



Lantmäteriet
Lantmäteriverket - National Land Survey
S - 801 82 GÄVLE · SWEDEN

Tekniska skrifter - Professional Papers

ISSN 0280-5731

LMV-RAPPORT
1994:25

Datafångst för GIS med användning av GPS

Karin & Clas-Göran Persson

GPS

Gävle 1994

Förteckning över senast utgivna LMV-rapporter

Rapport	Titel	Upphovsman el dyl
1994:7	Ersättning vid bevarande av kulturhistoriskt intressant bebyggelse	Sjödin Eije
1994:8	GPS-strategi för Lantmäteriet	Jansson Bertil
1994:9	Flygfotografering med GPS teknik, 1992 års försök på Rörberg	Andreasson Jonas
1994:10	Regionalt studium av riksnäten med GPS en homogenitets- och transformationsstudie	Johnson Michael
1994:11	DIFF-slutrapport Slutrapport från projektet Datorstöd i Flygfoto-produktionen	Andreasson Jonas
1994:12	Analys av offentliga fastighetsföretag	Sjöberg Anders
1994:13	Effektiv avkastningsvärdering av skogsfastigheter	Berg Robert
1994:14	Regionalt studium av riksnäten med GPS	Jonsson Mikael
1994:15	Fastighetsmarknaden idag Prisnivåer, trender, analyser våren 1994	Nilsson Christer
1994:16	Marknadsanalys för lantbruk	Sandkvist Per
1994:17	Förfaranderegler vid markåtkomst	Ekbäck Peter
1994:18	Digital produktion av riktvärdekartor vid AFT96 - huvudstudie	Sundquist Arne
1994:19	Förstudie om översyn av tonkilometernmetoden	Norell Leif
1994:20	Värdering av små markområden vid fastighetsreglering	Dahlsjö Anders
1994:21	Kartplan 1994/1995 A-C Engman	Engstrand Bengt
1994:22	Fastighetsbildning med stöd av plan- och VA-utredning samt områdesbestämmelser - Exemplet Lövestavret i Eskilstuna	Björnsell Gunnar
1994:23	Planförfattare inom Lantmäteriet - en idébok	Björnsell Gunnar
1994:24	RIKS 95 - en utredning om förtätning av de geodetiska riksnäten och anslutning av lokala stamnät	

Datafångst för GIS med användning av GPS

*Karin Persson
Informationssystemenheten
Lantmäteriverket*

*Clas-Göran Persson
Geodetiska utvecklingsenheten
Lantmäteriverket*

Föredrag hållet vid ULI-AM/FMs höstkonferens 26-28 oktober 1994 i Kiruna.

Sammanfattning

Denna rapport behandlar samutnyttjandet av GIS- och GPS-teknik, med tonvikt på användningen av GPS som datafångstmetod vid uppbyggnad av geografiska databaser. Ansatsen är generell men framställningen baseras i huvudsak på erfarenheter från Lantmäteriets utvecklingsverksamhet och har därför viss fokusering på svenska förhållanden.

En allmän beskrivning av de båda teknikerna och deras utvecklingsläge ges och ett antal samordningsfrågor diskuteras. GPS-teknikens potential i GIS-sammanhang analyseras och exempel på olika tillämpningsprojekt redovisas.

Syftet är att öka intresset för och användningen av GPS i dessa tillämpningar samt att andra användarkategorier skall kunna överföra tankegångarna och exemplen till sina egna verksamhetsområden.

Data Capture for GIS using GPS

Abstract

This report deals with the combined use of GIS and GPS, especially the use of GPS as a method of data capture for geographical data bases. The approach is general but the description is mainly based on experiences from research and development at the National Land Survey of Sweden, thus focusing somewhat on Swedish conditions.

A general description of the two techniques and their state-of-the-art is given, and some matters of co-ordination are discussed. The potential of the GPS technique within the field of GIS is analysed and examples of various application projects are shown.

The aim is to increase the interest for, and the use of, GPS in these applications, and to make other users able to benefit from the ideas and the examples within their own fields.

1 Bakgrund, syfte och avgränsning

Lantmäteriets ansvar för den grundläggande, nationella geodesin och för mätningsteknisk metodutveckling och teknikspridning gör ett engagemang inom GPS-området tämligen självklart. Tekniken har nu använts i organisationen i snart tio år - från de första stapplande stegen med mätning nattetid mot ett fåtal satelliter till dagens produktionsmässiga tillämpning inom t.ex. stommätning och flygfotografering.

På motsvarande sätt är ett GIS-engagemang naturligt mot bakgrund av Lantmäteriets roll som databas- och kartproducent. Därför bedrivs även metod- och programutveckling i anslutning till användningen av geografiska data. Ett logiskt nästa steg är samutnyttjandet av de båda teknikerna, vilket behandlas i föreliggande rapport.

Ansatsen är generell, men framställningen baseras till största delen på den egna utvecklingsverksamheten och har viss fokusering mot svenska förhållanden. Tonvikten ligger på användningen av GPS som datafångstmetod vid uppbyggnad av geometrin i geografiska databaser, men även andra former av samutnyttjande behandlas.

Syftet är att ge ökade insikter om GPS-teknikens potential i dessa sammanhang och därigenom bredda såväl intresset som användningen. Förhoppningsvis skall beskrivningen också ge impulser och idéer till en utvidgning mot nya tillämpningar.

I huvudsak behandlas positionsbestämning i planet, dvs. mätning och beräkning av x- och y-koordinater. Höjdkomponenten kommer i andra hand. Det beror dels på att denna vanligtvis inte är lika intressant i GIS-sammanhang, dels på att GPS ännu inte är så väl utvecklad som höjdbestämningsmetod.

I rapporten används begreppet GIS i mycket vid bemärkelse - i princip innefattande alla typer av hantering och användning av geografiska data.

De inledande avsnitten 2 och 3 har karaktären av introduktion till "den andra" tekniken: elementa om GIS för GPS-användare och vice versa. För utförligare redovisningar hänvisas exempelvis till *HMK-Databaser* (Lantmäteriverket, 1994) respektive *HMK-Geodesi:GPS* (Lantmäteriverket, 1993).

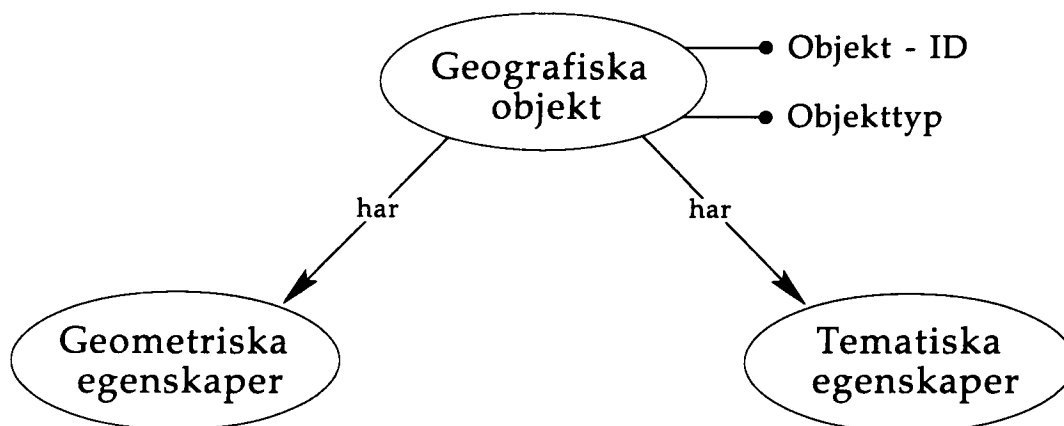
2 GIS-introduktion

2.1 Terminologi

Det finns många definitioner av vad ett *Geografiskt Informationssystem (GIS)* är. Följande beskrivning ges i *HMK-Databaser*:

"Ett GIS är ett datorbaserat informationssystem med funktioner för insamling, bearbetning, lagring, analys och presentation av geografiska data. I ett operationellt GIS ingår en eller flera databaser."

Alternativt kan definitionen ta fasta på distinktionen mellan *data* och *information* (Cederholm & Persson, 1989). Dessa termer är inte synonymer, utan data är "en samling uppgifter som var för sig eller tillsammans kan ge information". Det vi



Figur 1: Beståndsdelar i ett geografiskt objekt.

försöker göra i ett GIS är alltså att ur *geografiska data* erhålla ("extrahera") *geografisk information*, dvs. information om geografiska förhållanden eller företeelser. Geografiska data är *lägesbestämda*, vanligen med hjälp av koordinater i ett *koordinatsystem*.

Den geografiska verklighet vi vill informera oss om är alltför komplicerad och ostrukturerad för att kunna analyseras direkt. Därför behövs en modell som så bra som möjligt beskriver verkligheten utifrån den aktuella verksamheten - en *verksamhetsmodell*. I en sådan representeras de verkliga företeelserna av stiliserade men väldefinierade *objekt*, som består av en *geometrisk* och en *tematisk* del, se figur 1. De två delarna länkas samman via objektets identifierare (*objekt-ID*).

Verksamhetsmodellen ligger sedan till grund för uppbyggnaden av *geografiska databaser*. De data som beskriver geometrin - läge och form - benämns *geometrisk data* medan de tematiska egenskaperna inryms i vad som kallas *attributdata*. Därutöver tillkommer data som beskriver olika typer av samband mellan objekten, t.ex. *topologi*.

2.2 GIS-utvecklingen

En bärande idé i GIS-utvecklingen har varit att samma data skall kunna användas i flera sammanhang. Det skall t.ex. vara möjligt att arbeta parallellt inom olika "skalområden" och databaserna skall ha ett sådant innehåll och en sådan struktur att behoven inom olika tillämpningsområden samtidigt kan tillgodoses.

Man har dock under hand kommit till insikt om att *skala* i detta sammanhang inte i första hand har med presentationsskala att göra utan snarare bör associeras till urval och detaljeringsgrad. I analogi med kartskala kan följande paralleller dras:

- storskalig = detaljerad
- småskalig = översiktlig

Skalan styr alltså till viss del innehållet, liksom innehållet påverkar skalan. Med ökad detaljeringsgrad följer i regel också högre noggrannhetskrav, vilket bidrar till att den bärande idén enligt ovan är mycket svår att förverkliga. En mer realistisk - och från flera synpunkter lämpligare - målsättning är att bygga upp ett begränsat antal grundläggande databaser för olika verksamhets- och skalområden.

Inom den kommunala sektorn pågår t.ex. en utveckling mot storskaliga "kommunaltekniska GIS" och inom det småskaliga området har vi bl.a. Lantmäteriets satsning på GSD: *Geografiska SverigeData* (Lantmäteriverket, 1987).

Vilka är då kopplingarna mellan GIS och kartframställning?

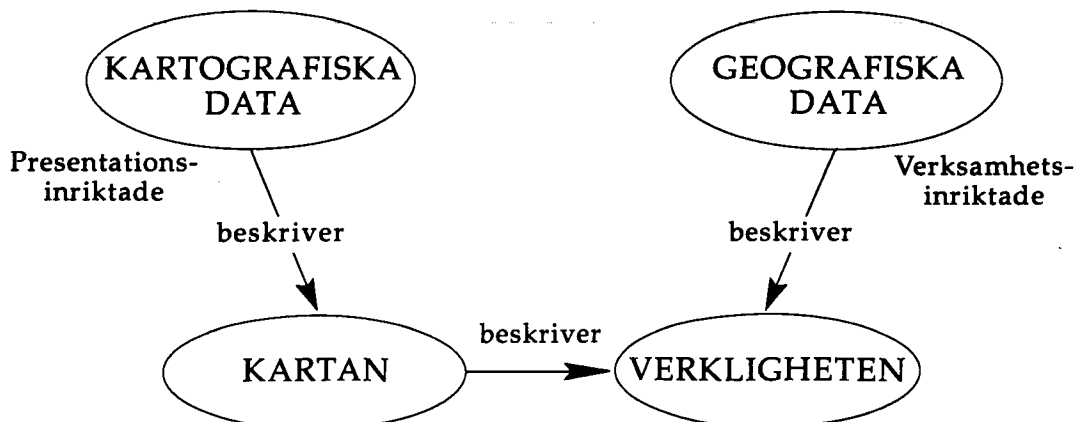
Ursprungligen byggdes *kartografiska databaser* upp, med det enda syftet att användas i, och rationalisera, kartproduktionen. Nu går trenden i stället mot att betrakta kartframställningen som en av de många tillämpningar som skall betjänas av de mer generella geografiska databaserna.

Geografiska data avbildar verkligheten mer direkt och är därför bättre lämpade för t.ex. analyser inom olika verksamheter. Objektivitet, hög grad av lägesriktighet och inbyggda topologiska samband är kännetecknen. Kartografiska data är däremot presentationsinriktade och beskriver kartans bild av verkligheten, inklusive generalisering, undanhållning etc. Se figur 2.

I sammanhanget bör emellertid framhållas att *digitala kartbilder*, dvs "digitala kopior" av tryckta kartor, har en viktig funktion att fylla även i GIS-sammanhang - som bakgrundskartor för överlagring och lägesrelatering av egna, geografiska, data avsedda för olika slag av analyser. Flera sådana kartbilder - härledda från de allmänna kartorna - finns i GSD-sortimentet.

De första databaserna inom GSD-konceptet var i huvudsak kartografiska: ett derivat från kartframställningen. Det nya synsättet håller dock på att slå igenom. Nu finns t.ex. planer på att bygga upp gemensamma geografiska grunddata för den ekonomiska och topografiska kartframställningen (Persson, 1994). Detta bedöms ge samordningsvinster - och möjlighet till användning i t.ex. GIS-sammanhang - trots att kartografisk redigering naturligtvis ofta är nödvändig vid utformning av de tryckta kartorna.

Ovanstående innebär att "äldre", kartografiska, databaser inte alltid är helt användbara vid en övergång till GIS. Vidare är noggrannhetskraven vid uppbyggnad av storskaliga databaser vanligen förhållandevis höga. Ny eller kompletterande datafångst - i bemärkelsen nybestämning av objektens geometri - kan alltså bli nödvändig, även om data som täcker det aktuella området redan finns. Då krävs mätmetoder som är både rationella och noggranna. Mätning med GPS-teknik är en sådan metod, som naturligtvis också är lämpad för "jungfrulig" datafångst, ajourhållning av databaser m.m.



Figur 2: Geografiska kontra kartografiska data.

3 GPS-introduktion

3.1 Fakta om GPS-systemet

GPS (*Global Positioning System*) är ett satellitbaserat navigations- och positionsbestämningssystem som har utvecklats av USAs försvarsmakt. Det är i första hand avsett för militärt bruk men också tillgängligt för civil användning. Utnyttjandet i sig är inte förenat med några kostnader.

GPS-systemet består av 24 satelliter, som går i banor ca. 20200 km ovanför jordytan med en omloppstid på knappt 12 timmar. Satelliterna sänder ut kodade signaler på två frekvenser: *L1* och *L2*. Systemet övervakas från en driftsledningscentral i Colorado Springs.

Grundprincipen för navigering och positionsbestämning med GPS är att man mäter avståndet mellan mottagarantennen och satelliterna, som har kända positioner. Ur observationer mot minst fyra satelliter kan skillnaden mellan GPS-mottagarens och satellitsystemets tidsangivelser uppskattas och antennens X-, Y- och Z-koordinater bestämmas. Ett antal mät- och beräkningsmetoder har utvecklats för att möta olika tillämpningars krav på noggrannhet och aktualitet i positionsangivelsen.

Vid *absolut mätning* används endast de data som satelliterna sänder ut, vilket ger en positionsnoggrannhet i storleksordningen 100 m.

För att förbättra kvalitén kan man tillgripa *relativ mätning*, dvs. samtidig mätning på två eller flera stationer. Beroende på mättings- och beräkningsförfarandet erhålls då en inbördes positionsnoggrannhet från några meter (*kodmätning*) ned till centimeternivå (*bärvågsmätning*).

GPS-mätningen kan utföras med stillastående mottagare (*statisk mätning*) eller med mottagaren i rörelse (*kinematisk mätning*). Även mellanformen *semikinematisk mätning* förekommer. Resultatet från mätningen kan antingen erhållas direkt i fält - i *realtid* - eller genom *efterbearbetning* av observationsdata.

GPS-systemet är nu förklarat operationellt för civila tillämpningar, vilket innebär att tredimensionell positionsbestämning är möjlig dygnet runt.

3.2 Fasta referensstationer för GPS

Ett sätt att utföra relativa GPS-mätningar är genom utnyttjande av s.k. *fasta referensstationer*.

En fast referensstation är placerad på en välbestämd punkt. Den utgörs av en permanent GPS-mottagare, som utför kontinuerliga GPS-observationer, samt utrustning för att lagra GPS-data för efterbearbetning och för att beräkna korrekationer för realtidsmätning.

Noggrannheten i mätningarna beror på avståndet till referensstationen. För att täcka större områden - t.ex. ett helt land - krävs därför vanligen flera stationer, som tillsammans bildar ett *referensstationsnät*. I ett sådant tillkommer behov av en *ledningscentral*, för styrning/övervakning av referensstationerna och lagring av insamlade data, samt utrustning för *datakommunikation* inom nätet och för *data-distribution* till användarna.

4 Lantmäteriets GPS-verksamhet

4.1 Allmänt

Lantmäteriverket har haft ett engagemang inom GPS-området sedan 1985. Verksamheten har innefattat metod-, teknik- och programvaruutveckling - som successivt har utmynnat i regelrätt produktion inom flera tillämpningsområden - samt teknikbevakning, tester av utrustning, teknikinförande, rådgivning, utbildning och informationsspridning. Arbetet har hela tiden skett i svensk, nordisk och internationell samverkan med systerorganisationer och forskningsinstitut.

Engagemanget föll sig naturligt eftersom verket har ett övergripande ansvar för FoU inom geodesiområdet och för införandet av ny mätningsteknik i landet. Möjligheterna att rationalisera den egna verksamheten vägde naturligtvis också tungt, och det var där de första "teknikgenombrotten" kom. GPS används rutinmässigt för stommätning sedan 1989 och i samband med flygfotografering från 1992.

Under det senaste året har en ansats gjorts att bredda användningen av tekniken inom hela Lantmäteriet, där förrättningsmätningen ses som den tillämpning som torde ha mest att vinna på ett utnyttjande av GPS. En viktig förutsättning för denna verksamhet är den uppbyggnad av ett nationellt referensstationsnät som redovisas i nästa avsnitt.

Resultaten av Lantmäteriverkets FoU-verksamhet och information om GPS har kontinuerligt redovisats i form av artiklar och rapporter samt genom kurser och seminarier. Kring årsskiftet 1993/94 utgavs handboken HMK-Geodesi:GPS.

Lantmäteriverket har status som "national point of contact" inom den internationella organisationen för informationsspridning om GPS. Ett led i detta arbete är att vidarebefordra information till svenska GPS-användare via LMV-BBS, som är en PC-baserad "digital anslagstavla" (*Bulletin Board Service*).

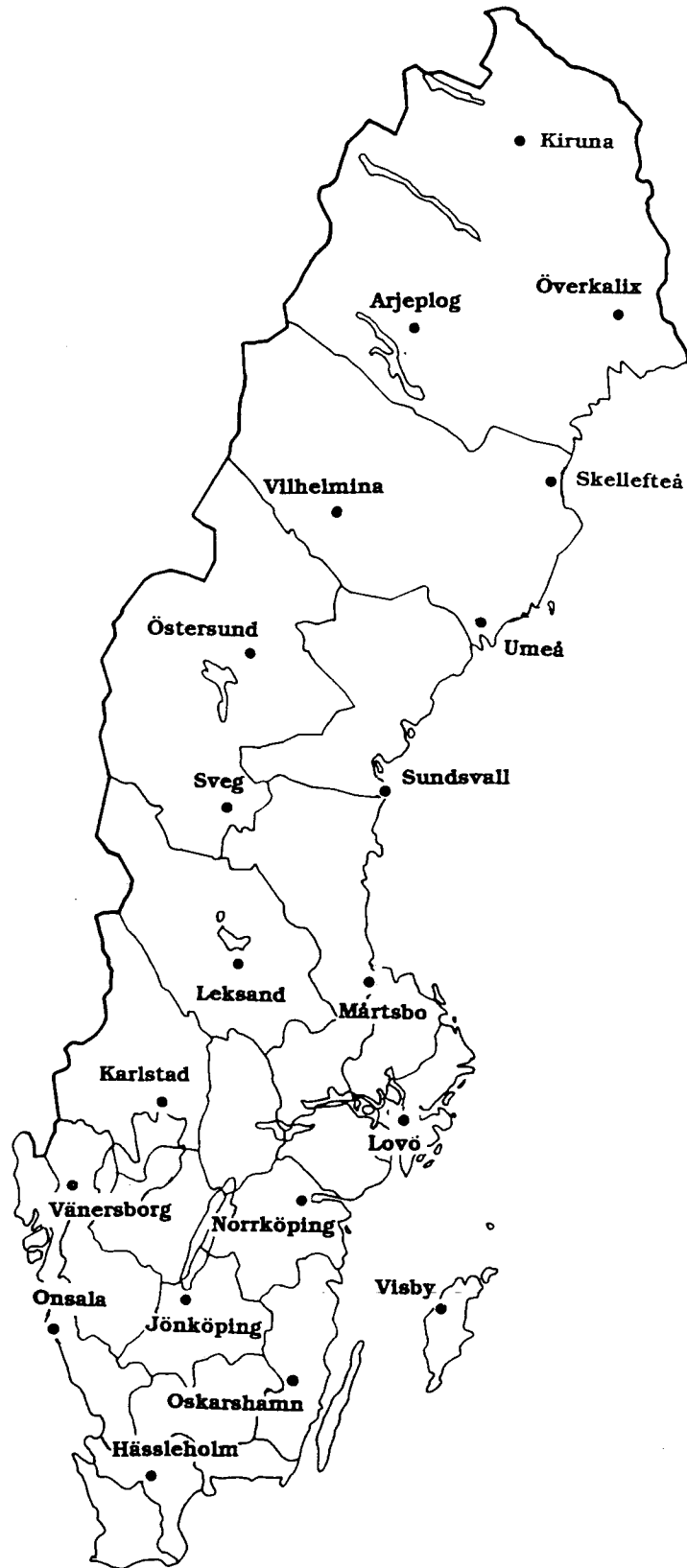
4.2 SWEPOS - ett nationellt nät av fasta referensstationer

Tankar på en uppbyggnad av ett nationellt referensstationsnät för GPS redovisades redan i utredningsrapporten *Geodesi 90* (Lantmäteriverket, 1990). Sedan dess har tankegångarna successivt realiserats och nu finns ett sådant nät i försöksdrift.

Detta nät benämns SWEPOS (Jonsson & Hedling, 1994) och är resultatet av ett samarbete mellan Lantmäteriverket, Onsala rymdobservatorium och projektet "GPS-resurser i Norrbotten". SWEPOS består av 20 fasta referensstationer, se figur 3. Driften av nätet sköts från en ledningscentral på Lantmäteriverket i Gävle.

SWEPOS-data har använts internt och av andra intressenter i projekt och försök avseende såväl realtidsmätning som mätning med efterbearbetning. Större delen av nätet ingår också i ett vetenskapligt studium av rörelser i jordskorpan.

Distribution av data för efterbearbetning sker via LMV-BBS, TCP/IP-nät eller diskett. Utsändning av korrektioner för mätning i realtid har hittills skett via uppriparbart modem på telenätet, vilket inte kan betraktas som särskilt produktionsmässigt. Under det senaste året har dock Lantmäteriverket inlett ett utvecklings-samarbete med företaget *Teracom* (f.d. Svensk Rundradio) för att utvärdera möjligheterna att i stället distribuera korrektionerna via *RDS (Radio Data System)* på FM-bandet.



Figur 3: Det nationella referensstationsnätet SWEPOS.

Parallellt med SWEPOS-verksamheten bedrivs teknik- och metodutveckling i syfte att effektivisera användningen av data från referensstationerna. Det egna fältdatorsystemet *AutoKa-FC* - som är anpassat till en kraftfull "fält-PC" med grafisk display och ursprungligen framtaget för traditionell mätning - har t.ex. vidareutvecklats så att det numera även kan hantera GPS-data.

4.3 Referenssystem för GPS-mätning

Det *referenssystem* ("koordinatsystem") som vanligen associeras till GPS benämns *WGS 84 (World Geodetic System 1984)*. Detta system är globalt men har en osäkerhet i själva definitionen på 1-2 meter. För att åstadkomma en bättre referens för mer regionala GPS-mätningar har därför olika initiativ tagits. I Europa har t.ex. systemet *EUREF 89 (European Reference Frame 1989)* byggts upp, vilket kan sägas vara den europeiska realiseringen av *WGS 84*.

I Sverige har Lantmäteriverket förtätat *EUREF 89* vidare och etablerat systemet *SWEREF 93* (Reit, 1994), där *SWEPOS*-stationerna ingår som en integrerad del. De goda samband som därigenom finns mellan de tre systemen kan uttryckas:

$$\text{WGS 84} \approx \text{EUREF 89} \approx \text{SWEREF 93}$$

SWEREF 93 är alltså inte bara ett nationellt referenssystem för GPS-mätning. Det har en global definition som innebär en koppling till såväl *EUREF 89* som *WGS 84*. Vid användning av GPS inom landet finns dock även ett behov av en länk till de traditionella *rikssystemen*:

- *RT 90 (Rikets koordinatsystem 1990)*
- *RH 70 (Rikets höjdsystem 1970)*
- *RN 92 (Rikets geoidhöjdssystem 1992)*

som sammantaget benämns *RR 92 (Rikets referenssystem 1992)*. Vid Lantmäteriverket pågår därför utveckling av ett transformationssamband mellan *SWEREF 93* och *RR 92*.

5 GPS som datafångstmetod för GIS

5.1 Systematisering av olika tillämpningsfall

Användningen av GPS vid datafångst för GIS kan ske på flera sätt. I detta avsnitt görs ett försök till systematisering i olika tillämpningsfall. Tanken är att något vidga vyerna vad gäller GPS-teknikens potential i GIS-sammanhang.

I regel underförstås relativ GPS-mätning, t.ex. utnyttjande av fasta referensstationer, men vi går i övrigt inte in i detalj på vilken mätprincip som används (kodmätning, bärvågsmätning etc.). Detta styrs ju av kraven i den aktuella applikationen, så i sammanhanget kan GPS ses enbart som en "black box" som ger oss koordinater - i realtid eller i efterhand.

Denna "box" består i huvudsak av GPS-mottagare med antenn, fältdator för data-lagring och beräkning, batteri samt (eventuellt) radio- eller telefonutrustning för att ta emot korrektioner från referensstationer, se exempel i figur 4.



Figur 4: Exempel på GPS-utrustning.

GPS kan utnyttjas fristående eller som stöd för lägesbestämningen av andra datafångstsystem och sensorer. Tekniken kan användas vid uppbyggnad av geometrin i alla typer av geografiska databaser, oavsett om de innehåller uppgifter om topografi, geologi, vegetation eller annat. Vissa möjligheter i samband med attributdatafångst finns också.

Följande är de viktigaste exemplen på användning av GPS som fristående datafångstmetod:

- *Direkt bestämning av geometri.* De punkter som på lämpligt sätt beskriver geometrin definieras i terrängen och mäts in. Objektdefinitionen kan vara trivial (vägkanter, ägogränser etc.) eller kräva fackkunskap, som vid bestämning av avgränsningen mellan olika växt- eller jordarter. Även sammanknytningen av de punkter som beskriver ett visst objekts geometri kan göras i fält om fältdatorns programvara har funktioner för detta.

- *Indirekt bestämning av geometri.* Många förhållanden i naturen har en utbredning som inte direkt kan observeras i terrängen, t.ex. förekomsten av olika kemiska ämnen i marken. Geometrin måste då definieras indirekt genom positionsbestämning av provtagningspunkter och interpolation i efterhand.

En analogi finns med konstruktion av digitala terrängmodeller. I båda fallen kan mätningen ske *oregelbundet*, i mer eller mindre valfria punkter, eller i ett *regelbundet* mönster. I det senare fallet kan man utnyttja GPS-teknikens möjlighet att uppsöka en förutbestämd position ("positionering" i motsats till "positionsbestämning"), för att få provtagningarna på avsett ställe.

- *Attributdatainsamling.* Det faktum att GPS-utrustningen ofta inkluderar en fältdator innebär att insamling av attributdata kan ske parallellt med bestämningen av geometrin, vilket naturligtvis är rationellt och kan ge högre datakvalitet än om momenten är separerade och "matchning" mot objekten måste ske i efterhand.

Även om man utför attributdatainsamlingen separat kan samtidig GPS-mätning av attributens position vara ett bra sätt att - via geometrin - säkerställa att uppgifterna knyts till rätt objekt.

Också *stommätning* - dvs. upprättande av geodetiska nät som "bärare" av koordinatsystemen - hör på sätt och vis till denna kategori av tillämpningar eftersom den utgör grunden för all geografisk datafångst. Särskilt viktiga stompunkter är de fasta referensstationerna. GPS är i dag den klart rationellaste stommätningstekniken. Noggrannhetsmässigt ligger den väl i nivå med traditionell geodetisk mätning - på långa avstånd är den överlägsen.

Exempel på GPS-mätning som stöd för lägesbestämningen vid andra datafångstmetoder - ett sorts indirekt utnyttjande av tekniken - är:

- *Inmätning av stödpunkter*, för användning i samband med flygfotografering eller precisionskorrigerande av satellitbilder, kan naturligtvis med fördel ske med GPSteknik. I dessa fall ersätter GPS endast den konventionella tekniken - dock i de flesta fall på ett mycket konkurrenskraftigt sätt.

- *Positionering och positionsbestämning av andra datafångstsystem* utgör en mer integrerad, men fortfarande indirekt, möjlighet att använda GPS.

Navigation av flygplanet utefter flygstråket och utlösning av flygkameran i förutbestämda lägen med hjälp av GPS är exempel på *positionering* vid fotogrammetrisk datafångst.

Navigation/positionering av flygburna sensorer för t.ex. magnetiska och liknande mätningar är en snarlik tillämpning. Här är dock även behovet av *positionsbestämning* stort, dvs. att utnyttja GPS för lägesrelatering av insamlade data (som ju är "osynliga" för ögat i motsats till information på flygbilder). Bottenkartering med GPS och ekolod utgör ett motsvarande exempel i det "våta elementet".

I sammanhanget bör också *integrering med andra tekniker* nämnas, dvs. att totalintegrera GPS och någon annan teknik så att de samspelar på ett sätt som ger synergieffekter. Ett samutnyttjande av GPS- och tröghetsteknik ger t.ex. stora möjligheter att minska tröghetsmätningens behov av att fortlöpande ha tillgång till kända punkter under datafångsten. Samtidigt reduceras problemen vid signalavbrott i GPS-mätningen - på grund av skymd sikt mot satelliterna - genom att man under dessa perioder kan förlita sig till tröghetssystemet.

5.2 Exempel på tillämpningsprojekt

Som komplement till systematiseringen i föregående avsnitt ges en provkarta på tillämpningsprojekt. Exemplet är hämtade från såväl intern verksamhet som externa projekt där Lantmäteriet har medverkat. Precis som i rapporten i övrigt ligger tonvikten på användning av data från fasta referensstationer (Norin, 1994).

Som tidigare nämnts utgör stommätning och flygfotografering exempel på GPStillämpningar som har varit i produktion vid Lantmäteriverket i flera år. Inom stommätningen går utvecklingen mot att även mätning av bruksnät med GPS blir konkurrenskraftig och inom fotogrammetrin pågår studier av att använda tekniken också för att bestämma flygkamerans position vid fotograferingsögonblicket - att ingå som extra stödpunkter vid blocktriangulering och därigenom minska behovet av markstöd (Jonsson & Norin, 1994). Vidare har GPS-mätning av geostöd för fotogrammetrisk bearbetning provats och visat sig mycket effektiv.

Positionsbestämning med tröghetsteknik (Schell, 1994) är i Sverige en ganska okänd teknik. Den har under några år använts vid Lantmäteriverket för bl.a. inmätning av optokabel åt Telia (f.d. Televerket) och för ajourhållning av vägnätet i geografiska databaser. Ett projekt rörande integrering/samutnyttjande med GPS-teknik har nyligen initierats.

Följande är, i högre grad än ovanstående, exempel på en mer direkt användning av GPS för uppbyggnad av databaser och GIS.

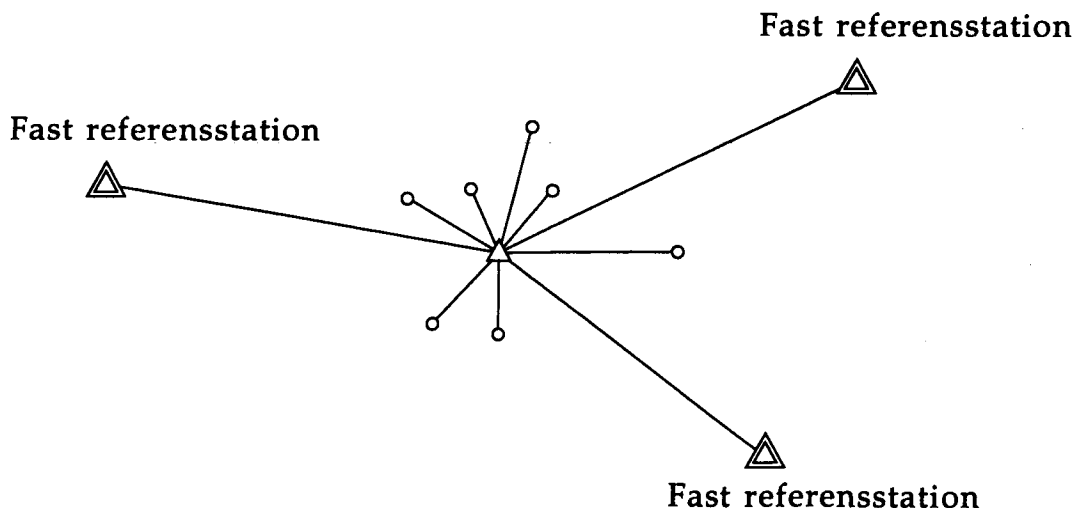
En stor potential finns inom det skogliga området, där ett flertal forskargrupper har visat intresse och genomfört utvecklingsprojekt, se t.ex. (Bergström & Olsson, 1993), (Eriksson, 1993) och (Hellström, Johansson & Rabek, 1993). Bland tillämpningarna kan nämnas inmätning av beståndsgränser och gallringsytor samt lägesbestämning av provytor för skogsinventering och gödslingsförsök.

I samband med återkommande provtagning är det för inventeringsresultatets tillförlitlighet mycket viktigt att exakt samma provyta besöks. Detta kan säkerställas med hjälp av GPS - dessutom i realtid.

Ett område av väsentlig betydelse för Lantmäteriet är naturligtvis förrättningsverksamheten, som i dag är i högsta grad digitalt orienterad. Sedan 1992 bedrivs vid Lantmäteriverket ett projekt benämnt GIF (*GPS inom förrättningsmätning*), som nu är inne i sin andra fas.

Både i fas 1 (Eurenus & Norin, 1992) och fas 2 har möjligheten att använda GPS i olika typer av gränsarbeten prövats, t.ex. uppsökning av äldre gränspunkter och bestämning av gränser i ett specificerat koordinatsystem. En sammanställning av hittills gjorda rön återfinns i (Eurenus, 1994).

Geotekniska undersökningar är förhållandevis kostsamma. Vid t.ex. vägplanering görs ett antal sådana för olika vägsträckningar, varav endast ett alternativ kommer att realiseras. Kostnaderna måste därför hållas nere, varför en effektiv metod för positionsbestämning av proven är välkommen. GPS är en ändamålsenlig teknik i detta sammanhang, som också ger möjlighet att återbesöka provtagningspunkterna med hög precision och därigenom säkra de investeringar som gjorts i undersökningen (SBUF, 1994).



Figur 5: GPS-mätning mot temporär referensstation som positionsbestäms i förhållande till fasta referensstationer.

Positionsbestämning av gravimetriska mätpunkter (mätning av tyngdkraft) är en tillämpning som provats av bl.a. *Högskolan i Luleå*. RAA (Riksantikvarieämbetet) har studerat inmätning av fornlämningar med GPS, för att korta av en lång manuell produktionskedja och i stället få in data direkt i ett GIS.

Avslutningsvis görs ett inlägg i debatten *temporära* eller fasta referensstationer - vilket är bäst? Det är en fråga av stor betydelse för ovannämnda tillämpningar.

Temporära (lokala) stationer sätts upp för ett särskilt projekt - av den projektansvarige, i anslutning till projektområdet. Sådana referensstationer är naturligtvis ett alternativ till de fasta. De ger viss frihet eftersom ingen hänsyn behöver tas till standardiserade dataformat och liknande. Vidare innebär det korta avståndet mellan referensstationen och projektområdet att snabbare och - lokalt sett - noggrannare mätförfaranden kan användas.

Å andra sidan måste man själv ansvara för relatering av stationen till aktuellt koordinatsystem samt för dess drift och för eventuell utsändning av korrektioner. Naturligtvis krävs också att en GPS-mottagare friställs för ändamålet. Vid utnyttjande av fasta stationer ombesörjs allt detta av den som svarar för referensstationsnätet. Valet beror alltså på vilka aspekter som har högst prioritet.

Båda konceptens fördelar kan dock utnyttjas parallellt, se figur 5. Den temporära stationen positionsbestäms i det överordnade koordinatsystemet genom mätning mot fasta referensstationer, vilket på ett enkelt sätt ger hög *regional* noggrannhet och möjligheter till kontroll. Inmätningen tar ingen extra tid eftersom den kan ske parallellt med mätningen i själva projektet, där man kan utnyttja snabbare mätförfaranden och få en hög *lokal* noggrannhet.

6 GPS-teknikens för- och nackdelar

6.1 Teknikens fördelar

Bland GPS-teknikens fördelar bör särskilt framhållas:

- Mätningen sker direkt i terrängen, inte indirekt som vid mätning i flygbilder eller digitalisering av kartor. Denna "digitalisering i skala 1:1" underlättar ofta tolkningen och definitionen av berörda objekt.
- Det finns inget krav på sikt mellan punkter och räckvidden är stor. För många tillämpningar behöver man därför inte bygga upp stornät, vars huvudsakliga uppgift är att transportera koordinater till det aktuella området. Med fasta referensstationer kan denna "transport" ske direkt över avstånd på tiotals mil.
- Ett gemensamt referensstationsnät innebär också ett enhetligt koordinatsystem och därför "ordning och reda" i koordinathanteringen.
- Teknikens möjlighet till högkvalitativa mätningar är av stor betydelse vid uppbyggnad av generella, geografiska databaser - avsedda för många olika applikationer med varierande krav. Det kan även ge "noggrannhet i reserv" för morgondagens, i dag okända, tillämpningar och underlättar sambearbetning av data.
- Mätningen går snabbt - vid vissa mätförfaranden sekunds snabbt - och instrumenthandhavandet är tämligen okomplicerat. Realtidsmätning är möjlig.

6.2 Finns det några nackdelar?

Naturligtvis har denna nya teknik fortfarande ett antal "barnsjukdomar". Den massiva utvecklingen inom området talar dock för att GPS är på god väg att bli vardagsteknik.

Man kan se lösningen på de flesta problemen, men bland de som finns kan nämnas:

- Mätningen är enkel men beräkningen kräver djupare insikter - om såväl GPS som t.ex. koordinatsystemfrågor. Programvarorna blir dock successivt mer användarvänliga.
- Rent allmänt är GPS-kompetens en bristvara i dag. Det faktum att GPS är på väg att bli ett självklart inslag i utbildningen av t.ex. mätningssingenjörer och tekniska lantmätare torde eliminera detta förhållande på litet sikt, även om avsaknaden av svensk GPS-litteratur - och för den skull även GIS-litteratur - är påfallande.
- Riktigt noggrann GPS-mätning tar fortfarande ganska lång tid, åtminstone över större avstånd, men utvecklingen av mätmetoder och beräkningsalgoritmer ger allt kortare mättider.
- Sikt mot satelliterna krävs, vilket kan skapa problem i t.ex. tätorter. GPS är dock i första hand en "glesbygdsteknik" - i tätorterna finns i regel bra stornät att utgå ifrån och där lämpar sig i första hand konventionell mätningsteknik. Satellit-signalernas genomtränglighet i skog har visat sig vara bättre än väntat.
- GPS-mottagare (för relativ GPS-mätning) betingar fortfarande ett förhållandevis högt pris. Skillnaden gentemot t.ex. en totalstation är emellertid inte så stor och när volymen ökar och instrumentfabrikanterna börjar få igen sina utvecklingskostnader bör priserna sjunka.
- Kompatibiliteten mellan olika mottagarfabrikat och programvaror lämnar för närvarande en del i övrigt att önska. Det är ett problem inte minst för ett nationellt nät av fasta referensstationer, där också ett standardformat för utsändning av korrekationer är av synnerlig vikt. Här sker samma utveckling som inom ADB- och GIS-områdena i övrigt, dvs. en större strävan till standardisering.

Den eviga frågan i samband med introduktionen av GPS är: "Vågar vi lägga alla ägg i den korgen - tänk om amerikanerna stänger av systemet eller börjar ta hutlöst betalt?"

Det finns dock en långsiktighet i USAs åtagande. Av deras radionavigeringsplan för 1992 framgår att nuvarande principer för det civila utnyttjandet - t.ex. fri tillgång till GPS-systemet - gäller åtminstone till år 2003. Vidare skall eventuella förändringar i policyn annonseras minst sex år i förväg. Vi hinner under alla förhållanden få ut mycket av systemet under denna tid - åtminstone "break-even" i våra satsningar.

Dessutom finns långt framskridna planer, bl.a. i Europa, på att etablera ett ersättningsystem om USA trots allt skulle försämma villkoren för användningen. Mot bakgrund av den stora mängd GPS-användare som finns världen över skall det dock mycket till innan några sådana förändringar görs. Trycket är stort och det hela i hög grad en prestigefråga.

6.3 Samordningsbehov

Redan i föregående avsnitt har behovet av standardisering påtalats. Detta behov avser i första hand terminologi och dataformat.

Vid introduktionen av ny teknik är en enhetlig terminologi - på det egna språket - av stor betydelse. Vad gäller GPS- och GIS-områdena har initiativ i den riktningen tagits inom *STANLI-projektet*. En svensk GPS-terminologi har fastställts (SIS, 1992) och första delen av en GIS-ordlista har publicerats (SIS-STG, 1993).

På formatsidan finns två etablerade standarder: *RINEX (Receiver INdependent EXchange format)*, som ett generellt överföringsformat för GPS-data vid efterbearbetning, och *RTCM*, framtaget av *Radio Technical Commission for Maritime services*, för realtidsöverföring av korrektioner från t.ex. fasta referensstationer. Instrumentfabrikanternas efterlevnad av dessa standarder är det dock för närvarande litet så och så med.

Ytterligare samordningsfrågor finns. De viktigaste är enhetliga koordinatsystem och - bl.a. i Sverige - behovet av nationell samordning vad gäller referensstationsnät.

Systemkomplexet RR 92 och referenssystemet SWEREF 93 utgör grunden för ett effektivt utnyttjande av GPS i landet. Under rikssystemen finns emellertid ett flertal lokala system. En förutsättning för att även dessa skall kunna länkas in är att de är anslutna - direkt eller indirekt - till RR 92.

Stomnätsanslutning är således en viktig åtgärd för en optimal användning av GPS i Sverige. Omvänt kan GPS-teknik med fördel utnyttjas för att åstadkomma denna anslutning. Dessa frågor är nu föremål för utredning: den 15 september (framtid när detta skrivs) skall Lantmäteriverket på regeringens uppdrag redovisa ett förslag rörande det fortsatta arbetet med förtätning av riksnäten och anslutning av lokala stomnät.

Förutom vid Lantmäteriverket bedrivs verksamhet kring fasta referensstationer vid bl.a. Sjöfartsverket och Luftfartsverket. Behovet av nationell samordning är stort, varför även dessa frågor är föremål för utredning. En särskild arbetsgrupp har tillsatts inom Regeringskansliet för att utreda frågorna rörande huvudmannaskap, finansiering, datakommunikation etc. i dessa sammanhang.

Inom parentes sagt kan nämnas att en motsvarande utredning har initierats i USA. Floran av referensstationssystem har där ansetts alltför brokig - till intet gagn för användarna och nationalekonomiskt sett föga optimalt.

Ett nationellt nät av fasta referensstationer (inkl. datadistribution) i ett väldefinierat och välbestämt koordinatsystem kan betraktas som morgondagens "riksnät i realtid". Lantmäteriverkets åsikt är att det ansvar som verket i dag har för de geodetiska riksnäten bör utvidgas till att - mer formellt - även omfatta ett sådant nät.

Referensstationsnätet SWEPOS - baserat på det synnerligen välbestämda referenssystemet SWEREF 93 och med utsändning av korrektioner via RDS - framstår som ett mycket slagkraftigt koncept, framför allt för landtillämpningar. Troligen behövs dessutom parallella system för luft- och sjöfarten, eftersom det inom dessa områden finns en rad speciella förhållanden som måste tillgodoses (särskilt höga säkerhetskrav, internationella konventioner och överenskommelser etc.).

7 Slutord

Den stora användningsvolymen vad gäller GPS finns naturligtvis inom navigeringen - till lands, till sjöss och i luften. Såväl sjö- som luftfarten har en inriktning mot en övergång till GPS-teknik och på landsidan har vi sådana tillämpningar som fordonsnavigering och fordonslokalisering för transportplanering samt olika typer av larm- och räddningstjänst. Mycket av detta har också en koppling till geografiska databaser eller digitala kartor.

Även i vardagslivet är tekniken på snabb frammarsch. GPS-mottagare i privata segelbåtar är redan ganska vanliga. Mer spektakulära är kanske visionerna om handburna mottagare för svampplockare, fjällvandrare etc. eller för att hitta till hjortronstället. Men vem vet? - Silva har t.ex. tagit fram en "GPS-kompass", så får vi måne se en utveckling av orienteringssporten mot en indelning i en klassisk och en GPS-klass? I alla fall har försök gjorts med att använda tekniken vid rekognoscering av orienteringskartor.

Den geodetiska - eller "lantmäteritekniska" - användningen är i detta perspektiv synnerligen blygsam, men vi torde ha stor nytta av den draghjälp vi får beträffande t.ex. instrumentutvecklingen och systemets långsiktighet. Helt klart är att GPS har kommit för att stanna - det är ingen dagslända. Tekniken har redan visat sig konkurrenskraftig i många applikationer och allt talar för att vi får samma genombrott inom fler tillämpningsområden.

Det är inte bara akronymerna GPS och GIS som är närbesläktade. Teknikerna har mycket att vinna på att samutnyttjas. Denna rapport har huvudsakligen uppehållit sig vid hur GPS kan stötta GIS-tekniken. I många sammanhang - som antytts ovan - är det dock fråga om ett jämbördigt samspel, till ömsesidigt gagn.

Den som anser att GPS inte berör mig har lika fel som den som tror att GPS skall lösa alla problem - också dem som vi hittills har "sopat under mattan". Men GPS står inte för *General Problem Solver* utan för ja det vet Ni väl vid det här laget.

* * *

GPS-tekniken har nu också nått romanvärlden:

"Till en början orienterade man för hand, som de kallade det, med de gamla traditionella metoderna. Men i samband med att de gick ner på låg höjd skulle de låta GPS ta över, Global Positioning System, en apparat som inte vägde mer än åtta och ett halvt hekto men som fastställde vilken som helst position på jorden inom någon sekund med bara tio meters felmarginal. Det förutbestämde målet kunde också programmeras in så att det gick att använda apparaten som en sorts kompass. När man var framme pep den."

Jan Guillou: Ingen mans land.

Referenser

- Bergström, J. & Olsson, H (1993): Praktiska erfarenheter av GPS-mätningar för beståndsavgränsning. Sveriges Lantbruksuniversitet, Umeå.
- Cederholm, T. & Persson, C-G (1989): Standardiseringsverksamheten i Sverige inom GIS-området - Terminologifrågor, informationsstrukturering och kvalitetsmärkning. ULI-rapport 1989:4, 27-39.
- Eriksson, M (1993): GPS i ett skogligt metodförsök. NSF - Nämnden för Skoglig Fjärranalys, NSF-information 12:93.
- Eurenus, B. & Norin, D (1992): GPS inom förrättningsmätning. LMV-rapport 1992:21.
- Eurenus, B (1994): Användning av GPS vid lantmåteriförrättningar. SKMF, MätKart 94.
- Hellström, C, Johansson, S. & Rabek, D (1993): GPS-mätningar under skogliga förhållanden - erfarenheter från fältförsök. SkogForsk.
- Jonsson, B. & Hedling, G (1994): SWEPOS - a Swedish Network of Permanent Reference Stations for GPS. Nordic Geodetic Commission, 12th General Meeting.
- Jonsson, B. & Norin, D (1994): Positioning with GPS in Aerial Photography. Nordic Geodetic Commission, 12th General Meeting.
- Lantmäteriverket (1987): Geografiska SverigeData - GSD 90. LMV-rapport 1987:5
- Lantmäteriverket (1990): Geodesi 90. LMV-rapport 1990:1.
- Lantmäteriverket (1993): Handbok till mätningsskuggörelsen (HMK) - Geodesi: GPS.
- Lantmäteriverket (1994): Handbok till mätningsskuggörelsen (HMK) - Databaser.
- Norin, D (1994): Användning av data från fasta referensstationer. Kartografiska Sällskapet, Kartdagarna 1994.
- Persson, K, red. (1994): Gemensamma grunddata för EK/Topo - Slutrapport. Lantmäteriverket.
- Reit, B-G (1994): SWEREF 93 - a Swedish Reference System for GPS. Nordic Geodetic Commission, 12th General Meeting.
- SBUF - Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (1994): Inmätning av geotekniska undersökningar med GPS-teknik och fasta referensstationer. Projekt utfört av Skanska Teknik AB och Lantmäteriverket.
- Schell, C (1994): Tröghetspositionering. SKMF, MätKart 94.
- SIS - Standardiseringskommissionen i Sverige (1992): Satellitbaserad positionsbestämning - GPS - Terminologi. Svensk standard SS 63 70 01, Utgåva 1.
- SIS-STG (1993): GIS-ordlista, del A. STANLI-rapport nr 6: 1993.