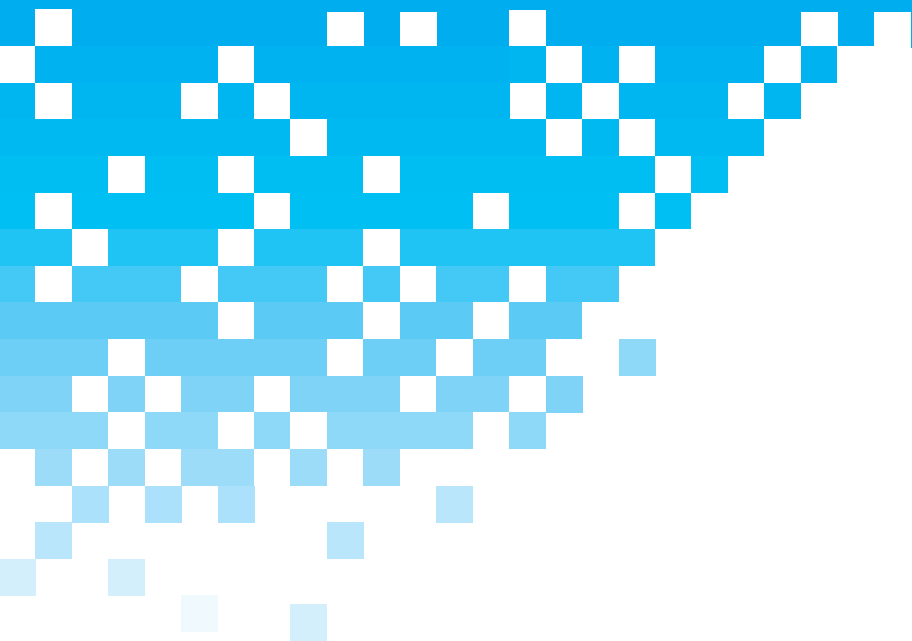


HMK
- handbok i mät- och kartfrågor

Referenssystem och geodetisk mätning

2013



Förord 2013

Dokumentet *HMK – Referenssystem och geodetisk mätning 2013* har jämförts med arbetsdokumentet 2012, framför allt genomgått Anpassningar till *HMK-Bilddata 2013* och uppdateringar av hänvisningslänkar.

Denna dokumentversion är att betrakta som den första officiella. Ambitionen på sikt är att fasa ut dokumentet i takt med att den fullständiga *HMK – Geodesi* börjar lanseras.

Arbetet har utförts av undertecknad, Johan Sunna och Thomas Lithén, Lantmäteriverket.

Östersund 2013-12-13

Clas-Göran Persson, HMK-ansvarig

[Samlade förord](#)



Innehållsförteckning

1	Referenssystem och referensnät	4
1.1	Referenssystem.....	4
1.1.1	Olika typer av referenssystem	4
1.1.2	Realisering av de nationella referenssystemen.....	8
1.1.3	Relationer mellan olika referenssystem.....	9
1.1.4	Koordinat- och höjdtransformationer	14
1.2	Referensnät	16
1.2.1	Passiva referensnät (stomnät)	16
1.2.2	Aktiva referensnät	19
1.2.3	Behövs markerade stomnät i satellitåldern?	21
1.3	Geografiskt indexsystem	22
1.4	Läs mer	22
2	Geodetisk mätning	24
2.1	Mätning med satellitteknik.....	24
2.1.1	Riktlinjer för RTK-mätning.....	24
2.1.2	Kontroll av RTK-mätta höjder	27
2.2	Konventionell geodetisk mätning	29
2.2.1	Stomnätsetablering på känd punkt.....	29
2.2.2	Inmätning av ny stationspunkt - stomnätsförtätning.....	30
2.3	Realtidsuppdaterad fri station (RUFRIIS)	33
2.4	Geodetisk detaljmätning.....	34
2.5	Läs mer	35
3	Tillämpad geodesi: Geodatainsamling	36
3.1	GNSS/INS-stödd flygfotografering och laserskanning	37
3.2	Val av geodetisk mätmetod.....	38
3.3	Stöd- och kontrollpunktsinmätning.....	38
3.3.1	Flygfotografering	38
3.3.2	Luftburen laserskanning.....	41
3.4	Terrester mätning.....	42
3.5	Ansvarsfrågor	43
3.5.1	Arbetsmiljöfrågor.....	43
3.5.2	Rättigheter/skyldigheter vid fältarbete.....	44
3.5.3	Sekretess m.m.	44
3.6	Dokumentation	44
3.6.1	Rapportering av geodetiska mättingsprojekt	45
3.6.2	Rapportering av flygfoto- och laserskanningprojekt.....	45
3.6.3	Metadata.....	46

3.6.4	Arkivering.....	46
4	Referenser.....	47
A	Checklistor	51
A.1	God mätsed.....	51
A.2	Checklista för Nätverks-RTK.....	52
A.3	Checklista för Fri station.....	54
A.4	Processbeskrivning: Geodetisk mätning för geodata- insamling.....	55
A.5	Checklista för transformationer.....	56
A.6	Rapportering av geodetisk detaljmätning.....	57
A.7	Checklista för ajourföring av geodatabas.....	58
A.8	Checklista för signalering och inmätning av markstöd och kontrollpunkter vid flygfotografering.....	59
A.9	Checklista för utformning av stöd- och kontrolltor vid flygburen laserskanning.....	62
B	Mätosäkerhet och toleranser vid geodetisk mätning	63
B.1	Grundläggande mätosäkerheter.....	63
B.2	Kontrollmätning av Nätverks-RTK.....	66
B.3	Toleranser för traditionell mätning.....	68
C	Kinematisk positions- och orienteringsbestämning	69
C.1	Inledning.....	69
C.2	GNSS.....	69
C.2.1	Felkällor.....	69
C.2.2	Utrustning.....	70
C.3	Tröghetsnavigeringssystem.....	71
C.3.1	Tröghetsmåtenhet.....	71
C.3.2	Felkällor.....	72
C.4	Systemintegrering av GNSS och INS.....	72
C.4.1	Odometer (distansmätare).....	73
C.5	Beräkningsmetoder.....	74
C.6	Insamlingsprocessen.....	76
C.6.1	Planering och förberedelser.....	77
C.6.2	Datainsamling.....	79
C.6.3	Efterbearbetning.....	80
C.7	Leverans.....	81

1 Referenssystem och referensnät

I detta kapitel behandlas referenssystem och referensnät – inklusive stommätning och transformationer mellan olika system. Den första delen av beskrivningen har visst fokus på de nationella referenssystemen samt deras nordiska, europeiska och globala motsvarigheter och relationerna till dessa.

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. Vi kan inte bestämma det absoluta läget 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).

Referensnät är ett nät av punkter som används för att realisera ett referenssystem. Dessa nät kan 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 exempel på ett *aktivt referensnät* är SWEPOS, det nationella nätet av fasta referensstationer, som distribuerar korrekationer för realtidsmätning med GNSS i systemet SWEREF 99 (och även till höjdsystemet RH 2000 via en geoidmodell).

1.1 Referenssystem

1.1.1 Olika typer av referenssystem

Krav

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

Information

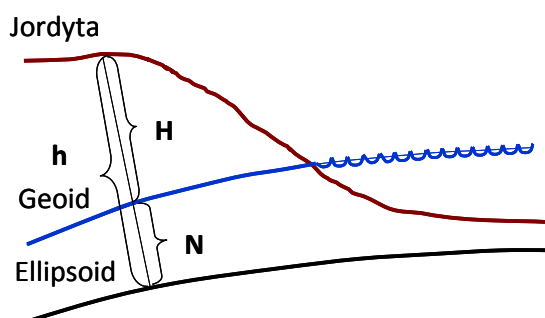
Inom sjö- och luftfart är grader och decimala minuter det klart dominerande formatet för att redovisas latitud och longitud, medan det i andra tillämpningar kan vara mer blandat.

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

Eftersom en punkts läge kan anges i olika referenssystem, är det viktigt att tillsammans med en lägesuppgift – en position – alltid ange i vilket referenssystem uppgiften gäller.

I den geodetiska beskrivningen av jorden skiljer vi mellan tre grundläggande ytor, se figur 1.1.1.a:

- *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.



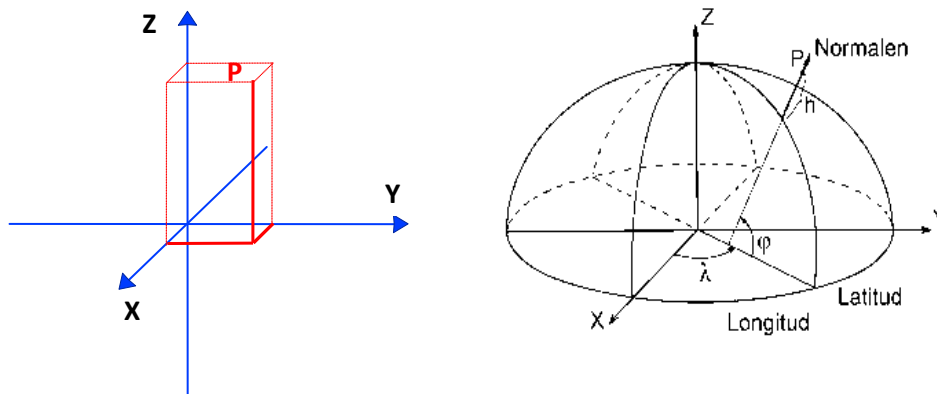
Figur 1.1.1.a. De tre grundläggande ytorna för den geodetiska beskrivningen av jorden.

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.).

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 1.1.1.b framgår att positioner i 3D kan uttryckas med kartesiska, geocentriska koordinater X, Y, Z eller som *latitud* (φ), *longitud* (λ) och *höjd över ellipsoiden* (h). Koordinater kan räknas om mellan de båda uttryckssätten, se avsnitt 1.1.4.



Figur 1.1.1.b. De två uttryckssätten för positioner i 3D.

Plana koordinatsystem (2D)

Tvådimensionella referenssystem – (plana) koordinatsystem – har ingen direkt koppling till höjdkomponenten. Exempel är RT 90 och lokala, kommunala system. Plana koordinater beräknas genom projektion på ett plan av läget på ellipsoiden, s.k. (*kart*)projektion.

Genom en kartprojektion avbildas alltså den krökta jordytan på en plan yta. Valet av projektion styrs av tillämpningen och projektionens egenskaper, så att kartan på ett bra sätt avbildar det man vill visa. De flesta svenska kartor är gjorda i *Transversal Mercator* (*Gauss-Krügers projektion*).

Höjdsystem (1D)

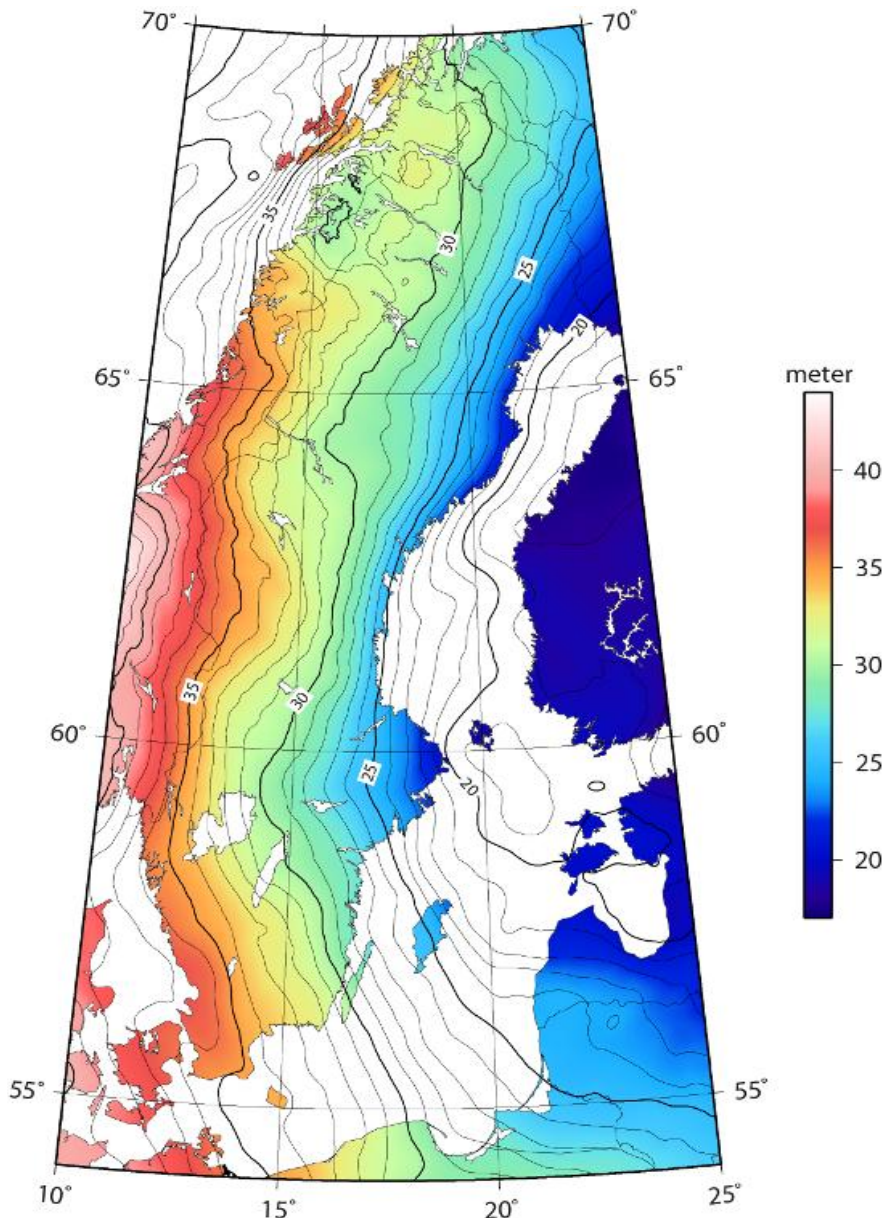
”Höjd över havet” anges i ett *höjdsystem*. Höjdsystemet har en väl definierad nollpunkt och realiseras av *fixpunkter* på marken, som är inmätta – vanligen genom avvägning – och höjdbestämda.

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.

Geoiden

När vi i dagligt tal pratar om höjd över havet är det i striktare mening höjd över *geoiden* vi menar. Geoiden är den nivåyta som sammanfaller med världshavens medelnivå och har en tänkt förlängning in under kontinenterna. Ytan är, i varje punkt, vinkelrät mot tyngdkraftens riktning

För att omvandla höjder över ellipsoiden – t.ex. GNSS-mätta höjder – till höjder över havet används en så kallad *geoidmodell*. Gällande nationella geoidmodeller är SWEN08_RH2000 och SWEN08_RH70, som ger höjder i systemen RH 2000 respektive RH70. Se figur 1.1.1.c.



Figur 1.1.1.c. Geoidmodellen SWEN08.

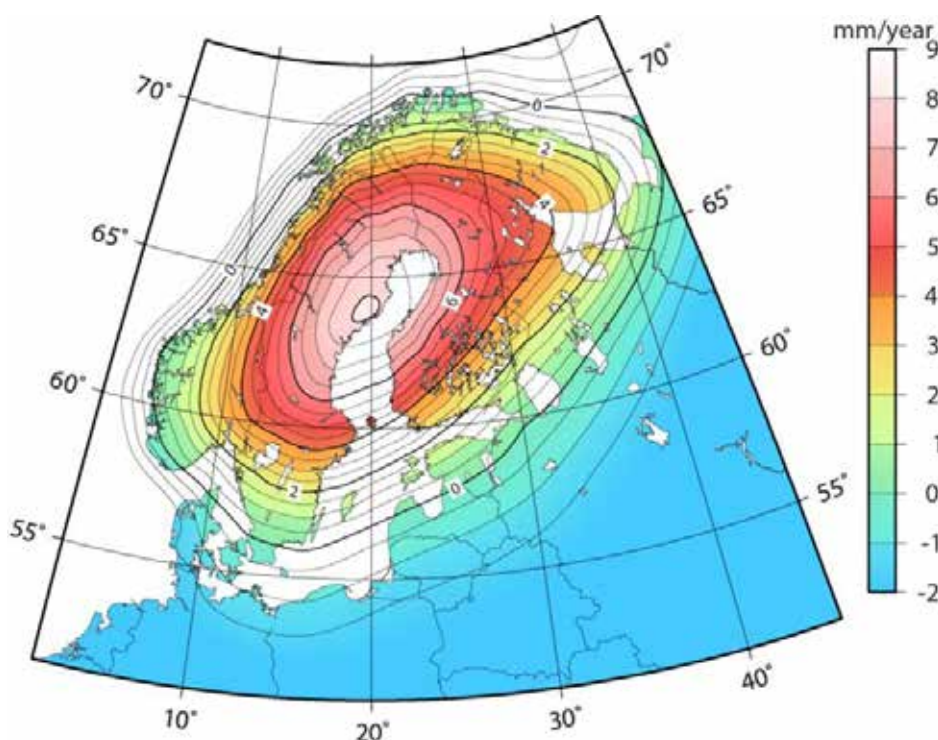
Tyngdkraftssystem

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 benämns RG 82. Tyngdkraftsmätning används bl.a. för geoidbestämning och vid *precisionsavvägning*.

Landhöjning

Redan i början på 1700-talet observerade man att jorden höjde sig i Norden. Eftersom man då trodde att det var havsvattnet som försvann kallades fenomenet för "vattuminskning". Idag vet vi att det är landet som höjer sig efter att ha varit tungt belastat av den kilometertjocka isen under senaste istiden.

Landhöjningen (se figur 1.1.1.d) kan modelleras utifrån bland annat upprepade avvägningar, mareografmätningar (observationer av havsvattenståndet) och GNSS-mätningar. Den ger en långsiktig påverkan på referenssystemen, framför allt i höjddled.



Figur 1.1.1.d. Landhöjningsmodellen NKG2005LU.

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

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

1.1.2 Realisering av de nationella referenssystemen

Information

Lantmäteriets definition av referenssystemen innebär att vi i Sverige har separerade referenssystem i plan och höjd, med helt olika bakomliggande filosofier.

SWEREF 99 är i grunden ett tredimensionellt referenssystem, som realiseras **aktivt** av de 21 fundamentalstationerna i SWEPOS-nätet (se avsnitt 1.2.2). Det finns alltså inga fysiska punkter på marken som realiserar SWEREF 99.

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

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

1.1.3 Relationer mellan olika referenssystem

Rekommendation

- a) I första hand bör referenssystemet SWEREF 99 och höjdsystemet RH 2000 tillämpas. Åtminstone bör sambanden till dessa system tas fram, kontrolleras och publiceras. Lokala/regionala referenssystem bör kvalitetsdeklarerars.
- b) Plana koordinater bör redovisas i det nationella SWEREF 99 TM eller – för att få större måttaktighet – i de regionala projektionszonerna till SWEREF 99.
- c) 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.
- d) Då fristående eller projektanpassade referenssystem används bör ändå en grov inplacering i de nationella systemen göras.

Information

På europainivå kan vi sätta SWEREF 99 = ETRS 89 (= ITRS) och RH 2000 = EVRS. Vidare gäller att SWEREF 99 överensstämmer med WGS 84 inom några decimeter.

Inom Norden ligger avvikelserna på cm-nivå för de två- och tredimensionella systemen, samt för geoidmodellerna, och på mm-nivå för höjdsystemen. (Något mer beträffande Danmark som lanserade sitt höjdsystem tidigare än de övriga länderna).

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.

Sålunda utgör SWEREF 99 den officiella realiseringen av det europeiska referenssystemet ETRS 89 (*European Terrestrial Reference System 1989*) inom Sverige. Med lag- och regelstöd från EU och Euro-Geographics utgör detta system 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*).

ETRS 89 förvaltas av den internationella geodesiassociationen IAG:s underkommission EUREF. Samma kommission förvaltar även det europeiska höjdsystemet EVRS (*European Vertical Reference System*). Det är uppbyggt på nationella avväggnings- och landhöjningsdata för att underlätta utbyte av höjdinformation inom Europa. RH 2000 är den svenska realiseringen av EVRS; två europeiska realiseringar finns: EVRF2000 och EVRF2007, se [Infoblad 15](#).

I Norden har samarbetet inom NKG (*Nordiska Kommissionen för Geodesi*) varit särskilt intensivt. I tabell 1.1.3.a-b redovisas resultaten av några jämförelser med grannländernas referenssystem, vilka kan vara av intresse i projekt i närheten av eller över riksgränserna.

Vad gäller geoidmodeller så har de övriga nordiska länderna sådana kopplade till sina referenssystem på samma sätt som Sverige, och eftersom de delvis bygger på samma geoidberäkning uppgår skillnaderna endast till några fåtal centimeter.

Tabell 1.1.3.a. Från en studie av Finlands, Norges respektive Danmarks tredimensionella referenssystems avvikelser mot SWEREF 99. RMS i mm.

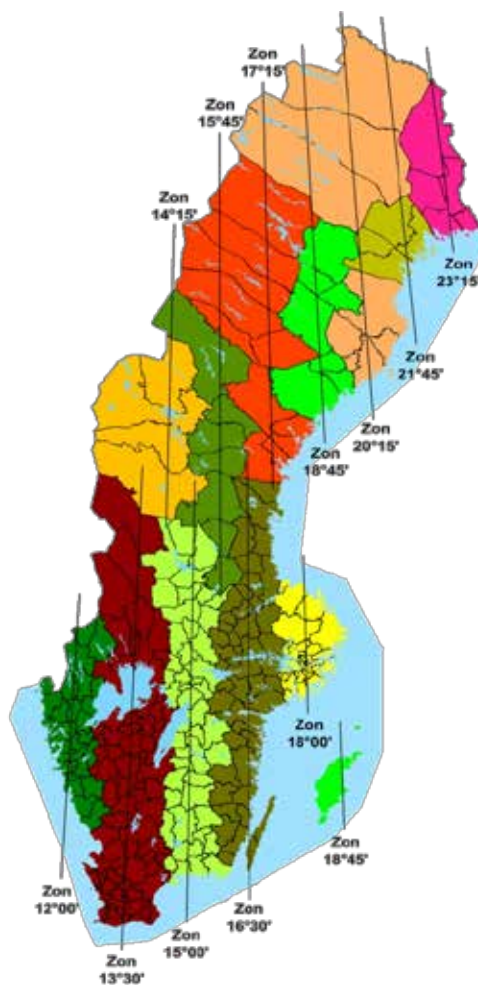
	Höjd över ellipsoiden	Plan	3D
FIN EUREF 89	9	4	10
N EUREF 89	5	23	23
DK EUREF 89	9	11	14

Tabell 1.1.3.b. Från en studie av våra grannländers höjdsystems avvikelser mot RH2000 vid respektive riksgrens. Enhet: mm.

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

Ett problem som fortfarande kan behöva hanteras vid arbeten i gränstrakterna är skillnader mellan berörda länders kartbladsindelning/indexsystem, eftersom dessa vanligen ligger till grund för stråkplanering, dataleveranser etc. Här finns inte motsvarande enhetlighet så man får helt enkelt välja något av systemen.

Regionala projektionszoner till SWEREF99



Figur 1.1.3. Projektionszonerna i SWEREF 99. Originalkartan finns på www.lantmateriet.se/refsys under Inforande-av-SWEREF-99-och-RH-2000

För att få större måttriktighet vid regionala och lokala tillämpningar finns, i tillägg till nationella SWEREF 99 TM, även *regionala projektionszoner* till SWEREF 99, se figur 1.1.3. Zonerna betecknas efter medelmeridianens avstånd från Greenwich enligt modellen:

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

Överräkningar mellan SWEREF 99 TM och de regionala projektionszonerna kan göras felfria fram och tillbaka.

OBS att projektionszonerna i figur 1.1.3 följer i de flesta fall kommungränser men de är inte på något sätt bindande för kommunerna. Det innebär att lokala avvikelser kan förekomma och att andra användare har egen indelning. Exempelvis tillämpar Trafikverket en något [annorlunda indelning](#) för delar av sin verksamhet.

Nationella vs. lokala/regionala referenssystem

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

Även om en övergång inte är aktuell bör sambanden mellan det egna systemet och det nationella bestämmas. Alla ansvariga för lokala/regionala referenssystem bör dock överväga en övergång till de nationella systemen SWEREF 99 och RH 2000.

Genom detta bidrar man till ökad nationell samordning och användning av geodata. Vidare underlättas utbytet av data, både för den egna organisationen och för externa användare. Själva övergångsarbetet innebär också en översyn och förbättring av de egna referensnäten.

Beträffande SWEREF 99 tillkommer att GNSS-baserad lägesbestämning effektiviseras genom att man redan från början är i "rätt" referenssystem och därför slipper transformationer.

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 *höjdskift* (\pm en konstant) bestämmas för att få en approximativ koppling till RH 2000. Detta bör dock inte betraktas som den slutgiltiga lösningen utan som första steget mot en övergång.

Mer information om införandet av SWEREF 99 och RH 2000 finns på Lantmäteriets webbplats:

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

Där får användarna råd och stöd på olika sätt, bl.a. i form av tidigare nämnda "[Infoblad](#)" på 1-2 sidor.

För tillfället (november 2013) har 259, av 290 kommuner, gått över till SWEREF 99 och 124 stycken till RH 2000. Status vad gäller anslutningen kan följas på webb-sidan PROFS:

www.metainfo.se/profs/map.jsp?projectId=sweref

Nya vs. äldre nationella referenssystem

Då nya nationella referenssystem har införts får de äldre rikssystemen ungefär samma dignitet som övriga lokala/regionala system.

Skillnaderna mellan de olika nationella höjdsystemen beror främst på landhöjningen mellan mätperioderna – som är olika över landet – men delvis även på att de precisionsavvägningar de baseras på är av olika kvalitet. Avvikelserna mellan RH 00 och RH 70 ligger mellan -4 cm i syd-Sverige och +83 cm i norra Sverige. Skillnaden mellan RH 70 och RH 2000 varierar mellan + 7 cm och + 32 cm.

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

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

Samband mellan rikssystemen

Vad gäller sambandet RH 00 ↔ RH 2000 finns inget bra sätt att hantera en höjdtransformation, vilket främst beror på kvalitetsbrister i RH 00. Transformation mellan RH 70 och SWEREF 99 kan dock ske via de nationella geoidmodellerna:

- Transformera först från RH2000 till höjd över ellipsoiden i SWEREF 99 med SWEN08_RH2000.
- Transformera därefter till RH70 med SWEN08_RH70.

Eller omvänt.

På plansidan finns ett officiellt nationellt samband mellan RT 90 och projektioner av SWEREF 99. Det baseras på en s.k. *direktprojektion*.

Metoden ger vanligen ett fullt användbart resultat – om tillhörande restfelsmodell används! Det utgör förstahandsalternativet vid transformation mellan dessa system, men även en s.k. 7-parametertransformation har officiellt publicerats.

Mer om [transformationer](#) finns på Lantmäteriets webbplats och i nästa avsnitt (1.1.4).

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 förrättningsmätning 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, se avsnitt 1.2.2 – om det rör sig om projekt över större geografiska områden, t.ex. väg- eller järnvägsprojekt. Referenssystem på t.ex. en byggsplats ställer dock sådana kvalitetskrav att **passiv** realisering – markerade punkter och konventionell mätning – är enda möjligheten.

1.1.4 Koordinat- och höjdtransformationer

Krav

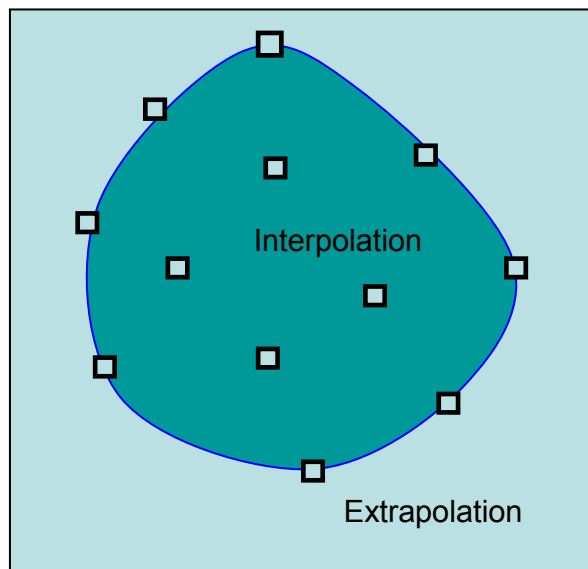
Transformationer ska hanteras enligt checklistan i bilaga A.5. Särskilt viktigt är att undvika extrapolation – utanför transformationsformelns giltighetsområde (se figur 1.1.4).

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

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

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

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



Figur 1.1.4. 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 1.1.4. Komplettering med en *restfelsmodell* minskar osäkerheten i en empirisk transformation.

Några ytterligare exempel på transformationer:

- *Translation* i höjd mellan två höjdsystem m.h.a. 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*).
- Omräkning från latitud/longitud (φ, λ) till plana koordinater (Northing/Easting), som är en form av överräkning.
- 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* (tre parametrar) bibehåller skalan.

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

1.2 Referensnät

1.2.1 Passiva referensnät (stomnät)

Information

Markerade riksnätspunkter och RIX 95-punkter utgör **inte** realiseringen av referenssystemet SWEREF 99, vilket är en konsekvens av beslutet att fundamentalstationerna i SWEPOS ska realisera systemet.

RIX 95-punkter kan alltså inte betraktas som felfria utan bedöms ha en standardosäkerhet i plan på cirka 10 mm.

Rekommendation

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

Krav

- Vid genomförande av stomnätsprojekt ska fortfarande de äldre HMK-geodesidokumenterna användas som rättesnören.
- Hänsyn ska dock tas till den aktualitetsbeskrivning som hör till varje dokument. Dessa finns publicerade på HMK:s hemsida www.lantmateriet.se/HMK, *Äldre HMK-skrifter*, tillsammans med en pdf-version av respektive handbok.

Riksnäten

Principerna för de nationella referenssystemens realisering i form av *riksnät* beskrivs i avsnitt 1.1.2.

Uppgifter om riksnäten (koordinater, höjder, punktbeskrivningar, punktkartor etc.) finns i Lantmäteriets [Geodetiska arkiv](#). Där finns dock inte t.ex. kommunernas och Trafikverkets punkter med. För att få uppgifter om dessa får man vända sig till respektive huvudman. På sikt vore en gemensam nationell tjänst för åtkomst av uppgifter om stompunkter önskvärd.

Traditionella stornätstyper

Följande beskrivning har litet av en historisk prägel. Den knyter an till "äldre" HMK och kopplar ihop den moderna tekniken med den traditionella. Beskrivningen formuleras i imperfekt (dåtid).

Den motiveras dock även av att den har aktualitet än i dag – där satellittekniken inte fungerar, t.ex. i innerstadsområden, eller där noggrannhetskraven är extra höga, t.ex. i byggplatsnät. Då sker även den fortsatta mätningen med konventionell mätteknik.

I det dagliga arbetet utnyttjades vanligen stompunkter i *bruksnät*, s.k. *brukspunkter*. Allt eftersom positionsbestämningen krävde väldefinierade referenssystem över större områden anslöts bruksnäten till ett överordnat nät, ett *anslutningsnät*, som dessutom utgjorde länken till riksnätet. Den hierarkiska indelningen av stornäten var här **funktionsanpassad**.

Av mättnings- och beräkningstekniska skäl fanns även en **produktionsanpassad** indelning av stornäten. *Triangelnät* och *polygonnät* var de traditionella nättyperna för stornät i plan. Polygonnät med långa sidor och få mellanpunkter i tågen benämndes *storpolygonnät*.

Högpunktsnät och *väggmarkerade nät* är, från mät- och beräknings-synpunkt, inte egna nättyper. Därför beskrevs även dessa med ovanstående terminologi, beroende på tillkomstsätt; termerna har ändå sitt berättigande eftersom de ger användaren information om att fri station antagligen måste användas vid utnyttjande av nätet.

För stornät i höjd användes vanligen termen *höjdtågsnät*, t.ex. *avvägningsnät*, men även *trigonometriska höjdnät* med direktsikt mellan punkterna förekom.

Tabell 1.2.1. Nättyp/funktion för stornät i plan och höjd.

	Nättyp\Funktion	Riksnät	Anslutningsnät	Bruksnät
P L A N	Triangelnät	*	*	*
	Storpolygonnät		*	*
	Högpunktsnät		*	*
	Polygonnät			*
	Väggpunktsnät			*
H Ö J D	Avvägningsnät	*	*	*
	Trigonometriska höjdnät			*

I vissa sammanhang fanns – och finns – dessutom behov av att upprätta *specialnät*, t.ex. *byggplatsnät*. Där möjliggör högt placerade signaler, i kombination med Fri station (se avsnitt 2.2.2), en ”beröringsfri mätning” utan risk för att markeringar försvinner eller att bygg- och mätprocesserna stör varandra.

Sambandet mellan den produktionsanpassade och den funktionsanpassade stornätsindelningen åskådliggörs i tabell 1.2.1.

Genomförande av stornätsprojekt

Vid genomförande av stommätning, etablering av traditionella stornät samt vid stornätsförtätning finns mycket att hämta i ”äldre” HMK. I möjligaste mån bör dock tågformen undvikas till förmån för konfigurationer av *fackverkstyp*.

- Råd och anvisningar för genomförandet av ett stornätsprojekt ges i [HMK-Stommätning](#), kapitel 4-7. En central del i [HMK-Stommätning](#) är bilaga A, som innehåller *felgränser/toleranser*.
- Stompunkter representerar ett stort värde från såväl teknisk som ekonomisk synpunkt. Ibland har de även ett juridiskt värde. Det är därför viktigt att markeringen görs lika stabil som dess mätvärdighet. I dokumentet [HMK-Markering](#) behandlas samtliga punkttyper med avseende på markering, markeringsätt, identifiering, säkerställande m.m.
- Kontroll och justering av mätinstrument är en viktig del i kvalitetssäkringen. Vad gäller traditionella instrument finns detta beskrivet i [HMK-Stommätning](#), bilaga D. Vissa kontroller beträffande utrustning för GNSS finns beskrivna i check-

listan i bilaga A.2 samt i det [mätningstekniska kompendiet](#), kapitel 6.

- Stomnät, särskilt anslutningsnät, brukar även bestämmas med statisk GNSS-teknik, vilket beskrivs i [HMK-GPS](#). Nätverks-RTK (se nedan) är normalt inte att rekommendera i stommätningssammanhang!

1.2.2 Aktiva referensnät

Information

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

Den nationella tjänsten SWEPOS möjliggör också sömlös mätning i gränstrakterna genom samverkan med de nordiska grannländerna. Projektanpassad nätverks-RTK minskar mätosäkerheten ytterligare.

Krav

Höjder i RH 2000 som bestämts med GNSS och en geoidmodell har normalt en större osäkerhet än avvägda höjder i samma system. Trots att de hänför sig till samma referenssystem ska därför tillkomstsättet tydligt dokumenteras vid blandning av de två typerna av höjduppgifter.

Relativ positionsbestämning och referensstationer

Relativ positionsbestämning innebär att GNSS-mottagaren lägesbestäms i förhållande till en känd punkt. Genom bildande av differenser mellan mätningarna på de båda punkterna elimineras eller reduceras de flesta av de fel som uppstår vid *absolut positionsbestämning*, direkt mot satelliterna.

Det behövs minst två mottagare för att mäta relativt. För att få läget säkert bestämt krävs mätning mot minst fyra satelliter som är gemensamma för de båda mottagarna. Den mottagare som etableras på den kända punkten – *referensstationen* – kan antingen placeras där tillfälligt eller som en mer fast installation. En egen datalänk (t.ex. radiomodem eller GSM) för överföring av data behövs också.

Nätverks-RTK och SWEPOS

Fasta referensstationer kan etableras i egen regi eller som ett nät som kan användas av flera användare inom täckningsområdet. Denna lösning – *Nätverks-RTK*– innebär att varje användare endast behöver en GNSS-mottagare i stället för två.

Då ett antal fasta referensstationer fungerar i nätverk erhålls yt-täckande information om de fel som uppstår när GNSS-signalerna passerar atmosfären och felen i satelliternas banor. Denna information kompletterar sedvanliga data från RTK-mätning.

Avståndet mellan de fasta referensstationerna kan därigenom ökas från 20-30 km för *enkelstations-RTK* till ca 70 km med bibehållen mätosäkerhet och ungefär lika lång initialiseringstid. Med Nätverks-RTK får man även fördelarna att täckningsområdet blir sömlöst och att data är kvalitetskontrollerade.

Den nationella infrastrukturen för GNSS-mätning består idag av det nationella nätet av fasta referensstationer, SWEPOS, samt Sjöfartsverkets nät för deras dGPS-tjänst. Vidare finns lokala referensstationer som drivs i användarregi, I Sverige kan även det europeiska stödsystemet EGNOS samt regionala och globala kommersiella tjänster – med såväl mark- som satellitbaserad distribution av data – användas.

SWEPOS är unikt i ett globalt perspektiv eftersom det tillhandahåller data för såväl produktionsmätning som vetenskapliga studier av rörelser i jordskorpan – och dessutom "bär upp" SWEREF 99 genom sina fundamentalstationer. Utsända korrektioner är kvalitets-säkrade och kompenserade för t.ex. landhöjningen.

Tabell 1.2.2. Exempel: nät av fasta referensstationer och GNSS-tjänster i våra grannländer, dvs. deras motsvarigheter till SWEPOS och SWEPOS tjänster.

Land	Nät eller tjänst
Finland	FinnRef, VRSnet.fi
Norge	SATREF
Danmark	KMS, GPSnet.dk och Leica SmartNet Danmark

Genom samverkan med grannländerna används i SWEPOS tjänster numera data från ett antal fasta referensstationer i våra grannländer, 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 1.2.2.

Projektanpassad nätverks-RTK utgör en vidareutveckling av SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst – 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.

Mer om GNSS-mätning finns i avsnitt 2.1. En ganska detaljerad beskrivning av nätverks-RTK, SWEPOS m.m. återfinns också i bilaga C – även om den primärt är skriven för kinematiska tillämpningar, dvs. mätning under rörelse. Se även:

[Infoblad 4, Fasta lokala referensstationer](#)

swepos.lantmateriet.se (SWEPOS hemsida)

GNSS och höjdmätning

Som tidigare beskrivits så ger GNSS-mätning höjden över ellipsoiden i SWEREF 99. Denna höjd överensstämmer dock inte med de avvägda höjderna i RH 2000. För att nå dit måste mätta höjder korrigeras med en geoidmodell, i första hand SWEN08_RH2000.

Denna modell är dock inte felfri utan har en standardosäkerhet på cirka 10 – 15 mm vid kontroll mot RH 2000. Lokalt kan skillnaden t.o.m. uppfattas som systematisk (se avsnitt 2.1.2).

Att avvägda höjder dessutom – normalt – har en lägre mätosäkerhet än höjder bestämda med GNSS-teknik förstärker ytterligare behovet av kunskap om hur en viss höjdbestämmning har gått till.

1.2.3 Behövs markerade stomnät i satellitåldern?

Genom definitionen av SWEREF 99 kan man säga att lägesbestämda objekt i databaser kopplas till koordinatsystemet via SWEPOS-nätets fundamentalstationer. Därigenom blir systemets koppling till databasobjekten svagare, eftersom lokala förändringar och rörelser i jordskorpan inte fångas upp av ett så glest nät.

Bland annat för att monitorera sådana rörelser har Lantmäteriet valt ut cirka 300 *försäkringspunkter*, som är stabilt markerade och som kontrollmäts enligt ett rullande, årligt schema.

För lokal mätning i kommuner kommer det på motsvarande sätt att även fortsättningsvis behövas en komplettering med fast marke-

rade punkter, för att säkra det plana referenssystemet. Fasta markeringar kan även krävas för speciella ändamål, t.ex. i bygg- och anläggningsverksamheten.

På höjdsidan finns inte diskussionen ”markera eller inte markera”; såväl på nationell som på lokal nivå bärs höjdnäten upp av markerade fixpunkter. Så svaret på frågan i rubriken är: Ja, markerade stomnät behövs!

1.3 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 upp-lösning). Denna hierarki ska vara knuten till beteckningen.
- Systemet ska vara enkelt för användarna och bör vara konstruerat så att GIS-programvaror kan stödja det.

Det nya indexsystemet 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 behovet av en anpassning även till de regionala projektionszonerna har påtalats.

1.4 Läs mer

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

- kapitel 4, Höjdsystem
- kapitel 5, Geodetiska referenssystem

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

2 Geodetisk mätning

I detta avsnitt beskrivs de generella aspekterna på *geodetisk mätning*, närmare bestämt **inmätning** som utförs med geodetiska metoder. I avsnitt 3 ges mer detaljerade krav samt toleranser för olika moment i mätprocessen.

Terrester laserskanning börjar mer och mer betraktas som en geodetisk mätteknik, men i denna dokumentversion tas den inte upp i huvudtexten. Geodesins stöd till tekniken behandlas dock i bilaga C : *Kinematisk positions- och orienteringsbestämning*.

- Geodetisk mätning kan avse *geografiska objekt* för kartering, projekteringsunderlag och upprättande av geografiska databaser (*geodetisk detaljmätning*) men även *stöd- och kontrollpunkter* för t.ex. flygfotografering och laserskanning.
- Den kan också gälla *kontroll* av tidigare utförd detaljmätning – särskilt sådan som har utförts med andra metoder, t.ex. fotogrammetri.
- *Satellitmätning* blir allt vanligare men fortfarande utförs en hel del mätning med *terrester teknik*, vanligen med totalstation, eller en kombination av dessa tekniker.

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

Rekommendation

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

2.1 Mätning med satellitteknik

2.1.1 Riktlinjer för RTK-mätning

Krav

- a) De råd, anvisningar och toleranser som redovisas i "[Kortmanual](#) för mätning med SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst" (LMV-rapport 2006:2) och "[Checklista för nätverks-RTK](#)" (LMV-Rapport 2010:3) ska följas. En sammanfattning av checklistan finns i bilaga A.2 till detta dokument.

- b) Vid användning av enkelstations-RTK mot ett befintligt stornät ska referensstationen placeras på den närmaste stompunkten med tillräcklig kvalitet. Andra viktiga kriterier för urvalet är markeringens stabilitet, synbarhet mot satelliterna samt risken för stöld av den utställda mottagaren.
- c) Om tveksamhet råder beträffande stornätets kvalitet i området ska ytterligare ett antal stompunkter i omgivningen mätas in som kontroll.
- d) Vid byte av referensstation ska kontroll ske genom att minst en stompunkt eller ett väldefinierat geografiskt objekt återbesöks, dvs. mäts in på nytt.

Satellittekniken GNSS är nu fungerande för praktisk lägesbestämning med en mätosäkerhet på centimeternivå, och är på väg att ta över en allt större del av vardagsmätningen – åtminstone utanför "stenstaden" i de större tätorterna. Exempel på tillämpningar är detaljmätning, förrättningsmätning, maskinstyrning i anläggningsprojekt och i jordbruket, inmätning av olika typer av ledningar i mark och insamling av data för geografiska databaser.

Nätverks-RTK är i dag den förhärskande tekniken för GNSS-mätning (se figur 2.1.1), som i sig förutsätter referensstationer. Eftersom tekniken är så intimt förknippad med de aktiva referensnäten har den redan berörts i avsnitt 1.



Figur 2.1.1. Utrustning vid mätning med nätverks-RTK. Antenn/mottagare i toppen och en fältdator mitt på mätstången. Foto: Lantmäteriet.

Här lyfter vi främst fram hur mätning med Nätverks-RTK bör gå till för att vara så effektiv, noggrann och tillförlitlig som den kan bli. Det sker i form av riktlinjer av olika slag, föranledda av att det gäller en ny teknik, i nya tillämpningar och med nya användare.

Lantmäteriet har tagit fram en "[kortmanual](#)" för mätning med SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst. Den syftar till att ge mindre erfarna GNSS-användare en översiktlig fälthandledning. Manualen tar upp vad användaren bör beakta under mätning och den gäller generellt för mätning med RTK-teknik, även vid enkelstations-RTK.

En grundligare beskrivning av RTK-tekniken, samt en mer omfattande information om inställning av parametrar för mätning och kvalitetskontroll, finns i en "[checklista](#)" för nätverks-RTK. Även den är tillämpbar för enkelstations-RTK.

Dokumentet innehåller såväl själva checklistan – avsedd för fältbruk – som en mer detaljerad beskrivning av dess innehåll. Där ingår bl.a. toleranser för följande kontroller av RTK-mätningar:

- Regelbunden mätning på en **kontrollpunkt** nära kontoret.
- Mätning på en "**känd**" **punkt** i fält.
- **Återbesök** av en tidigare mätt punkt.

Från Kortmanualen och Checklistan har vi hämtat följande förteckning över viktiga kvalitetsparametrar, kvalitetsindikatorer och kvalitetspåverkande inställningar – generellt för GNSS, men med tonvikt på RTK (se även bilaga C):

- Antalet tillgängliga satelliter.
- Elevationsgräns; satelliternas lägsta höjd över horisonten.
- PDOP (*Positional Dilution of Precision*); ett grovt mått på mätosäkerheten baserad på satellitkonfigurationen.
- Signalstyrka eller signal-brus-förhållande (*Signal-to-Noise-Ratio*).
- Observationsintervall; tidsavstånd mellan registreringar.
- Tid till fixlösning; kan indikera att ominitialisering krävs.
- "RTK-ålder"; ålder på korrektionsdata.

Det är viktigt att förstå den egna utrustningens kvalitetstal och liknande parametrar för att kunna göra rätt inställningar och tolka meddelanden korrekt.

2.1.2 Kontroll av RTK-mätta höjder

Rekommendation

- a) Avvikelse mellan avvägda och GNSS-mätta höjder brukar kunna hänföras till lokala skillnader mellan geoidmodell och höjdsystem, och en korrektion av höjdbestämmningarna bör övervägas. Ett signifikant höjdskick bedöms vara ≥ 20 mm vid terrester kontrollmätning av ett 20-tal GNSS-bestämda höjdpunkter. Se exempel A.3 i bilaga A i [HMK-Introduktion](#).
- b) I de fall skiftet ska användas för en mer permanent korrektion mellan geoidmodell och höjdsystem i det aktuella projektområdet bör minst två oberoende kontrollmätningar, vid olika tillfällen, ligga till grund för bestämningen.

Om höjder bestämda med Nätverks-RTK finns mer att säga. Som vi sett i avsnitt 1 ger GNSS-mätning (t.ex. Nätverks-RTK) primärt longitud, latitud och höjd över ellipsoiden.

Av figur 1.1.1.a. framgår att för att erhålla "vanliga" höjder (H) i ett höjdsystem måste geoidhöjden (N), från en geoidmodell, subtraheras från höjden över ellipsoiden (h):

$$H = h - N$$

I de fall kvalitetskraven är höga bör denna "indirekta" höjdbestämmning, via ett **aktivt** referensnät, kontrolleras mot närliggande höjder i det (**passiva**) höjdsystem som gäller inom området. Detta gäller särskilt om de två olika typerna av höjder används parallellt. Kontrollen kan utföras genom mätning med totalstation eller avvägningssinstrument mot ett urval av de GNSS-bestämda höjderna, med anslutning mot närbelägna höjdfixar.

Kontrollmätning av tillräckligt många punkter ger en möjlighet att **korrigera** den absoluta höjdnivån, dvs. kompensera för den avvikelse som geoidmodellen kan ge lokalt. Avvikelsen kan betraktas som homogen inom ett begränsat område, vilket ger en korrektion i form av ett skift (\pm en konstant). Höjdskicket skattas som medeltalet av höjdavvikelserna på de kontrollerade punkterna (se exempel A.3 i bilaga A i [HMK-Introduktion](#)).

Skiftet används primärt för att korrigera de inmätningar ur vilken kontrollpunkterna har hämtats. Det är dock inte alltid den korrektionen räcker. En noggrannare mätmetod kan behöva användas, alternativt olika metoder i plan (Nätverks-RTK) och höjd (t.ex. avvägning).

Detta att "skifta" höjder är vanligt i infrastrukturprojekt. Det ger vanligen en tillräckligt bra anslutning till överordnat nät och god överensstämmelse med de geodata som ska användas – med bibehållande av GNSS-teknikens rationalitet.

Vid projektanpassad Nätverks-RTK är ett vanligt förfarande att skiftet bestäms genom avvägning av basstationen, och att denna sedan får utgöra "nollpunkt" för höjdbestämning inom projektet. Samma filosofi tillämpas vanligen även i plan, dvs. basstationen blir "fundamentalpunkt" för **all** lägesbestämning, lokalt i projektet.

Andra typer av GNSS-mätning

Allt är dock inte Nätverks-RTK, även om den tekniken torde vara viktigast vid geodätainsamling.

Vi har även:

- **Statisk mätning**, dvs. relativ GNSS-mätning med två eller flera mottagare under längre tid. Det är en lämplig metod för etablering av stomnät. Beräkningen bygger på utjämning av *baslinjer*. Metoden kan även användas för anslutning eller förtätning av höjdnät. Exempel på detta finns från projektet [Höjdmätning med GNSS](#) (LMV-Rapport 2010:4).
- **PPP (Precise Point Positioning)** är en metod som baseras på *odifferentierade* kod- och fas-observationer, se bilaga C. Det innebär att det inte behövs några referensmottagare på marken. Med precisa ban- och klockdata m.m. möjliggörs positionering på decimeternivå vid kinematiska tillämpningar. Inga referensmottagare på marken behövs och metoden kan ge tillförlitliga positioner även på högre höjder.
- Punktvis positionsbestämning med [SWEPOS beräknings-tjänst](#). Där kan man kombinera (statiska) GNSS-mätningar med **en** egen mottagare med motsvarande mätningar från närliggande SWEPOS-stationer. För närvarande kan endast en punkt i taget beräknas.
- Den typ av **handhållen GPS-/GNSS-mottagare** som används vid t.ex. jakt och annat friluftsliv har viss relevans även i "professionella" sammanhang, t.ex. vid positionsbestämning av stöd- och kontrollpunkter samt upprättande av punktbeskrivningar.

2.2 Konventionell geodetisk mätning

Brukspunkternas viktigaste funktion är att utgöra *utgångspunkter* för fortsatt mätning, t.ex. inmätning av stödpunkter eller geografiska objekt. I vissa fall måste stomnätet först *förtätas* genom bestämning av ytterligare punkter.

Stationsetablering avser bestämning av instrumentets/totalstationens läge och orientering på en utgångspunkt. Det är nästa steg i processen. Ett eventuellt fel i etableringen äventyrar hela detaljmätningssuppdraget, varför den måste utföras med omsorg. Ibland är stomnätsförtätningen – t.ex. vid Fri station – helt integrerad med stationsetableringen.

Själva inmätningen sker nästan uteslutande genom *polär mätning* och *trigonometrisk höjdbestämning*, vilket är förhållandevis oproblemiskt. Därför har fokus i framställningen lagts på stomnätsförtätningen och stationsetableringen.

2.2.1 Stomnätsetablering på känd punkt

Krav

Stationsetablering på "känd punkt" – dvs. på en tidigare bestämd stationspunkt – ska kontrolleras på något eller några av följande sätt:

- a) längdmätning mot bakåtojektet och jämförelse med motsvarande avstånd beräknat ur de kända koordinaterna
- b) riktningsmätning mot fler än ett bakåtojekt och kontroll av att orienteringen blir densamma
- c) polär inmätning av en känd punkt, som inte har använts vid stationsetableringen, samt jämförelse med dess koordinat- och höjdvärden.
- d) Detaljmätningen på en station ska alltid avslutas med en upprepad inriktning mot ett bakåtojekt, för kontroll av att inget har hänt med instrumentets orientering under pågående mätning. Vid byte av station ska minst en stompunkt eller ett geografiskt objekt mätas in på nytt.

Stationsetablering på "känd punkt" avser mätning från en tidigare bestämd stompunkt, eller uppställning på en punkt från en inledande stomnätsförtätning.

Kontrollerna avser främst att säkerställa att rätt utgångspunkter har använts, att markeringarna är intakta samt att angivna koordinater och höjder är korrekta; en kontroll av stomnätet helt enkelt.

2.2.2 Inmätning av ny stationspunkt - stomnätSFörtätning

Rekommendation

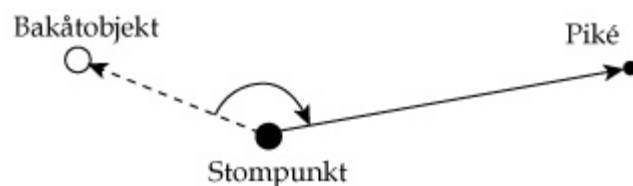
- a) För detaljpolygontåg gäller, som vanligt vid polygonisering, att tågen bör vara sträckta, anslutna i båda ändarna samt att sidlängderna bör vara ungefär lika och inte alltför korta.
- b) "Pikéer" och "parpunkter" som utgångspunkter för detaljmätning bör tillämpas endast i undantagsfall. Avståndet till pikén, eller mellan parpunkterna, bör vara längre än det längsta detaljmätningensavståndet.
- c) Ett bättre alternativ till parpunkter är ofta att mäta in tre eller flera punkter - med GNSS-teknik - och tillämpa överbestämd Fri station för stationsetableringen. Kända punkter i omgivningen bör också mätas in som kontroll.

Krav

- a) Som toleranser för detaljtåg ska HMK-Stommätningens felgränser för bruksnät i plan resp. höjd tillämpas.
- b) Höjdtåg ska anslutas och/eller dubbelmätas (tur och retur).
- c) Pikéer och parpunkter ska kontrolleras, t.ex. genom inmätning av kända punkter i samband med detaljmätningen.
- d) De kvalitets- och kontrollaspekter som redovisas i checklistan för Fri station i bilaga A.3 ska beaktas.
- e) Den fria stationsetableringen ska uppfylla toleranserna i HMK-Detaljmätning alternativt HMK-Stommätning, beroende på stationens funktion.

Förtätning med detaljtåg, pikéer och "parpunkter"

Den vanligaste metoden för stomnätSFörtätning har varit att lägga ut *detaljtåg*, som kan vara polygontåg och/eller höjdtåg. En *piké* är en förtätningsspunkt som mäts in polärt från en stompunkt, se figur 2.2.2.a. Den kan sägas vara ett detaljtåg i miniatyr, som inte är anslutet och endast består av en sida.



Figur 2.2.2.a. Bestämning av en piképunkt genom polär inmätning.

Det var tidigare ett ganska vanligt förfarande vid stomnätsförtätning för detaljmätning. Vid utnyttjandet används normalt den stompunkt från vilken pikén har mätts in som bakåtobjekt.

En i dag vanligare metod för att bestämma stationspunkter för detaljmätning är inmätning av s.k. *parpunkter*. Parpunkterna ligger i närheten av varandra, med sikt emellan. Vid detaljmätningen ställer man sedan upp instrumentet på den ena och använder den andra som bakåtobjekt. Oftast bestäms parpunkterna med GNSS-teknik.

Pikéer och parpunkter är dock inte helt problemfria förfaranden: de har inga inbyggda kontroller och om avståndet mellan den punkt som väljs som station och dess bakåtobjekt är för kort så ger metoderna en stor riktningssäkerhet vid den fortsatta mätningen.

Exempel: Man kan visa att standardosäkerheten för en orienterad riktning mellan två punkter på avståndet L meter blir

$$\sigma_{\varphi} = \frac{\sigma_p}{L} \cdot \rho$$

där σ_p är ändpunkternas standardosäkerhet i plan (punktmedelfel). Om vi antar att punkterna är bestämda med Nätverks-RTK med $\sigma_p = 15$ mm så får vi:

$$\sigma_{\varphi} = \frac{0.015 \cdot 63662}{L} \approx \frac{1000}{L}$$

mgon. Dvs. 100 mgon på avståndet $L = 10$ meter och 10 mgon på 100 meter, vilket är bra mycket sämre än den mätosäkerhet man normalt får vid riktningmätning med totalstation.

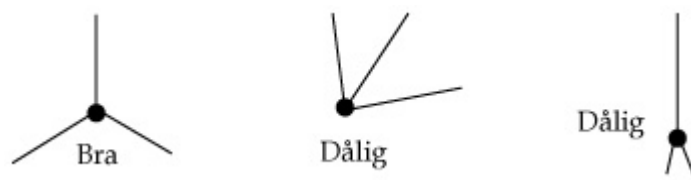
Fri station

Fri station (synonymer: *fri uppställning* eller *fri stationsetablering*) innebär att instrumentets läge i plan och/eller höjd, samt orientering, bestäms genom mätning från en **fritt** vald uppställningspunkt – med en **valfri** kombination av längd- och riktningmätningar. Utvecklingen mot fri station innebar möjligheter att göra bruksnäten glesare och på så sätt minska underhållskostnaderna för stomnätet.

Vid fri station uppnår man en mindre regional osäkerhet i stationsetableringen än vid uppställning på "känd" punkt, eftersom den fria stationens läge interpoleras från **flera** omkringliggande brukspunkter med samma kvalitet som en **enstaka** "känd" punkt.

På detta sätt får man vanligen mindre motsättningar mellan mätningar från två fria stationer än mellan mätningar från två kända punkter.

En bra konfiguration ökar möjligheten att hitta grova fel, se figur 2.2.2.b. För att upptäcka och lokalisera dessa krävs dock överbestämningar – och fria stationer är normalt överbestämda. Fler överbestämningar ger dessutom mindre osäkerhet i stationsetableringen även utan förekomst av grova fel.



Figur 2.2.2.b. Bra och dåliga konfigurationer vid inmätning i plan av en fri station.

De beräkningsmetoder som vanligen tillämpas för bestämning av fri station i plan är *koordinattransformation* och *sträng utjämning*. Höjdanslutning sker naturligt med trigonometrisk höjdbestämning.

Kontentan av checklisten i bilaga A.3 är:

- Överbestämd fri station med god konfiguration är vanligen att föredra framför uppställning på en känd punkt. Den kan anses vara likställd med de stompunkter som använts vid bestämningen.
- För att få en god konfiguration vid inmätning i planet bör bakåtobjekten om möjligt vara jämnt fördelade kring stationspunkten och på "behörigt" avstånd. Inmätningen bör ske mot minst tre bakåtobjekt, vilket ger ett k-tal $\geq 0,5$.

Det finns i huvudsak tre olika funktioner för en fri station:

- **Utgångspunkt för inmätning**, som bestäms vid mättillfället.
- **Tillfällig förtättningspunkt**, som mäts in i förväg och markeras provisoriskt under mätprojektet.
- **Permanent stompunkt**, som mäts in och markeras varaktigt (ofta som ersättning för en äldre, raserad stompunkt).

2.3 Realtidsuppdaterad fri station (RUFRIIS)

Krav

Tillämpning av RUFRIIS, "Realtidsuppdaterad fri station", ska ske enligt [Trafikverkets metodbeskrivning](#).

Som sagts tidigare så ligger mätosäkerheten vid nätverks-RTK på centimeternivå. En stor fördel är att användaren endast behöver **en** satellitmottagare; det aktiva referensnätet står för de övriga.

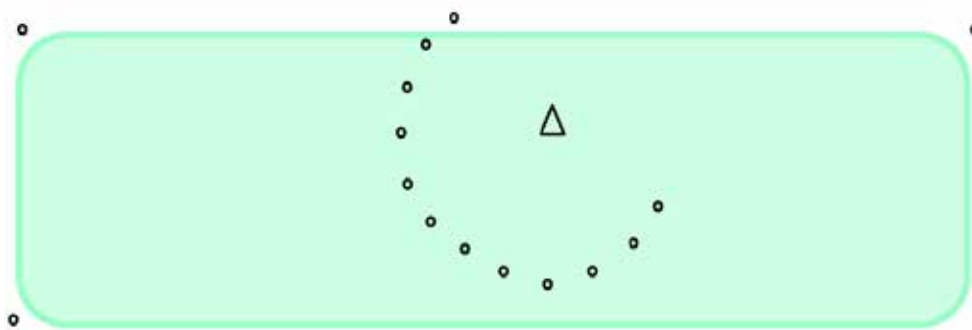
Metoden är också mycket effektiv ur produktionssynpunkt, eftersom mätningen sker direkt mot referensstationsnätet och inte via stom- eller hjälppunkter. Att det krävs fri sikt till satelliterna kan vara ett problem i tätort eller i skog. Genom komplettering med annan teknik kan dock problemet reduceras.

En näraliggande kombination är att bestämma bakåtojektet med GNSS och utföra bestämningen av den fria stationen och detaljmätning med totalstation. Det utnyttjar dock inte satellittekniakens fördelar fullt ut, varför en annan kombination har lanserats på senare tid: *RUFRIIS, Realtidsuppdaterad fri station*.

Vid RUFRIIS är mätstången med GNSS-antennen även försedd med prisma för längdmätning. Under stationsbestämningen mäter totalstationen mot prismet (horisontalriktningar, vertikalvinklar och längder) samtidigt som mätning mot satelliterna sker via antennen. Genom att flytta mätstången, punkt för punkt, runt totalstationen får man så småningom dels ett ganska stort antal bakåtojekt, dels en välbestämd fri station genom konventionell inmätning mot dessa objekt. Detaljmätningen kan sedan ske alternerande med den ena eller den andra tekniken, beroende på vilka sikthinder som finns och vilken typ av mätning som går snabbast.

Metoden har studerats utförligt inom Trafikverkets projekt "Stomnät i luften" – genom såväl teoretiska som praktiska studier. Figur 2.3 redovisar det viktigaste från denna studie i form av en optimal mätkonfiguration. Det gröna är detaljmätningens område. Punkterna i tre av hörnen är till för att reducera riktningosäkerheten, genom att detaljmätningens avstånd (från totalstationen räknat) blir kortare än avståndet till dessa punkter. Någon av de tre punkterna kan med fördel placeras ännu längre bort – bortom detaljmätningens område.

Som synes behöver inte GNSS-punkterna **omsluta** stationspunkten, varvet runt, som vid fri station. Det räcker att de täcker en halvcirkel runt stationen, så att dess position **interpoleras** och inte **extrapoleras**. Det beror på att det aktiva nätet inte har samma deformationer som ett passivt.



Figur 2.3. Punktkonfiguration vid RUFRRIS: Realtidsuppdaterad fri station.

2.4 Geodetisk detaljmätning

Krav

- Generellt sett ska geodetisk detaljmätning uppfylla toleranskraven i [HMK-Detaljmätning](#), bilaga F, och kontroll utföras på det sätt och med de toleranser som anges där.

Högre krav kan dock gälla vid t.ex. framtagning av projekteringsdata för anläggningsprojekt.

Den terrestra detaljmätningen har inte förändrats nämnvärt under de senaste decennierna. Därför gäller HMK-Detaljmätning i mångt och mycket än i dag.

Beträffande kontroller så är det idealiska att kunna mäta om ett urval av de inmätta punkterna – med teknik och instrument som helst bör vara något bättre än de som ursprungligen användes. I många fall finns dock inga andra försvarbara förfaranden än att utföra dubbelmätning direkt – vid inmätningstillfället, med samma utrustning, från samma uppställningsplats.

Kontroll av detaljmätning kan göras inom ramen för stationsetableringen (om det gäller geodetisk detaljmätning) eller genom separat kontrollmätning i efterhand (om det t.ex. gäller kontroll av fotogrammetrisk datafångst). Toleranser för detta finns i [HMK-Detaljmätning](#).

Detaljmätning med GNSS-teknik, läs Nätverks-RTK, kontrolleras först och främst med de metoder som beskrivs i checklisten i bilaga A.2. Om kvalitetskraven är höga bör kontroll av ett urval av de detaljmätta punkterna göras med terrester teknik. Detta gäller främst höjdbestämningen, se avsnitt 2.1.2. Även kontrollen bör i någon mån kontrolleras (!), dvs. vara överbestämd.

2.5 Läs mer

- Harrie m.fl. (2008): Geografisk informationsbehandling
 - avsnitt 5.2.1, Traditionella geodetiska metoder
 - avsnitt 5.2.2 Positionsbestämning med GNSS
- Harrie m.fl. (2011): Geodetisk och fotogrammetrisk mätning- och beräkningsteknik
 - kapitel 6, Mätinstrument
 - kapitel 7, Terrestra mätmetoder
 - kapitel 8, Detaljmätning
 - kapitel 11, Grundläggande teori om GNSS
 - kapitel 12, GNSS-mätning
- [Introduktion till GNSS](#) (LMV-rapport 2007:11)

Fler länkade referenser finns under [HMK-Referensbibliotek/Positionsbestämning med GPS/GNSS](#) på HMK:s webbsida

www.lantmateriet.se/HMK

3 Tillämpad geodesi: Geodатаinsamling

Rekommendation

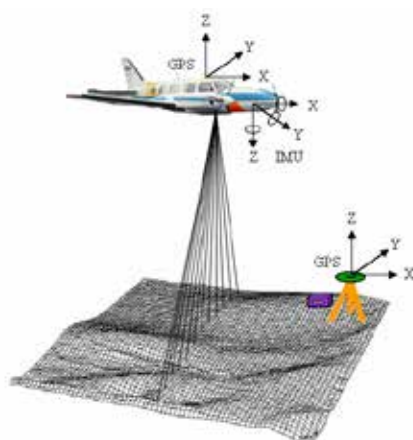
Geodetisk mätning för geodатаinsamling bör, generellt sett, följa processbeskrivningen i bilaga A.4. Utvecklingstendensen går mot noggrannare höjddata och 3D.

Geodатаverksamheten har under lång tid varit i kraftig förändring. Nu hanteras alla data digitalt och spridningen i samhället ökar – för olika ändamål och till olika användare. Nya metoder för datafångst, med tillämpning av ny teknik, har kommit till användning och kombineras med traditionella metoder.

GNSS-tekniken ger utökade möjligheter och har redan i stor omfattning förändrat mätmetoderna för geodатаinsamlingen. Den används direkt eller som stöd vid i stort sett all insamling av geografisk information och kartläggning.

Luftburen laserskanning kan i dag – med en kombination av GNSS-teknik och **tröghetsnavigering** som stöd, se figur 3 – användas för att ta fram höjdmodeller och uppdatera höjddata.

Genom nya digitala kameror med mycket hög bildupplösning har också datainsamling via **flygfotografering** utvecklats kraftigt på senare tid. GNSS-tekniken används för orientering och inpassning av bilderna. Genom att utnyttja laserskannade höjdmodeller med hög tillförlitlighet har också bildernas geometriska inpassning mot terrängen kunnat förbättras. Vidare kan mätning i bilderna göras med mindre mätosäkerhet och nya produkter har tillkommit, t.ex. olika typer av mätbara snedbilder.



Figur 3. Principskiss över luftburen laserskanning. IMU = Inertial Measurement Unit (enhet för tröghetspositionering). Källa: Lantmäteriet.

Den tekniska utvecklingen har alltså gett nya möjligheter vad gäller databasuppbyggnad och - underhåll. Men den kan också inbjuda till farliga genvägar med otillräcklig kontroll, som kan äventyra databasernas kvalitet. Användarna måste ha tillräckliga kunskaper för att bedöma tillförlitligheten i de nya metoderna och teknikerna.

I detta kapitel kopplas de geodetiska aspekterna – t.ex. referenssystem, kvalitetssäkring av mätningrutiner och datainsamling i fält – ihop med hela processen för uppbyggnad och underhåll av geodatabaser. Tonvikten ligger på **tillämpad geodesi** som stöd för, komplement till samt kontroll av geodatainsamling. Frågeställningarna är bl.a.:

- Vilken metod/teknik bör användas för att uppfylla kraven?
- Hur ska mätningarna genomföras för att uppnå avsedd kvalitet (kvalitetssäkring)?
- Hur kan man i efterhand kontrollera att kraven uppfylls (kvalitetskontroll)?

3.1 GNSS/INS-stödd flygfotografering och laserskanning

Information

GNSS/INS-stödd flygfotografering och laserskanning behandlas i bilaga C – inklusive alla Krav och Rekommendationer.

Utöver referenssystem och geodetisk inmätning lämnar geodesin direkta bidrag till flygfotografering och laserskanning genom stödjande satellit- och gyromätningar. GNSS används för lägesbestämning och ett *tröghetssystem* (INS, Inertial Navigation System), med en *tröghetsmätenhet* (IMU, Inertial Measurement Unit), för att bestämma flygplanets *attitydvinklar*, dvs. vridningarna i tre dimensioner. Se figur 3.

Dessa geodesitillämpningar – som är litet speciella och främst berör de experter som genomför dem – behandlas utförligt i bilaga C: *Kinematisk positions- och orienteringsbestämning*. Även fordonsburna (markbundna) skanningtillämpningar tas upp.

Huvudsyftet är att återskapa den "bana" som den rörliga plattformen hade vid datainsamlingen för att därigenom möjliggöra *georeferering*, dvs. inplacering av insamlade geodata i ett referenssystem. Användningen av GNSS/INS gör att det behövs betydligt färre stödpunkter – i vissa fall inget markstöd alls.

3.2 Val av geodetisk mätmetod

Information

I bilaga B.1 redovisas mätosäkerheter för geodetiska nät samt för mätmetoder och -tekniker. Den är avsedd att underlätta valet av metod/teknik vid geodetisk mätning – för olika tillämpningar, med olika kvalitetskrav. Det bör poängteras att vid flygfotografering och luftburen laserskanning är det normalt den **regionala** mätosäkerheten som är mest relevant.

I respektive tillämpningsdokument om geodatainsamling (Bilddata, Laserdata, Höjddata etc.) finns *standardnivåer* redovisade. Dessa beskrivs i tabellform och är tänkta att utgöra bryggan mellan beställarens krav och utförarens teknikval (se avsnitt 2.2 i [HMK-Introduktion](#)).

Logiken är följande:

- Beställaren väljer standardnivå utifrån sina krav och slutproduktens tänkta användning. I definitionerna av standardnivåerna ingår förslag på krav på mätosäkerheten vid inmätning av de geografiska objekten
- Beställaren väljer slutgiltigt krav på mätosäkerheten för inmätning av de geografiska objekten i bild- och/eller laserdata.
- Dessa krav styr kravet på lägesosäkerhet för markstöd och kontrollpunkter och därmed valet av metod/teknik för den geodetiska mätningen.
- När väl metodvalet har gjorts kontrolleras mätningen mot den valda metodens "inneboende" mätosäkerhet (se avsnitt 2.5.3 i [HMK-Introduktion](#)).

3.3 Stöd- och kontrollpunktsinmätning

3.3.1 Flygfotografering

Krav

- a) Signalering och inmätning av markstöd- och kontrollpunkter för flygfotografering ska ske enligt checklistan i bilaga A.8.

- b) Mätosäkerheten vid inmätningen ska följa den standardnivå som beslutats för projektet/uppdraget, vilket normalt innebär en standardosäkerhet som inte överstiger 1/3 av målosäkerheten i slutprodukten.

De som mäter måste kunna elementa om fotogrammetri och flygfotografering, eftersom det normalt är de som fastställer detaljläget för stöd- och kontrollpunkterna.

Det beror dels på att de ofta är de första som är på plats i terrängen, dels på att detaljplaceringen måste anpassas till såväl synligheten i flygbilderna som möjligheten till inmätning. Vanligen går man "med stråkplanen i hand" för att försäkra sig om att punkterna kan placeras och signaleras optimalt; då måste man kunna tyda den. Därför behandlas även signalering under denna rubrik.

En stödpunkt kan vara känd enbart i plan, *planstödpunkt*, enbart i höjd, *höjdstödpunkt*, eller i både plan och höjd, *fullständig stödpunkt*.

Som tidigare nämnts så innebär användningen av GNSS/INS att det behövs betydligt färre stödpunkter. Det ger dock en låg tillförlitlighet, vilket minskar möjligheterna att hitta grova fel. Genom att lägga ut *multipla stödpunkter*, där det enligt signaleringsplanen ska finnas **ett** stöd, ökar tillförlitligheten.

Signalering för flygfotografering består i huvudsak av följande moment (se checklistan i bilaga A.8):

- **Grov placering** av stödpunkter i förhållande till flygstråk, modeller, block etc. i ett antal som uppfyller ställda kvalitetskrav. Resultatet blir en stråkplan samt namn, position och utformning för planerade markstöd (*signaleringsplan*).
- **Detaljplacering** av planens punkter i terrängen, med hänsyn tagen till insynsvinklar, skugglängder m.m.
- **Markering** i de fall nya punkter läggs ut.
- **Inmätning** i plan och/eller höjd, inkl. kontroll.
- **Slutlig signalutformning**; storlek, färg m.m. utifrån anvisad utformning vid planering av stråk och markstöd.
- **Signalering** av inmätta stödpunkter; höjdstöd behöver normalt inte signaleras.
- **Bestämning av excentriciteter** mellan signaler och stödpunkter i de fall dessa inte sammanfaller, t.ex. att höjden mäts en bit ifrån signalen.
- **Framtagning av punktskisser**, om beställaren kräver detta, över såväl signalerade som naturliga stödpunkter.

- **Leverans** av markstöd i form av en fil med namn och positioner för inmätta markstöd samt redovisning i form av produktionsdokumentation (*signaleringsrapport*).

Mätosäkerheten ska följa den standardnivå som beslutats för projektet/uppdraget, vilket normalt innebär en standardosäkerhet som inte överstiger 1/3 av målosäkerheten i slutprodukten (se [HMK-Bilddata](#), avsnitt 3.2).

Det kan innebära olika stödpunkter i plan och höjd, att befintliga planpunkter måste höjdsättas genom nymätning (eller vice versa) eller att olika mätmetoder kan krävas för plan- och höjdmätningen, t.ex. Nätverks-RTK i plan och avvägning i höjd.

Exempel: Utifrån tabell 2.3 i dokumentet [HMK-Bilddata](#) har en beställare anggett kraven på standardosäkerheten för tydligt identifierbara objekt till 50 mm i plan och 80 mm i höjd (standardnivå 3). Det innebär att standardosäkerheterna vid inmätning av stöd- och kontrollpunkter inte bör överstiga $50/3 = 17$ mm (plan) respektive $80/3 = 27$ mm (höjd).

I tabell B.1.a i detta dokument anges för "Nätverks-RTK mot SWEPOS" de generella standardosäkerheterna 10-15 mm i plan och 20-25 mm i höjd. Det innebär att denna teknik ligger precis på gränsen för att uppfylla kraven. I de områden där SWEPOS har förtäts, och i de fall Projektanpassad Nätverks-RTK finns att tillgå, klarar dock tekniken otvetydigt de angivna toleranserna.

Om Nätverks-RTK väljs för inmätningen bör toleranserna i bilaga B.2 tillämpas vid kontroll.

Signalering och inmätning av markstöd har mycket gemensamt med signalering och inmätning av kontrollpunkter; det rör sig om ungefär samma mätförfarande och fältarbetet kan samplaneras. Men det finns olikheter i funktionen: stödpunkterna ska stödja datafångstmetoden och dess geometri medan kontrollpunkterna är till för kontroll av slutprodukten (databasgeometrin). Därför bör de redovisningsmässigt hållas isär.

Vid **inmätning av kontrollpunkter** bör man speciellt tänka på att punkterna ska utgöra ett oberoende "facit", dvs. de får inte samtidigt fungera som stödpunkter. Med detta facit ska såväl den generella mätosäkerheten i databasen som förekomsten av grova fel och systematiska effekter kunna kontrolleras. Kontrollpunkterna bör därför placeras där det brukar bli fel, t.ex. i överlapp mellan stråk.

Den senare aspekten kan ibland kräva en speciell hantering. T.ex. kan systematik bäst kontrolleras genom jämförelser av avvikelser över en större yta eller i profiler, alltså inte punktvis. Många punkter med högre mätosäkerhet, i stället för få med lägre - kan ibland vara optimalt vid sådana studier eller vid sökning av grova fel.

Inmätningen av stöd- och kontrollpunkter kan med fördel upphandlas, men det finns både för- och nackdelar med att beställa från någon annan än utföraren av övriga tjänster.

3.3.2 Luftburen laserskanning

Krav

- a) Utformning av stöd- och kontrolltytor för luftburen laserskanning ska ske enligt checklisten i bilaga A.9.
- b) Mätosäkerheten vid inmätningen ska följa den standardnivå som beslutats för projektet/uppdraget, vilket normalt innebär en standardosäkerhet som inte överstiger 1/3 av målosäkerheten i slutprodukten.

Stödet vid laserskanning har formen av *stödytor*, som bestäms av en samling punkter – ett *punktgitter* – i tre dimensioner. Dessa ska vara entydigt bestämda i laserdata genom sin höjd och/eller sin intensitetsnivå.

Stöd på marken behövs för att kunna upptäcka grova fel och systematiska effekter, samt som underlag för eventuella transformationer. Därutöver behövs motsvarande punkter/tytor för kontroll. Normalt sker ingen signalering, vare sig av stöd- eller kontrolltytor.

Alternativ till stöd- och kontrolltytor finns:

- Eftersom laserdata utgörs av ett förhållandevis glest punktmoln är det även vanligt att information såsom hustak extraheras för att kunna jämföras med referensdata.
- Terrängprofiler med karaktäristiska drag i terrängen som kan identifieras i laserdata, t.ex. slänter och diken, är också användbara för planinpassning.
- Det är även möjligt att utnyttja intensiteten i laserdata i de fall vägkanter och målade vägdetaljer kan urskiljas.

Höjdstöden mäts in på öppna ytor som är så plana som möjligt. Punkterna behöver inte representeras av något specifikt objekt i verkligheten. Det viktiga är att välja en yta med ett underlag där laserskanningen ger liten mätosäkerhet. Lämpliga ytor är asfalt, betong eller grus.

I övrigt hänvisas till bilaga A.9 i detta dokument, i väntan på lansering av dokumentet HMK-Laserdata.

3.4 Terrester mätning

Krav

- a) Rapportering av geodetisk detaljmätning ska ske i enlighet med checklistan i bilaga A.6, som också ska vara styrande för genomförandet av mätningen.
- b) Vid ajourföring av geodatabaser ska checklistan i bilaga A.7 beaktas.

Fotogrammetri och laserskanning är huvudteknikerna vid geodetainsamling. Förutom till inmätning av stöd- och kontrollpunkter används därför geodetiska metoder endast för

- kompletterande detaljmätning
- ajourföring och kontroll av geodatabaser

Komplettering blir aktuell där andra metoder inte fungerar - t.ex. GNSS-mätning inne i "stenstaden" - eller inte är tillräckligt noggranna. Vid ajourföring kan ibland förutsättningarna - små insatser "fläckvis" på många olika ställen - innebära att flygfotografering eller laserskanning inte är ekonomiskt försvarbar. Användningen som kontrollmetod motiveras av att terrester geodetisk mätning ofta har den lägsta mätosäkerheten.

I förhållande till tidigare har kraven på höjdinformationen skärpts och det finns en generell strävan mot 3D-redovisning.

Vid **geodetisk detaljmätning** bör särskilt observeras:

- Alla mätmetoder som syftar till komplettering av en geodatabas ska anpassas till beskrivningsmodellen för aktuellt objekt och om möjligt anordnas så att höjdkomponenten kan tas till vara och utnyttjas för 3D-tillämpningar.
- Det geografiska läget kan förstås inte redovisas med mindre osäkerhet än hur objekten representeras i verkligheten.
- Avvikelse från inmätningssäkerheten kan ibland vara motiverade av praktiska eller ekonomiska skäl. Det viktiga är då att mätningens ursprung dokumenteras så att avvikelserna - uppåt eller nedåt - är tillgängliga för användaren, som då lättare kan bedöma databasens användbarhet.

Det viktigaste vid **ajourföring av geodatabaser** är:

- Ajourförda objekt ska höjdsättas, även om höjduppgift tidigare har saknats.
- Mätosäkerheten vid ajourföring ska inte vara sämre än vid förstagångsinmätningen.
- Mätningar och geodata ska kontrolleras på samma sätt som vid nykonstruktion.

Det man först kommer att tänka på beträffande **kontroller** är kanske *lägeskontroll*, dvs. kontrollmätning av objektens lägen. Några exempel på detta – inkl. en utförlig beskrivning av beräkning och analys av kontrollmätningar – finns i [HMK-Introduktion](#), bilaga A.

Men naturligtvis måste även övriga delar av objektredovisningen kontrolleras. Det viktigaste är naturligtvis att objektet finns med, vilket berör *fullständigheten* och *aktualiteten*. Andra delar av kontrollen är att det har *klassificerats* korrekt, dvs. till rätt kategori och med korrekt objektкод. Finns *attribut* till objekten så måste även värdena på dessa kontrolleras. Det kan vara lämpligt att göra sådana kontroller i samband med mätningen, eftersom man då ändå är på plats.

3.5 Ansvarsfrågor

Krav

Ansvarsfrågorna i ett projekt eller uppdrag ska tydliggöras i specifikation eller avtal, t.ex. vad gäller arbetsmiljö, fältarbete och sekretess.

Beträffande upphandlingsfrågor ges en yttlig beskrivning av *Lagen om offentlig upphandling* (LOU) i [HMK-Introduktion](#), avsnitt 3.3. Komplettering kommer att ske i det fortsatta HMK-arbetet.

3.5.1 Arbetsmiljöfrågor

Utöver de generella arbetsmiljöfrågorna – enligt arbetsmiljölagstiftningen – finns ett antal specifika sådana som hör samman med mätning, signalering och annat fältarbete.

Några är allmängiltiga, bl.a. trafiksäkerhetsfrågor. Andra kan röra t.ex. arbete i spårområden (där tåg och högspänningsledningar utgör risker) eller arbete på byggplats, industriområden etc. (där det kan finnas restriktioner, speciella krav på skyddsutrustning m.m.).

- Enligt *Arbetsmiljölagen* ska arbetsgivaren tillhandahålla säkerhetsutrustning och se till att arbetstagaren får den säkerhetsutbildning som krävs.
- Ensamarbete kräver särskilda åtgärder (t.ex. att alltid meddela var man befinner sig) och utrustning (mobiltelefon, nödsändare etc.).
- Trafikreglerna inkluderar maximal fordonsvikt, krav på särskilt körkort och skyltning m.m.

3.5.2 Rättigheter/skyldigheter vid fältarbete

Följande är de viktigaste ansvarsaspekterna vid fältarbete:

- Grundläggande krav beträffande "rätten att uppehålla sig på och övergå annans mark" återfinns i *Plan och bygglagen* (PBL) samt *Fastighetsbildningslagen* (FBL). *Terrängkörningslagen* medger möjlighet till undantag "när det finns särskilda skäl", vilket myndighetsutövning är. Kraven inkluderar t.ex. röjning och markering.
- Stompunkter är straffrättsligt skyddade enligt bestämmelser i *Brottsbalken*.
- Ledningsutvisning bör beställas hos ledningsägaren i god tid före markering. Åtgärden är gratis och innebär att ledningens läge lokaliseras och markeras. Se www.ledningskollen.se

3.5.3 Sekretess m.m.

Beträffande sekretess bör uppmärksammas att:

- Vid mätning i gränstrakter och skyddsområden kan särskilda villkor gälla beträffande tillträde, utförelse av data etc.
- Vissa data kan vara förenade med sekretess.
- Detaljmätning rörande militära objekt kan kräva speciell hantering, t.ex. granskning eller retusch.

I [HMK-Introduktion](#), avsnitt 3.4, redovisas några av de lagar och förordningar som reglerar offentlighet och sekretess i samband med geodatainsamling och upprättande av geodatabaser.

Dessa är:

- Offentlighets- och sekretesslagen.
- Lagen och förordningen om skydd för landskapsinformation.
- Säkerhetsskyddslagen och säkerhetsskyddsförordningen.
- Skyddslagen och skyddsförordningen.

3.6 Dokumentation

Krav

Frågorna rörande dokumentation (rapportering, metadata och arkivering) i ett projekt eller uppdrag ska tydliggöras i specifikation eller avtal.

3.6.1 Rapportering av geodetiska mättingsprojekt

Alla mätuppdrag ska rapporteras skriftligt. Höjd- och koordinatförteckningar ska innehålla uppgift om referenssystem/referensnät, projektion etc. samt referens till eventuella beräkningshandlingar. Samtliga mät- och beräkningsresultat ska utvärderas och kommenteras. Eventuella problem ska särskilt rapporteras.

Rapporten utgör en del av leveransen och ska lämnas in samtidigt med den produkt eller det projekt den avser. Samtliga tillhörande data ska redovisas digitalt, i enlighet med det format och lagringsmedium som avtalats.

Rapporten ska dateras och vara underskriven av utförarens projektansvarige.

Checklistan för rapportering av geodetisk detaljmätning i bilaga A.6 är ganska allmängiltig och kan tjäna som mall även för andra geodesirapporter. Den följer också processen i bilaga A.4 rätt väl.

3.6.2 Rapportering av flygfoto- och laserskanningprojekt

För flygfoto- och laserskanningprojekt finns det i huvudsak tre typer av rapporter, där även de geodetiska aspekterna ska tas med.

- **Lägesrapporter/veckorapporter** lämnar utföraren med jämna mellanrum rörande datafångst och bearbetning av produkter. Dessutom kan beställaren informeras om speciella händelser. Krav på eventuella lägesrapporter regleras i regel direkt i avtalet.
- **Produktionsdokumentation** som ger en teknisk sammanfattning av varje flygfotoupdrag avseende planering, insamling, efterbearbetning, kontroll och leverans. Rapporten ger beställaren information om kvaliteten i utfört arbete och kan, om den arkiveras, ge värdefull information om t.ex. flygbilder om de ska användas för andra ändamål i framtiden. Krav på innehåll i produktionsdokumentationen framgår i regel av den tekniska specifikationen.
- **Projektrapport** levereras av utföraren när projektet är färdigt och innehåller bl.a. ett certifikat som bekräftar att resultatet har godkänts av utföraren och överensstämmer med specifikationen. Krav på eventuell projektrapport regleras i regel direkt i avtalet.

Vid mindre uppdrag och projekt i egen regi kan rapporteringen bantas ned.

3.6.3 Metadata

Metadata betyder "data om data" och innehåller kvalitetsuppgifter och andra uppgifter som ger spårbarhet, t.ex. inmätta datas ursprung och aktualitet. Dessa data lagras i eller som en specifikation av geodatabasen.

3.6.4 Arkivering

Arkivering sker enligt gällande regler/lagstiftning eller enligt överenskommelse.

4 Referenser

I denna bilaga redovisas rapporter m.m. som har influerat framtagningen av handboken – ibland som ren inspirationskälla, ibland i form av ett regelrätt samarbete med författarna. De utgör exempel på arbeten ”i HMK:s anda”, inklusive andra länders motsvarigheter. Referenserna är många gånger viktiga komplement till handboks-texten och kan nås genom direktlänkar.

Lantmäteriet har länge varit drivande inom det mätningstekniska området i Sverige, på senare tid framför allt vad gäller framtagning av och övergång till de moderna referenssystemen – de passiva SWEREF 99 och RH2000 samt det aktiva SWEPOS.

- En serie ”[Infoblad](#)” (i skrivande stund 16 till antalet) har tagits fram, främst som stöd för dessa referenssystemsbyten.
- Den grundläggande information om **Geodesi och Referenssystem** som sedan länge funnits tillgänglig på Lantmäteriets hemsida har till stora delar integrerats med denna handbok.
- Detsamma gäller Odolinski R (2010:3): ”[Checklista för nätverks-RTK](#)” och Norin m.fl. (2006:2): ”[Kortmanual för mätning med SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst](#)” m.fl. LMV-rapporter.

Lantmäteriets strategiska plan för geodesin i Sverige under de kommande tio åren,

- [Geodesi 2010](#), innehåller grundläggande beskrivningar av den geodetiska verksamheten och den geodetiska ”infrastrukturen”. Den ger även en bra bild av den troliga teknikutvecklingen det närmaste decenniet.

På kommunal nivå har flera initiativ tagits till samordning och samverkan i mätningstekniska frågor. Ofta har drivkrafterna varit upphandling av tjänster och kravställning på externa utförare, men initiativen utgör också en tydlig signal på ett behov av en samordnad, nationell insats à la HMK.

- Lars Kvarnström har sammanställt **Helsingborgs stads Geodatahandbok**. Den innehåller riktlinjer för mätningsarbetet internt i Helsingborg men är också tänkt som ett stöd för externa aktörer, som vid t.ex. entreprenadarbeten ska leverera dokumentation för uppdatering av stadens databas. Handboken tar upp utförande, dokumentation, kompetens m.m. och insatsen har gjorts i nära samverkan med HMK-arbetet.

- **Kontroll- och mättningsrekommendationer för Kalmar läns kommuner** (2012) har tagits fram av Kalmar läns MBK-grupp med ungefär samma motiv som i Helsingborg.

Svenskspråkiga läroböcker inom det mätningstekniska området har länge varit en bristvara. Några finns det dock:

- Lars Harrie, redaktör (2013): **Geografisk informationsbehandling - teori, metoder och tillämpningar** är en lärobok för introduktionskurser på universitet och högskolor. Den har en nära koppling till HMK på Internet.
- Kompendiet "[Geodetisk och fotogrammetrisk mättnings- och beräkningsteknik](#)" har tagits fram gemensamt av Lantmäteriet, Kartografiska Sällskapet och Högskolorna. Det tar vid där nyss nämnda lärobok slutar och går in litet djupare på dessa delar av geodataområdet. Till "det mätningstekniska kompendiet" finns även en formelsamling.

Beträffande mätning för infrastrukturprojekt har Trafikverket gjort flera banbrytande (!) insatser – inte minst inom projektet "**Stomnät i luften**", där tankegångarna i bl.a. följande alster av Johan Vium Andersson (2011) har influerat tankegångarna i HMK-dokumentet:

- [Kompletterande studier kring detaljmätning vid datafångst i tidiga projektskeden](#)
- [Trafikverkets metodbeskrivning RUFRIIS.](#)

Vidare gäller att Trafikverkets (tidigare Banverkets)

- **Handbok BVH584** om geodetisk mätning från 1997 fortfarande är giltig vad avser konventionell mätning.

Trafikverket har också varit drivande i arbetet med standarder och tekniska specifikationer i SIS tekniska kommitté **TK178**. Inom området "Geodetisk mätningsteknik, Byggmätning och toleranser" har nyligen en översyn av följande standarder genomförts

- **SIS-TS 21143:2009** Geodetisk mätning, beräkning och redovisning vid långsträckta objekt
- **SIS-TS 21144:2007** Specifikationer vid framställning av digitala terrängmodeller
- **SIS-TS 21145:2007** Statistisk provning av digital terrängmodell
- **SIS-TS 21146:2009** Geodetisk mätning, beräkning och redovisning för byggnadsverk.

De har omarbetats och slagits ihop till två dokument, vilka nu släppts som:

- **SIS-TS 21143:2013** Byggmätning - Geodetisk mätning, beräkning och redovisning av byggnadsverk och infrastruktur.
- **SIS-TS 21144:2013** Byggmätning - Specifikationer vid framställning av digitala terrängmodeller.

Det kan noteras att kommittén "köpt loss" dessa utgåvor från SIS Förlag för att göra dem allmänt tillgängliga.

En ny teknisk specifikation har också tagits fram med arbetsnamnet

- **SIS-TS 21147:2012** Laserskanning, krav vid upphandling av tjänster och produkter.

Dessa dokument går betydligt djupare in i bygg- och anläggningsområdet än vad HMK gör i dag, men ambitioner finns om ett närmande och en integrering.

Vad gäller HMK-liknande alster i andra länder bör särskilt nämnas:

- Satsningen **Geovekst** inom **Norge Digitalt** (webbplats **geo-Norge**), som är ett officiellt norskt geodatasamarbete. Skrifterna **Kart- og geodata**, **Kontroll av geodata** och **Geodastandarden** är standarder för hantering av geografisk information (se [HMK-Introduktion](#), avsnitt 2.4.2). Från dem har vi – med vederbörligt tillstånd – både hämtat idéer och "lånat" några textsnuttar, framför allt vad gäller de geodetiska aspekterna på flygfotografering och laserskanning.
- I Storbritannien har **TSA** (*The Survey Association*), som är en sammanslutning för privata mätkonsulter, tagit initiativ till att ta fram "Guidance Notes" och "Client Guides" för geodataområdet.
- **ASPRS** (*American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*) har utarbetat utförandestandarder och "guidelines" för upphandling av geodatatjänster. De handlar rätt mycket om "accuracy" och kontroll och inkluderar bl.a. intressanta tankar om kvalitetsstämpling av produkter m.h.a. "compliance statements" – t.ex. "This orthophoto map complies with national map accuracy standards". Även **NSDI** (National Spatial Data Infrastructure) i USA arbetar med liknande frågor.

Avslutningsvis ska vi väl inte heller glömma bort

- **Äldre HMK-skrifter**, som består av sammanlagt nio handböcker utgivna 1993-95. De beskriver en i dag till stora delar föråldrad teknik men de grundläggande principerna i HMK gäller fortfarande. De finns tillgängliga som pdf-dokument på Internet, tillsammans med en aktualitetsförteckning som beskriver respektive dokumentets giltighet i dag.

A Checklistor

A.1 God mätsed

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

- 1 Mätningen ska ge såväl ett produktionsresultat som en deklARATION av mätosäkerheten. Båda delarna är lika viktiga och måste få ta tid.
- 2 Ett mål är att eliminera de grova felen samt att reducera de systematiska och slumpmässiga avvikelserna.
- 3 Kontrollera: en mätning är ingen mätning! Överbestämningar görs i första hand för att hitta grova fel.
- 4 A och O är ordning och reda, från början till slut. Det är svårt att i efterhand skapa ordning ur kaos.
- 5 Dokumentera även för dig själv, du glömmer fortare än du tror. Märk upp de handlingar som ingår i uppdraget men städa successivt bort sådant som inte ska sparas. Skriv dagbok i mer omfattande projekt.
- 6 En del i detta är spårbarhet. Man ska kunna gå bakåt i en hanteringskedja – vid flera transformationer i sekvens, om olika geoidmodeller har använts etc.
- 7 Tillämpa beprövade och etablerade metoder. Därigenom utnyttjar du 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 acceptabel, 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 Nätverks-RTK

1 GNSS-mottagare

- 1.1 Välj rätt antenntyp och ange den i mottagaren.
- 1.2 Välj rätt antenmodell. SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst använder idag NGS relativa antenmodell. Se till att denna modell även används i mottagaren.
- 1.3 Använd mottagare som kan ta emot korrektioner för både GPS- och GLONASS-satelliter.

2 Förberedelser

- 2.1 Identifiera den referenspunkt (ARP) på antennen som instrumenthöjden ska mätas till. Mät höjden och registrera den i mottagaren.
- 2.2 Kontrollera vattenpasset på antennstången och justera det vid behov.
- 2.3 Vid krav på hög satellittillgänglighet, vid hög solaktivitet eller vid mätning i problematiska områden: planera mätningen med något satellitprediktionsprogram.

3 Inställningar och kvalitetstal i mottagaren

- 3.1 Elevationsgränsen rekommenderas till 13-15 grader, för dagens satellitkonstellation.
- 3.2 PDOP bör vara max 3-4, beroende på kvalitetskraven. PDOP ≤ 2 rekommenderas vid särskilt höga krav.
- 3.3 Den mätosäkerhet som mottagaren anger bör multipliceras med två (2σ) för att åstadkomma 95 % täckningsgrad. Angivelserna kan ändå, vid problematiska förhållanden, vara alltför optimistiska.
- 3.4 Det finns en användbar funktion i de flesta tillverkares mottagare som förkastar mätningar med en mätosäkerhet som överskrider ställda krav – eller som frågar om punkten ska lagras trots stor mätosäkerhet.
- 3.5 SWEPOS ger höjder över ellipsoiden i SWEREF 99. Se därför till att ha rätt lokal geoidmodell när höjder önskas direkt i ett lokalt höjdsystem. Om höjdsystemet RH2000 används, kontrollera att geoidmodellen SWEN08_RH2000 finns inlagd i mottagaren.
- 3.6 SWEPOS ger koordinater i SWEREF 99 i form av latitud och longitud. Om slutmålet är plana koordinater i ett lokalt koordinatsystem är det viktigt att rätt transformations samband används, med tillhörande restfelsmodell.

- 4 Övriga parametrar att beakta under mätningens gång**
- 4.1 Ominitialisera om fixlösning inte erhålls inom 1-2 minuter.
 - 4.2 Kontrollera kommunikationen under pågående mätning eftersom avbrott kan påverka mätosäkerheten. En bra indikator är kvaliteten på radiolänken.
 - 4.3 Undvik störningar – t.ex. från andra mobilsändare eller från föremål som kan förorsaka flervägsfel.
 - 4.4 Bevaka SNR-nivån (Signal-to-Noise-Ratio, läs din mottagares manual) för att utesluta störningar av typen flervägsfel, extrem atmosfär, radiofrekvenskollisioner, etc.
 - 4.5 Kontrollera att inte "RTK-ålder" (korrektionsdatas ålder) överstiger flera sekunder. Det kan öka mätosäkerheten.
- 5 Mätning**
- 5.1 Maximal antennhöjd rekommenderas till 2 m. Upp till 4 m kan accepteras om låga krav ställs på mätningen.
 - 5.2 Använd stödben vid höga krav på plannoggrannheten.
 - 5.3 Medeltalsbilda minst 3 mätningar (helst 3-30) innan en punkt registreras. Medeltalsbildning sker automatiskt i mottagaren.
 - 5.4 Spara både SWEREF 99-koordinaterna och de lokala koordinaterna. Då kan nya transformationssamband eller geoidmodeller appliceras på koordinaterna i ett senare skede.
 - 5.5 Anlägg en kontrollpunkt nära kontoret, där regelbunden kontroll av repeterbarheten kan göras. Det vill säga kontroll av att eventuella transformationsparameterar, inställningar i instrumentet, atmosfäriska förhållanden etc. inte har förändrats eller kommer att påverka mätningen.
 - 5.6 Acceptabel avvikelse i enskild mätning på kontrollpunkt bedöms vara max ± 30 mm i plan och ± 50 mm i höjd, om stativ eller stödben används för antennstången.
 - 5.7 Kontrollera fixlösningen eller mätningarna regelbundet i fält – t.ex. genom att mäta en "känd" punkt eller genom återbesök på en tidigare mätt punkt. Acceptabel avvikelse i en mätning på "känd" punkt är ± 40 mm i plan och ± 60 mm i höjd.
 - 5.8 Återbesök bör göras med minst 5-10 minuters separation mellan mätningarna, men helst 20-45 minuter eller mer för att t.ex. satellitkonstellationen ska hinna förändras. För återbesök är en acceptabel avvikelse mellan enskilda mätningar max ± 60 mm i plan och ± 70 mm i höjd.

- 5.9 Återbesök kan även användas för att minska mätosäkerheten i en tidigare mätt punkt, genom medeltalsbildning med föregående mätning(ar). Då bör dock tiden mellan upprepade mätningar snarare vara timmar än minuter.

Toleranserna vid kontroll sammanfattas i tabell B.2.a i bilaga B.2. Beträffande förklaringar till checklisten hänvisas till originalrapporten Odolinski (2010): [Checklista för nätverks-RTK](#).

A.3 Checklista för Fri station

- 1 För att få en god konfiguration vid inmätning i plan ska bakåtobjekten om möjligt vara jämnt fördelade kring stationspunkten.
- 2 Riktningmätning mot avlägsna bakåtobjekt förbättrar orienteringen.
- 3 Vid korta siktlängder kan osäkerheten i höjdbestämningen minskas genom direkt mätning mot avvägningstång.
- 4 Trigonometrisk höjdmätning är osäker vid långa siktlängder (> 300 m).
- 5 En dålig konfiguration ska kompenseras genom mätning mot ytterligare bakåtobjekt. Riktningmätning stabiliserar punkten i tvärled och längdmätning i längsled.
- 6 En extra kontroll av stationsetableringen är att mäta in ytterligare objekt, som inte använts som bakåtobjekt.
- 7 Vid planmätning ska en överbestämning (extra mätning) per obekant eftersträvas. Detta erhålls genom mätning av längd och riktning mot tre bakåtobjekt.
- 8 Vid höjdbestämningen ska två överbestämningar per obekant eftersträvas. Detta åstadkoms genom mätning av höjdskillnader mot tre bakåtobjekt.
- 9 För att minimera mätosäkerheten kan det bli nödvändigt att ha olika bakåtobjekt i plan och höjd. Höjdfixar är välbestämda i höjd men vanligen inte i plan medan förhållandet för planpunkter är det omvända.
- 10 Använd en beräkningsmetod med minsta-kvadratutjämning och statistisk felsökning, så att grova fel kan detekteras och lokaliseras.
- 11 Markera den fria stationen tillfälligt. Det möjliggör kompletterande kontroll om fel upptäcks senare.
- 12 Avsluta alltid mätningarna på en station med en upprepad inriktning mot ett bakåtobjekt: en kontroll av att ingenting hänt med instrumentets orientering under pågående mätning.

Beträffande toleranser för den fria stationsetableringen hänvisas till [HMK-Stommätning](#), avsnitt A.6 (bilaga A), och till avsnitt 4.2.3 i [HMK-Detaljmätning](#).

A.4 Processbeskrivning: Geodetisk mätning för geodatainsamling

1 Klargör förutsättningar

- 1.1 Syfte, typ av uppdrag (stödpunkter/kontrollpunkter, flygfotografering/laserskanning, komplettering/ajourföring).
- 1.2 Referenssystem i plan och höjd, inklusive gällande transformationssamband.
- 1.3 Kvalitetskrav; kontrollmetoder och toleranser (kan vara styrande för val av instrument och mätmetod).
- 1.4 Leverans; innehåll och format.
- 1.5 Kompetenskrav; finns några utöver grundläggande mätningsteknisk kompetens och behövs det intyg? Finns all kompetens internt?

2 Klargör ansvar

- 2.1 Utse projektansvarig.
- 2.2 Kontraktera eventuella underleverantörer.

3 Planera och förbered

- 3.1 Välj lämplig mätmetod.
- 3.2 Planera läget för stationspunkter.
- 3.3 Behövs stommätning i plan och/eller höjd?
- 3.4 Kontrollera och justera instrument.

4 Komplettera stornät

- 4.1 Planera eventuell kompletterande stommätning (punkt-konfiguration och val av mätmetod, anslutning); följ vedertagna principer, t.ex. vad gäller k-tal.
- 4.2 Markera; stabila, varaktiga, lättillgängliga markeringar.
- 4.3 Upprätta punktbeskrivningar.
- 4.4 Genomför stommätning.

5 Etablera station (vid terrester mätning)

- 5.1 Ställ upp instrumentet, över en markerad punkt eller som en fri station alt. RUFRIIS.
- 5.2 Kontrollera stationspunkten och instrumentuppställningen (före och efter).

6 **Genomför inmätning (terrestert eller med RTK-teknik)**

6.1 Mät i enlighet med specifikationen (metod, kvalitet, eventuell objektslista etc.).

7 **Beräkna**

7.1 Beräkna koordinater/höjder, i realtid eller i efterhand.

8 **Kontrollera**

8.1 Genomför kontroller av mätningar och beräkningar; jämför med angivna toleranser.

8.2 Eventuell ommätning.

9 **Dokumentera**

9.1 Dokumentera resultatet inklusive utförda kontroller.

9.2 Arkivera enligt överenskommelse och gällande regler.

10 **Redovisa**

10.1 Leverera i enlighet med anvisat innehåll och format.

10.2 Rapportera på överenskommet sätt.

A.5 **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 Transformation med en sådan formel ska inte ske utanför giltighetsområdet och inte mer än 1 km från en passpunkt eller annan kontrollerad punkt.

5 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.

6 Använda transformationssamband ska dokumenteras. Alternativt ges en referens (filnamn, parameterlista, webbadress etc.) till ett officiellt samband, publicerat av Lantmäteriet eller annan systemägare.

- 7 Om restfelsmodell finns ska den användas för restfelsinterpolation, vilket minskar spänningen mellan systemen och därmed mätosäkerheten. Även denna modell ska dokumenteras.
- 8 Om inte Lantmäteriets beräkningsprogram Gtrans används ska det egna transformationsprogrammet kontrolleras mot detta.

A.6 Rapportering av geodetisk detaljmätning

Nedanstående ska ses som en bruttolista över vad som bör/kan ingå i en rapport från ett geodetiskt detaljmättningsprojekt. Innehållet måste naturligtvis alltid anpassas till projektets omfattning.

1 Generellt

- 1.1 Beställare (kontaktdata till uppdragsansvarig).
- 1.2 Uppdragets benämning/beteckning. Kommun och län.
- 1.3 Utförare (adress och kontaktdata till projektansvarig) samt ev. underleverantörer. Eventuella verifikationer på att ställda kompetenskrav är uppfyllda.
- 1.4 Vad uppdraget gäller (komplettering, ajourföring etc.) .
- 1.5 Utförarens kommentarer till projektets genomförande.
- 1.6 Höjd- och koordinatsystem, kartprojektion och zon.
- 1.7 Beskrivning av levererade digitala data (leveranstidpunkt, dataformat, lagringsmedium etc.).
- 1.8 Arkivering av arbets- och underlagsmaterial (protokoll-/mätdata, beräkningshandlingar, koordinater, bilder, rapporter, kartor m.m.). Lagringsätt/förvaringsställe.
- 1.9 Beskrivning av utförarens kvalitetssystem och de ev. särskilda kvalitetssäkringsåtgärder som har vidtagits.
- 1.10 Kopior av uppdragets beställningsunderlag, inkl. krav på egenkontroll och toleranser för dessa.
- 1.11 Vilka som fått rapportexemplar och var (de vanligen digitala) originalen förvaras.

2 Genomförande

- 2.1 Vem som utfört detaljmätningen, tidpunkt för arbetet.
- 2.2 Använd mätutrustning (fabrikat, typ, nummer) samt verifikationer på ev. kalibreringar och justeringar (trefötter, korrektioner för systematiska fel etc.).
- 2.3 Stomnät och stompunkter i plan och höjd. Ev. nymarkering av punkter.
- 2.4 Tillämpade mätmetoder.

- 2.5 Ev. transformationer och andra korrektioner, särskilt vid GNSS-mätning (transformationsmetoder, användning av restfelsmodell, geoidmodell m.m.).
- 2.6 Använd objektslista med benämningar och definitioner (ev. referens till officiell sådan) samt vilka objektstyper som faktiskt har mätts in i projektet.
- 2.7 Problem i samband med inmätningen.
- 2.8 Transfereringsfil för inmätta objekt (benämning, filformat m.m.).
- 2.9 Vem som har utfört beräknings- och editeringsarbetet samt vilka programsystem som använts.

3 Bilagor

- 3.1 Koordinatlista över utgångs- och kontrollpunkter.
- 3.2 Utskrifter av beräkningsresultat, t.ex. vid nybestämning av stationspunkt (inkl. kontroller av mätosäkerhet och k-tal eller andra redovisningar av kontrollerbarhet/tillförlitlighet).
- 3.3 Punktbeskrivningar över nyutlagda, markerade punkter.
- 3.4 Resultat från kontroller av stompunkter, stationsetableringar etc.
- 3.5 Transformationer (parametrar, restfel i passpunkter, resultat av kontroller m.m.)
- 3.6 Avvikelser vid kontrollmätning av nymätta geografiska objekt.
- 3.7 Resultat från kontroller av tidigare inmätta objekt (vid ajourföring).
- 3.8 Transfereringsfil innehållande inmätta objekt.
- 3.9 Kontrollplott i lämplig skala som redovisar läget för stompunkter, passpunkter, kontrollpunkter samt området för detaljmätningen av punkter/linjer.
- 3.10 Ev. mätdatafiler.

A.7 Checklista för ajourföring av geodatabas

- 1 Ajourförda objekt ska höjdsättas, även om höjduppgift tidigare har saknats.
- 2 Mätosäkerheten vid ajourföring ska inte vara sämre än vid förstagångsinmätningen.
- 3 Data ska kontrolleras på samma sätt som vid nykonstruktion.
- 4 Alla saknade objekt ska nykonstrueras.

- 5 Alla objekt som har försvunnit ska tas bort.
- 6 Alla objekt som är ändrade p.g.a. att nya objekt har tillkommit eller försvunnit ska ändras.
- 7 Objekt som inte har ändrats ska inte nykonstrueras annat än om det finns grova fel i redovisningen. Av kontraktet för uppdraget bör framgå hur större systematiska avvikelser mellan äldre och nya data ska hanteras.
- 8 Fel objekttyp eller felaktiga attributvärden för de objekt som ajourförs (av annan anledning) ska rättas.

OBS att om alla fel ska kunna åtgärdas så måste samtliga objekt kontrolleras, vilket kan innebära en avsevärd arbetsinsats!

A.8 Checklista för signalering och inmätning av markstöd och kontrollpunkter vid flygfotografering

Checklistan utgår från en *signaleringsplan* och resultatet redovisas i form av en *signaleringsrapport*.

1 Punkttyp

- 1.1 En stödpunkt kan vara planstödpunkt, höjdstödpunkt eller fullständig stödpunkt.
- 1.2 I första hand används stömpunkter eller tidigare bestämda punkter, med känd och tillfredsställande mätosäkerhet.
- 1.3 I andra hand används punkter som enkelt kan bestämmas från sådana – med kontrollmöjlighet och korta avstånd.
- 1.4 I tredje hand – och vid okänd eller tveksam mätosäkerhet – utförs mer omfattande nymätning.

2 Detaljplacering

- 2.1 Punkterna placeras i rätt position i förhållande till planerade stråk och så att de blir någorlunda enkla att mäta in.
- 2.2 Samtliga stöd- och kontrollpunkter signaleras. Vad gäller markering så blir det allt vanligare att använda naturliga punkter – särskilt som höjdstöd.
- 2.3 Multipla stödpunkter bör i aktuell bildskala ligga på ca 1 cm avstånd från varandra.

3 Insyn

- 3.1 Signalen ska vara synlig i alla bilder där stödpunkten ingår och synas i båda stråken om den är gemensam för två flygstråk. Som tumregel ska siktlinjen mellan signal och flygplan vara minst 40 gon från zenit.
- 3.2 Signalen placeras så att den inte blir skuggad under den tid fotografering är aktuell (ca kl. 10-17 sommartid), vilket brukar kräva en insynsvinkel mot söder på ca 67 gon. Placera därför inte signalen nära hus, branter etc.
- 3.3 Hindrande vegetation tas bort men röjning ska utföras med varsamhet. På privat mark ska markägaren alltid kontaktas före röjning.
- 3.4 Beträffande stödpunkter som ska nymätas – dvs. sådana som saknar koordinater/höjder – bör hänsyn även tas till inmätningssmetoden. T.ex. kräver GNSS fri sikt **uppåt** medan den traditionella mättekniken förutsätter sikt **mellan** berörda punkter.

4 Inmätning

- 4.1 Mätosäkerheten ska följa den standardnivå som beslutats för projektet/uppdraget.
- 4.2 Kontroll, även av kontrollpunkter (!), bör ingå i planen, t.ex. återbesök vid RTK-mätning (se bilaga B.2).
- 4.3 Vid inmätning av naturliga stödpunkter väljs objekt som är entydigt definierade i bilderna vid stereobetraktning.
- 4.4 För punkter som inte lämpar sig som höjdstöd ska en separat höjdreferens mätas in. En detaljerad skiss ska då ritas.

5 Signalutformning

- 5.1 Signalerna utgörs normalt av vita eller gula skivor. Alternativt kan de målas direkt på underlaget, t.ex. asfalt-sytor eller mörk bergart. Det finns också signaler med påtryckt svart ram för att öka kontrasten.
- 5.2 Storleken anpassas till synbarheten i bilderna i den aktuella bildupplösningen.
- 5.3 Signalen ska vara tillverkad av nedbrytbart material som inte avger giftpartiklar, alternativt målad med giftfri färg.

- 6 Signalering**
- 6.1 Signalering enligt signaleringsplan utförs före fotografering.
- 6.2 Signalen placeras horisontellt, i plan terräng i markhöjd – eller upplyft om de är placerad på en stompunkt.
- 6.3 Signalen placeras centriskt. Om det inte går mäts excentriciteten in och dokumenteras.
- 6.4 Se till att signalen är fast förankrad i marken, med en ram eller pinnar i hörnen.
- 6.5 Om marken inte ger tillräcklig kontrast mot signalen ska kontrasten förstärkas genom att torv, granris, kvistar eller mörk jord läggs runt signalen.
- 6.6 Ta in utplacerade signaler efter avslutat projekt.
- 7 Produktionsdokumentationen (signaleringsrapport) ska redovisa följande:**
- 7.1 Rapport, i PDF/A-format om inte annat anges, som redovisar:
- referenssystem i plan och höjd
 - eventuell geoidmodell
 - eventuella transformationssamband
 - eventuella referensstationer
 - antal markstöd
 - markstödens storlek, form, färg och signaltyp (signaltyp=skiva, målad på marken och så vidare)
 - mätutrustning
 - mätmetod
 - programvara vid beräkning
 - särskilda överväganden vid inmätning och beräkning
 - egenkontroll vid inmätning och beräkning.
- 7.2 Lista, i ASCII-format om inte annat anges, för samtliga stöd med namn, position och signaltyp samt kvalitetsuppgift, datum för signalering och inmätning.
- 8 Produktionsdokumentationen (signaleringsrapport) kan redovisa följande om beställaren begär det:**
- 8.1 Karta, PDF/A-format om inte annat anges, där inmätta markstöd liksom kartläggningsområdet och planerade stråk tydligt framgår.
- 8.2 Skiss över signal och signalens läge alternativt digitalt foto av varje signal och dess omgivning.

A.9 Checklista för utformning av stöd- och kontrolltytor vid flygburen laserskanning

- 1 Stöd- och kontrolltytor i höjd ska utformas som horisontella eller sluttande punktgifter med högst 10 % lutning.
- 2 Stöd- och kontrollpunkter i plan ska utformas som tydliga topografiska kanter i flera riktningar.
- 3 Ytorna ska normalt ha en utsträckning på minst 5 x 5 m.
- 4 Punkterna ska fördelas jämnt över ytan så att de beskriver terrängen på bästa sätt.
- 5 Avståndet mellan punkterna ska vara ≤ 1 meter.
- 6 Ytan ska vara fri från vegetation och andra uppstickande objekt.

Stöd- och kontrolltytor kan utgöras av hustak, terrängprofiler (slanter/diken etc.) eller åstadkommas genom att intensitetsinformationen i laserdata kan urskiljas och utnyttjas.

B Mätosäkerhet och toleranser vid geodetisk mätning

B.1 Grundläggande mätosäkerheter

I denna bilaga redovisas de ungefärliga osäkerheter man kan förvänta sig vid användning av olika mätmetoder och referensnät. Förutom att de skapar en allmän "fingertoppskänsla" för mätosäkerhet har dessa uppgifter flera användningsområden, t.ex. vid viktning av minsta-kvadratutjämnings, vid utformning av toleranser samt vid val av mät- och kontrollmetoder.

All "geografisk" mätosäkerhet relaterar på något sätt till storleken på det område inom vilket osäkerheten ska redovisas. Följande indelning i lokal, regional och absolut mätosäkerhet är på inget sätt självklar eller oantastlig men ändå ändamålsenlig.

- På detaljnivå har vi en *lokal* mätosäkerhet, som avser relativ osäkerhet mellan närliggande stompunkter, mellan objekt i en geodatabas eller mellan byggnadsdetaljer i en anläggning. Aktuella avstånd är ≤ 100 m.
- I samband med t.ex. flygfotografering och laserskanning bedöms *regional* mätosäkerhet vara av störst intresse. Den definieras som förväntad mätosäkerhet inom t.ex. en kommun eller ett infrastrukturprojekt, med avstånd i storleksordningen km eller mil.
- Den *absoluta* mätosäkerheten inom Sverige, Europa eller globalt är av mindre intresse i de här aktuella sammanhangen.

Med de nya, globalt anpassade referenssystemen suddas denna skillnad delvis ut, men uppdelningen har fortfarande giltighet såväl vad gäller äldre terrestra stornät som i samband med bygg- och anläggningsverksamhet.

I tabell B.1.a redovisas en uppskattning av den regionala mätosäkerheten för aktiva referensnät och RTK-mätning. Utan projektpassning eller andra anpassningar, av t.ex. geoidmodellen, finns i dessa fall inga egentliga skillnader mellan regional och absolut mätosäkerhet. Inte heller finns det någon anledning att tro att den lokala mätosäkerheten skulle vara mindre än den regionala. Osäkerhetssiffrorna är alltså ganska allmängiltiga.

I tabell B.1.b-c ges en schablonmässig redovisning av regional och lokal mätosäkerhet i terrestra referensnät: avvägningarnät och stornät i plan. Tabellerna baseras på den mätosäkerhet som redovisas i tabell B.1.d-e och är tagen från [HMK-Stommätning](#), bilaga A.

Tabell B.1.a Exempel på regional standardosäkerhet för aktiva referensnät samt olika typer av RTK-mätning. Enhet: mm.

Metod/nättyp	Standardosäkerhet (1σ)			Anm.
	Plan	Höjd	3D	
SWEPOS fundamentalstationer, "de 21"	1	1-2	2-3	-
Övriga SWEPOS-stationer	2-3	3-4	4-5	-
Geoidmodellen SWEN_08	-	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 geoidmodell
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 B.1.b. Schablonmässig standardosäkerhet (1σ) i avvägningsnät.

	Regional mätosäkerhet	Lokal mätosäkerhet	Avstånd mellan fixar
Riksnät (RH2000)	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 B.1.c. Schablonmässig standardosäkerhet (1σ) i plana stomnät.

	Regional mätosäkerhet	Lokal mätosäkerhet	Punktavstånd
RIX95-punkter	10 mm	inte tillämplig	≥ 10 km
Anslutningsnät	10-15 mm	10 mm	2-5 km
Bruksnät	15-20 mm	5 mm	0,1-0,5 km

Tabell B.1.d. Standardosäkerhet (1σ) för längd- och riktningsmätning. $A = 5$ mm, $B = 3$ mm/km, $C = 3$ mm, $D = 0,8$ mgon, $\rho = 63662$ mgon, $n =$ antalet helsatser, $L =$ sidlängd i km. C avser standardosäkerheten i centreringen.

	Strikt formel	$L > 2$ km
Längd	$\sigma_L = \sqrt{(A + B \cdot L)^2 + C^2}$ mm	$\sigma_L = 5 + 3 \cdot L$ mm
Riktning	$\sigma_\psi = \sqrt{\frac{D^2}{n} + \left(\frac{C}{L} \cdot \rho\right)^2}$ mgon	$\sigma_\psi = \frac{0,8}{\sqrt{n}}$ mgon

Tabell B.1.e. Standardosäkerhet (1σ) vid avvägning. HMK-Stommätning.

	Enkelmätning	Dubbelmätning (medeltal t.o.r.)
Precisionsavvägning	$\sigma_p = 1$ mm/ $\sqrt{\text{km}}$	$\sigma_p < 1$ mm/ $\sqrt{\text{km}}$
Avvägning, anslutningsnät	$\sigma_a = 2$ mm/ $\sqrt{\text{km}}$	$\sigma_a = 1,5$ mm/ $\sqrt{\text{km}}$
Avvägning, bruksnät	$\sigma_b = 7$ mm/ $\sqrt{\text{km}}$	$\sigma_b = 5$ mm/ $\sqrt{\text{km}}$

Exempel: Standardosäkerheten för en riktning mätt i en helsats med avståndet 100 meter blir:

$$\sigma_\psi = \sqrt{\frac{0,64}{2} + \left(\frac{3 \cdot 10^{-6}}{0,1} \cdot 63662\right)^2} = 2 \text{ mgon}$$

Exempel: Standardosäkerheten för en enkelavvägd 180-meters sträcka i ett bruksnät blir:

$$\sigma_b = 7\sqrt{0,18} = 3 \text{ mm}$$

Även om vissa σ -värden är lägre i dag än de som redovisas i tabell B.1.d-e så är det ungefär med denna mätosäkerhet som äldre stomnät har mätts. Därför är värdena fortfarande relevanta – och ganska tillämpbara i regionala stomnätsprojekt. Vid lokal mätning har dock teknikutvecklingen slagit igenom och mätosäkerheterna i Tabell B.1.f-g är mer up-to-date.

Tabell B.1.f. Standardosäkerheter (1σ) för geodetiska instrument. Värdena är hämtade från SIS-TS 21146:2009.

Metod	Standardosäkerhet	Kommentar
Totalstation, mätt riktning	0,2 – 1 mgon	Klass T1-T3, 1 helsats
Totalstation, vertikalvinkel	0,2 – 1 mgon	
Totalstation, avstånd	3 mm + 3 mm/km	
Avvägningsinstrument	1-3 mm/ $\sqrt{\text{km}}$	Klass A1-A4, t.o.r-mätning

Tabell B.1.g. Standardosäkerheter (1σ) för stationsetablering och terrester detaljmätning. Enhet mm.

Metod	Standardosäkerhet		Kommentar
	Plan	Höjd	
Fri station	10	5	Trigonometrisk höjdmätning
RUFRIS (projektoppassad nätverks-RTK)	3	3	Exkl. ev. lokal avvikelser i geoidmodell
Detaljmätning med totalstation - handhållen 2 m mätstång - med stödben	10 - 15	3 - 5	Väldefinierade objekt, exklusive stationens mätosäkerhet
	5	3 - 5	

Exempel: Den totala standardosäkerheten i en detaljmätning från en Fri station blir $\sigma_{Total} = \sqrt{\sigma_{Station}^2 + \sigma_{Mätning}^2}$ dvs.

	Plan	Höjd
Utan stödben	14 - 18 mm	6 - 7 mm
Med stödben	11 mm	6 - 7 mm

B.2 Kontrollmätning av Nätverks-RTK

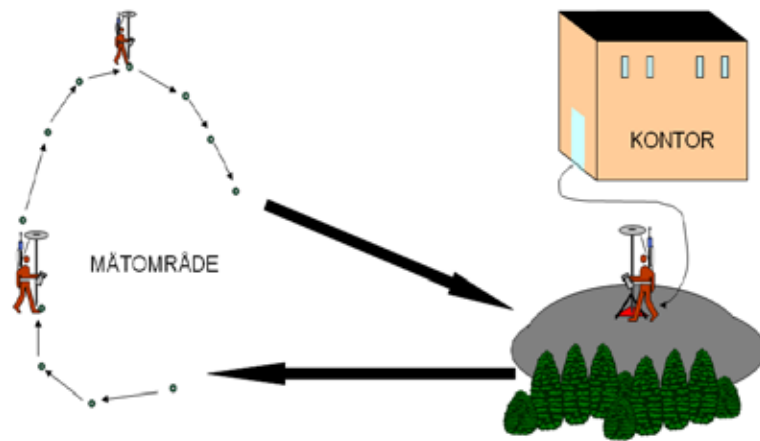
Checklistan i bilaga A.2 innehåller bl.a. tre kontroller av RTK-mätningar (se figur B.2.a-c):

- Anlägg en kontrollpunkt nära kontoret, där regelbunden kontroll av repeterbarheten kan göras.
- Kontrollera fixlösningen eller mätningarna regelbundet i fält, t.ex. genom att mäta en "känd" punkt eller genom återbesök av en tidigare mätt punkt.

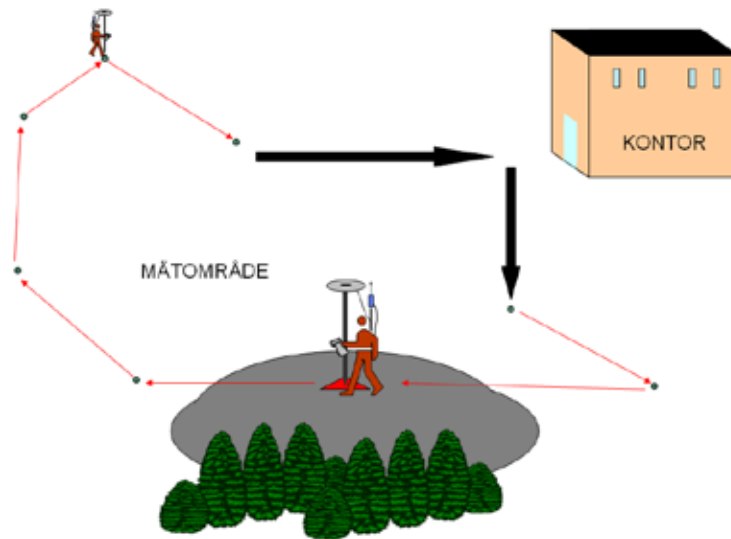
Återbesök bör göras med minst 5-10 minuters separation mellan mätningarna, men helst 20-45 minuter eller mer.

Kontrolltoleranserna har sammanställts i tabell B.2.a. (OBS att värdet för "Återbesök, tolerans i höjd" har sänkts i förhållande till tidigare publicerat värde: från 80 till 70 mm!). Tabellen är, efter viss avrundning, baserad på osäkerhetsmått i tabell B.2.b (jfr. avsnitt B.1, tabell B.1.a-c).

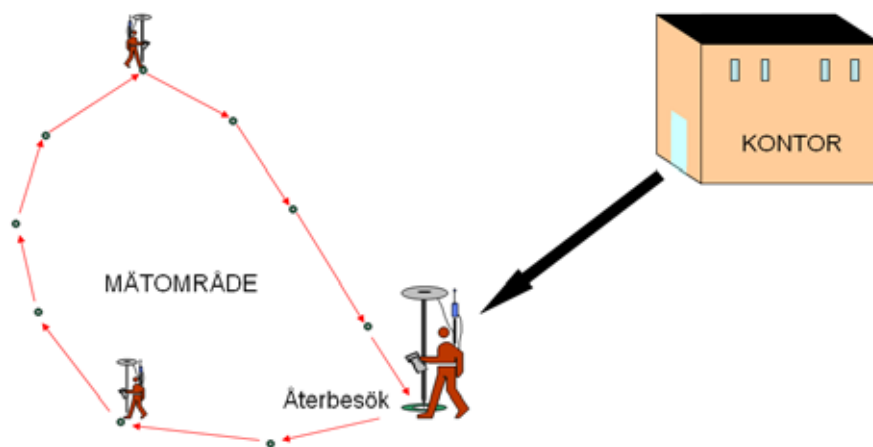
Anledningen till att "känd" har satts inom citattecken är att den "kända" punkten normalt är en stompunkt - och därför i äldre stamnät betraktades som felfri, dvs. känd. Men helt felfri är den naturligtvis inte!



Figur B.2.a. Mätning på kontrollpunkt vid kontoret – före och efter mätningen i fält.



Figur B.2.b. Kontroll i fält genom mätning på känd punkt.



Figur B.2.c. Kontroll i fält genom återbesök av en tidigare mätt väldefinierad punkt.

Tabell B.2.a. Toleranser vid RTK-mätning på kontrollpunkt, "känd" punkt samt vid återbesök. Toleransnivån är 2 sigma (2σ, 95 %).

	Kontrollpunkt	"Känd" punkt	Återbesök
Tolerans i plan	± 30 mm	± 40 mm	± 60 mm
Tolerans i höjd	± 50 mm	± 60 mm	± 70 mm

Tabell B.2.b. De osäkerhetsmått (1σ) som Tabell B.6 baseras på.

Standardosäkerhet i plan	Standardosäkerhet i höjd
<p>Mätning: 15 mm</p> <p>Centrering: 15 mm (endast vid återbesök)</p> <p>Kontrollpunkt: 0 mm</p> <p>"Känd" punkt: 10-15 mm</p>	<p>Mätning: 25 mm (exkl. geoidmodell)</p> <p>Geoidmodell: 15 mm (endast vid mätning på "känd" punkt)</p> <p>"Känd" punkt: 2-5 mm</p>

Den felfria kontrollpunkten förutsätts vara fast markerad i en konsol (inget centreringsfel) och vid mätning på "känd" punkt ska mätningen ske med stativ eller stödben på mätstången (försumbart centreringsfel). Osäkerheten i centreringen vid återbesök är beräknad för en 2 meters mätstång, utan krav på stativ/stödben.

Felen i geoidmodellen vid mätning på kontrollpunkt och vid återbesök tar ut varandra i differensen mellan de två mätvärdena.

Exempel: Tolerans i plan vid återbesök; täckningsfaktor 2 (2σ):

$$T_{Återbesök} = 2\sqrt{2}\sqrt{\sigma_{mätning}^2 + \sigma_{centrering}^2} = 2\sqrt{2}\sqrt{15^2 + 15^2} = 60 \text{ mm}$$

där $\sqrt{2}$ hänför sig till att det är fråga om skillnaden mellan två mätningar.

Exempel: Tolerans i höjd vid mätning på "känd" punkt:

$$T_{KändPunkt} = 2\sqrt{\sigma_{mätning}^2 + \sigma_{geoidmodell}^2} = 2\sqrt{25^2 + 15^2} \approx 60 \text{ mm}$$

B.3 Toleranser för traditionell mätning

Här hänvisas till bilaga A i [HMK-Stommätning](#) och bilaga F i [HMK-Detaljmätning](#), som innehåller såväl osäkerhetsmått som toleranser (felgränser) för traditionell stom- respektive detaljmätning.

C Kinematisk positions- och orienteringsbestämning

C.1 Inledning

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

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

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

C.2 GNSS

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

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

C.2.1 Felkällor

Information

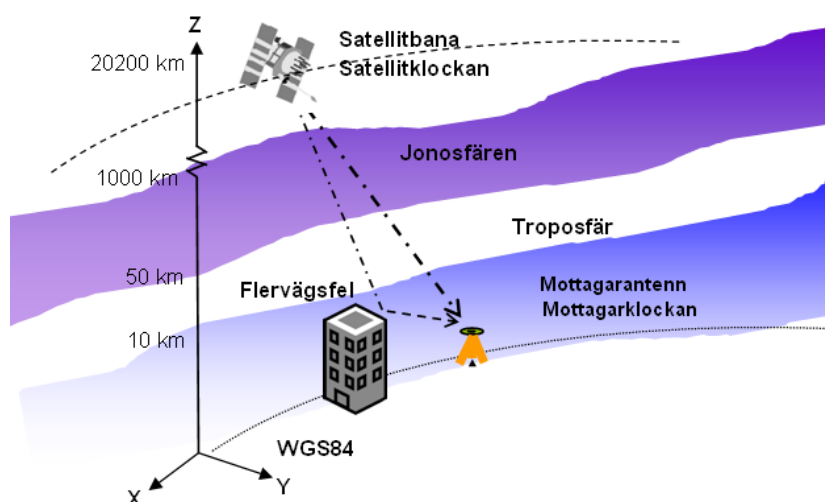
GNSS begränsas av felkällor som kan delas in tre grupper. De största felkällorna i varje grupp är:

- Satellit: ban- och klockfel.
- Signalpropagering: jonosfär- och troposfärsrefraktion.
- Mottagare: Flervägsfel, antennens fascentervariation och klockfel.

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.

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



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

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

För en grundligare beskrivning av GNSS och felkällorna rekommenderas Lantmäterirapporterna [Introduktion till GNSS](#) och [Checklista för nätverks-RTK](#).

C.2.2 Utrustning

Rekommendation

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

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

C.3 Tröghetsnavigeringssystem

Information

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

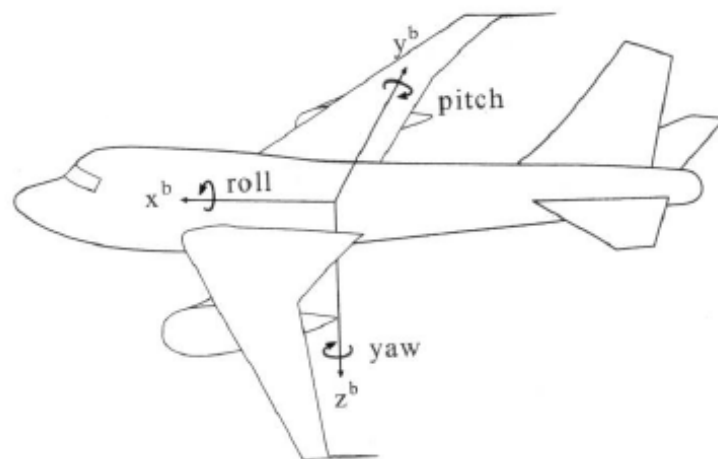
Tröghetsnavigeringssystem eller *Inertial Navigation Systems* (INS), bygger på att ett objekts hastighet och position kan bestämmas relativt ett yttre känt koordinatsystem. Ett INS består av sensorer som mäter vinkelhastigheten och en kraft som kan relateras till objektets acceleration. Sensorerna är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

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

C.3.1 Tröghetsmätenhet

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

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



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

C.3.2 Felkällor

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

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

C.4 Systemintegrering av GNSS och INS

Information

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

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

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

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

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

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

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

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

C.4.1 Odometer (distansmätare)

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

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

C.5 Beräkningsmetoder

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.

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.

Beräkning av insamlad data kan göras genom att använda en eller flera *referensmottagare – relativ eller absolutberäkning*. Dock begränsas metoderna av avståndet till referensmottagarna, som inte bör överstiga rekommenderade baslinjelängder för att erhålla en viss standardosäkerhet. En sammanställning över beräkningsmetoderna redovisas i tabell C.5. Termen *baslinje* avser avståndet mellan referens- och den rörliga GNSS-mottagaren. Se [HMK-Ge:GPS](#) för mer information kring efterberäkning.

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 till-

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

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

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

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

C.6 Insamlingsprocessen

Information

Insamlingsprocessen för flygburna tillämpningar kan delas in i tre delar:

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

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

C.6.1 Planering och förberedelser

Krav

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

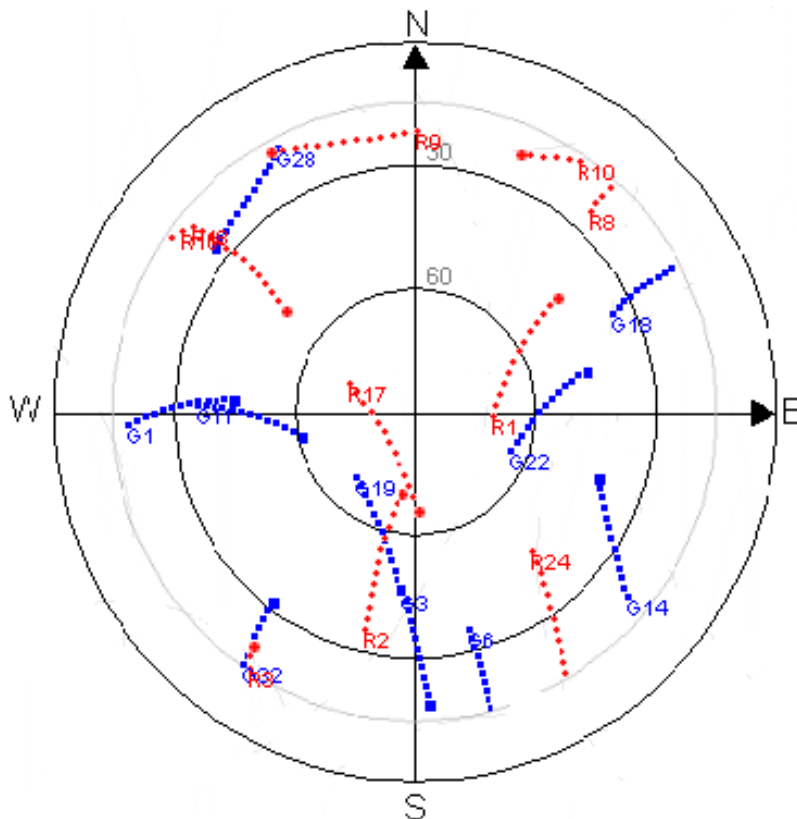
Före datainsamling ska planering av insamlingsrutten göras, bland annat för att säkerställa tillgängligheten på satelliter och referensdata. Detta är speciellt viktigt vid datainsamling på nordliga (> 64 grader) breddgrader.

- **Flervägsfel:** Flervägsfel är normalt inget problem vid flygburen insamling, men kan vara svåra att upptäcka om de förekommer. En indikation på störningar i signalen är ett för lågt eller varierat *signal-to-noise-tal*. Hänsyn bör tas till detta vid installation av GNSS-antennen, följ rekommendationer från tillverkare/leverantör. Exkludera för lågt liggande satelliter - de kan öka förekomsten av flervägsfel.
- **Jonosfärsprediktion:** Jonosfären är den enskilt största felkällan och kan ge upphov till bland annat svårigheter att bestämma periodobekanta (fixlösning). Vid låg jonosfärsaktivitet kan fördröjningen elimineras genom att kombinera frekvenserna, s.k. *jonosfärsfri linjärkombination*. Däremot, vid hög jonosfärsaktivitet reduceras endast fördröjningen, vilket kan medföra svårigheter att beräkna långa baslinjer. På Lantmäteriets webbplats fås aktuell jonosfärsstatus; följ dessa råd!
<http://swepos.lmv.lm.se/jonomon/index.asp>
- **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 1.2.2 i kapitel 1.2.2](#) för en lista på operatörer i våra grannländer.
- **Satellitkonfiguration:** Satellittillgängligheten och satellitgeometrin varierar över dagen och bör därför kontrolleras innan insamling. Satellitgeometrin påverkan på förväntad mätosäkerhet kallas *Dilution of Precision*, och anges ofta med det s.k. PDOP-talet. Lantmäteriet har en e-tjänst där satelliter och satellitgeometri för GPS och GLONASS redovisas för valfri tid, position och elevationsvinkel, se figur C.6.1.

<http://swepos.lmv.lm.se/preddop/in.asp>



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

C.6.2 Datainsamling

Rekommendation

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

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

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

C.6.3 Efterbearbetning

Information

Vid efterberäkning kommer slutkoordinaterna att vara definierade i samma referenssystem som referensdata. SWEPOS-stationernas koordinater är definierade i SWEREF 99 (Sveriges ETRS89-realiserings), vilket inte är detsamma som WGS 84 (ITRF2008).

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.

Krav

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

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 (ETRS89). Vid PPP-beräkning, kommer koordinaterna däremot att vara definierade i WGS 84 (ITRF08). Skillnaden mellan WGS 84 och SWEREF 99 är ungefär 0,5 meter. För mer information, se [Infoblad n:o 9 - SWEREF 99 och WGS 84](#).
- **Positionslösning:** Fixlösning bör beräknas från bägge riktningar för möjlighet att kontrollera beräkningen. Differensen mellan lösningarna bör ligga nära noll, vilket betyder att periodobekanta har blivit lösta med samma heltal från bägge riktningarna. I tabell C.6.3. listas förväntade (schablonmässiga) osäkerheter för fix- och flytlösning samt absolutbestämning.

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

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

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

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

C.7 Leverans

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

Produktionsdokumentationen bör, om informationen inte ingår i levererad fil enligt ovan, även inkludera grafer som redovisar standardosäkerhet i orienteringselementen, PDOP, antal satelliter och differens mellan framåt- och bakåtlösning för de data som insamlats rörande rутten (banan).

Tabell C.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