterberäkning av statisk GNSS-mätning mot referensstationsnätet genom användning av en beräkningstjänst kan användas för att komplettera ett yttäckande anslutningsnät med enstaka punkter. Beräknade

punkter ansluter väl till det nationella referenssystemet vilket är viktigt, men innebär att eventuella avvikelser mot punkter i lokala system som kan hänföras till SWEREF 99-övergången inte blir upptäckta och beaktade. Beräkningstjänsten kräver förhållandevis långa observationstider på var och av de inmätta punkterna. Den georefererade och lokala lägesosäkerheten kan minskas med långa observationstider men anslutning till punkter med koordinater i den lokala realiseringen av SWEREF 99 erhålls inte.

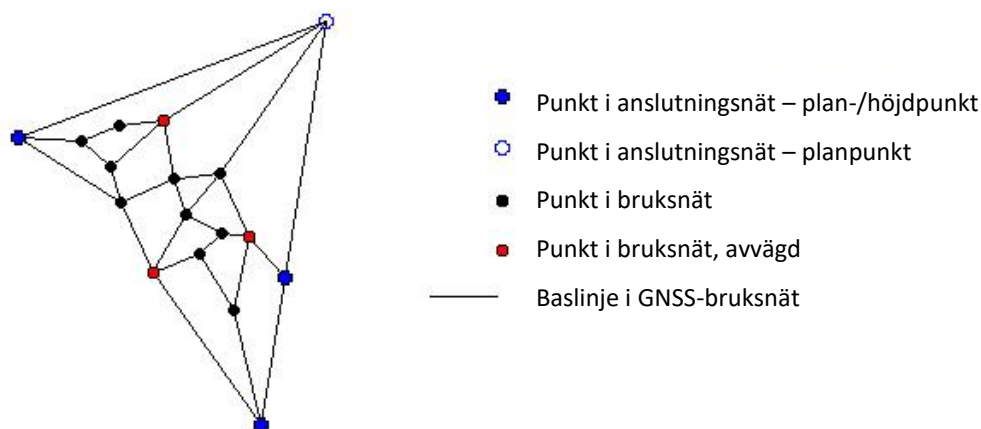
Vid användning av SWEPOS beräkningstjänst kan följande parametrar vara vägledande:

- Punkttäthet i SWEPOS nätet 35 – 70 km
- Punktavstånd mellan nypunkter > 5km
- Observationstid 3 timmar eller mer.

#### 4.3.4 Bruksnät med statisk GNSS

Ett bruksnät kan etableras med statisk GNSS-teknik när utgångspunkter för utsättning och inmätning med terrester teknik behövs i ett område. Förtätning med ny bebyggelse i områden med befintlig låg bebyggelse kan till exempel initiera behovet. Nätet behöver planeras så att goda siktförhållanden mot satelliterna samt även fri marksikt med relativt korta avstånd erhålls.

När ett GNSS-bruksnät etableras mäts och beräknas nätet både i plan och höjd, men för att ansluta nätet i höjd kan GNSS-mätningen kompletteras med avvägning.



**Figur 4.3.44.a:** Förtätning av anslutningsnät med bruksnät avsett för utsättning och inmätning med totalstation inom tätortsområde.

## 4.4 Terrestra bruksnät

Metodbeskrivningar för stommätning finns i HMK-Stom 2017.

### 4.4.1 Triangelnät

Triangelmätning är den mätmetod som historiskt har använts för etablering av de *passiva riksnäten* och vid förtätning av riksnätet på regional nivå i samband med uppbyggnad av *anslutningsnät* i kommunerna. Kommunala yttäckande anslutningsnät utformade som triangelnät med förtätning i olika steg för att slutligen användas som underlag för bruksnät är en teknik som inte längre tillämpas. Numera görs nyetablering av anslutningsnät som triangelnät huvudsakligen i situationer när GNSS-tekniken inte kan användas.

Triangelnät utgör stommätning i plan, men punkterna mäts normalt också i höjd bl.a. för att höjder behövs vid beräkningen av plankoordinaterna.

Mätmetoderna som används vid triangelmätning förutsätter att det finns optisk marksikt mellan punkterna i nätet då mätning utförs med totalstation.

Stomnätstypen triangelnät kommer emellertid fortfarande till användning för *bruksnät* i form av olika typer av *specialnät* när kraven på låg lokal mätosäkerhet är särskilt höga och vinkel- och längdmätning kan utföras med hög noggrannhet.

Ursprungligen har triangelnät avsett stommätning mätta med uteslutande vinkel- mätning i trianglar och någon enstaka baslängd. Med utvecklingen av längdmätningens instrumenten med början på 1950-talet har längdmätning alltmer kommit att ingå i näten och den renodlade triangel-nätsgeometrin har övergetts. Den nya definitionen av triangelnät omfattar därför numera alla typer av stommätning mätta med vinkel- och längdmätning som inte är uppbyggda i tågform och har ett kontrollerbarhetstal  $k > 0,5$ .

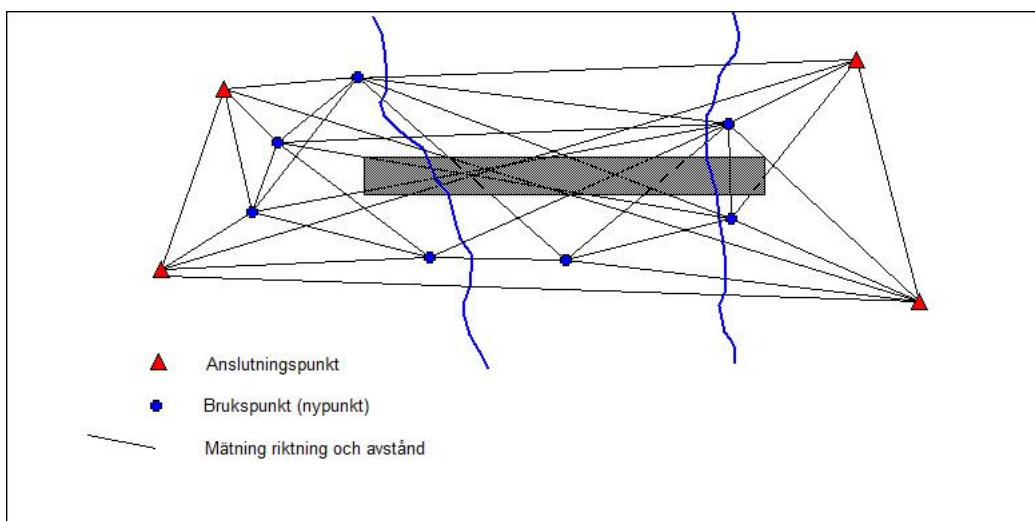


**Figur 4.4.1.a:** Rikets triangelnät 1990 som realiserar det äldre plana referenssystemet RT 90 är mätt som ett triangelnät med stor andel längdmätning ingående i nätet.



Triangelnätutformning av bruksnät som mäts med terrester teknik förekommer i samband med olika typer av specialnät för infrastruktur med höga krav på kontrollerbarhet och tillförlitlighet, men också som kommunala bruksnät i tätortsområden där GNSS-teknik inte kan tillämpas. En vanlig utformning är olika typer av fackverkståg för långsträckta objekt som kan klassificeras som specialnät.

Nät för byggprojekt med små toleranser och krav på låg lokal osäkerhet, som t.ex. nät för brobyggnad, trafikplatser m.m., anläggs företrädesvis med terrester triangelmätningsteknik.



**Figur 4.4.1.b:** Nät för brobyggnad. Lokalt nät med anslutning till bruksnät eller anslutningsnät. Mäts med terrester triangelmätningsteknik. GNSS används endast i särskilda fall.

Nät för brobyggnad, trafikplatser eller dylikt utformas som lokala nät och ansluts till punkter som ingår i ett anslutningsnät som normalt har etablerats med GNSS-teknik. Nätet bör innehålla minst fyra nypunkter.

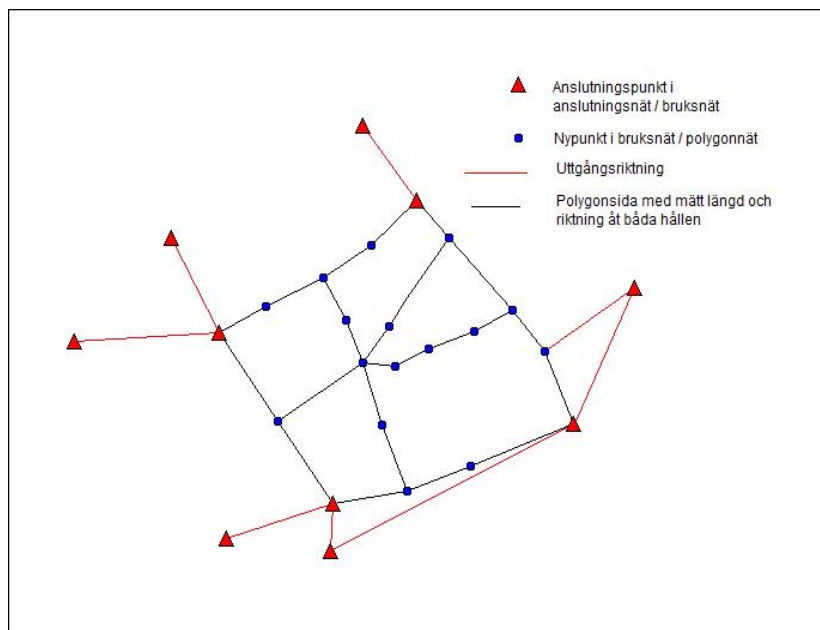
#### 4.4.2 Polygonnät

Polygonnät förekommer huvudsakligen som bruksnät och är den vanligaste konventionella nätutformningen för plana yttäckande bruksnät. Mätmetoden är polär mätning med vinkel- och längdmätning. Polygonnäten ansluts ibland direkt till rikets triangelnät men oftast till ett yttäckande triangelnät som är en förtätning av rikets nät.

Vid underhåll och förtätning av polygonnätutformade bruksnät inom tätortsområden har nytillkommande nät ofta anslutits successivt till befintliga tidigare beräknade punkter i polygonnätet.

Ett enkelt polygontåg som i Figur 4.4.3.a har ibland gjorts för att knyta ihop nät i olika områden. Ett polygontåg med en sådan utformning ger emellertid en dålig kontrollerbarhet och bör på något sätt förstärkas.

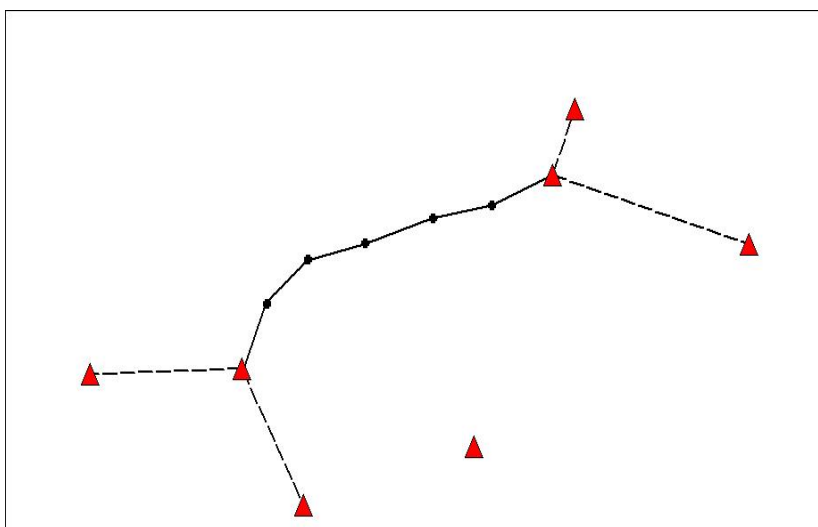
I tät stadsbebyggelse där möjligheterna att etablera bruksnät med GNSS-teknik är begränsade etableras nät av sammankopplade polygontåg enligt Figur 4.4.2.



**Figur 4.4.2:** Utformning av polygonnät inom tät stadsbebyggelse. Anslutningspunkter kan vara GNSS-anslutningspunkter eller punkter i konventionellt anslutningsnät / bruksnät. Den typiska nätformen i exemplet ger kontrollerbarhetstal,  $k=0,35$

#### 4.4.3 Polygontåg

I kommunerna har polygonnäten ofta byggts ut så att de blivit kommuntäckande, varvid områden med mer sammanhängande nät kopplats ihop med polygontåg. När avstånden varit långa har ibland s.k. "storpolygontåg" etablerats som alternativ till förtätning av det yttäckande triangelnätsutformade anslutningsnätet.



**Figur 4.4.3:** Enkelt polygontåg, med fem mellanliggande punkter blir kontrollerbarhetstalet,  $k=0,2$ . En begränsning till tre mellanliggande punkter ger bättre kontrollerbarhet,  $k=0,3$ .

Användning av polygontåg med ett stort antal punkter mellan anslutningspunkterna förekommer ofta för att koppla ihop tätorts-områden. På olika sidor av en trafikled eller vattendrag är det också vanligt att sammankoppling med tvärförbindelser mellan långsträckta parallella tåg saknas. En successiv mätning av punkter i tåg ger emellertid dålig kontrollerbarhet varför ett polygontåg bör kompletteras med överbestämningar i form av korsyfter och extra längd-/riktningsmätning för att förbättra möjligheterna till kontroll. Antalet mellanliggande punkter i ett tåg bör aldrig vara fler än tre.

Genom att undvika mätning av successiva punkter i tåg kan ett polygonnät ofta utformas så att det mer får formen av ett triangelnät. För att täcka långsträckta objekt eller områden kan nätet utformas som ett fackverk i vilket fria uppställningar ingår.

## 4.5 Markering

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

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

Det är av stor vikt att en punkts markering 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.

Markeringssätt kan för samtliga punkttyper vara ståldubb i berg, sten eller betong alternativt på annat sätt för att garantera god stabilitet i både plan och höjd.

Markering med rör i mark bör undvikas för stompunkter, men kan användas när annan markering inte är möjlig. Rör slås ner i fast mark till frostfritt djup och skyddas med däcksel.

För polygonnät och -tåg görs markering oftast med punkter i gatunätet eller med excentriska markeringar i byggnader. Ett alternativt sätt att mäta och markera ett polygonnät inom stadsbebyggelse är att göra mätningarna från tillfälliga uppställningspunkter och samtidigt från fria inmätningpunkter mäta in väggmarkeringar som kan användas för fri uppställning.

Ibland finns möjligheter att komplettera med mätningar från fria omarkerade uppställningspunkter

## 5 Referenser/Läs mer

### 5.1 Referenser

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

Häkli P, Lidberg M, Jivall L, Nørbech T, Tangen O, Weber M, Pihlak P, Aleksejenko I och Paršeliūnas E: 2016, The NKG2008 GPS campaign - final transformation results and a new common Nordic reference frame, Journal of Geodetic Science. Volume 6, Issue 1, ISSN (Online) 2081-9943, DOI: <https://doi.org/10.1515/jogs-2016-0001>, March 2016.

Johansson S G: 2016, Koordinatbaserade referenssystem, Trafikverket TDOK 2016:0257, Borlänge 2016

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

### 5.2 Andra publikationer

- 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](#) på HMK:s webbplats [www.lantmateriet.se/HMK](http://www.lantmateriet.se/HMK).

## A Allmänna geodetiska riktlinjer

### A.1 Checklista, 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 för dig själv, du glömmet fort. 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.

### A.3 Schablonskattade standardosäkerheter

I Tabell A.3.a redovisas en uppskattning av den lokala mätosäkerheten för aktiva referensnät och RTK-mätning. Utan projektanpassning eller andra anpassningar, av t.ex. geoidmodellen, finns i dessa fall inga egentliga skillnader mellan lokal och georefererad mätosäkerhet. Inte heller finns det någon anledning att tro att den lokala mätosäkerheten skulle vara mindre än den georefererade. Osäkerhetssiffrorna är alltså ganska allmängiltiga.

I Tabell A.3.b-c ges en schablonmässig redovisning av georefererad och lokal mätosäkerhet i terrestra referensnät: avvägningarnät och stomnät i plan.

**Tabell A.3.a.** Exempel på georefererad standardosäkerhet för aktiva referens-nät samt olika typer av RTK-mätning. Enhet: mm.

Metod/nättyp	Standardosäkerhet			Anm.
	Plan	Höjd	3D	
SWEPOS fundamentalstationer, "de 21"	1	1-2	2-3	-
Övriga SWEPOS- stationer	2-3	3-4	4-5	-
Geoidmodellen SWEN08	-	10-15	-	-
Nätverks-RTK mot SWEPOS (enbart GNSS, höjd över ellipsoiden)	10-15	20-25	25-30	Lägre värden i de områden där SWEPOS har förtätats
Nätverks-RTK mot SWEPOS (inkl. geoidmodell, höjd över geoiden)	10-15	25-30	30-35	Lägre värden i de områden där SWEPOS har förtätats
Projektanpassad Nätverks-RTK	8	12	15	Anpassning även av geoid- modell
Enkelstations-RTK	10 +1 ppm	20 +1 ppm	22 +1,5 ppm	Relativt referensstation
Statisk GNSS-mätning	5	10	10-12	Höjd över ellipsoiden



**Tabell A.3.b.** Schablonmässig standardosäkerhet ( $1\sigma$ ) i avvägningsnät.

	Georefererad mätosäkerhet	Lokal mätosäkerhet	Avstånd mellan fixar
Riksnät (RH 2000)	3 mm	1 mm	1 km
Anslutningsnät	5 mm	2 mm	0,5 km
Bruksnät	5-10 mm	2-5 mm	0,1-0,5 km

**Tabell A.3.c.** Schablonmässig standardosäkerhet ( $1\sigma$ ) i plana stomnät.

	Georefererad mätosäkerhet	Lokal mätosäkerhet	Punktavstånd
RIX 95-punkter	10 mm	inte tillämplig	$\geq 10$ km
Anslutningsnät	10-15 mm	10 mm	2-5 km
Bruksnät	15-20 mm	5 mm	0,1-0,5 km

## **B Kinematisk positions- och orienteringsbestämning**

Bilaga B, Kinematisk positions- och orienteringsbestämning är oförändrad sedan den publicerades i HMK Referenssystem och geodetisk mätning 2014. Avsnittet kommer att uppdateras och placeras i annat HMK-dokument på sikt.

### **B.1 Inledning**

Bilaga B, Kinematisk positions- och orienteringsbestämning är oförändrad sedan den publicerades i HMK Referenssystem och geodetisk mätning 2014. Avsnittet kommer att uppdateras och placeras i annat HMK-dokument på sikt.

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.

### **B.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.

## B.2.1 Felkällor

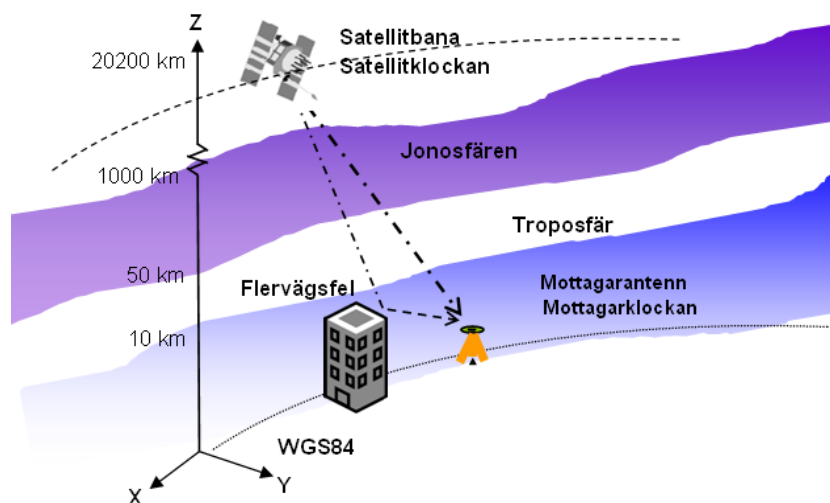
### Krav

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 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 B.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 B.2.1.

För en grundligare beskrivning av GNSS och felkällorna rekommenderas HMK-GeGNSS-Det 2017 och Lantmäterirapporten [Introduktion till GNSS](#).

### B.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 reelltidsmätning behövs en kommunikationslänk (GSM/Radio/GPRS) för att kunna ta emot korrektionsdata.

### B.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.

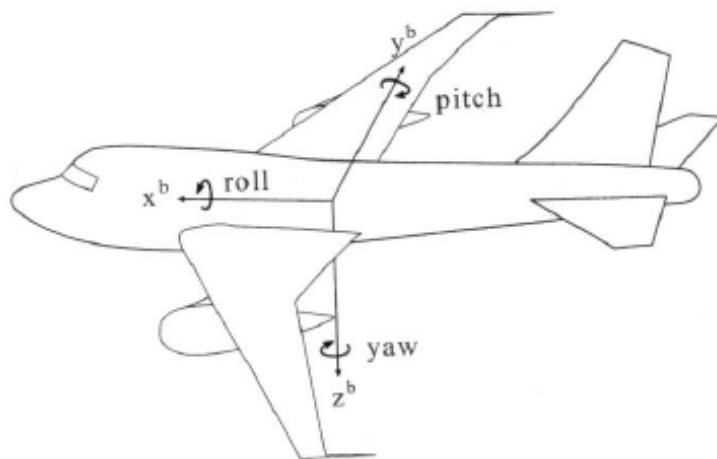
Tröghetsnavigeringssystem eller *Inertial Navigation Systems* (INS), bygger på att ett objekts hastighet och position kan bestämmas relativt ett yttre känt koordinatsystem. Ett INS består av sensorer som mäter vinkelhastigheten och en kraft som kan relateras till objektets acceleration. Sensorerna är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

### B.3.1 Tröghetsmätenhet

Tröghetsmätenheten består av tre vinkelräta *accelerometrar* och *gyroskop* vilket möjliggör bestämningen av *roll*, *pitch* och *heading/yaw*, se Figur B.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 B.3.1.** Illustration av roll ( $x^b$ ), pitch ( $y^b$ ) och heading/yaw ( $z^b$ ) (Inertial Navigation Systems with Geodetic applications, Jekeli C. 2001).

### B.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.

## B.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 B.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 B.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 lösning mot mindre än fyra satelliter.
Tät integrering	GNSS kan fortfarande uppdatera INS vid lösning 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.

#### B.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.

### B.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 B.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 felkällorna (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 jonosfärfri 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 tillämpningar. Förväntat standardosäkerhet vid kinematisk positionsbestämning är < 100 mm i plan och höjd.

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

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

**Tabell B.5.** Sammanställning över olika beräkningsmetoder och förväntad standardosäkerhet för respektive metod. VRS står för Virtuell 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	-

## B.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, relativmätning*.

### B.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 jonofärsaktivitet kontrolleras via till exempel Lantmäteriets jonofärsmonitor.
- 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>

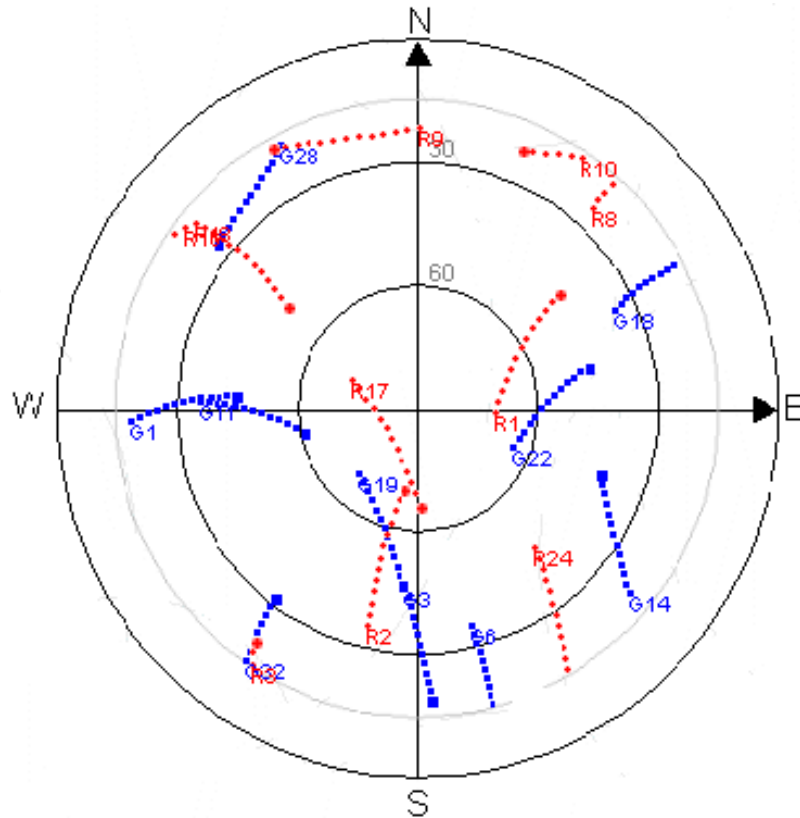
- **Kalibrering av instrument:** För att insamlade mätdata ska kunna georefereras med hög kvalitet måste förhållandet mellan GNSS-antenn, systemets IMU och ingående sensorer vara känt. System för luft- eller fordonsburen insamling är vid leverans internt kalibrerade av leverantören.

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 3.1.3 för en lista på operatörer i våra grannländer.
- **Satellitkonfiguration:** Satellittillgängligheten och satellitgeometrin varierar över dagen och bör därför kontrolleras innan insamling. Satellitgeometris 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 B.6.1.

[https://swepos.lantmateriet.se/tjanster/preddop/\\_in.aspx](https://swepos.lantmateriet.se/tjanster/preddop/_in.aspx)



**Figur B.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.

## B.6.2 Datainsamling

### Rekommendation

- Minsta antalet satelliter för att bestämma periodobekanta vid kinematisk tillämpning är fem. Fler satelliter ger, teoretiskt, en bättre slutlösning.
- Vid VRS-beräkning ska GNSS-mottagaren ligga innanför det definierade nätverket under hela datainsamlingen.
- Satellitgeometrin definieras av DOP. Rekommenderat maximalt värde för PDOP är 2.
- 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).

### B.6.3 Efterbearbetning

#### Krav

Absolutkalibrerade antennenmodeller 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 "banddata". 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 antennmodeller 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 period-obekanta har blivit lösta med samma heltal från bägge riktningarna. I Tabell B.6.3. listas förväntade (schablonmässiga) osäkerheter för fix- och flytlösning samt absolutbestämning.

**Tabell B.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://igsceb.jpl.nasa.gov/components/compindex.html>

## B.7 Leverans

Det finns ingen standard för leverans av "banddata". Information motsvarande Tabell B.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 B.7.** Obligatoriskt innehåll vid redovisning av "banddata". 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