



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

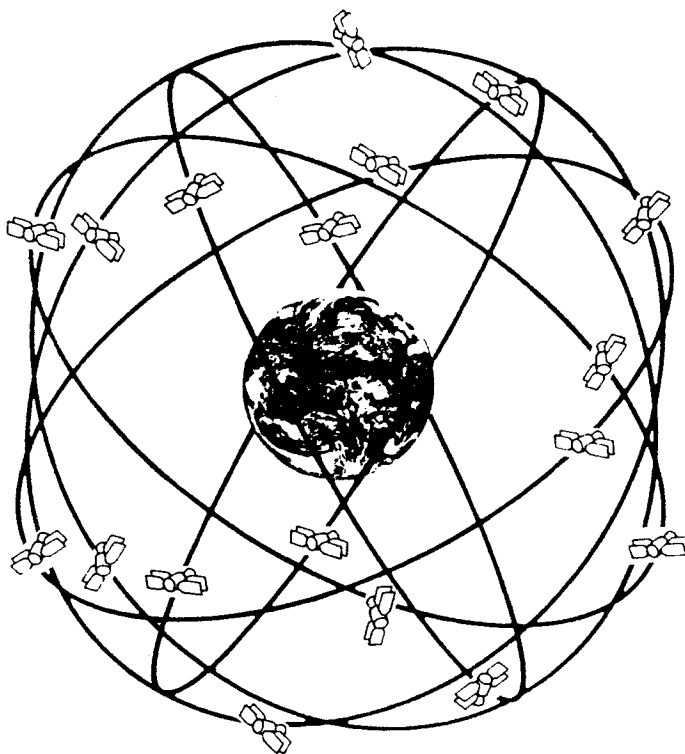
Tekniska skrifter - Professional Papers

LMV-RAPPORT 1991:4

ISSN 0280-5731

KORT INTRODUKTION TILL GPS

av Bo Jonsson



Gävle 1991

Lantmäteriverkets senaste Tekniska skrifter i geodesi

- 1987:6 Nordqvist A & Olsson A: Längdmätning mot plastreflektorer, tillämpad vid upprättande och utnyttjande av mindre primärnät.
- 1987:9 Svensson R: Precision och tillförlitlighet vid fri uppställning - en simuleringsstudie.
- 1987:11 Lidberg M & Svensson R: En studie av viktsfunktionen vid trigonometrisk höjdmätning i samband med fri uppställning.
- 1987:12 Karlsson B & Löfqvist R: Koordinatsystemsbyte i kommunala nät.
- 1987:18 Jivall A-C & Jakobsson L: Mäta med GPS - beräkningsprogram samt detaljstudie och beräkningsexempel med PoPS.
- 1988:10 Becker J-M: Tröghetspositioneringstekniken.
- 1988:12 Becker J-M, Lithén T, Nordqvist A: Erfarenheter med motoriserad trigonometrisk höjdbestämningssteknik (MTL) - jämförelser med övriga tekniker. (Engelsk version 1988:23.)
- 1988:16 Haller L-Å & Ekman M: The Fundamental Gravity Network of Sweden.
- 1988:24 Lidberg M: Frihöjd - ett datorprogram för höjdbestämnning vid fri uppställning.
- 1988:26 Ekman M: The Impact of Geodynamic Phenomena on Systems for Height and Gravity.
- 1989:4 Ekman M: Geodesins historia i Sverige - en liten översikt.
- 1990:3 Edgren M & Sundstrand G: Utredning om och förslag till stomnät och koordinatsystem i Stor-Stockholm.
- 1990:8 Becker J-M: The Swedish Experience with the ISS Uliss 30 - Results from Tests and Pilot Projects.
- 1990:10 Hedling G, Jivall A-C, Jonsson B: Results and Experiences from GPS Measurements 1987 - 1990 - SVENAV-87, Local Control Networks and Dual-frequency Measurements.
- 1990:11 Jonsson B & Jivall A-C: Experiences from Kinematic GPS Measurements.
- 1990:13 Jivall A-C & Ollvik L: BFR-projektet "Pseudo-kinematisk/kinematisk GPS-mätning för geodetiska tillämpningar" - lägesrapport för etapp 1.
- 1991:1 Ekman M: Ellipsoider, geoider, koordinatsystem, höjdsystem och tyngdkraftssystem i Sverige.

Titel

KORT INTRODUKTION TILL GPS

av Bo Jonsson

Huvudinnehåll

NAVSTAR-GPS (Navigation Satellite Time and Ranging Global Positioning System) är ett kraftfullt amerikanskt satellitbaserat navigations- och positioneringssystem, som när det är fullt utbyggt 1993, förväntas få en avsevärd inverkan på navigering och positionering. I denna rapport ges en beskrivning av tekniken för navigering/positionering med GPS samt exempel på användningsområden. Vidare ges en kortfattad översikt över GPS-verksamheten i Sverige och framtidsplaner.

LDOK

Kg Satellitgeodesi

Beställs hos

Lantmäteriverket
Blankettförrådet
801 82 GÄVLE

Allmänna Förlaget

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Inledning	1
Satellitsystemet	1
Drift av satellitsystemet	3
Navigering och positionering med GPS	4
Några tekniska frågeställningar och synpunkter vid navigering/positionering med GPS	9
Kostnader och principer för tillgång till GPS-systemets signaler	12
Användningsområden för GPS i Sverige	12
GPS-verksamheten i Sverige - en kort tillbakablick	13
LMVs GPS-verksamhet	15
Informationstjänst för GPS	16
Framtidsplaner	16
Slutord	17
Referenser	18

INTRODUKTION TILL GPS-TEKNIKEN

NAVSTAR-GPS (Navigation Satellite Time and Ranging Global Positioning System) är ett kraftfullt amerikanskt satellitbaserat navigations- och positioneringssystem, som när det är fullt utbyggt 1993, förväntas få en avsevärd inverkan på navigering och positionering. Nedan ges en beskrivning av tekniken för navigering/positionering med GPS samt exempel på användningsområden. Vidare ges en kortfattad översikt över GPS-verksamheten i Sverige och framtidsplaner.

Inledning

Uppskjutningen av den första sovjetiska satelliten, Sputnik I, år 1957 öppnade nya möjligheter för navigering och positionering.

Behovet av noggranna positioner för uppdatering av tröghetsnavigeringsutrustningar ombord på de amerikanska Polaris ubåtarna ledde till utvecklingen av satellitsystemet TRANSIT under åren 1958-1964. Systemet blev tillgängligt för civilt bruk år 1967. Ur en satellitpassage (ca 15 minuters registreringar) kan användaren bestämma positionen med något hundratal meters noggrannhet. Det dröjer 1-1.5 timme mellan passagerna. För navigering används TRANSIT-systemet i första hand till sjöss och då integrerat med andra navigationssystem, t ex tröghetsnavigering. Den relativa positionen för en station kan på 3-4 dagar bestämmas med någon meters noggrannhet om registreringar samtidigt utföres på en station med känd position (referensstation), s k relativ positionering. USA (amerikanska flottan) planerar att gradvis avveckla systemet under 1996.

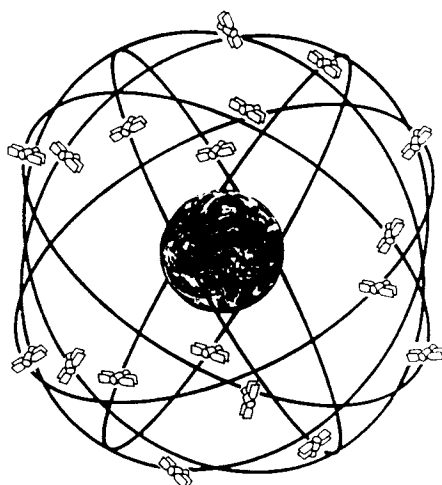
År 1973 påbörjade USAs försvarsdepartement utvecklingen av satellitsystemet NAVSTAR-GPS, som ett resultat av en sammanslagning av amerikanska flottans TIMATION-program och amerikanska flygvapnets 621B-projekt. Båda dessa program hade påbörjats i mitten av 1960-talet för att utveckla passiva navigationssystem (en-vägssystem), som ej kräver att användaren skall sända några signaler och som ger möjlighet att alla tider på dygnet sekundsnabbt bestämma sin position, varhelst man befinner sig.

Satellitsystemet

Principen för GPS-systemet är att satelliterna fortlöpande sänder ut kodade radiosignaler med information omfattande bl a korrektioner av satellitklockorna till s k universaltid samt parametrar som matematiskt beskriver satellitbanorna.

För närvarande (januari 1991) består NAVSTAR-GPS av 5 aktiva prototypsatelliter och 10 produktionssatelliter. Systemet kommer att bestå av 21 satelliter fördelade på 6 banplan + 3 aktiva reservsatelliter när det är fullt utbyggt år 1993, se figur 1. Med denna satellitkonstellation kommer det att bli möjligt att från nästan varje punkt på jordytan ständigt ta emot navigationssignaler från minst fyra samtidiga satelliter.

Satelliterna sänder ut signaler på frekvenserna L1 (1575.42 MHz) och L2 (1227.60 MHz). På L1-frekvensen sänds både P-kod (Precision) och C/A-kod (Coarse/Acquisition) medan L2-frekvensen endast innehåller P-kod. Dessutom sänds ett satellitmeddelande, med överföringshastigheten 50 bitar per sekund, som innehåller nödvändig information för att beräkna satellitens position och satellitklockans korrektion. Enligt nuvarande policy (Naval Observatory, okt -89) gäller att för signaler som sänds ut från prototypsatelliterna är båda koderna tillgängliga - utan SA-effekt (SA = Selective Availability) - för alla användare. För signaler från produktionssatelliterna införes tjänsterna SPS (Standard Positioning Service) och PPS (Precise Positioning Service). SPS-tjänsten innebär i princip endast tillgång till C/A-kod och navigationsmeddelande (bandata). Satelliternas klockinformation har ett brus pålagt och bandata har försämrats för att ge en specificerad positionsnoggrannhet i horisontalplanet på 100 m (95 % konfidensintervall). PPS-tjänsten innebär, förutom samma tillgång till C/A-kod och navigationsmeddelande som för SPS-tjänsten, tillgång till P-kod på både L1- och L2-frekvenserna och s k Y-kod (en krypterad version av P-koden) samt möjlighet att kompensera för degraderingen av satellitklockinformationen och bandata. SPS-tjänsten kommer att vara tillgänglig för alla användare medan PPS-tjänsten endast blir tillgänglig för USAs och till USA allierade militära myndigheter, samt för ett fåtal civila användare.



Figur 1. Satellitkonstellationen för Navstar-GPS

Den tillgängliga tiden för 2-dimensionell navigering (känd höjd) är i dag (jan -91) ca 22 timmar per dygn i Sverige, om man ej tar hänsyn till satellitgeometrin. För 3-dimensionell navigering och positionering är motsvarande tid ca 11 timmar per dygn uppdelad på två huvudintervall.

Nästa satellituppskjutning som kommer att inträffa tidigast den 15 juni 1991 enligt uppgifter från Joint Program Office, USA kommer att utöka den tillgängliga observationstiden.

Drift av satellitsystemet

GPS-systemets driftsledningscentral (masterstation) är belägen i Colorado Springs, USA. På fem spårstationer/monitorstationer utplacerade i huvudsak längs ekvatorn, se figur 2, registreras kontinuerligt signaler från alla satelliter som befinner sig ovanför respektive stations horisont.

Data från spårstationerna sänds till driftsledningscentralen, där satelliternas banparametrar och korrekationer till satellitklockorna beräknas och predikteras framåt i tiden. De framräknade värdena sänds sedan upp till satelliterna från någon av de tre spårstationer som har utrustning för detta. Driftledningscentralen är också ansvarig för att utföra korrigeringar av satellitbanorna. Vidare är det driftledningscentralen som skall ta initiativet till nödvändiga åtgärder för att få en ej fungerande satellit ersatt av en reservsatellit.



Figur 2 GPS-systemets spårstationer

Navigering och positionering med GPS

Systemet utvecklades ursprungligen för att tillgodose rent militära behov, men redan i ett tidigt skede insåg man systemets användbarhet för civilt bruk. Antalet civila tillämpningar är redan stort och växer hela tiden, trots att systemet ännu bara är på prototypstadiet och har reducerad tillgänglighet på grund av dålig geografisk täckning.

Olika tillämpningar ställer olika krav på noggrannhet och aktualitet hos positionsangivelsen, vilket i sin tur har lett till att olika mät- och beräkningsmetoder utvecklats, anpassade till de varierande kraven. Exempelvis ställer man ofta ganska låga krav på positionsnoggrannheten vid navigering. Vid navigering till havs kanske en lägesangivelse på 100 m när är tillräcklig. Å andra sidan vill man att positionen skall vara tillgänglig i realtid dvs med mycket kort fördröjning. Omvänt kräver man vid statisk geodetisk positionering cm-noggrannhet men kan å andra sidan acceptera att beräkningen utförs i efterhand. Beroende på krav brukar man begreppsmässigt skilja mellan navigering, kinematisk positionering och statisk positionering. **Navigering** avser tillämpningar där mottagaren rör sig kombinerat med att man kräver att få sin position och kurs beräknad i realtid. Vid **kinematisk positionering** är mottagaren i rörelse och positionsberäkningen kan utföras antingen i realtid eller i efterhand. Vid **statisk positionering** slutligen står mottagaren stilla och först sker positionsberäkningen i allmänhet i efterhand.

Grundprincipen för positionsbestämning med GPS är följande. Vad man primärt mäter i mottagaren är tiden det tar för signalen att gå från satelliten till mottagaren. Med kännedom om signalhastigheten (ljushastigheten) kan avståndet mellan satellit och mottagare beräknas. Ur den kodade informationen från satelliten, kan man vidare räkna ut satellitens position vid tidpunkten för signalens utsändande. Om man på detta sätt kan bestämma avstånd och position för minst tre av satelliterna, kan man ur dessa data beräkna mottagarantennens position. På grund av bristande synkronisering mellan mottagarens klocka och satelliternas krävs det i realiteten minst fyra satelliter för att erhålla den tredimensionella positionen hos mottagarantennen.

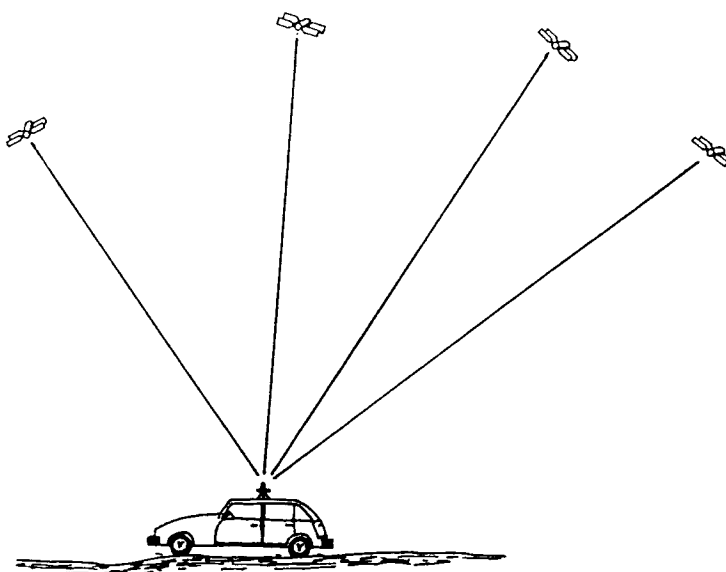
För avståndsmätningen mot satelliterna används två principiellt olika metoder, **kodmätning** resp **bärvågsmätning**. Kodmätning har den fördelen att den kräver kort observationstid (bråkdelar av sekunder) och kan utföras med enklare typ av mottagare men ger å andra sidan inte så noggranna resultat. Eftersträvar man hög noggrannhet krävs en dyrare typ av mottagare som kan mäta på bärvågen. Metoden är känslig för signalavbrott t ex att något föremål tillfälligt bryter siktlinjen mellan satellit och mottagare, samt kräver längre observationstid. Först är det inte heller möjligt att få fram resultatet i realtid. På grund av bärvågsmätningens svagheter är än så länge alla navigeringstillämpningar baserade på kodmätning eller kombinerad kod- och bärvågsmätning medan bärvågsmätning används vid de

positioneringstillämpningar där meternoggrannhet eller bättre krävs.

Utöver de begränsningar som finns inbyggda i ovan nämnda metoder finns även andra faktorer som allvarligt begränsar noggrannheten. Främst kan nämnas onoggrannheten i satellitbanorna, vilken brukar anges till 20-80 meter samt signalpåverkan från troposfären och jonosfären, som om de inte beaktas kan orsaka fel i avståndsbestämningen på 2-20 meter resp 5-150 meter beroende på satellitens höjd över horisonten.

Sammantaget ger detta vid navigering med data från endast en mottagare, s k **absolut navigering** (figur 3), en specificerad tvådimensionell noggrannhet på ca 18 meter för PPS-tjänsten och ca 100 meter för SPS-tjänsten (95% konfidensintervall).

För att uppnå högre noggrannhet kan man tillgripa s k **relativ mätning**. Den relativa mätningen innebär att man kombinerar mätdata från två eller flera mottagare som samtidigt mäter mot samma satelliter. Om inte mottagarna är placerade för långt från varandra kommer felen i avstånden till satelliterna att bli ungefär lika stora på alla mottagarstationerna. Genom lämpliga beräkningsalgoritmer kan man därför få felen att ta ut varandra och uppnår därigenom en drastisk noggrannhetsförbättring. Förfarandet går att använda för såväl kod- som bär-vågsmätning. I tabell 1 ges en översikt över de noggrannheter som C/A- och P-kod ger i dag (jan -91) och specificerade noggrannheter för SPS- och PPS-tjänsterna.

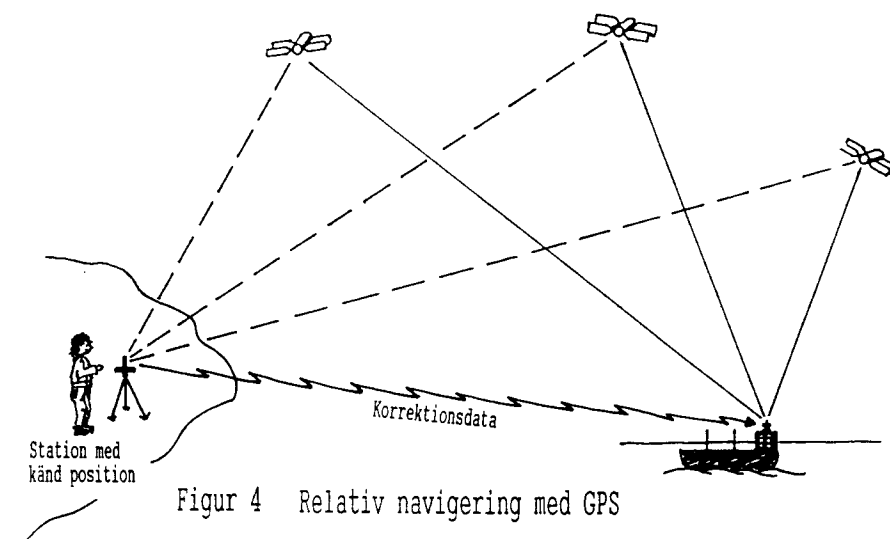


Figur 3 Navigering med GPS

	Absolut mätning (2 dimensioner)	Relativ mätning
<u>Block I-satelliter (prototypsatelliter)</u>		
P-kod (kinematisk)	18 meter	5 m
C/A-kod (kinematisk)	30 meter	10 m
<u>Block II-satelliter (produktionssatelliter)</u>		
PPS-tjänst		
P-kod (kinematisk)	10 meter	5 m
C/A-kod (kinematisk)	30 meter	10 m
SPS-tjänst		
C/A-kod (kinematisk)	100 meter	10 m (?)
<u>Block I- och Block II-satelliter</u>		
Bärvåg (statisk)	-	1 mm/km
Bärvåg (kinematisk)	-	10cm

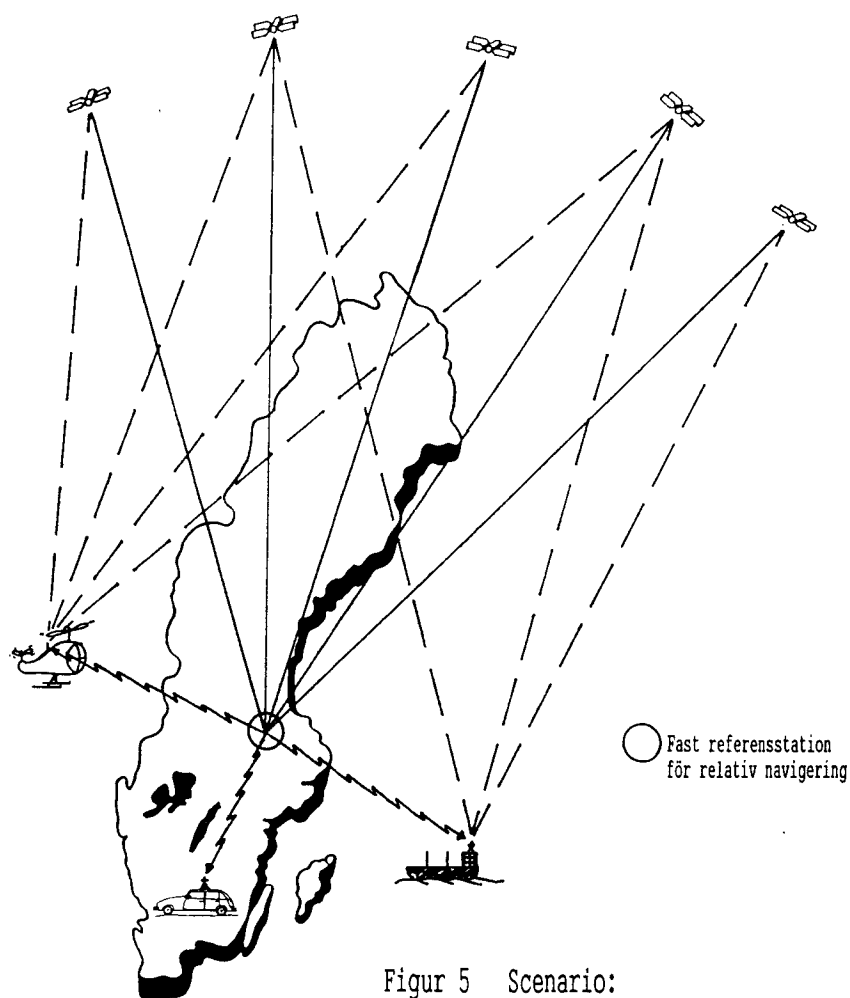
Tabell 1. Positionsnoggrannheter för GPS-tekniken (95% konfidensintervall)

Man kan även tänka sig fallet att navigera med hjälp av bärvågsteknik. Denna metod befinner sig än så länge på experimentstadiet eftersom den bjuder på en mängd svårbemästrade problem som först måste övervinnas.



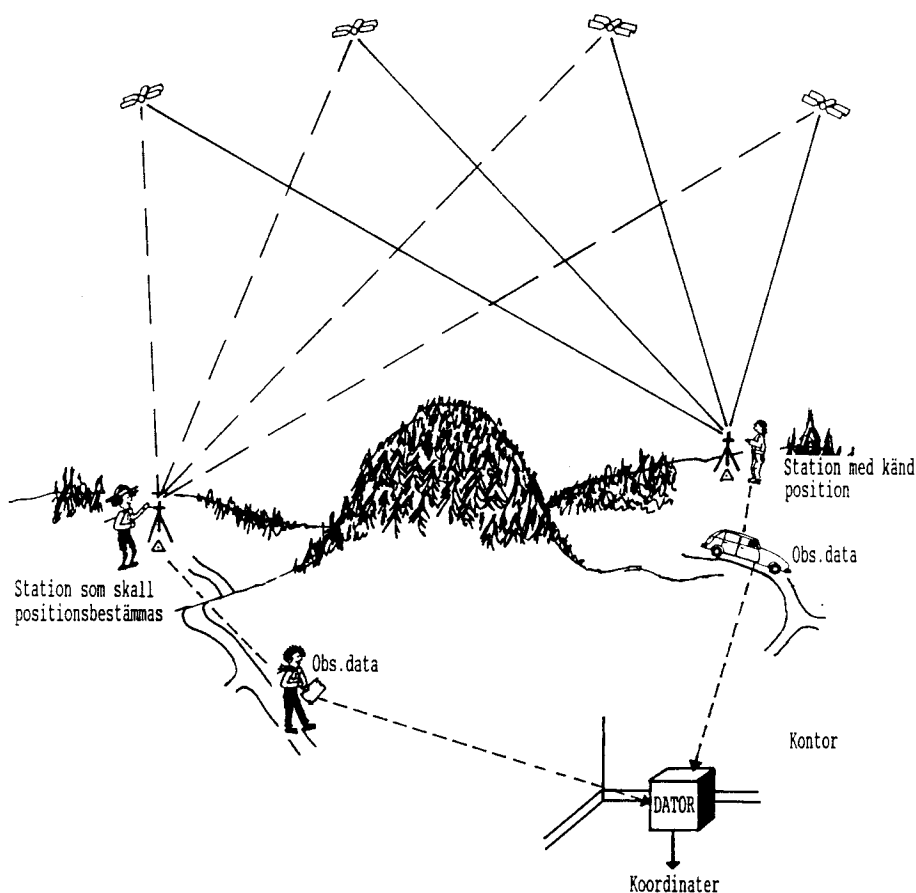
Figur 4 Relativ navigering med GPS

Som tidigare nämnts är absolut navigering en förhållandevis okomplicerad och robust metod. Har man inte tillgång till PPS-tjänsten blir dock noggrannheten ett problem i många tillämpningar. Önskar man högre noggrannhet måste i stället **relativ navigering** (figur 4) tillgripas. Principiellt går denna metod till så att man använder sig av en s k **referensstation** (jfr figur 5), dvs man har ytterligare en mottagare placerad på en punkt med **känd position**. Genom att på referensstationen ta mot signaler från samma satelliter som den navigerande farkosten, kan korrektioner till farkostens position beräknas. Korrektionerna sänds t ex via radiolänk till navigationsmottagaren. Eftersom en och samma referensstation kan betjäna alla användare inom sitt täckningsområde (ett område med radien 250-500 km) finns det mycket som talar för att man för navigeringsändamål skall bygga upp och driva ett **nät av fasta referensstationer på nationell basis** snarare än att lämna till varje enskild användare att bygga upp olika system för sina behov.

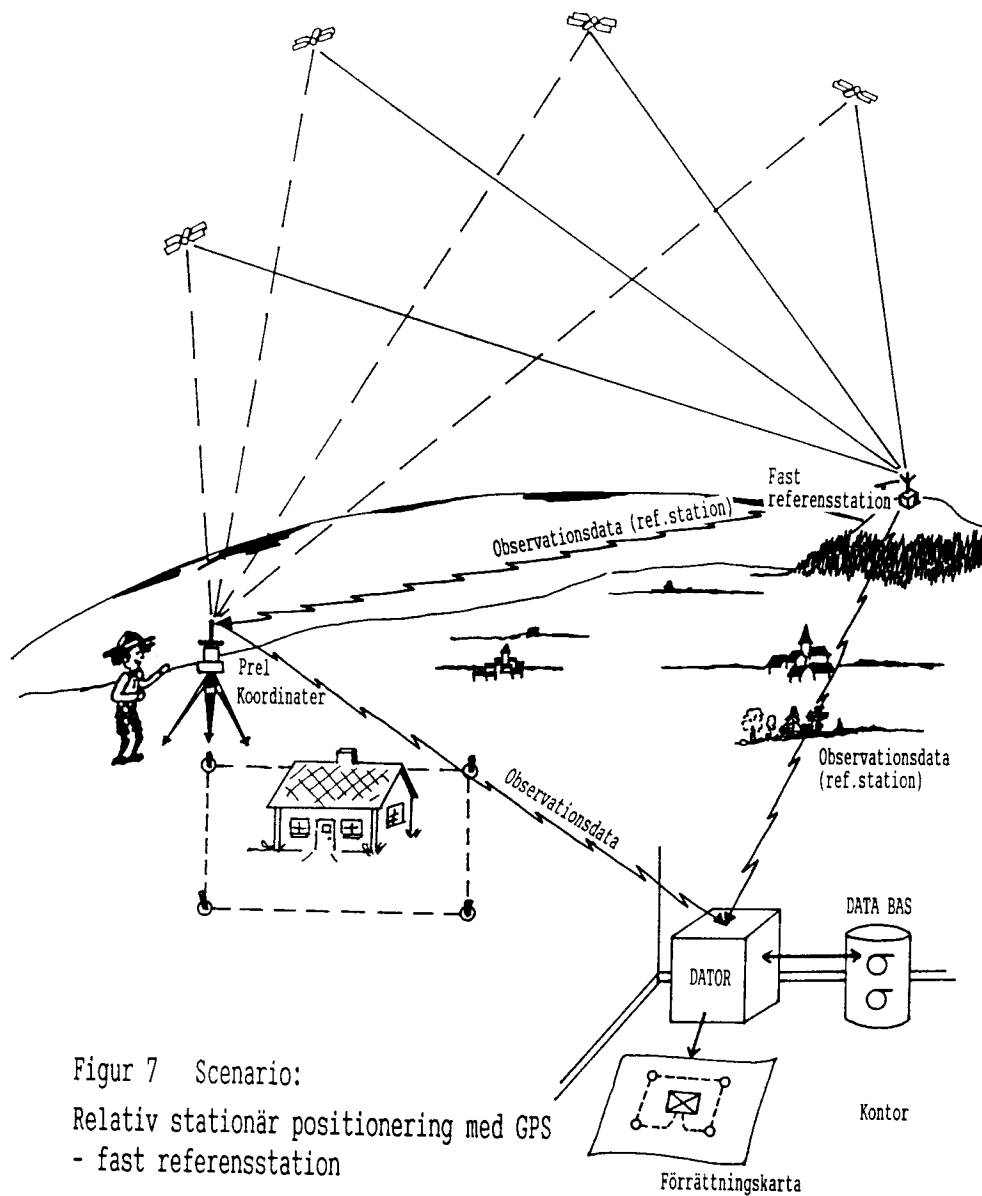


Figur 5 Scenario:
Relativ navigering
- fast referensstation

Vid **geodetisk mätning**, där i allmänhet högsta noggrannhet eftersträvas, använder man statisk relativ bärvågsmätning (fig 6). Av noggrannhets- och rationalitetsskäl nyttjar man ofta fler än två mottagare, men det är även vanligt med situationer där **en** mottagare skulle räcka om inte den relativa metoden i sig krävde minst två. Det kan bl a av detta skäl vara motiverat att även för geodetiska tillämpningar bygga upp nät av fasta referensstationer med många användare (jfr fig 7). Stationerna i ett sådant nät får av noggrannhetsskäl ett betydligt mindre täckningsområde, gissningsvis 100-200 km.



Figur 6 Relativ stationär positionering med GPS



Figur 7 Scenario:
 Relativ stationär positionering med GPS
 - fast referensstation

Några tekniska frågeställningar och synpunkter vid navigering- /positionering med GPS

Även om GPS som koncept lovar mycket finns det dock ett antal hinder av teknisk natur som för närvarande begränsar användningen. En del av dessa hinder kommer troligen att undanröjas genom förbättringar i metoder och utrustningar.

GPS-mottagare

Schematiskt är en GPS-mottagare uppbyggd av följande delar: antenn med förförstärkare, radiofrekvensdel, kraftaggregat, mikroprocessor som styr registreringen av satellitsignalerna och utför bearbetning i fält av erhållna observationsdata, kontrollenhet (tangentsbord och display) samt dataregistreringsenhet. Några viktigare punkter som skiljer olika mottagarmodeller är:

- arbetar mottagaren kodlöst eller förutsätter den tillgång till C/A-kod eller både C/A- och P-kod?
- arbetar den med en (L1) eller två (L1 och L2) frekvenser?
- är mottagaren kontinuerlig eller växlande, dvs registreras signalerna kontinuerligt från de satelliter som används eller sker registreringarna periodvis?
- kan mottagaren utföra kodmätningar eller både kod- och bär-vågsmätningar?
- från hur många satelliter kan mottagaren samtidigt registrera signaler?
- kan mottagaren användas i såväl kinematiska som statiska tillämpningar?

Störningar vid mottagning av satellitsignaler

De främsta störningskällorna vid navigering och positionering är:

- Signalbortfall på grund av hinder mellan mottagareantenn och satelliter, t ex skog, byggnader etc (fri sikt erfordras mellan mottagareantenn och satellit)
- Signalreflektioner orsakade av t ex byggnader, stora metallkonstruktioner, etc.
- Inverkan från jonosfären (skiktet 50-1000 km från markytan) och troposfären (skiktet från markytan upp till 50 km)

Effekterna av signalbortfall kan i viss mån reduceras när satellitsystemet är fullt utbyggt eftersom det enligt nuvarande planer under stora delar av dygnet kommer att vara flera än fyra satelliter ovanför horisonten samtidigt. En annan möjlighet att i viss mån kompensera för signalbortfall är att utnyttja information från andra positioneringssystem t ex tröghetsnavigering.

Det pågår arbete med förbättrade antennutformningar för att eliminera så mycket som möjligt av de reflekterade signalerna.

Inverkan från jono- och troposfären reduceras genom att använda relativ navigering och relativ positionering. Vidare ger

observationer på både L1- och L2-frekvenserna möjlighet att korrigera för jonosfärens inverkan.

Information om GPS-satelliternas banor

Bandatas kvalitet är en av många faktorer som påverkar positionsnoggrannheten vid användning av GPS. Vid absolut navigering/positionering kommer fel i satelliternas positioner att direkt överföras till ett fel i avstånden mellan mottagareantenn och satelliterna. Därigenom uppstår ett systematiskt fel i den framräknade positionen för mottagareantennen. För relativ navigering och relativ positionering kommer felet i satellitpositionerna att påverka noggrannheten i mottagareantennens relativa position, dvs banfelens inverkan i den framräknade positionen beror på avståndet mellan referensstation och GPS-mottagare.

Utsända banddata är framräknade som prediktioner av satellitbanorna från GPS-mätningar på de fem spårstationer som ingår i GPS-systemet, se ovan. Noggrannare banddata fås genom efterbearbetning av data från ett större antal stationer i ett nät som har bättre global täckning än spårstationsnätet. Ett exempel på ett sådant nät är "The Cooperative International GPS Tracking Network (CIGNET)", där National Geodetic Survey, USA sköter insamling och beräkning av data från ett tiotal stationer. Onsala i Sverige, Tromsø i Norge och Wetzell i Tyskland ingår i detta nät.

Koordinatsystem

GPS-systemet använder sedan januari 1987 referenssystemet WGS-84 (World Geodetic System 1984), dvs den beräknade positionen för GPS-mottagarens antenn erhålles i koordinatsystemet WGS-84. I allmänhet är det nödvändigt att transformera de ur GPS-observationerna erhållna positionerna till det lokala referenssystem som användes i den avsedda tillämpningen.

Kostnader för GPS-mottagare

En L1-frekvensmottagare med datautgångar, som kan utföra pseudoavståndsmätning (kodmätning) kombinerad med bärvågsmätning på C/A-koden mot fyra-sex samtidiga satelliter, dvs en mottagare för navigering, kostar idag ca 5 000 USD. På marknaden finns det batteridrivna kod-mottagare utan datautgångar för mätning mot fyra samtidiga satelliter för ett pris på 2000 USD. När satellitsystemet är fullt utbyggt i mitten av 1990-talet kommer förmodligen en kraftig prissänkning att ske med målgrupper som t ex fritidsbåtsägare. Man kan komma att få en prisutveckling liknande den för räknedosor. Redan nu arbetar man med prototyper till fickburna mottagare för t ex fjällvandrare (prisläge 500 USD?). En L1-frekvensmottagare som kan utföra såväl kod- som bärvågsmätning kostar ca 35000 USD. En tillsats för mätning på L2-frekvensen till en sådan mottagare kostar ca 20000 USD.

Man kan idag köpa mottagare i form av kretskort för inbyggnad i system för navigering och positionering.

Kostnader och principer för tillgång till GPS-systemets signaler.

Trots att den primära målsättningen med GPS-systemet är att förse USAs försvarsmakt med globala noggranna väderoberoende och ögonblickliga navigations- och positioneringsmöjligheter är prototypsatelliternas signaler för närvarande (jan -91) helt tillgängliga för civila användare utan kostnad. I USAs Federala Radionavigeringsplan 1986 (FRP-86), som ges ut av försvarsdepartementet (DoD) i samarbete med transportdepartementet (DoT) redovisas en kortfattad officiell policy för tillgång till GPS-systemets signaler. Denna innebär i korthet att DoD avser att låta SPS-tjänsten vara tillgänglig för alla användare utan avgift, medan PPS-tjänsten kommer att vara tillgänglig i huvudsak endast för USAs och till USA allierade militära användare.

Användningsområden för GPS i Sverige

Några tänkbara användningsområden i Sverige för GPS är följande:

- Navigering på land, till sjöss och i luften med hjälp av dator och elektronisk karta. För privatbilister, fritidsbåtsskeppare, fjällvandrare etc kan utvecklingen av billiga GPS-mottagare bli intressant.
- Automatisk fordonslokalisering (AFL). Genom exempelvis digital radiokommunikation kan fordonen meddela sin position till trafik- eller transportledningens datorer, där informationen kan utnyttjas på olika sätt i olika tillämpningar, t ex:
 - + transportledning i företag med stora fordonsflottor eller andra behov av fordonslokalisering (lokal busstrafik, taxi, budfirmor etc)
 - + trafikstyrning för hårt belastade gatu- och vägnät
 - + skydd för chaufförer mot våld och stöld
 - + ledning av polis, brandkår och räddningstjänst
- Navigeringssystem för fartyg. Ersättning av Decca-systemet.
- Sjomätning för framställning av sjökort.
- Navigering vid flygbesprutning och skogsgödsling, för att erhålla jämn spridning
- Navigering vid flygfotografering. Genom att koppla en GPS-mottagare till flygkameran kan exponering i förutbestämda positioner utföras, vilket medför en effektivisering av den

efterföljande bearbetningen av flygbilderna. Om man också kan bestämma flygkamerans position med decimeternoggrannhet kan behovet av stödpunkter på marken för den fotogrammetriska bearbetningen minskas eller elimineras.

- Positionering av flygburna sensorplattformar (t ex videokamera vid geofysiska mätningar)
- Kollisionsvarningssystem för tåg. Genom att sända position, hastighet och rörelseriktning till trafikledningscentralen kan tåg som är på kollisionskurs varnas och stoppas.
- Styrning av väg- och skogsmaskiner.
- Statisk/kinematisk positionering för kartläggning, fastighetsregistrering, geotekniska undersökningar etc:
 - + komplettering och kontroll av stomnät
 - + nyproduktion av stomnät
 - + anslutningsmätning av enstaka fastigheter, omarronderingsprojekt etc
 - + punktförtätning (polygonisering)
 - + stödpunkter för fotogrammetrisk bearbetning
 - + specialmätningar (lokala noggranna nät)
 - + inmätning av utgångspunkter för tröghetsnavigering
 - + inmätning av ledningar
- Positionsbestämning i samband med raketuppskjutningar
- Flygnavigering i samband med svenska konsultuppdrag i utvecklingsländer där navigeringshjälpmedel saknas
- Vissa militära användningar:
 - + uppdatering av tröghetsnavigeringssystem på flygplan
 - + kollisionsvarningssystem för flygplan
 - + navigering vid ubåtsjakt och bestämning av fyndplatser
 - + positionsbestämning i samband med provskjutningar

GPS-verksamheten i Sverige - en kort tillbakablick.

På initiativ av Geodetiska institutionen vid KTH, Stockholm, bildades i februari 1985 en informell arbetsgrupp (den svenska GPS-gruppen) för diskussioner om GPS-tekniken och genomförande av samarbetsprojekt. I GPS-gruppens regi anlades ett svenskt testnät för GPS-observationer kring LMVs geodetiska observatorium i Mårtsbo, 11 km SO om Gävle. Under 1986 testades tre fabrikat av GPS-mottagare i detta nät. De erhållna resultaten visade att det var tekniskt möjligt att med GPS-teknik erhålla resultat som är jämförbara med de som erhålls med konventionell teknik se vidare (9).

Med finansiellt stöd från Alice och Knut Wallenbergs stiftelse, Forskningsrådsnämnden och lantmäteriverket anskaffades i juni 1987 tre GPS-mottagare av fabrikat Wild-Magnavox WM101 för statisk positionering. Under 1987-89 genomfördes ett antal

projekt, inom i huvudsak tillämpningsområdet etablering av lokala stornät, med de anskaffade utrustningarna för att bygga upp en kompetens. Några av LMVs erfarenheter och resultat från dessa mätningar redovisas i (6) och (2). KTHs erfarenheter redovisas i bl a (3) och (4).

För att informera om GPS-teknikens möjligheter, utveckling och nuläge har ett antal seminarier anordnats. I GPS-gruppens regi anordnade KTH det första svenska GPS-seminariet i jan 1986 med inbjudna föreläsare från Kanada, USA, England och Norge. LMV påbörjade en seminariereserie i nov 1987, i vilken hittills tre seminarier har genomförts och det fjärde är planerat till maj 1991. Varje seminarium har haft ett hundratal deltagare, vilket visar att det finns ett mycket stort intresse för GPS-tekniken i Sverige.

Under vintern 1988 genomförde Utvecklingsrådet för Landskapsinformation (ULI) i samarbete med GPS-gruppen en inventering och i viss mån prioritering av aktuella FoU-behov inom GPS-området, se (13).

Under vintern 1989 testades en ny generation av GPS-mottagare, Ashtech LXII och Trimble 4000ST, i det svenska testnätet för GPS-observationer. Utmärkande egenskaper för dessa mottagare är låg vikt (4-7 kg), liten effektförbrukning (10-16 W), mätning mot 8-11 simultana satelliter, lågt pris (ca 35 000 USD för L1-frekvensmottagare) och enkelt handhavande. Den nya generationen mottagare motsvarade de förväntningar som bl a LMV hade beträffande prisnivå, fältmässighet och användningsområden, se vidare (7).

Intresset för navigeringstillämpningar har sedan 1986 stadigt ökat i Sverige och under våren 1989 undertecknades avtalet för IT4-projektet GPS-satellitnavigering. I projektet ingår följande intressenter: Televerket, Försvarets Materielverk, Lantmäteriverket, Sjöfartsverket, Ericsson Radio Systems AB, Saab-Scania AB, FFV-koncernen och AB Volvo. Målsättningen är bl a att ge projektdeltagarna kunskaper, erfarenheter och förmåga att använda satellitmottagare ensamma och i kombination med olika rörelsesensorer vid navigering av skilda typer av farkoster (bil, båt och flyg/helikopter). Vidare skall ett förslag till nationellt nät av fasta referensstationer och distribution av korrektionsdata för relativ navigering tas fram. Under projektet, som beräknas vara avslutat i slutet av 1991, kommer referensstationer och fältmässiga experimentutrustningar att realiseras.

Den påbörjade uppskjutningen av Block II-satelliterna i februari 1989 och utvecklingen av den nya generationens GPS-mottagare under 1988/89 ökade drastiskt förutsättningarna för rutinmässig användning av GPS-tekniken vid t ex geodetisk stornätning. I dag använder t ex LMV GPS-teknik rutinmässigt för denna typ av tillämpningar i de fall det är lämpligt.

LMVs GPS-verksamhet

Under hösten 1986 utarbetade LMV en strategi för GPS-verksamheten under den kommande treårsperioden. Strategin innebar i korthet att LMV beslöt att bygga upp en kompetens inom GPS-området, att stödja FoU-verksamhet som skulle kunna klarlägga möjligheterna att använda GPS-tekniken inom Lantmäteriets verksamhetsområde samt att verka för att kunskap om GPS-tekniken sprids inom svensk mättningsverksamhet. Under 1989 anskaffade LMV tio GPS-mottagare av fabrikkatet Ashtech LXII, varav tre är L1/L2-frekvensmottagare. Ashtech-mottagaren är en all-round-mottagare, som kan användas både för noggrann geodetisk mätning och navigering/noggrann positionering vid flygfotografering. Vid LMV används mottagarna för geodetisk produktionsmätning, utvecklingsprojekt inom GPS-området och för deltagande i internationella GPS-projekt. En mottagare har periodvis varit placerad på Mårtsbo-observatoriet för att närmare studera förutsättningarna för nät av fasta referensstationer.

Som tidigare nämnts är användning av GPS-teknik för stommätning i dag ganska rutinemässig och genomförs till största delen i produktionsmiljö vid LMV. Med anledning av detta har vi påbörjat arbetet med att ta fram en "Guide för geodetisk stommätning med GPS" som i första hand skall innehålla riktlinjer för LMVs GPS-mätningar. På sikt kommer detta dokument att ingå i de "Allmänna råd i Mättnings- och Kartfrågor" (AMK), som håller på att utarbetas vid lantmäteriverket som en ersättning för nuvarande MK/TFA.

En annan GPS-tillämpning som är av stort intresse för LMV är flygfotografering. Målsättningen med användning av GPS vid flygfotografering är följande:

- att underlätta för piloten att följa den planerade sträckningen av flygfotostråket, dvs navigering
- att göra automatiska exponeringar i förutbestämda lägen
- att bestämma läget för kameran i exponeringsögonblicket.

Under 1989 och 1990 har försök genomförts. Sammanfattningsvis visar resultaten från dessa att GPS är ett bra hjälpmedel för att komma in på och hålla planerade flygstråk, och att det är fullt möjligt att låta ett GPS-baserat system utlösa kamerans slutare i förutbestämda lägen. Det krävs dock ytterligare metodutveckling och försöksverksamhet för att klarlägga förutsättningarna för noggrann bestämning av kamerans position i exponeringsögonblicket, se vidare (12). För 1991 planeras användning av GPS för navigering och utlösning av kamerans slutare under en längre period i ordinarie flygfotografering.

Dessutom genomför LMV eller deltar aktivt i följande FoU inom GPS-området:

- möjlighet att reducera jonosfärsrefraktionens inverkan på GPS-mätningar genom mätning på både L1- och L2-frekvenserna, se (2)
- möjlighet att minska observationstiden genom att använda pseudokinematisk mätning; samarbetsprojekt med Lunds tekniska högskola och Vägverket med finansiellt stöd från byggforskningsrådet (BFR), se (8)
- referensstationsgruppen inom projekt IT4-GPS som studerar förutsättningar för relativ navigering.
- CIGNET-stationen Onsala (en spårstation) drivs av Onsala rymdobservatorium i samarbete med LMV.
- möjligheterna att integrera GPS med tröghetspositionering.

Informationstjänst för GPS.

Information om GPS-systemet (uppbyggnadstakt, satellitstatus, etc) till civila användare förmedlas av USAs transportdepartement (Department of Transportation, DoT). För detta ändamål har DoT tillsammans med US Coast Guard (USCG) upprättat "Civil GPS Service Steering Committee" (GSSC) som för närvarande (jan -91) består av fem underkommittéer. Underkommittén "International Information and Communication", är avsedd som kontaktorgan mellan DoT och internationella användare och håller på att upprätta ett nät av "kontaktpunkter" (kontaktorganisationer), en från varje land. LMV är Sveriges representant i denna kommitté. På uppdrag av DoT har USCG inrättat ett civilt GPS-informationscenter (GPSIC) som är tillgängligt för alla användare och kan nås med PC+modem, fax eller telefon. För att underlätta distributionen av GPS-information planeras nationella GPS-informationscentra. För närvarande pågår en diskussion i underkommittén "International" om hur informationen till dessa nationella centra skall kunna distribueras på ett effektivt och billigt sätt. LMV planerar att tillhandahålla en "elektronisk anslagstavla" (Bulletin Board) för svenska GPS-användare inom kort.

Framtidsplaner

I utredningsprojektet Geodesi-90, som genomfördes under 1989 av LMV i samarbete med geodesiintressenter i Sverige, lämnas bl a följande förslag beträffande GPS under 90-talet:

- svensk geodetisk mättningsverksamhet inriktas på att utnyttja GPS-tekniken där detta är lämpligt ur teknisk och ekonomisk synpunkt
- ett nationellt referensnät i plan och höjd omfattande ett 50-tal punkter etableras för att i första hand underlätta anslutning till och förtätning av riksnätet i plan

- en försöksverksamhet med fyra fasta referensstationer genomförs under en treårsperiod för att få underlag för ett nationellt nät av fasta referensstationer; behoven inom navigeringsområdet bör beaktas och förutsättningarna för samordning undersökas
- utveckling av metoder för noggrann höjdanslutning vid lokal GPS-mätning och, på längre sikt, utveckla metoder för bestämning av en noggrann nationell geoid
- frågan om en noggrann bestämning av banddata för GPS-satelliterna för svenska behov studeras vidare; LMV skall härvid samverka med bl a Onsala rymdobservatorium och utländska organisationer.

LMV har inte beviljats de extra medel som söktes för att genomföra de ovan nämnda förslagen, vilket kan komma att påverka såväl tidplan som volymen på den föreslagna försöksverksamheten.

Slutord

Uppbyggnaden av GPS-systemet fortsätter i stort sett planerligt och beräknas vara slutförd i mitten av 1993. Redan idag används GPS-tekniken rutinmässigt vid t ex geodetisk stommätning som ett i många fall konkurrenskraftigt alternativ, beträffande kostnad, till konventionell teknik. Intresset för navigering med hjälp av GPS är idag stort i Sverige och exempelvis pågår fullskaleförsök med att använda GPS som navigeringshjälpmedel på Finlandsfärjorna. Ytterligare mottagar- och metodutveckling krävs för att GPS skall vara konkurrenskraftigt vid positionsbestämning med lägre noggrannhet (någon dm) och korta punktavstånd (mindre än någon km), t ex mätningar i samband med fastighetsbildning.

Referenser

- (1) Geodesi-90 - rapport från utredningsprojektet om geodesin i Sverige på 1990-talet, LMV-rapport 1990:1.
- (2) Hedling G, Jivall A-C and Jonsson B (1990): Results and experiences from GPS measurements 1987-1990 - SVENAV-87, local control networks and dual-frequency measurements, LMV-rapport 1990:10
- (3) Håkansson A (1987): GPS i Bjäre - mätning och beräkning av stomnät i Båstads kommun, ISBN 91-7170-908-8.
- (4) Håkansson A (1988): GPS vid ledningsprojektering - koordinatbestämning av stompunkter vid ledningsprojektering, projektrapport, Sydkraft.
- (5) Jivall A-C och Jakobsson L (1987): Mäta med GPS - beräkningsprogram samt detaljstudie och beräkningsexempel med PoPS, LMV-rapport 1987:18.
- (6) Jivall A-C och Olsson A (1989): GPS i samhällsmätningens tjänst, Sinus 1989:1.
- (7) Jivall A-C (1990): Test av Trimble 4000ST och Ashtech LXII i det svenska testnätet för GPS, Svensk Lantmäteritidskrift 1990:1, sid 24-31.
- (8) Jivall A-C och Ollvik L (1990): BFR-Projektet "Pseudo-kinematisk/kinematisk GPS-mätning för geodetiska tillämpningar" - lägesrapport för etapp 1, LMV-rapport 1990:13
- (9) Jonsson B (1987): Några erfarenheter av positionsbestämning med Global Positioning System (GPS), Svensk Lantmäteritidskrift 1987:1, sid 11-18.
- (10) Jonsson B (1988): Navigering med GPS, Nollpunkt-88, Malmö
- (11) Jonsson B (1988): Behövs ett svenskt nät av fasta referensstationer för GPS?, Norna-88, Strömstad
- (12) Ottoson L och Jonsson B (1990): Försök med GPS-teknik vid flygfotografering, LMV-rapport 1990:9
- (13) Program för GPS-verksamheten i Sverige - med tonvikt på stationär positionering; utarbetat av den svenska GPS-gruppen och Utvecklingsrådet för landskapsinformation (ULI), LMV-rapport 1988:19
- (14) Wells D E m fl (1986): Guide to GPS Positioning, Canadian GPS Associates, Fredericton, N B Canada.