

Rapportserie: Geodesi och Geografiska informationssystem

RefStrat

- Strategier för referenssystem och referensnät

Slutrapport



Förord

Föreliggande arbete är slutrapport från projekt RefStrat, som har pågått sedan 1998 och som behandlar strategier och handlingsvägar för referensnät och referenssystem på både nationell och lokal nivå.

RefStrat-projektet har initierats och drivits internt på Geodesienheten vid Lantmäteriets division Landskaps- och fastighetsdata. Till projektet finns knuten en relativt stor referensgrupp, bestående av representanter från bl.a. kommuner och olika statliga organisationer.

Styrgrupp och beställare av arbetet är Bo Jonsson och Lars E Engberg.

Under olika delar av projektet har följande personer ingått i arbetsgruppen: Bengt Andersson, Bengt Eurenus, Lotti Jivall, Martin Lidberg, Bo-Gunnar Reit och Jonas Ågren. Per-Ola Eriksson har också medverkat som expert i vissa delar.

Mikael Lilje har varit projektets kvalitetsgranskare.

Innehåll

Förord	3
1 Sammanfattning	6
2 Inledning	7
3 Dagens geodetiska infrastruktur och trender	8
3.1 Nationellt	8
3.1.1 SWEPOS	10
3.1.2 RIX 95	11
3.1.3 Riksavvägningen	12
3.2 Lokalt/kommunalt	12
3.3 Internationella trender	13
4 Behov av referensnät och referenssystem i framtiden	14
4.1 Flera användare	14
4.2 Satellit teknik	15
4.3 Enkätundersökningar	16
4.3.1 RefStrat-projektets enkät	16
4.3.2 Enkät i samband med examensarbete	17
5 Tekniska möjligheter och begränsningar	18
5.1 Satellit teknik	18
5.1.1 Olika mätmetoder	18
5.1.2 Begränsningar och nya möjligheter	20
5.1.3 Nätverks-RTK	20
5.2 Konventionell teknik	21
5.3 Kombinerad teknik	22
5.4 Geoidmodeller för höjdbestämmning med satellitmetoder	23
5.5 Livslängd på ett nationellt referenssystem	24
6 Underlag för strategiska ställningstaganden	26
6.1 Vision	26
6.2 Målsättning för geodetisk infrastruktur	27
6.3 Nytt referenssystem	28
6.4 Om inget görs	29
7 Förslag till strategiska åtgärder	30
7.1 Nationella referenssystem	30
7.1.1 Nytt tredimensionellt referenssystem med kartprojektioner	30
7.1.2 Nytt höjdsystem och geoidmodell	30
7.1.3 Övervakning av referenssystem.....	31
7.2 Referensnät på nationell nivå	31
7.2.1 Aktiva referensnät	31

7.2.2	Passiva referensnät	32
7.3	Kommunala referenssystem och referensnät	32
7.3.1	Byte av koordinatsystem	32
7.3.2	Byte av höjdsystem	33
8	Slutord.....	34

1 Sammanfattning

Samhällets utveckling inom IT, satellitnavigation och mobil datakommunikation skapar intresse och möjlighet att utnyttja geografisk informationsteknik (GIT) inom många nya områden, och bland nya användargrupper. För att stödja detta bör den geodetiska infrastrukturen som samhället tillhandahåller vara så enkel och enhetlig som möjligt.

För internationellt samarbete, datautbyte och t.ex. bilnavigationssystem avsedda för massmarknad finns behov av enhetligt referenssystem både inom landet, men också över nationsgränserna. Genom internationella beslut anpassar t.ex. Sjöfartsverket och Luftfartsverket sina produkter och tjänster till globalt referenssystem.

Dagens nationella referenssystem i plan, RT 90, och de mer eller mindre lokala kommunala koordinatsystemen bör bl.a. därför bytas ut mot ett globalt referenssystem. Projektet förestår att SWEREF 93 uppgraderas till SWEREF 99, som är ett europeiskt erkänt system, och införs som nationellt referenssystem i Sverige. Arbetet inom RIX 95 skapar en bra grund för ett framgångsrikt referenssystemsbyte.

Till SWEREF 99 behövs också en kartprojektion för allmän kartläggning, och ett system av projektionszoner för anläggnings- och kommunaltekniska tillämpningar. Frågan om kartprojektion är brådskande, men behöver beredas i en bredare grupp med representanter från flera användargrupper.

Permanent referensstationer för GPS är idag fundamentet för att förvalta ett modernt geodetiskt referenssystem. SWEPOS[®] är därför av fundamental betydelse för den grundläggande geodetiska infrastrukturen.

I höjd införs ett nytt nationellt höjdsystem baserat på den inom kort avslutade riksavvägningen.

På kommunal nivå bör tiden fram till det att kartprojektion till SWEREF 99 och nytt höjdsystem är klara, ägnas åt att utvärdera de befintliga referenssystemen i plan och höjd. Byte till RT 90/RH 70 (eller RHB 70) kan idag inte rekommenderas.

Satellit teknik har fortfarande en stor utvecklingspotential, och detaljmätning direkt från aktiva referensstationer ger möjlighet till rationaliseringar i befintlig verksamhet och öppnar nya användningsområden. Tekniskt verkar möjligheten att tillskapa en nationell positionstjänst som ger en noggrannhet på någon/några cm (medelfel) ligga inom räckhåll. SWEPOS bör därför vidareutvecklas mot detta mål.

2 Inledning

Till drivkrafterna bakom RefStrat hör den snabba utvecklingen inom satellitteknik för lägesbestämning, samhällets IT-utveckling, nya användargrupper av lägesrelaterad information inom bl.a. navigation och transportsektorn, och ökad användning av geografiska informationssystem (GIS). Till bakgrunden hör också utvecklingen av SWEPOS samt pågående arbeten med referensnät och referenssystem i bl.a. projektet RIX 95 och dess spår och i riksavvägningsprojektet.

Detta motiverar att en diskussion om strategiska frågor kring referensnät och referenssystem snabbt kommer igång och förs ut utanför Lantmäteriets geodetiska enheter.

Effektmål

Målen för RefStrat är bl.a. att skapa en grund för en gemensam nationell syn på referenssystem och referensnät, baserad på synpunkter och krav från olika användargrupper. RefStrat skall ge förutsättningar för att tekniska möjligheter för positionsbestämning och lägesangivelse, samt trender inom referenssystemsområdet, beaktas vid strategiska beslut rörande referensnät och referenssystem samt tillhandahållande av lägesbunden information hos olika användargrupper.

Arbetsätt

Arbetet i projektet började 1998 och har varit indelat i etapper:

- Delrapport 1 behandlar dagens situation, tekniska förutsättningar, och översiktligt behov av lägesbestämning och lägesangivning.
- I delrapport 2 beskrivs en vision för framtida referenssystem och referensnät genom ett antal scenarier.
- Delrapport 3 eller "vägen dit" beskriver strategier för att förverkliga visionen och för att hantera dagens situation. I etapp 3 görs en ganska fyllig presentation av vilken väg RefStrat-projektet anser att Sverige bör ta när det gäller de framtida nationella geodetiska systemen.
- Slutrapport i form av en LMV-rapport för allmän spridning.

3 Dagens geodetiska infrastruktur och trender

Grundbultarna i den geodetiska infrastrukturen utgörs av referensnäten, referenssystemen och för horisontell lägesangivning projektionssystemen.

Ett geodetiskt **referensnät** består av stabilt markerade punkter ute i naturen. Punkterna i referensnätet tjänar som utgångspunkter vid mätning och kartläggning. Traditionella referensnät är uppdelade i plan och höjd eftersom olika mätmetoder har använts för bestämningen i plan (längd- och vinkelmätning) respektive i höjd (avvägning). De traditionella referensnäten består av punkter som man vid användandet besöker och ställer upp sin mätutrustning över. I och med GPS-tekniken har en ny typ av referensnät introducerats, där punkterna är permanent utrustade med mätutrustning, s.k. nät av fasta referensstationer för GPS. I dessa nät är positionen bestämd i tre dimensioner.

Att etablera ett **referenssystem** innebär att man med något lämpligt mätförfarande fastlägger läget för punkterna i ett referensnät.

Punkternas horisontella lägen ges primärt som latituder och longituder relativt en lämpligt vald jordmodell, den s.k. referensellipsoiden. Latituder och longituder relaterade till ellipsoidytan är emellertid krångliga att arbeta med i vissa sammanhang. För kartframställning och annan praktisk verksamhet avbildar man därför den buktiga ellipsoidytan i ett plan med hjälp av en s.k. **kartprojektion**. Varje kartprojektion orsakar deformationer som till sin storlek växer med avståndet från någon centralpunkt/centrallinje. För att begränsa deformationernas storlek är det vanligt att man i vissa verksamheter gör en systematisk indelning av ellipsoidytan i zoner, var och en med ett eget projektningsplan, dvs man får ett system av projektioner.

Punkters vertikala lägen ges som "höjd över havet", eller egentligen höjd över geoiden. Inom satellitteknik används också höjd över referensellipsoiden, jfr 5.4.

3.1 Nationellt

Det traditionella riksnätet i plan har i 70 % av landet en punkttäthet på ca 10 km. I övriga delar, huvudsakligen Norrlands inland och fjälltrakterna är tätheten ca 30 km. Nätets utformning har styrts av mätmetodikens krav på sikt mellan punkterna, vilket ofta lett till att de placerats på höjder. Vid mätningen användes dessutom ofta torn, vilka sedan tagits bort vilket gör punkterna svåra att använda. Totalt omfattar riksnätet ca 3800 punkter. Det pågående projektet RIX 95 medför bl.a. en förtätning av nätet med mer lättillgängliga punkter, se avsnitt 3.1.2.

Satellittekniken (GPS) har genom sina egenskaper – hög noggrannhet på långa avstånd, inget behov av sikt mellan punkterna, men krav på sikt uppåt – dels varit en effektiv metod att mäta referensnät, dels påverkat behoven av och kraven på referensnät. Nya krav på referensnäten för att effektivt utnyttja GPS är att punkterna har fri sikt uppåt och en störningsfri miljö för att undvika reflekterade satellitsignaler (flervägsfel). GPS är en tredimensionell teknik och för att understödja detta bör

punkterna ha koordinater i tre dimensioner (plan och höjd). För en beskrivning av det nationella nätet av permanenta stationer för GPS, SWEPOS, hänvisas till avsnitt 3.1.1.

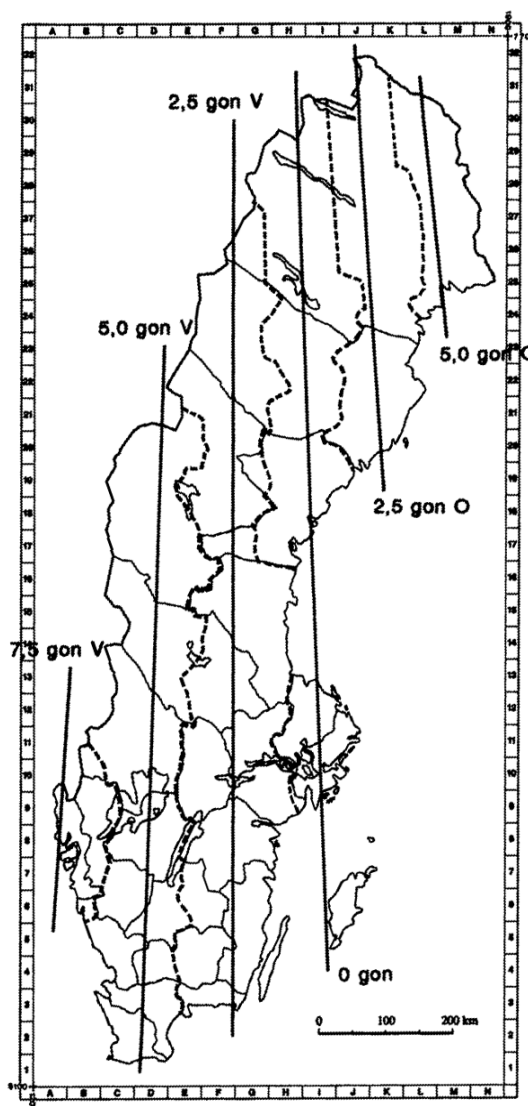
Historiskt sett har de flesta länderna i världen baserat i sin kartframställning och annan verksamhet med lägesanknytning på referenssystem som är unika för landet. I Sverige används på nationell nivå tretton olika referenssystem; RT 90 samt de tolv regionsystemen RT R01 – RT R12. I vissa sammanhang figurerar även det äldre systemet RT 38 och i södra Sverige ett ännu äldre system benämnt RT P. Systemen finns realiserade på riksnätet i plan eller delar därav.

Beträffande projektionssystem används i småskaliga tillämpningar (skalor $\leq 1:10\,000$) ett gemensamt projektiionsplan för hela Sverige med medelmeridian 2,5 gon V om Stockholms gamla observatorium ($15^{\circ}48'29.8''$ öster om Greenwich). För att hålla nere deformationerna orsakade av projektiionen används vid större skalor ytterligare fem projektiionszoner.

Varje referenssystem ger i kombination med respektive projektiionszon upphov till ett separat koordinatsystem. Följaktligen finns det för RT 90 liksom för RT 38 sex olika plana koordinatsystem, ett för varje projektiionszon. Eftersom regionsystemen täcker mindre områden finns för de flesta regionerna koordinater i projektiionszonen 2,5 gon V samt eventuellt ytterligare någon eller några zoner. Sammantaget leder detta till ca 40 olika koordinatsystem på riksnivå.

Som tidigare nämnts används separata referensnät, så kallade avvägningnät, som bärare av höjdsystemen. I den första och andra precisionsavvägningen gick avvägninglinjerna längs järnvägarna. I det nät som byggs upp i den pågående tredje riksavvägningen följer linjerna vägnätet. Höjdfixpunkter etableras därvid för ungefär varje km längs vägens sträckning. Punkterna anordnas i slutna slingor, där varje slinga har en omkrets på 100 - 120 km.

Den första precisionsavvägningen resulterade i höjdsystemet RH 00, den andra i systemet RH 70. För punkter i den tredje precisionsavvägningen beräknas fortlöpande höjder i RH 70. För att kunna särskilja dessa höjder från höjderna i det



Figur 1. Projektiionszoner.

ursprungliga RH 70, betecknas de nya punkternas höjder med RHB 70. För ytterligare detaljer om den tredje precisionsavvägningen hänvisas till avsnitt 3.1.3

Det tredimensionella referenssystem med global anpassning som hittills kommit till användning i Sverige benämns SWEREF 93. Det är grundat på mycket noggranna koordinater på 20 av de permanenta stationer för GPS som ingår i SWEPOS-nätet. SWEREF 93 är en nationell förtätning av det europeiska referenssystemet ETRS 89, men har inte officiell EUREF-status, se vidare 5.5.

För omvandling av höjder över ellipsoiden i SWEREF 93 till höjder över havet i RH 70 används idag geoidhöjdsystemet SWEN 98L som ersätter ett äldre system benämnt RN 92, jfr 5.4.

3.1.1 SWEPOS

SWEPOS är ett nationellt nät av 25 fasta referensstationer i Sverige, se figur 2. Avståndet mellan stationerna är c:a 200 km.

SWEPOS uppgift är att tillhandahålla data från GPS-satelliterna för en mängd olika tillämpningar, allt från positionsbestämning med meternoggrannhet för bl.a. navigering, till studier av rörelser i jordskorpan på mm-nivå. SWEPOS är även bärare av referens-systemet SWEREF 93.

Lantmäteriverket ansvarar för drift och utveckling av SWEPOS, men finansiering och styrning sker av en större grupp, bestående av Banverket, Försvarmakten, Lantmäteriverket, Luftfartsverket, SJ, Sjöfartsverket, Telia och Vägverket.

Idag sänds SWEPOS-data från 12 stationer ut i realtid över RDS-kanalen på FM P3-nätet via **Epos-tjänsten** som drivs av Teracom. De data som sänds ut idag är pseudoavståndskorrekationer, d.v.s. kod-mätningar, och ger mätnoggrannheten (medelfel) 0.5-5 m. Noggrannheten beror på använd mottagare och vilken av Epos-tjänsterna som utnyttjas.

Data Cast, som drivs av Generic Mobile, ger en horisontell positionsnoggrannhet på meternivå och bygger på åtta SWEPOS-stationer. Korrektionsdata sänds via FM-radionätet tillsammans med andra tjänster, som t. ex. sjöväder, Aftonbladets nyheter.

Fugro Seastar tillhandahåller GPS-korrekationer via den satellitbaserade tjänsten **Omnistar** som ger en positionsnoggrannhet på meternivå. Tjänsten bygger på ett antal europeiska referensstationer, varav SWEPOS-stationen Visby är en station.

Fullständiga mätningar, inklusive bärvågsmätningar, behövs för att kunna erhålla cm-noggrannhet eller bättre vid beräkning av position. Data för efterberäkning nås via **Internet**.

Från fem av SWEPOS-stationerna levereras data till ett europeiskt nät av fasta referensstationer, permanenta EUREF, se vidare avsnitt 4.2.

Cicéron-tjänsten drivs av Teracom och är en RTK-tjänst som ger möjlighet att kunna mäta med centimeternoggrannhet inom ett begränsat avstånd från använd referensstation (jfr 5.1.1). Tjänsten finns idag på 8 platser i landet.

I samarbetsprojektet NeW-RTK, där Lantmäteriverket, Onsala Rymdobservatorium och Teracom deltar, studeras förutsättningarna för en nationell tjänst med dm- eller cm-noggrannhet i realtid. Tjänsten skall bygga på konceptet med nätverks-RTK (jfr 5.1.3), och byggstenarna i projektet är SWEPOS (eventuellt förtätat med ytterligare stationer), förbättrade jonofärs- och troposfärmodeller samt datakanalen DARC (Data Radio Channel). NeW-RTK har etablerat ett testnät för nätverks-RTK i västra Sverige.

Genom ett samarbete mellan bl.a. ett antal kommuner i Skåne, Banverket, Vägverket, Lantmäteriet, LTH och Chalmers (Onsala Rymdobservatorium) kommer nätverks-RTK att provas i Skåne under hösten år 2000. Projektet bygger på SWEPOS förstärkt med några extra stationer, och en kommersiell programvara för nätverks RTK.

På uppdrag från generaldirektörerna för de nordiska kartverken, har Nordiska Kommissionen för Geodesi (NKG) utarbetat ett förslag till ett projekt för att utveckla en nordisk RTK-tjänst baserad på permanenta GPS-stationer i flera nordiska länder.



Figur 2. SWEPOS å.

3.1.2 RIX 95

RIX 95-projektet avser dels anslutning av lokala nät för att etablera goda överföringssamband mellan kommunala och nationella system, dels en förtätning och GPS-anpassning av riksnätet i plan. Dessutom ger satsningen större möjligheter till framtida användning av SWEPOS-nätet och tillhandahåller ett facit för kontroll av lokala stomnäts homogenitet.

För genomförandet tillskjuts finansieringsmedel från Lantmäteriverket, Banverket, Vägverket, Försvarmakten och Telia AB. Sjöfartsverket bidrar med egna arbetsinsatser och fartyg för mätningar inom kustområden. Svenska Kommunförbundet rekommenderar kommunerna att bidra till projektets

genomförande genom att fritt ställa nödvändig information om aktuella stomnät till projektets förfogande.

RIX 95-projektet påbörjades 1995 och beräknas vara klart 2005. Finansieringsavtalen med intressenterna är dock ettåriga. Om projektet genomförs som planerat kommer riksnätet att kompletteras med ca 5 500 punkter, varav flertalet är identiska med kommunala punkter. Punkterna väljs så att de är lätt tillgängliga och väl lämpade för GPS-mätning. Genomsnittliga punktavstånd i det förtätade riksnätet (3 800 + 5 500 punkter) blir ca 6.5 km i 70% av landet och 14.5 km i övriga delar (Norrlands inland och fjälltrakter).

GPS-mätningar utförs på samtliga punkter och nätet ansluts även till SWEPOS och punkter i riksavvägningen. Beräkningen ger koordinater i RT 90 och SWEREF 93 samt höjder i RH 70.

Ett antal punkter i ett kommunalt stomnät ingår i RIX 95-nätet. Med dessa som passpunkter beräknas transformationssamband på en övergripande nivå för kommunen och man får även en indikation på hur homogent det kommunala systemet är. För att mera i detalj kunna kartlägga geometrin i systemet behövs normalt ytterligare mätningar. Det är dock en kommunal angelägenhet och bekostas inte av RIX 95-projektet. De punkter som bestäms i RIX 95 ger ändå kommunerna en grund för att utvärdera geometrin. Från dessa punkter kan man sedan gå vidare och bestämma flera punkter i de kommunala näten, utvärdera igen, osv. tills man kartlagt deformationerna på den nivå man anser rimlig.

3.1.3 Riksavvägningen

I början på 70-talet insåg man att de befintliga höjdnäten inte motsvarade användarnas krav. 1980 påbörjades därför en tredje rikstäckande precisionsavvägning, i fortsättningen kallad Riksavvägningen. Ett av huvudskälen till att genomföra Riksavvägningen var nämligen att skapa anslutningsmöjligheter för lokala nät.

Riksavvägningen anpassas så långt det är möjligt till de lokala behoven. I samband med nätplaneringen ges så många användarorganisationer som möjligt tillfälle att komma med synpunkter på nätuppbbyggnaden. Dessa nära kontakter med varje användare har givit en mycket god insikt i situationen angående de flesta lokala höjdnät i landet.

Genomförandet av Riksavvägningen skapar på detta sätt en grund för att ansluta många av de lokala näten. Därefter återstår dock ett mycket stort arbete innan de lokala näten faktiskt är anslutna till det nya höjdsystem som Riksavvägningen ska resultera i. Målet måste vara att alla användare kan arbeta i ett gemensamt system med den teknik som är mest ändamålsenlig för de behov som finns.

3.2 Lokalt/kommunalt

Riksnätspunkterna ligger förhållandevis glest utplacerade. För det praktiska mätningarbetet på lokal nivå krävs av såväl kostnads- som tidsskäl att referenspunkterna ligger på närmare håll. Riksnäten har därför förtätats.

Förtätningen sker i två steg genom att först tillskapa ett sk anslutningsnät vars punkter huvudsakligen tjänar som utgångspunkter vid bestämning av de lokala bruksnäten. Kommunerna ansvarar för de allmänna anslutnings- och bruksnäten. Ägare till olika anläggningar, t.ex. Banverket och Vägverket har egna anslutnings- och bruksnät. Vid byggplatser etableras speciella referensnät ofta med högre lokal noggrannhet än de allmänna referensnäten.

Etableringen av de kommunala systemen har skett under en lång tidsrymd. Sedan 1900-talets början har de flesta större kommunerna genomfört egna trianguleringar, framförallt täckande centralorten. En del av dessa trianguleringar är anslutna till rikets system, då främst RT 38 , RT P eller något regionsystem. Det sammantagna antalet lokala horisontella system med anknytning till kommunal verksamhet rör sig gissningsvis om flera hundra.

De horisontella kommunala systemen är genomgående räknade i ett projektiionsplan eller som helt fristående plana system.

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

3.3 Internationella trender

Användningen av globala referenssystem har snabbt fått stor internationell spridning. Idag är denna typ av system standard inom sjöfarten och det civila flyget liksom vid internationell försvarssamverkan.

Efter förfrågan från EU-kommissionen har det europeiska samarbetsorganet MEGRIN lämnat en rekommendation till EU-kommissionen att anta det globalt anpassade systemet ETRS 89 som standard för lägesrelaterad information inom EU-arbetet. Vidare rekommenderar MEGRIN ökad nationell användning av ETRS 89 inom alla sina medlemsländer.

Även många enskilda länder runtom i världen har gått eller är i färd med att helt gå över till något globalt system. Nämnas kan Finland, Danmark, Norge Australien, USA och Kanada.

Fler och fler GIS-programvaror utnyttjar ett globalt system som mellansteg vid transformation av koordinater.

På europeiskt nivå pågår ett arbete att räkna fram ett gemensamt höjdsystem. Resultatet av detta arbete måste givetvis beaktas när det om några år blir aktuellt att introducera ett nytt svenskt höjdsystem som ersättare för RH 70.

4 Behov av referensnät och referenssystem i framtiden

Behoven av referensnät och referenssystem varierar kraftigt mellan olika tillämpningar. Inom många tillämpningar är kravet på ett enhetligt referenssystem absolut men kravet på geometrisk noggrannhet kan vara måttligt. Inom andra tillämpningar är noggrannhetskraven dominerande. I realtidstillämpningar finns ofta höga krav på tillförlitlighet och tillgänglighet. Vid konstruktion av morgondagens referensnät och referenssystem måste därför många aspekter beaktas.

4.1 Flera användare

Gruppen användare av referenssystem och referensnät är idag betydligt bredare än den krets av geodeter och mätningstekniker som tidigare var ganska ensamma om att hantera dessa. Andra grupper använde tidigare framförallt analoga kartor för hantering av geografiska data.

Teknikutveckling inom såväl positionsbestämning som för hantering av geografiska data leder till att det blir fler och nya grupper som utför lägesbestämning/angivning. Dels har själva mättekniken blivit enklare, vilket innebär att fler kan mäta i egen regi, dels förutsätter uppbyggnaden av geografiska databaser koordinatsatt information och därmed behov av referenssystem.

Samhällets behov av lägesrelaterad information kan illustreras med ett citat ur ULI:s yttrande över betänkandet Forskningspolitik (SOU 1998:128): "Till stor del är den information som behövs lägesrelaterad - flera undersökningar pekar mot att det handlar om cirka 80% av den totala informationen. Det gäller information för t ex planläggning, projektering och underhåll av bebyggelse och infrastruktur, för miljöövervakning, jord- och skogsbruksplanering, marknadsanalyser mm."

Behovet av koordinatsatt geografisk information är således stort. Geografiska informationssystem (GIS) används inom många kommunala förvaltningar, av länsstyrelser och andra myndigheter, av skogsbolag, elnätsföretag, etc. Den information som den ena har till uppgift att samla in och förvalta används ofta av någon annan. En förutsättning för en rationell hantering är att data kan utväxlas mellan olika organisationer på ett smidigt sätt. Detta ställer krav på enhetliga referenssystem. En del kommuner planerar, eller har redan påbörjat arbetet, att ersätta nuvarande system med ett nytt enhetligt system.

Användning av digital geografisk information i kombination med lägesbestämning kommer sannolikt att öka kraftigt de närmaste åren. Mobila realtidstillämpningar inom bl.a. transportsektorn blir möjliga på ett helt annat sätt pga. den oerhört snabba utvecklingen av mobil datakommunikation. Inom sjöfart och luftfart har man redan system för utsändning av rörliga enheters positioner till trafikledningscentraler och till andra rörliga enheter, som kan följa trafiken i en kartbild. Genom internationella beslut anpassar Sjöfartsverket och Luftfartsverket sina produkter och tjänster till ett globalt referenssystem. För landmobila tillämpningar kan en liknande teknik-

utveckling skönjas, men här finns inte motsvarande internationella samordning av infrastrukturen. I regeringens proposition "Transportpolitik för en hållbar utveckling" (1997/98:56) anges bl.a. "brist på viss grundläggande infrastruktur (geodetiska nät, referensstationer m.m.)" som ett hinder för en snabb introduktion av transportinformatik.

4.2 Satellitteknik

Utvecklingen inom satellittekniken har inneburit nya möjligheter att utföra positionsbestämning noggrant över långa avstånd. Lägesbestämning i realtid kan idag (sedan S/A-effekten togs bort 2000-05-02) göras med absolutmätning på noggrannhetsnivån 5-10 m eller med DGPS på meternivå. Mätning på centimeternivå kan utföras med RTK i realtid på avstånd upp till 10 km eller med statisk mätning och efterberäkning på långa avstånd (några hundra km). Metoderna för nätverks-RTK håller på att utvecklas, vilket innebär att man idag når en noggrannhet av några centimeter (1σ , 1D) på avstånd upp till 60-80 km.

Många nya tillämpningar är helt baserade på satellitteknik och inom traditionella tillämpningar öppnar tekniken nya möjligheter. Ett exempel på det senare är fastighetsbildning utanför tätort, där referensnät ofta saknas. Här ger satellittekniken möjlighet att noggrant och kostnadseffektivt ansluta mätningar till ett nationellt referenssystem, vilket i sin tur gör det möjligt att säkerställa fastighetsgränserna numeriskt och ge koordinaterna rättslig verkan.

Satellittekniken påverkar naturligtvis behoven av referensnät och referenssystem. Möjligheten att mäta utan direktsikt och med hög noggrannhet över längre avstånd innebär att man kan ha betydligt glesare referensnät än tidigare. Om detaljmätning utförs med RTK istället för totalstation kan punktavstånden i referensnätet ökas från 200-300 m till 5-10 km, vilket ger en avsevärd besparing vid etablering och underhåll av referensnät. Det ställer dock betydligt större krav på referenssystemens regionala noggrannhet. Men satellittekniken ger också nya möjligheter att etablera mycket homogena referenssystem med hög noggrannhet över långa avstånd (centimeter-noggrannhet över hundratal mil) och anslutning till ett globalt referenssystem.

Teknikens tredimensionella art ställer krav på tredimensionella referenssystem med både plan, höjd och geoidhöjd. Vidare har satellittekniken infört en ny typ av referensnät, nämligen nät bestående av fasta referensstationer som är permanent utrustade med mätinstrument. Sådana finns på nationell nivå (se 3.1.1) och det finns en tendens att även kommuner börjar etablera fasta stationer.

Etablering av moderna referenssystem görs med satellitteknik och kräver internationell samverkan. För att tillskapa ett nationellt referenssystem med global anpassning krävs tillgång till satellitbanor av högsta kvalité. Mätdata hämtas inte bara från stationer inom landet utan även från omkringliggande länders nät. Omvänt gäller att det internationella samfundet är beroende av data från de enskilda länderna för att kunna tillhandahålla noggranna bandata och korrektionsmodeller för t ex kontinentalplattornas rörelser och andra fenomen som berör jordens dynamik. De permanenta näten med sina möjligheter till fortlöpande kontroll

(monitorering) av stationernas rörelser spelar härvidlag en avgörande roll. Sveriges bidrag till det internationella samfundet på detta område är data från fem av SWEPOS-stationerna, jfr 3.1.1.

Ett speciellt problem som drabbar de nordiska länderna är den postglaciala landhöjningen, som uppgår till maximalt ca 10 mm/år. Korrektioner för landhöjningen finns inte med i de globala korrektionsmodellerna utan här är vi hänvisade till att utveckla egna modeller. Även i detta sammanhang spelar de nordiska permanenta näten en betydelsefull roll.

4.3 Enkätundersökningar

4.3.1 RefStrat-projektets enkät

För att kartlägga användningen och behovet av referensnät och referenssystem genomfördes en begränsad enkätundersökning 1998. Enkäten besvarades av 7 kommuner (i huvudsak stadsbyggnadskontor), 3 mätkonsulter, försvaret och de 4 trafikverken (Luftfartsverket, Sjöfartsverket, Banverket och Vägverket). Dessutom intervjuades några personer inom Lantmäteriet som arbetar med GIS och fastighetsbildning. Svaren kan sammanfattas i följande punkter:

- Alla svarande använder satellitteknik och tror på en ökad användning av satellitteknik. I vissa tillämpningar är man dock tveksam till användning av enbart satellitteknik, t.ex. för fastighetsbildning i tätort och utsättning i samband med projektering och byggande. Tveksamheterna avser noggrannhet och tillgänglighet.
- Referensnät och referenssystem bör vara tredimensionella, dvs. understödja plan, höjd och geoidhöjd.
- Många anser att det räcker att de allmänna referensnäten understödjer satellitteknik, eftersom man tror att anslutning görs med denna teknik. Detaljmätningen kan sedan ske med annan teknik. I riktigt tät stadsbebyggelse är dock nät för konventionell mätning lämpligast. Några ser dock större behov av att kunna ansluta konventionella mätningar eller mätningar med tröghetsteknik.
- Allmänna referensnät bör täcka hela landet och gärna inkludera punkter i grannländerna.
- Alla önskar realtid för detaljmätning och många kräver det av tekniska eller ekonomiska skäl.
- De flesta som arbetar nationellt ser ett behov av en officiell kartprojektion till SWEREF 93.
- Sjöfartsverket ser samverkan med andra nordeuropeiska länder om referenssystem (både tredimensionella system och höjdsystem) som viktig. Försvaret har behov av ett internationellt gångbart referenssystem. Övriga ser framförallt ett behov av bra transformationssamband mellan de kommunala och de nationella referenssystemen.

- För att kunna utnyttja satellitteknikens möjligheter ställer flera krav på att referenssystemen ska vara homogena över det egna arbetsområdet. Homogenitetsbrister har framförallt upptäckts i kommunala system. Några har även haft problem med rikssystemet RH 70. De krav som man tidigare haft på lokal noggrannhet går över till att gälla även för regional noggrannhet.
- Generellt ligger noggrannhetskraven vid detaljmätning kring medelfel på 1 cm. Luftfartsverket och Banverket har dock strängare krav.
- I och med ökad användning av mätning under rörelse ökar kraven på tillförlitlighet, inte minst ur säkerhetssynpunkt.

4.3.2 Enkät i samband med examensarbete

Som en del av ett examensarbete vid KTH i Stockholm, "Jämförelse av olika metoder att föra över kartdetaljer till ett nytt koordinatsystem" (LMV-rapport 2000:4), genomfördes 1999 en enkätundersökning riktad till landets kommuner. I examensarbetet jämförs olika sätt att behandla deformationer i lokala stornät vid byte av koordinatsystem. För att erhålla en bild av de förutsättningar som råder i kommunerna beträffande koordinatsystem och stornät samt användningen av och kvaliteten hos dessa, formulerades ett antal frågor. Svar erhöles från 83 kommuner.

Många av de svarande visade stort intresse för enkätundersökningen vilket tyder på att frågorna berör ett område som är aktuellt och viktigt för många kommuner. I ett försök att sammanställa några sammanfattande tendenser från resultatet av undersökningen har följande punkter identifierats:

- Förutsättningar för mät- och kartverksamhet varierar mycket mellan olika kommuner. Kommunstorlek, ekonomi, mätteknisk historik inom kommunen och befintlig kart- och mätverksamhet i närliggande kommuner är några faktorer som är viktiga.
- I kommunerna används ofta olika lokala koordinatsystem, men även regionala och nationella system förekommer. Ibland används flera olika koordinatsystem. Antalet befintliga lokala koordinatsystem är stort.
- Tillgången till koordinater i regionala eller nationella koordinatsystem anses överlag viktigt för ett ökat utbyte av geografisk information och för införandet av GIS i kommunerna.
- Användningen av satellitteknik i den kommunala mätverksamheten ökar och kommer att bli allt viktigare inom den närmaste framtiden. Många anser också att stornäten idag håller en tillräckligt hög noggrannhet för mätning med satellitteknik. Här går emellertid meningarna isär något, och resultatet av enkäten visar att det ofta finns en osäkerhet om de lokala koordinatsystemens noggrannhet.

5 Tekniska möjligheter och begränsningar

I detta avsnitt behandlas ett antal frågeställningar av teknisk art som är av stor betydelse för de handlingsvägar som senare föreslås.

Satellit teknik behandlas relativt utförligt eftersom den fortfarande har en stor utvecklingspotential. En god beskrivning av områdets framtida utveckling förbättrar möjligheten till kloka beslut i strategiska frågor avseende referensnät och referenssystem.

5.1 Satellit teknik

Med satellit teknik avses i denna rapport satellitbaserad teknik för positionsbestämning och navigering. Idag är GPS det vanligaste satellitsystemet som används för detta, men andra system finns idag, t.ex. GLONASS, eller är på planerings- och konstruktionsstadiet, t.ex. Galileo.

I denna rapport används i många fall benämningen GPS då det är satellit tekniken i stort som avses.

5.1.1 Olika mätmetoder

Positionsbestämning med GPS görs i princip genom att mäta avståndet mellan GPS-mottagare och minst 4 satelliter. Avståndsmätningen kan antingen göras genom kodmätning eller genom bärvågsmätning.

Mätmetoderna med GPS kan delas in i:

- absolutpositionsbestämning (kodmätning), realtid
- DGPS (relativ kodmätning), realtid (efterberäkning användas också ibland)
- statisk mätning av baslinjer upp till 20 km (bärvågsmätning), efterberäkning
- statisk mätning av långa baslinjer, 20-200 km (bärvågsmätning), efterberäkning
- RTK-mätning på korta avstånd (bärvågsmätning), realtid
- Nätverks RTK på långa avstånd (bärvågsmätning), realtid

Vid **absolutmätning** bestäms positionen enbart genom avståndsmätning direkt mot satelliterna. Mätning kan göras med mycket enkel och billig utrustning. Noggrannhetsnivån är 5-10 m (medelfel i plan - sämre i höjd) då SA-störningen är borta (från 2000-05-02). Till de största felkällorna i absolutmätning hör avståndsfel orsakade av atmosfären.

Vid **DGPS** kombineras mätningar direkt mot satelliterna med korrektioner till mätningarna. Korrektionerna bestäms genom samtidig mätning på en känd punkt. Dessa korrektioner förs i realtid över till DGPS-utrustningen. DGPS-korrektioner kan bl.a. fås via Epos-tjänsten, Omnistar, DataCast och Sjöfartsverkets DGPS-stationer. Noggrannheten i DGPS ligger på nivån 0.5-5 meter (medelfel i plan - något sämre i höjd).

Statisk mätning av baslinjer upp till ca 20 km är sedan 10 år en etablerad teknik för mätning av anslutningsnät. Noggrannhet är ca 1 cm (medelfel). Vanligen tillämpas observationstider om 45 min till 1 tim och bärvågsmätning på GPS L1-frekvens. Vid s.k. **snabb statisk mätning** kortas observationstiden avsevärt (ca 10 min), men normalt behövs utrustning för bärvågsmätning på båda GPS-frekvenserna (L1 och L2) och bättre sikt till satelliterna.

Vid **mätning på längre avstånd** behöver skillnader i jonosfär och troposfär hanteras. Genom bärvågsmätning på två frekvenser finns möjlighet att reducera för effekten i jonosfär, och med specialprogramvara kan också en del av skillnad i troposfär tas om hand.

I tabell 1 redovisas noggrannhetsnivåer för **positionsbestämning mot SWEPOS**. Som jämförelse ges noggrannhet i en baslinje vid statisk mätning på kort håll. Med standardutrustning menas en tvåfrekvensmottagare med medföljande antenn och en vanlig kommersiell programvara. Med specialutrustning avses mätning med en bättre GPS-antenn (choke-ring) och användande av ett mer avancerat beräkningsprogram.

Tabell 1. Dagens noggrannhetsnivåer vid mätning mot SWEPOS.

Metod	Medelfel i plan (per koordinat)	Medelfel i höjd
Standard, 2-4 tim	10-20 mm	30-40 mm
Special, 2-4 tim	7-10 mm	15-20 mm
Special, 2x24 tim	5 mm	10-15 mm
Kort avstånd: <20 km, 45 min	ca 5 mm+0.7 mm/km	ca 8 mm+1.2 mm/km

Då utvecklingen går framåt finns stor sannolikhet för att de noggrannhetsnivåer som anges för specialutrustning om några år skall kunna erhållas standardmässigt.

RTK (eng. real time kinematik) eller bärvågsmätning i realtid, är relativ mätning där positionen för en rörlig enhet bestäms kontinuerligt. Tekniken kräver i princip tvåfrekvensutrustning, radiolänk för att i realtid skicka data från en GPS-mottagare som etablerats som basstation till den rörliga GPS-mottagaren (rover), och sikt till minst 5 satelliter. I början av RTK-mätningen görs en s.k. initialisering som tar någon minut.

RTK-tekniken är idag utformad för baslinjer upp till 10 km. Noggrannheten ligger då kring medelfel på ca 10 mm + 1 mm/km i plan och höjd. För praktisk användning behöver också radiolänken klara detta avstånd. Lösningar kan vara att utnyttja högre sändareffekt, s.k. repeters som tar emot och skickar vidare korrektionsmeddelandet, GSM-telefoner, eller datakanal på FM-radionätet (DARC).

I **nätverks-RTK** samverkar flera basstationer i ett nätverk så att avståndet mellan basstationerna och till den rörliga GPS-mottagaren kan ökas avsevärt jämfört med vanlig RTK (jfr 5.1.3). Idagens system upp till 60-80 km.

5.1.2 Begränsningar och nya möjligheter

Positionsbestämning med GPS görs i princip genom att mäta avståndet mellan GPS-mottagare och minst 4 satelliter (minst 5 satelliter för RTK). Den fundamentala begränsningen i satellitteknik är behovet av kontakt med tillräckligt många satelliter. Problemen är störst i mycket kuperad terräng (ovanligt i Sverige), i tät skog, i stadskärnor ("urban canyons") och nära konstruktioner (t.ex. under broar).

Utvecklingen av satellitsystemen gör att antalet tillgängliga satelliter kommer att öka framöver. Om vi börjar lita på en fortlevnad för GLONASS kan vi omedelbart öka det antal satelliter vi använder för vår mätning med 50%. GPS håller på att utvecklas. Nya civila koder och en tredje frekvens är redan beslutade, och inom "GPS modernization plan" diskuteras flera satelliter (30+). I Europa har arbetet med den tekniska utformningen av ett nytt globalt satellitnavigationssystem, Galileo, redan startat. Galileo byggs upp under tidsperioden år 2005 - 2008. Beslut om att fortsätta med konstruktionsfas tas i slutet av år 2000.

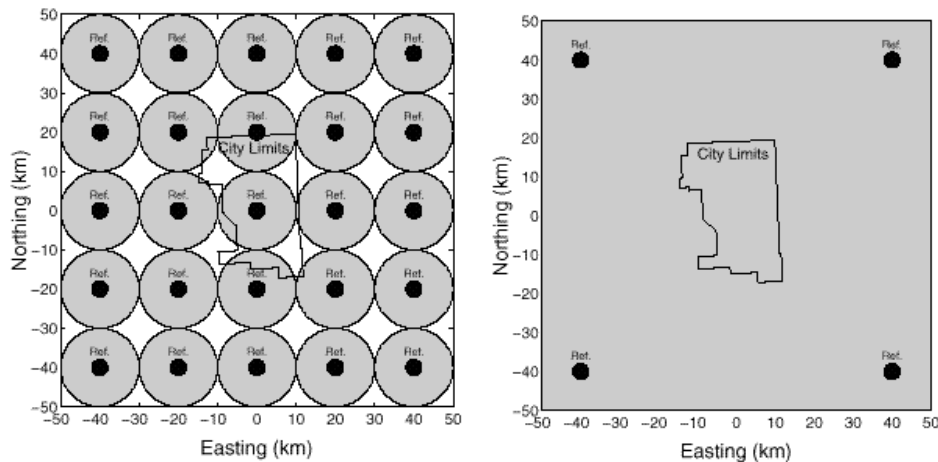
För noggrannhet på korta avstånd är flervägsfel en viktig felkälla. Flervägsfel innebär att signalen inte går kortaste vägen från satellit till mottagarantenn. Problemet med flervägsfel är störst vid korta mättider. Vid kodmätning kan flervägsfel orsaka fel i position på flera meter. Vid RTK-mätning kan flervägsfel orsaka problem med initialisering och en sämre noggrannhet (några cm).

Ett intensivt arbete pågår bland instrumentfabrikanter och i forskarvärlden för att reducera inverkan av flervägsfel. Förbättringar i mottagarnas signalbehandling kommer att minska mottagarnas känslighet för flervägsfel. Flera lösningar finns redan på marknaden (*Enhanced strobe Correlator, Everest etc.*). Tillgång till fler satelliter ger också möjlighet att i RTK-programvaran vikta ner inverkan av mätningar där flervägsfel förekommer. Detta kan detekteras dels genom att studera förbättringar till mätningarna, dels genom att studera signal/brus-förhållandet för aktuell mätning.

På längre avstånd blir störningar i atmosfären allt viktigare. Fler satelliter och fler frekvenser att mäta på förbättrar möjligheten att reducera effekter från atmosfären.

5.1.3 Nätverks-RTK

De viktigaste begränsningarna i RTK-tekniken för att öka avståndet mellan basstationen och den rörliga mottagaren är olikheter i jonosfär och troposfär mellan bas och rörlig enhet. För att kunna öka avståndet behöver dessa olikheter modelleras. I ett nätkoncept fås flera referensstationer att samverka för att tillgängliga data skall kunna utnyttjas så optimalt som möjligt. En modell beräknas för störningarna från jonosfär och troposfär utifrån observationer på referensstationerna. Denna modell tillsammans med bärvägsdata för RTK-mätning distribueras sedan till användarna. Flera grupper arbetar mot denna typ av lösningar och system för nätverks-RTK finns redan att köpa på marknaden.



Figur 2. Användning av flera oberoende referensstationer för att täcka önskat område.

Användning av ett nätverk av referensstationer för att täcka önskat område.

(Figuren hämtad från "Long Distance Kinematic Carrier-Phase Ambiguity Resolution Using a Simulated Reference Receiver Network"; J. Raquet och G. Lachapelle; ION-GPS Kansas City 1997.)

5.2 Konventionell teknik

Med konventionell teknik avses konventionell geodetisk mätning, dvs. mätning av riktningar och/eller längder för planmätning, samt avvägning eller trigonometrisk höjdmätning. Utrustningen är i huvudsak totalstation och avvägningsinstrument.

De mätmetoder som används har gamla anor, men tekniken har utvecklats kontinuerligt och är idag i stort sett fulländad. Dagens instrument är elektroniska och har god datateknisk kapacitet för lagring och beräkning. Den senaste "landvinningen" är automatisk inriktning och fjärrstyrning av totalstationer, vilket gör det möjligt för en person att ensam utföra mätningen. Vissa typer av mätningar (t.ex. maskinstyrning, övervaknings- och deformationsmätningar) kan även ske helt obemannat.

Vid stommätning i höjd är avvägning den dominerande tekniken. Vid plan stommätning har den konventionella tekniken ersatts av satellitteknik för riksnät och anslutningsnät, men används fortfarande för bruksnät. Vid detaljmätning är konventionell teknik idag det noggrannaste alternativet, men pga. att tekniken kräver optisk sikt behövs ett tätt stommät.

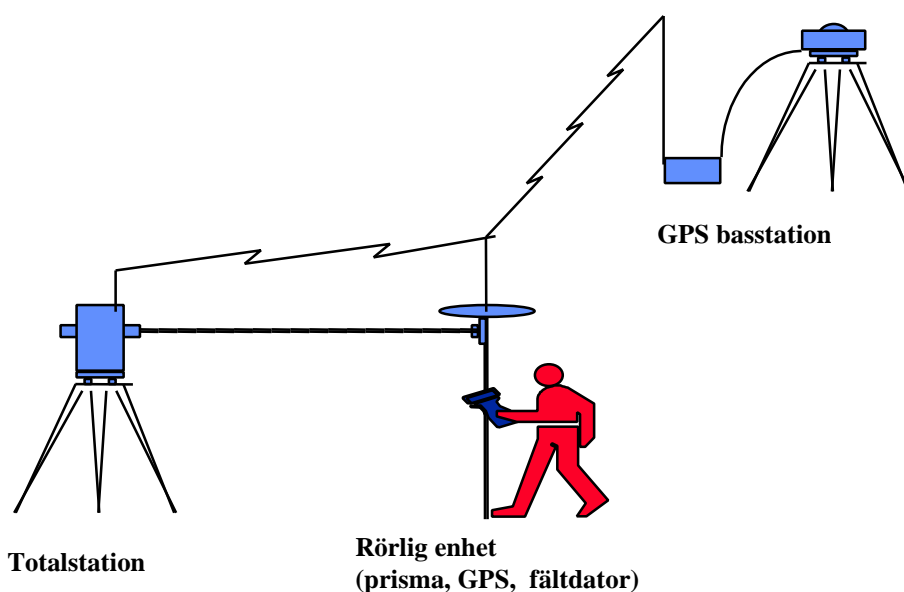
Punktmedelfelet vid detaljmätning i plan är i storleksordningen 5-10 mm vid polär mätning, men kan krympas ytterligare om avstånden är korta och precisionsinstrument används. För specialmätningar som kräver hög noggrannhet, t.ex. industrimätningar, används ofta avskärning som ger punktmedelfel < 1 mm på mycket korta avstånd (< 10 m).

Medelfelet vid detaljmätning i höjd är i storleksordningen 5-10 mm vid trigonometrisk höjdmätning. Vid avvägning är medelfelet i storleksordningen 1-5

mm, beroende av vilken utrustning och vilka siktlängder som används. För specialmätningar som kräver hög noggrannhet kan medelfel vid avvägning på ca 0.1 mm erhållas, genom att använda precisionsinstrument och mycket korta siktlängder.

5.3 Kombinerad teknik

En väsentlig skillnad mellan RTK-mätning för detaljmätning och totalstationsmätning är att RTK kräver fri sikt till satelliterna, medan totalstation kräver fri sikt till stömpunkter och därmed ett tätare stomnät. En annan skillnad är att noggrannhetsnivåerna för mätning med totalstation än så länge är bättre än för RTK-tekniken.



Figur 3. Kombistation.

Genom att kombinera teknikerna kan de komplettera och stötta varandra. Den optimala lösningen bör därför vara ett kombinerat instrument, där båda teknikerna kan användas samtidigt. En integrerad utrustning skulle kunna bestå av en GPS-RTK-mottagare kombinerad med en fjärrstyrd totalstation. RTK-mottagaren kommunicerar via en datalänk med GPS-referensstationen. Den fjärrstyrda totalstationen består av själva instrumentet med radiomodem, samt i prismaänden ett prisma monterat under GPS-antennen och ett radiomodem som kommunicerar med totalstationen. Systemets "hjärna" blir fältdatorn som styr totalstationen, registrerar positionerna mätta med totalstationen och RTK-mottagaren samt transformerar RTK-positionerna till plana koordinater och höjder. Resultatet blir en "kombistation", där totalstationen lägesbestäms med GPS och detaljmätningen kan utföras med båda teknikerna, se figur 3.

Idag finns dock inga sådana system. Det mest integrerade är än så länge fältdatorprogram, som hanterar både GPS och totalstationer. Detta görs dock inte

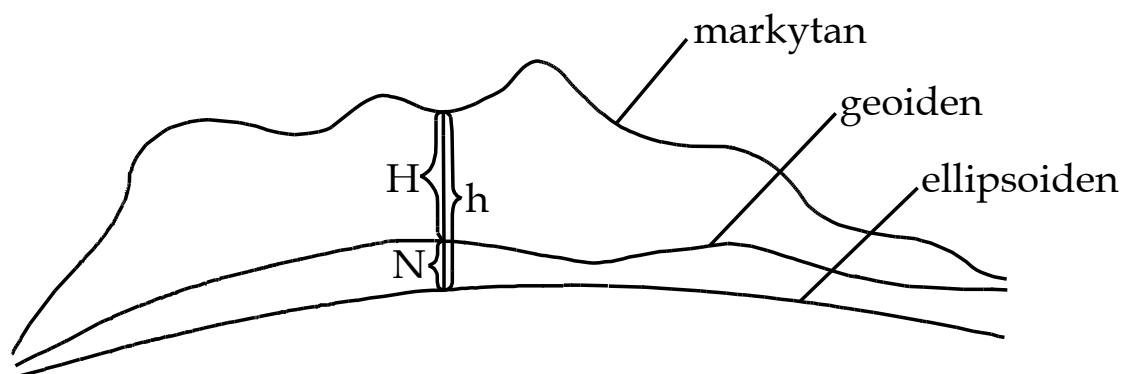
samtidigt, utan man flyttar datorn mellan utrustningarna. I övrigt finns möjligheter att med minneskort flytta information mellan GPS-mottagare och totalstationer. Även om integreringen ännu inte är fulländad kan ändå teknikerna kombineras, t.ex. genom att först GPS-mäta parpunkter med inbördes sikt och därefter detaljmäta med totalstation från dessa.

Det finns idag en trend mot ett alltmer automatiserat mätande. För kartläggning finns och utvecklas integrerade bil- eller helikopterburna datainsamlingssystem (Mobile Mapping Systems - MMS). Ofta används GPS och tröghetsteknik för läges- och rikttningsbestämning, medan videokamera, CCD-kamera och laserskanner används för själva datainsamlingen. För konstruktion och byggande har system för maskinstyrning börjat användas. Position och riktning för t.ex. bladet på en väghyvel, eller skopan på en grävmaskin, bestäms från robotiserade totalstationer, GPS-RTK, laserplangivare, lutningsmätare etc. och avvikelser från den färdiga konstruktionen visas kontinuerligt för föraren under arbetets gång.

5.4 Geoidmodeller för höjdbestämning med satellitmetoder

De traditionella höjdsystemen har den s k geoiden som referensyta. Förenklat kan man säga att höjdsystemet uttrycker punkternas höjder (H) över havets nivå. Vid GPS-mätning erhålls tredimensionella positioner där den vertikala komponenten beskriver punktens höjd (h) över referensellipsoiden. Denna typ av höjd kan avvika från höjden över havet med flera tiotal meter. För att kunna omvandla höjder över ellipsoiden till höjder över havet krävs att man har kännedom om geoidens höjd (N) över ellipsoiden, d v s det krävs att geoidens form beskrivs/modelleras i ett s k geoidhöjdsystem, se figur 4.

Höjdskillnader i de traditionella höjdsystemen bestäms med hjälp av s k avvägning. Tekniken är mycket noggrann och ger fel på mm-nivå mellan punkter på km-avstånd. Vid höjdbestämning med satellitteknik erhålls dels felbidrag från själva GPS-mätningen dels från brister i geoidhöjdsystemet. Det senare beror på att geoiden är en oregelbunden yta, vars form erbjuder avsevärda svårigheter att bestämma och beskriva. I Sverige kompliceras frågeställningen ytterligare på grund av landhöjningen. Detta leder till att noggrannheten vid bestämning av höjder över havet med GPS under gynnsamma omständigheter närmar sig nivån 10 mm. Satellittekniken är dock kostnadseffektiv jämfört med avvägning varför insatser som leder till ökad noggrannhet är angelägna. På referenssystemsidan är det främst geoidhöjdsystemet och landhöjningsmodellen som behöver förbättras.



Figur 4. Höjder över geoiden respektive ellipsoiden.

5.5 Livslängd på ett nationellt referenssystem

Livslängden av ett nytt nationellt geodetiskt referenssystem kan begränsas av:

- geometrisk deformation orsakad av geodynamiska rörelser. Genom att övervaka rörelserna genom kontinuerlig mätning på ett antal permanenta stationer, skapas förutsättningar för att modellera och korrigera för dem.
- ev. politiska åtgärder. Överstatliga beslut, t.ex. inom EU, om referenssystem är kanske tänkbara. Medverkan och engagemang i internationella arbetsgrupper skapar förutsättningar för inflytande.

Ökade användarkrav och introduktionen av ny teknik tycks leda till att systemens livslängd blir allt kortare. Under åren 1968-1980 infördes regionsystemen som ersättare till RT 38 främst för kommunal verksamhet. I slutet på 80-talet ersattes RT 38 av RT 90 i den allmänna kartläggningen. GPS-teknikens genombrott ledde till nödvändigheten att införa ett globalt anpassat tredimensionellt system, SWEREF 93, som nu i sin tur ersätts med SWEREF 99. Även på höjdsidan tycks livslängden avta; RH 00 ersattes av RH 70 som om några år kommer att ersättas av ett nytt höjdsystem.

Att byta referenssystem kan vara mycket kostsamt. Speciellt det byte som Sverige står inför idag, att gå över från RT 90 till SWEREF 99, kommer att få stora återverkningar i all verksamhet som berörs av bytet. Eftersom bytet i detta fall även leder till byte av projektionssystem kommer även detta problem att diskuteras.

Mot bakgrund av vad som sagt ovan är det berättigat att fråga sig, är det rätt tid att byta nu och när kommer nästa byte?

Ett referenssystems livslängd beror oftast av ändrade tekniska krav men även av överväganden av administrativ eller politisk karaktär kan spela in.

Införandet av regionsystemen resp. RT 90 motiverades främst av ökade noggrannhetskrav, SWEREF 93 av ett teknikgenombrott. I efterhand kunde med den nya teknikens hjälp konstateras att inte heller RT 90 håller noggrannhetsmässigt när man mäter över stora avstånd. Genom att ersätta SWEREF 93 med SWEREF 99

erhålls ett system som är internationellt certifierat och som har förbättrad överensstämmelse med grannländerna.

Genomförande av den 3:e precisionsavvägningen dikterades av behov att ansluta lokala höjdsystem till rikssystemet. I det sammanhanget blir blandningen av höjder i RH 70 och RH B70 på riksnätspunkterna ohållbar. Detta plus RH 70-systemets degenerering på landhöjningen är de främsta motiven för införandet av ett nytt höjdsystem.

Vad finns det då som någon gång i framtiden kan driva fram ett byte till SWEREF 99 eller det nya höjdsystemet och vilka konsekvenser får det för användarna?

Beträffande noggrannhetsaspekten är det rörelserna i jordskorpan som utgör den främsta komplikationen. Detta innebär att systemen i framtiden blir mer påtagligt epokbundna än tidigare.

Den eurasiska plattans rörelser hanteras på ett enhetligt sätt i Europa genom de anvisningar som utfärdats av EUREF, en subkommission inom den Internationella Associationen för Geodesi. SWEREF 99, som är anpassat till grannländernas system och resten av Europa i enlighet med dessa anvisningar, blev godkänd som officiell ETRS 89-realiserings vid EUREF-mötet i Tromsø midsommaren 2000.

I Sverige, Finland och Norge tillkommer utöver plattrörelsen att beakta den landhöjning och landtöjning som jordskorpan i Norden är utsatt för till följd av den senaste istiden. Den interna onoggrannheten i SWEREF 99 låg vid mätningstillfället (juni-juli 1999) gott och väl under nivån 1 centimeter, som är det krav de mest noggranna tillämpningarna ställer. De postglaciala rörelserna degraderar nu successivt systemet. En liknande problematik kommer att gälla för det nya höjdsystemet

Skall SWEREF 99 och det nya höjdsystemet kunna tjäna som nationella referenssystem i Sverige över många årtionden är det därför nödvändigt att monitorera rörelserna samt att utveckla och förfinna de korrektionsmodeller som behövs för att vidmakthålla systemen. Det ligger på Lantmäteriet att ta hand om dessa frågor. En målsättning bör vara att den ordinära slutanvändaren, så långt det är möjligt, befrias från problemet att hantera de korrekationer som blir nödvändiga att anbringa.

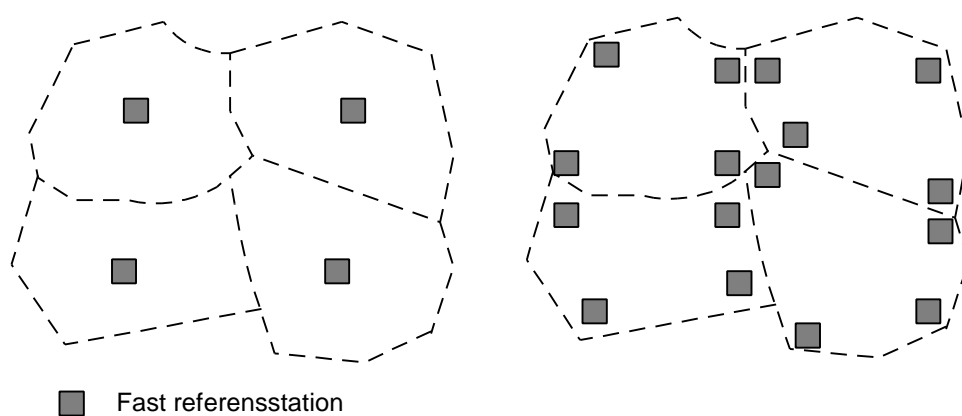
Genom att på ovan skisserat sätt ta hand om rörelserna i jordskorpan, är det största hotet som kan skönjas vid horisonten att man fattar någon form av överstatligt beslut som ändrar det val av projektionssystem som är förknippat med övergången till SWEREF 99. Varje annan förändring har troligen karaktären av "kosmetisk" justering som knappast får några påtagliga återverkningar för de breda samhälls-tillämpningarna.

6 Underlag för strategiska ställningstaganden

6.1 Vision

Projektets mest långtgående vision för referensnät på 5 – 10 års sikt är att det finns en rikstäckande RTK-tjänst som ger en noggrannhet om 1 cm i plan och 2 cm i höjd (medelfel). Som komplement kommer traditionella nät att behövas i stadskärnor och för noggrann höjdmätning med avvägning.

Genom utnyttjande av permanenta referensstationer för detaljmätning med satellitteknik minskas behovet av att besöka kända punkter. Detta ger förutsättningar för att spara in på de traditionella bruksnäten. Viktigare är dock möjligheten att rationalisera själva detaljmätningen. En större del av arbetstiden kan användas till själva mätjobbet och mindre/ingen tid går åt till att leta reda på stompunkter och att ställa upp totalstation för konventionell mätning eller att etablera basstation för satellitmätning. Användande av aktiva referensnät, helst i ett nätverkskoncept (5.1.3), reducerar/elimineras också fel i anslutning vid etablerande av lokal basstation.



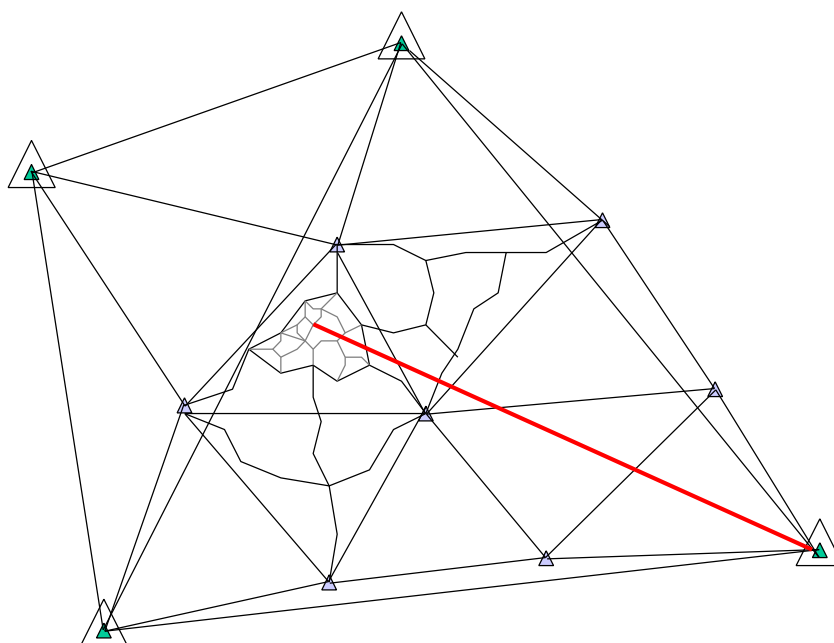
Figur 5. Antal fasta referensstationer vid samverkan respektive enskilda lösningar.

Om en nationell positions- och navigationstjänst som ger en noggrannhet på 1 cm nivå är möjlig att åstadkomma med den täthet mellan referensstationerna som idag finns i SWEPOS®, ca 200 km, finns inget säkert svar på. Förtätning i områden med hög aktivitet, t.ex. på kommunal nivå, är en alternativ möjlighet. En samordning regionalt, eller på nationell nivå, bör då göras för att uppnå högsta effektivitet (figur 5).

Möjligheten att ev. spara in på det traditionella **riksnätet** i plan har att göra med om det finns permanenta referensstationer (SWEPOS), men har bara indirekt koppling till en ev. RTK-tjänst. Redan idag kan punkter i anslutningsnät bestämmas (genom statistisk mätning) direkt från SWEPOS utan att besöka kända punkter. Om det finns en

fungerande RTK-tjänst enligt visionen ovan, ger det också förutsättningar för att spara in på de lokala **bruksnäten**.

Visionen ovan innebär att en del mätning kommer att göras från ett tätt bruksnät, medan en del mätning görs direkt från aktiva referensstationer på långt håll. Bruksnätet har (förhoppningsvis) etablerats från riksnätet via anslutningsnät. Denna situation gör att det finns risk för systematiska fel mellan de två sätten att mäta, vilka till stor del beror på regionala deformationer i de traditionella referensnäten. Problematiken illustreras i figur 6.



Figur 6. Behov av homogena referensnät.

6.2 Målsättning för geodetisk infrastruktur

- Den geodetisk infrastrukturen bör till en rimlig grad svara mot samhällets föränderliga behov.

I RefStrat arbetet har den geodetiska infrastrukturen delats upp i referenssystem och referensnät.

Referenssystemet definierar det koordinatsystem som används för att ange koordinatvärden och höjder på lägesbundna företeelser. Det är också grunden för lägesbestämning, positionstjänster och modern navigation.

För referenssystem är målet:

- tillräcklig noggrannhet lokalt och regionalt

- referenssystem med så lång livslängd som möjligt
- gemensamt referenssystem. För Sverige innebär det att vi bör arbeta för att minska floran av mer eller mindre lokala referenssystem.
- rätt typ av referenssystem. Idag och för framtiden bedöms detta vara ett globalt anpassat referenssystem som bl.a. bör fungera tillsammans med internationella positionstjänster. I vertikalled bedöms det vara ett system med "höjder över havet" och som är anslutet till europeiskt höjdsystem.

Den geodetiska infrastrukturen skall också till rimlig kostnad göra referenssystemet tillgängligt för användaren. Detta kan antingen göras genom att tillhandahålla traditionella referensnät med markerade geodetiska referenspunkter som det går att mäta relativt, eller genom positionstjänster som baseras på aktiva referensnät.

För referensnät är målet:

- att på ett kostnadseffektivt sätt göra referenssystemet tillgängligt för användaren
- positionstjänster baserade på aktiva referensnät, vilket bedöms vara en kostnadseffektiv lösning
- i vertikalled bedöms avvägning, även ganska långt framåt i tiden, vara noggrannaste metoden att realisera höjdsystemet i en ny punkt. Ett visst underhåll av avvägningsnätet är därför motiverat
- att förbättra möjligheten till noggrann höjdbestämning via positionstjänster genom att utarbeta bättre geoidmodeller.

6.3 Nytt referenssystem

Frågan om nytt referenssystem drivs av två mycket olika faktorer:

- Dels leder IT-utvecklingen till att system och tjänster för lägesbestämning och navigering tas fram också för bredare användargrupper. Dessa kommer att vara baserade på globala/internationellt gångbara referenssystem, men åtminstone till en början med måttliga noggrannhetskrav. RT 90 är i detta avseende fel typ av referenssystem.
- Dels räcker RT 90 inte till noggrannhetsmässigt då nya tekniska landvinningar skall utnyttjas för att rationalisera den traditionella mätsektorn, t.ex. enligt visionen ovan.

Mängden olika referenssystem är också i sig ett hinder för utveckling och ett bredare utnyttjande av geografisk informationsteknik (GIT), och vid användning av automatiserade mätprocesser, t.ex. vid maskinstyrning med satellitteknik. Jfr 3.2 och 4.3.

"Minsta gemensamma nämnaren" till ovanstående är ett globalt anpassat referenssystem som är internationellt erkänt. I Sverige finns SWEREF 93, men det är framtaget före det att internationella riktlinjer tagits fram. Genom att uppgradera SWEREF 93 till SWEREF 99 erhålls ett globalt anpassat referenssystem som är

internationellt erkänt, som har mycket god intern geometri och som har mycket god överensstämmelse med våra grannländer, jfr 5.5.

Jordskorpan i Sverige är utsatt för deformationer p.g.a. geodynamiska rörelser. SWEREF 99 bör därför förvaltas genom att övervaka dessa rörelser genom kontinuerliga mätningar på SWEPOS-stationerna. De kontinuerliga tidsserier med positioner som fås på detta sätt är bästa underlaget för att öka kunskapen om rörelsernas natur.

Framtagandet av dessa tidsserier, genom att dagligen beräkna nät av permanenta stationer, har också visat sig vara mycket viktigt för att öka kunskapen om beräkning av GPS-mätning. Denna kunskap kan sedan utnyttjas vid produktionsmätning då referenssystemet skall realiseras i en ny punkt.

De som idag har problem med den mångfasetterade floran av lokala referenssystem är aktörer som verkar över större områden, t.ex. Vägverket, Banverket och andra infrastrukturbyggare. Ansvaret för de lokala bruksnäten (som oftast används för själva detaljmätningen) ligger däremot idag på kommunerna, där den egna verksamheten i stort sett bara finns inom kommungränsen. Därför har problemen med att arbeta i ett lokalt referenssystem hittills ofta upplevts som små. Frågeställningen behöver beaktas för att nå största möjliga framgång vid införande av nytt referenssystem.

6.4 Om inget görs

Om vi väljer att inte utveckla den geodetiska infrastrukturen kommer Sverige med stor sannolikhet att halka efter utvecklingen i omvärlden på områden som positionstjänster, ett allmänt utnyttjande av geografisk information i samhället, transportinformatik etc. D.v.s. samhället kommer inte att kunna ta tillvara rationaliseringsmöjligheter i önskvärd utsträckning

Om ingen åtgärd alls vidtas för att hantera eller åtgärda deformationer i de lokala referenssystemen, kommer de möjligheter till rationaliseringar som den tekniska utvecklingen annars skulle ge, inte att kunna utnyttjas i önskvärd utsträckning.

Om vi väljer att inte införa SWEREF 99 som nytt nationellt referenssystem kommer den vildvuxna floran av många lokala/kommunala referenssystem att bestå framöver. Alternativt så kommer stora resurser att läggas ner på att byta till RT 90/RHB 70. System som vi vet har deformationer som är till hinder för utveckling och rationalisering på mätsidan, och som är "fel" system i bemärkelsen att de inte är globala och stämmer med referenssystemen i våra grannländer.

Ett bevarande av floran av referenssystem kan visa sig vara ett hinder för att införa fastighetsbildning där koordinater i stället för markerade punkter har rättsverkan.

7 Förslag till strategiska åtgärder

I detta kapitel beskrivs kort de viktigaste åtgärderna som RefStrat anser bör genomföras inom referenssystem och referensnät för att Sverige skall kunna vidmakthålla och utveckla en så ändamålsenlig geodetisk infrastruktur som möjligt.

7.1 Nationella referenssystem

7.1.1 Nytt tredimensionellt referenssystem med kartprojektioner

På sikt är visionen att alla i Sverige använder ett enhetligt referenssystem av hög kvalitet, som dessutom är internationellt gångbart och understödjer satellitteknik. För att nå dit behöver följande göras på nationell nivå:

- **SWEREF 93 ersätts av SWEREF 99**

SWEREF 99 är en certifierad ETRS 89-lösning. Sverige får därmed ett globalt anpassat referenssystem som stämmer betydligt bättre överens med grannländernas ETRS 89-realiseringar än vad SWEREF 93 gör.

Uppgraderingen bör göras snarast möjligt, innan SWEREF 93 tagits i bruk av flera användare. Konsekvenserna för de som idag använder SWEREF 93 måste klargöras.

- **Nationella kartprojektioner till SWEREF 99 införs**

Det globala referenssystemet uttrycker lägen som latitud, longitud och höjd över ellipsoiden. I de flesta tillämpningar behövs dock plana koordinatsystem. Dessa skall då vara direkt härledda ur det tredimensionella referenssystemet.

Kartprojektionen skall vara av typen Transversal Mercator (= Gauss Krüger).

Frågan om kartprojektion berör många grupper i samhället, och innehåller många aspekter som också är av icke teknisk art. Det konstateras att frågan är för stor för att ett detaljerat förslag skall kunna utarbetas inom ramen för projekt RefStrat. En särskild arbetsgrupp med bred förankring bör etableras och påbörja sitt arbetet så snart som möjligt.

- **RT-systemen ersätts av SWEREF 99**

RT 90 och regionsystemen skall fasa ut. Arbetet med att byta ut RT 90 är omfattande på nationell nivå. Bl.a. måste ett flertal databaser transformeras och ändring av bladindelning för de allmänna kartorna behöver övervägas. Det är en fördel om processen inte blir alltför utdragen i tiden, varför systembytet behöver planeras noga. För att få ett brett och snabbt genomslag behövs förmodligen någon form av nationellt beslut på regeringsnivå.

7.1.2 Nytt höjdsystem och geoidmodell

Landhöjningen medför att höjdsystemet successivt deformerar och behöver revideras efter en tid. Den snart avslutade riksavvägningen ger underlag för beräkning av ett nytt höjdsystem.

- **RH 70 ersätts av RH XX**

När slutberäkningen av riksavvägningen är klar införs ett nytt höjdsystem. Vilken tidsepok det ska avse är inte avgjort ännu. Förutom att det nya höjdsystemet avser en aktuellare epok blir det betydligt homogenerare än RH 70, p.g.a. högre kvalitet i mätningarna.

- **Bättre geoid- och landhöjningsmodeller**

För att kunna transformera mellan det nya höjdsystemet och höjd över ellipsoiden i SWEREF 99, t.ex. vid GPS-mätning, behövs en nationell geoidmodell. För att minska felen i denna omräkning behövs bättre geoid- och landhöjningsmodeller än vad vi har i dag.

7.1.3 Övervakning av referenssystem

Skall SWEREF 99 och det nya höjdsystemet kunna tjäna som nationella referenssystem i Sverige över många årtionden är det nödvändigt att monitorera de geodynamiska rörelserna och att utveckla och förfinas de korrektionsmodeller som behövs för att ta hand om dessa, jfr 5.5. Monitoreringen baseras på långa tidsserier från de permanenta stationerna som ingår i SWEPOS, jfr 6.3.

7.2 Referensnät på nationell nivå

7.2.1 Aktivt referensnät

- **RTK-tjänst införs**

SWEPOS vidareutvecklas mot en realtidstjänst med cm/dm-noggrannhet. Noggrannheten är beroende av vilka resultat som uppnås i NeW-RTK-projektet och vilken täthet nätet har. Om nätet behöver förtätas för att tillgodose användarnas krav etableras nya stationer där användningsfrekvensen motiverar det. Möjligheter till samverkan med t.ex. kommuner bör därvid beaktas.

- **Efterberäkningstjänst införs**

Som komplement till RTK-tjänsten utvecklas en snabb och enkel efterberäkningstjänst. Den behövs initialt innan RTK-tjänsten är i drift och därefter inom de områden där en RTK-tjänst på cm-nivå inte är ekonomiskt motiverad.

- **Samordning och standardisering**

Etablering av permanenta referensstationer bör samordnas nationellt, inte bara av ekonomiska skäl. Teknisk samordning behövs för monitorering, för att få bra korrektionsmodeller vid nätverks-RTK och för att uppnå enhetlig datadistribution. Motsvarande samordning bör om möjligt även ske med våra grannländer. För att underlätta teknisk samordning bör Sverige aktivt verka för att standarder tas fram för nätverks-RTK.

- **Bidrag till det internationella referensnätet**

Sverige bör bidra med SWEPOS-data till det internationella samfundet, bl.a. för bestämning av satellit-banddata och korrektionsmodeller (se 4.2).

7.2.2 Passiva referensnät

- **RIX 95 görs klart**

RIX 95-projektet görs klart enligt plan. Nätet beräknas fortsättningsvis också i det nya referenssystemet SWEREF 99. De koordinater och systemsamband som bestäms i projektet är en förutsättning för att kommunerna ska kunna utvärdera och rätta upp geometrin i befintliga system och byta till SWEREF 99. Punkterna i RIX 95-nätet erbjuder också ett alternativ till det aktiva nätet, innan tekniken med RTK över långa avstånd är utvecklad och etablerad.

Behovet av underhåll av punkterna i RIX 95-nätet är inte självklart. Vartefter användarna övergår till att utnyttja det aktiva nätet blir behovet av det passiva nätet mindre. Framtida ajourhållning bör därför ske selektivt.

- **Riksavvägningen görs klar och ajourhålls**

Riksavvägningen mäts klar och slutberäknas. Behovet av ett traditionellt höjdnät kvarstår under överskådlig tid, satellittekniken är inget alternativ för tillämpningar med de högsta noggrannhetskraven i höjd (bättre än centimeter). Nätet behöver därför ajourhållas.

I samband med ajourhållningen bör en selektiv förtätning göras, för att underlätta anslutning av lokala höjdnät.

7.3 Kommunala referenssystem och referensnät

Visionen om enhetliga referenssystem i landet innebär också ett stort arbete för kommunerna och andra aktörer som har egna referensnät och referenssystem. Följande beskrivning är ett försök att sammanställa behovet av åtgärder på det lokala planet. Förutsättningarna är naturligtvis olika i olika kommuner, varför beskrivningen inte kan göras heltäckande.

7.3.1 Byte av koordinatsystem

- **Utvärdering av geometrin i befintliga system**

RIX 95-projektet ger en grund för utvärdering av lokala system. Ett antal punkter i det kommunala systemet bestäms i SWEREF 99, vilket vid utvärderingen kan betraktas som felfritt. Genom att analysera en inpassning mellan kommunalt system och SWEREF 99 får man en bild av det kommunala systemets deformationer. Om dessa är oregelbundna krävs ytterligare mätningar för att få flera gemensamma punkter, och sedan ny analys.

- **Upprätning av geometrin**

När deformationerna i de lokala systemen är kartlagda på den nivå man anser rimlig, kan de passfel som erhållits användas för att ta fram en korrektionsmodell, vilken sedan utnyttjas för att transformera befintliga geografiska data till ett "upprättat system".

Metodik och programstöd för att ta fram korrektionsmodeller och transformera kartdata måste utvecklas. Det är en stor arbetsinsats som behövs för detta. Lantmäteriet och Svenska Kommunförbundet bör snarast starta ett utvecklingsprojekt med den inriktningen. Många kommuner kommer förmodligen också att behöva rådgivning och stöd i arbetet med upprätning av sina system.

- **Systembyte**

Från det "upprättade systemet" transformeras sedan alla kartdata över till det nya systemet SWEREF 99 i aktuell projektion.

7.3.2 Byte av höjdsystem

- **Anslutning till riksavvägningen**

Ett mål bör vara att alla kommunala höjdnät ligger i samma höjdsystem som det nationella, eller åtminstone har kända samband till det nationella systemet. Det är en förutsättning för att kunna utbyta data och för att kunna använda nationella geoidmodeller vid GPS-mätning. För det behövs först anslutningsmätningar till det nationella höjdnätet där sådana saknas.

- **Utvärdering**

Systemskillnaderna mellan lokalt höjdsystem och det nationella analyseras på motsvarande sätt som för koordinatsystemen. Orsaker till ev. deformationer i lokala höjdsystem bör analyseras. De kan ofta förklaras av att tidigare anslutningspunkter i RH 00 haft dålig kvalitet och bra kommunala mätningar "tvingats in" på dessa.

- **Omräkning och systembyte**

För upprätning av höjdnät är sällan transformation lämplig, en omräkning av höjdnätet med anslutningspunkter i det nya systemet behövs normalt. Därefter kan befintliga höjduppgifter på detaljer transformeras.

Liksom för koordinatsystem behöver metoder och programstöd för analyser etc. utvecklas och insatser för rådgivning och stöd planeras.

8 Slutord

Från arbetet med RefStrat kan konstateras att det är angeläget att genomföra ett antal åtgärder med de referenssystem och referensnät som används idag. Ny teknologi och nya användargrupper motiverar och ställer krav på ganska radikala ingrepp. Det bedöms också vara rätt tidpunkt att nu genomföra dessa förändringar.

**Ra p p o r t i g e o d e s i o c h g e o g r a f i s k a i n f o r m a t i o n s s y s t e m
f å n L a n t m ä t e r i v e r k e t**

- 1997:16 Jonsson B: Geodetic applications of GPS
- 1997:17 Andersson U, Eriksson U: Kompatibilitet för olika GPS-utrustningar vid RTK-mätning mot SWEPOS
- 1997:18 Engfeldt A: Accuracy Studies of RTK Surveying at Long Distances
- 1997:19 Ohlsson L: Different Methods and Equipment for Determination of New Points Relative to the SWEPOS Stations - A Comparative Study
- 1998:2 Gustafsson L-E, Boresjö Bronge L, Näslund-Landenmark B och Ammenberg P: Vegetationsdata - Satellitdata.
- 1998:3 Lidberg M: Litteraturstudie om RTK-tekniken, ett samarbetsprojekt mellan Banverket, Lantmäteriverket och Vägverket.
- 1998:4 Ekman M: Jordellipsoider, geoider, koordinatsystem, höjdsystem och tyngdkraftssystem i Sverige genom tiderna
- 1998:5 Jansson Roland: Utstakning av fastighetsgräns i skogsmark med hjälp av GPS hos Lantmäterimyndigheten i Norrbottens län..
- 1999:2 Anderasson Thor-Björn Engman Linda: Multipath at the SWEPOS stations Evaluation of eccosorb, a microwave absorbing material
- 1999:3 Lilje Mikael: Geodesy and Surveying in the future
- 1999:4 Jonsson, Bo: Civil Service Interface Committee International Information Subcommittee 7 th European Meeting
- 1999:12 Jonsson. Bo: Proceedeings of the 13th general meeting of the nordic geodetic commission.
- 2000:02 Engfeldt Andreas, Jivall Lotti: Kort introduktion till GNSS
- 2000:03 Christina Kempe: Metodstudie för inmätning av skogsbilvägar.
- 2000:04 Niklas Svanholm: Jämförelse av olika metoder att föra över kartdetaljer till ett nytt koordinatsystem.