

Undersökning av tjänster för differentiell GPS

Andreas Rönnberg

Gävle 2001

FÖRORD

Detta examensarbete avslutar undertecknads utbildning till ingenjör i kart- och mätningsteknik vid Högskolan i Gävle. Arbetet har utförts på samma ort vid Lantmäteriverkets division för landskaps- och fastighetsdata, utvecklingsenheten för geodesi.

Handledare vid Lantmäteriverket har varit Bo Jonsson och Daniel Johansson, medan Stig-Göran Mårtensson vid högskolan har fungerat som examinator.

Jag riktar ett stort tack till mina handledare, liksom övriga anställda på enheten, för ovärderlig hjälp med både praktiska och teoretiska frågor. Daniel Johansson förtjänar ett extra tack för hjälp med utrustning och för vägledning genom hela arbetet.

Tack också till Lars Jacobsson, Bengt-Åke Larsson och Hans Rosén på Sjöfartsverket i Norrköping, Thorbjörn Eriksson på Generic Mobile i Arboga och Anders Noreng på Fugro Seastar i Oslo.

Gävle den 11 juni 2001

Andreas Rönnberg

ABSTRACT

Rönnerberg, A. 2001. *Undersökning av tjänster för differentiell GPS* (Examination of services for differential GPS). Diploma work at the National Land Survey of Sweden, Geodetic Research Division.

In this paper, four services for differential GPS available in Sweden are examined. The services are Epos by Teracom, Mobipos by Generic Mobile, Omnistar by Fugro, and the DGPS radiobeacon service by the Swedish Maritime Administration. The main objective is to compare the accuracy, but reception conditions and overall reliability are studied as well. To some extent, degeneration of the positional accuracy with increasing distance from the reference station is also treated.

Seven test points were established on open ground with static, dual frequency, carrier phase observations. The positions of these points were computed in the Swedish reference frame SWEREF 93, which is connected to the global reference frame EUREF 89, by post-processing using the SWEPOS[®] network of reference stations.

Differential code measurements were then performed at these known points with corrections from the various services. To further study reception conditions the examination was supplemented by five tests in forested grounds where only precision was studied (no true positions were determined).

The results show an accuracy which is similar for all services, where an average position to 95 % deviate less than 0.9 metres horizontally and less than 1.5 metres vertically from the known position. Mobipos had a somewhat lower vertical accuracy than the other services, while the beacon service had a somewhat higher vertical accuracy. These values were obtained with a high quality GPS receiver with multipath mitigation and dual frequency smoothing.

Good reception conditions were observed for all services, although Mobipos had some problems to deliver corrections without temporary interruptions. Omnistar, broadcast via geostationary satellites, was sensitive to sight conditions, especially at high latitudes. For the beacon service, a maximum range over land of about 100 to 200 kilometres was estimated. It was also discovered that some beacons were equipped with 9 channel GPS receivers, which at one test point limited its use.

The degeneration of positional accuracy with increasing distance from the reference station was estimated to 28 centimetre per 100 kilometre. However, the value is not statistically significant as the mean error of the estimate is 35 centimetre.

SAMMANFATTNING

I detta arbete undersöks fyra olika tjänster för differentiell GPS tillgängliga i Sverige. Tjänsterna är Epos från Teracom, Mobipos från Generic Mobile, Omnistar från Fugro, samt Sjöfartsverkets DGPS-tjänst. Syftet är i första hand att jämföra tjänsternas noggrannhet, men även mottagningsförhållanden och tillförlitlighet i stort studeras. Till viss del behandlas även positionsnoggrannhetens försämring med ökande avstånd från referensstationen.

Sju testpunkter etablerades i öppet landskap med statisk bärvägsmätning på två frekvenser. Positionerna för dessa punkter beräknades i det svenska referenssystemet SWEREF 93, som är anslutet till det globala systemet EUREF 89, genom efterberäkning mot nätverket av referensstationer i SWEPOS[®].

Differentiell kodmätning utfördes sedan på de kända punkterna med korrekationer från de olika tjänsterna. För att ytterligare studera mottagningsförhållanden kompletterades undersökningen med fem tester i skogsmark där endast precision studerades.

Resultaten visar en noggrannhet som är ungefär likvärdig för alla tjänster, där en genomsnittlig position i 95 % av fallen avviker mindre än 0,9 meter i plan och mindre än 1,5 meter i höjd från den kända positionen. Mobipos gav något sämre resultat i höjd än övriga tjänster, medan Sjöfartsverkets DGPS-tjänst gav något bättre resultat i höjd. Dessa värden erhöles med en GPS-mottagare av hög kvalitet med multipath-filter och bärvägsunderstöd från två frekvenser.

Goda mottagningsförhållanden observerades för alla tjänster, även om Mobipos hade vissa problem med att leverera korrekationer utan tillfälliga avbrott. Omnistar, som sänds ut via geostationära satelliter, visade sig vara känslig för siktförhållanden, speciellt på höga latituder. För Sjöfartsverkets DGPS-tjänst kunde den maximala räckvidden över land uppskattas till cirka 100 till 200 kilometer. Vidare upptäcktes att vissa radiofyrrar var utrustade med 9-kanals GPS-mottagare, något som vid en testpunkt begränsade användningen.

Försämringen av positionsnoggrannheten med ökande avstånd från referensstationen uppskattades till 28 centimeter per 100 kilometer. Värdet är dock inte statistiskt signifikant eftersom medelfelet i skattningen är 35 centimeter.

INNEHÅLL

1 BAKGRUND.....	1
1.1 SYFTE MED ARBETET.....	1
1.2 DIFFERENTIELL GPS.....	1
1.3 TJÄNSTER FÖR DIFFERENTIELL GPS.....	2
1.3.1 Epos.....	2
1.3.2 Mobipos.....	4
1.3.3 Omnistar.....	5
1.3.4 Sjöfartsverkets DGPS-tjänst.....	7
2 METOD.....	9
2.1 TID.....	9
2.2 PLATS.....	10
2.2.1 Geografisk spridning.....	10
2.2.2 Terräng.....	11
2.3 TILLVÄGAGÅNGSSÄTT.....	12
2.3.1 GPS.....	12
2.3.2 Radio.....	12
2.3.3 Beräkning.....	13
3 UTRUSTNING.....	14
3.1 ALLMÄNT OM UTRUSTNING.....	14
3.2 GPS.....	14
3.3 RADIO.....	15
4 RESULTAT.....	18
4.1 DEFINITIONER.....	18
4.1.1 Baslinje.....	18
4.1.2 Ålder.....	18
4.1.3 Satelliter.....	19
4.1.4 PDOP.....	19
4.1.5 95 %.....	19
4.1.6 Noggrannhet.....	20
4.1.7 Precision.....	20
4.1.8 Riktighet.....	20
4.2 REDOVISNING AV RESULTAT.....	20
4.2.1 Valsund.....	21
4.2.2 Norrtulinge.....	22
4.2.3 Hättskär.....	23
4.2.4 Tibble.....	24
4.2.5 Selsjön.....	25
4.2.6 Storsandsjö.....	26
4.2.7 Rönnbäcken.....	27

4.3 SAMMANFATTNING AV RESULTAT.....	28
4.4 GRAFISK REDOVISNING FRÅN VALSUND	28
4.5 MÄTNINGAR I SKOGSMARK	32
5 SLUTSATSER	33
5.1 OM DGPS-TJÄNSTERNA.....	33
5.1.1 <i>Epos</i>	33
5.1.2 <i>Mobipos</i>	33
5.1.3 <i>Omnistar</i>	34
5.1.4 <i>Sjöfartsverkets DGPS-tjänst</i>	34
5.2 BASLINJELÄNGD OCH AVVIKELSE	35
5.3 OM UNDERSÖKNINGEN	36
REFERENSER	37

1 BAKGRUND

1.1 SYFTE MED ARBETET

Detta arbete syftar till att undersöka prestandan hos fyra olika tjänster för differentiell GPS tillgängliga i Sverige. De tjänster som studeras är Epos från Teracom, Mobipos från Generic Mobile, Omnistar från Fugro, samt Sjöfartsverkets DGPS-tjänst som även är användbar för landtillämpningar. I takt med att antalet tjänster ökat finns en efterfrågan på jämförande studier av denna typ, inte minst på grund av stora prisskillnader mellan tjänsterna.

Målsättningen har i första hand varit att undersöka noggrannheten hos tjänsterna, men även mottagningsförhållanden och tillförlitlighet i stort har studerats. De två sistnämnda faktorerna behandlas dock inte lika utförligt.

1.2 DIFFERENTIELL GPS

Efter att den avsiktliga störningen SA (Selective Availability) togs bort från GPS i maj 2000 är den i särklass största felkällan vid absolut kodmätning eliminerad. Undersökningar har visat en ökning av noggrannheten från cirka 50 meter i plan och 100 meter i höjd till bättre än 5 meter respektive 25 meter i 95 % av fallen (Lantmäteriverket 2000). Dessa värden gäller med en bra GPS-mottagare (Ash-tech Z-12) men utan jonosfärmodell. Med jonosfärskorrektion skulle avvikelserna i höjd troligen halveras.

Nästa steg mot högre noggrannhet är differentiell kodmätning, så kallad DGPS. Med denna metod kan fel i satellitklockor och utsända banddata elimineras helt och hållet, samtidigt som jonosfärens störning av satellitsignalen, den största felkällan efter SA, reduceras till ett minimum (Teracom 1999b). Övriga felkällor som främst är lokala och mottagarberoende kvarstår dock.

För differentiell GPS krävs en eller flera referensstationer med kända positioner. En referensstation består i princip av en GPS-mottagare som kontinuerligt mäter avståndet till alla tillgängliga GPS-satelliter genom kodmätning. Eftersom positionen för varje GPS-satellit är känd, genom de efemerider (banddata) som sänds ut av satelliterna, kan ett känt avstånd mellan referensstation och satellit beräknas. Det av GPS-mottagaren mätta avståndet kan sedan jämföras med det kända och en korrektion beräknas. Korrektionens storlek är vanligen några meter och den kan vara såväl positiv som negativ.

All positionering med GPS bygger på att avstånden till satelliterna mäts indirekt genom observationer av den tid det tagit för radiosignalen att färdas från satellit till mottagare. En position erhållen genom absolut kodmätning kan förbättras avsevärt genom att korrektioner appliceras på de mätta avstånden. Korrektionerna sänds då ut till exempel via radio och kan mottas av användaren inom några se-

kunder efter att de beräknats vid referensstationen. Korrektionerna sänds vanligen ut i formatet RTCM SC-104 version 2.2 – ett standardiserat format som utarbetats av Radio Technical Commission for Maritime Services Special Committee 104 (Radionavigeringsnämnden 2000:42).

RTCM-formatet är kompatibelt med så gott som alla GPS-mottagare. Det förekommer dock flera olika typer av meddelanden, varav två innehåller korrektioner för GPS: typ 1 innehåller korrektioner för alla vid referensstationen tillgängliga satelliter, medan typ 9 innehåller korrektioner för en delmängd av de tillgängliga satelliterna, vanligen tre. Det krävs alltså flera meddelanden av typ 9 innan korrektioner för alla tillgängliga satelliter erhålls. I dessa meddelanden finns bland annat information om korrektionernas storlek, den hastighet med vilken korrektionerna förändras, samt tiden då korrektionerna beräknades.

Ett annat viktigt RTCM-meddelande är typ 3 som innehåller data om referensstationens position. Med hjälp av denna information kan vissa GPS-mottagare kompensera för avståndet mellan användare och referensstation (baslinjens längd) utifrån skillnaden i vinklar mot GPS-satelliterna.

Ofta görs en integritetstest där kvaliteten hos de utsända korrektionerna kontrolleras. En GPS-mottagare på känd position använder då korrektionerna för att kontinuerligt beräkna en position genom differentiell kodmätning. Om den beräknade positionens avvikelse från den kända överstiger ett visst gränsvärde sänds antingen ett varningsmeddelande ut till användarna, eller också tas korrektioner från en annan referensstation.

1.3 TJÄNSTER FÖR DIFFERENTIELL GPS

Det finns flera olika tjänster för differentiell GPS tillgängliga i Sverige. Förutom de fyra tjänster som undersöks i detta arbete finns Försvarsmaktens eget system LuLIS (Luftlägesinformationssystem) samt satellittjänsten Landstar från amerikanska Racal. Den europeiska satellittjänsten EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay) befinner sig än så länge i en testfas (Engfeldt & Jivall 2000:27).

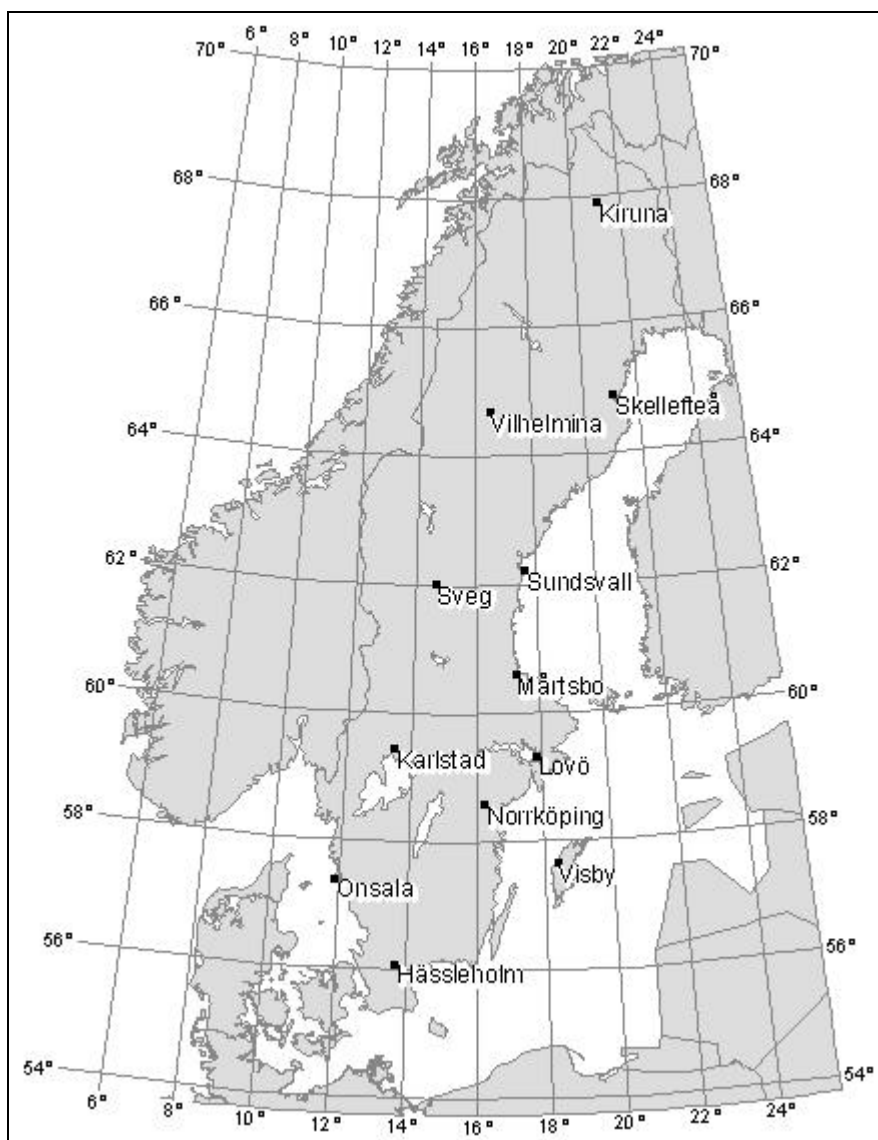
Epos, Mobipos, Omnistar och Sjöfartsverkets DGPS-tjänst beskrivs mer detaljerat nedan. De data som presenteras gällde i maj 2001.

1.3.1 Epos

Epos drivs av svenska Teracom. Tjänsten kräver abonnemang och kostar 6000 kronor per år exklusive moms. DGPS-korrektioner sänds ut via RDS på Sveriges Radios P3 och P4 och kan tas emot överallt där man kan höra dessa kanaler i stereo. RDS (Radio Data System) är en underbärvågskanal på FM-bandet avsedd för digital dataöverföring och har en nettoöverföringshastighet på cirka 400 bitar per sekund (Teracom 1999a:13).

Epos använder data från tolv referensstationer i Lantmäteriverkets nätverk SWEPOS[®] (se figur 1.1). Data från stationerna når via fasta ledningar SWEPOS

driftledningscentral vid Lantmäteriverket i Gävle. Integriteten kontrolleras där genom att positionen för varje station kontinuerligt beräknas med DGPS-korrekationer från en närliggande station. Den beräknade positionens avvikelse från stationens kända position får då inte överstiga ett visst gränsvärde.

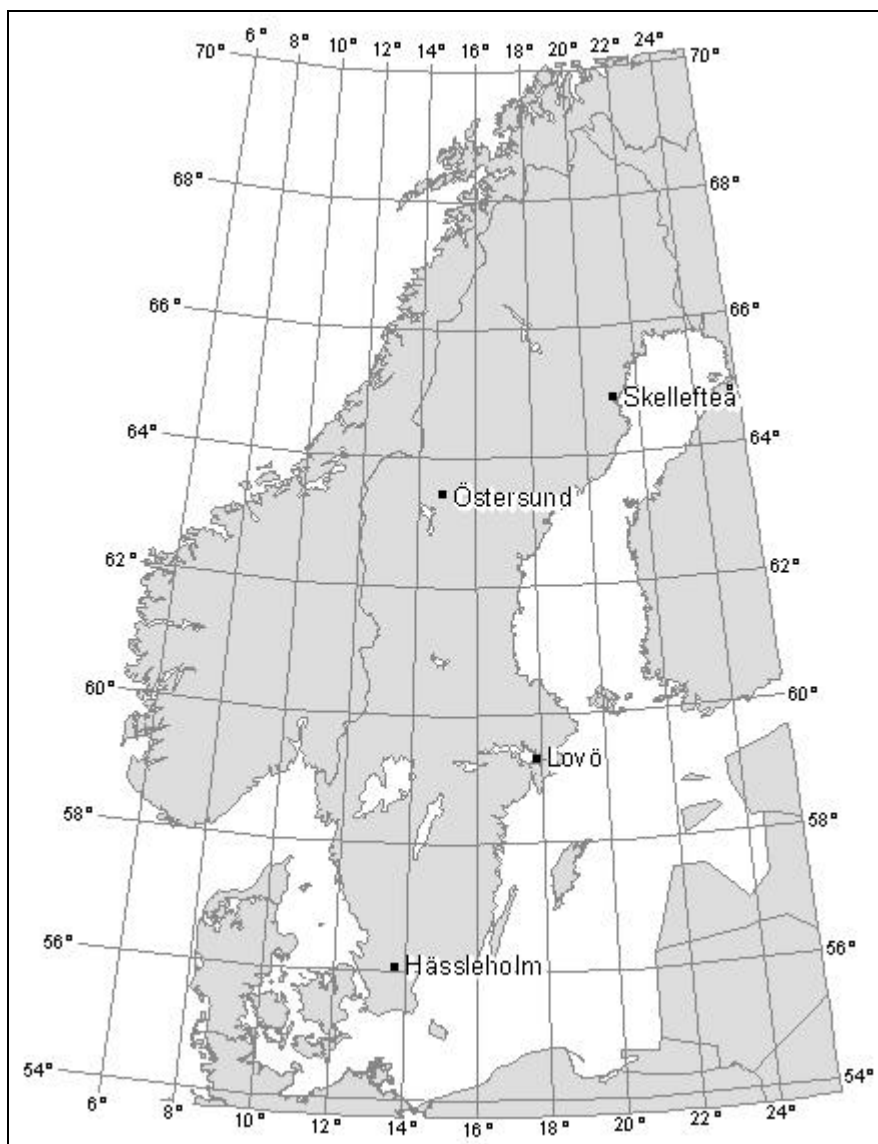


Figur 1.1 Kartan visar de tolv av Lantmäteriverkets SWEPOS-stationer som levererar data till Teracoms DGPS-tjänst Epos.

De kontrollerade korrektionerna sänds sedan av Teracom, via Kaknästornet i Stockholm, ut över det rikstäckande nätet av FM-sändare. Varje sändare levererar korrektioner från den närmast belägna referensstationen i formatet RTCM SC-104 version 2.2, meddelandetyp 1 eller 9.

Vid de tolv stationer som levererar data till Epos sker även kontroll av utsända korrekationer. Dessa tas emot i stationen via radio och skickas till driftledningscentralen där de kontrolleras som ovan. På detta sätt fås en mycket god kontroll av alla steg i dataflödet.

1.3.2 Mobipos



Figur 1.2 Kartan visar de fyra av Lantmäteriverkets SWEPOS-stationer som levererar data till Generic Mobiles DGPS-tjänst Mobipos.

Mobipos drivs av svenska Generic Mobile. Tjänsten kräver abonnemang och kostar 1200 kronor per år exklusive moms. Tjänsten liknar Epos, men DGPS-korrekationer sänds ut via DARC på Sveriges Radios P3. DARC (DATA Radio

Channel) är liksom RDS en underbärvägskanal på FM-bandet avsedd för digital dataöverföring, men med en betydligt högre nettoöverföringshastighet på cirka 6800 till 9800 bitar per sekund (Teracom 1999a:14).

Mobipos använder data från fyra av Lantmäteriverkets SWEPOS-stationer (se figur 1.2). Data från stationerna når via fasta ledningar SWEPOS driftledningscentral vid Lantmäteriverket i Gävle. Integriteten kontrolleras där genom att positionen för varje station kontinuerligt beräknas utifrån rådata och DGPS-korrekationer från en närliggande station. Den beräknade positionens avvikelse från stationens sanna position får då inte överstiga ett visst gränsvärde.

De kontrollerade korrektionerna skickas sedan till Generic Mobile där man bestämmer vilka FM-sändare de olika korrektionerna skall gå ut över. De sänds sedan via Kaknästornet i Stockholm ut över Teracoms rikstäckande nät av FM-sändare. De utsända korrektionerna är i formatet RTCM SC-104 version 2.2, meddelandetyp 1 (Generic Mobile 2001). Troligen sänder man även ut meddelandetyp 3.

1.3.3 Omnistar

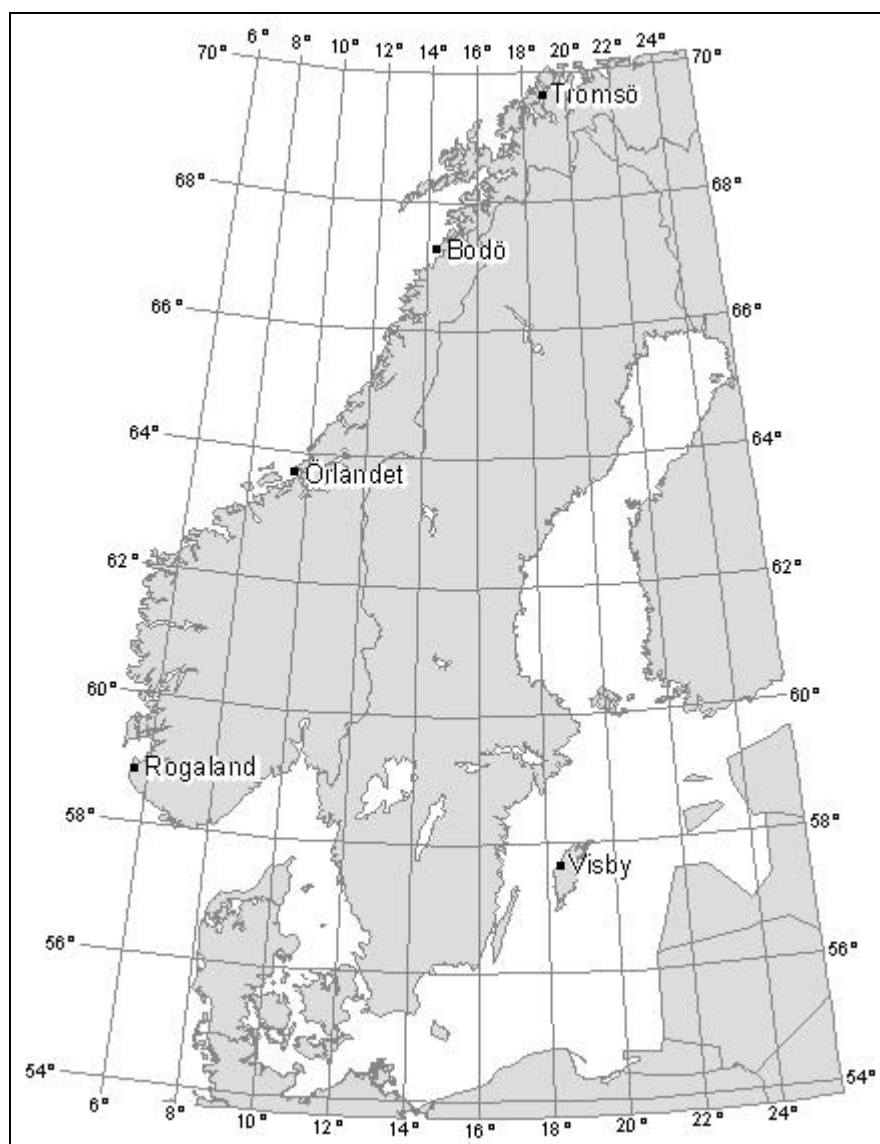
Omnistar drivs av multinationella Fugro och är begränsad till användning på land. Tjänsten kräver abonnemang och kostar för regional användning cirka 11500 kronor per år exklusive moms. DGPS-korrekationer sänds ut via geostationära satelliter som tillsammans täcker en stor del av världen. Data från cirka 80 referensstationer når via fasta ledningar länkstationer där de kontrolleras och komprimeras innan de sänds vidare upp till satelliterna (Fugro 1999). Varje satellit förmedlar data från valda referensstationer inom respektive satellits täckningsområde och ut-sändningen sker i mikrovågsområdet på L-bandet.

Europa täcks helt av satelliten EMS som ligger över ekvatorn på latituden $16^{\circ} 24'$ ost och har en överföringshastighet på 1200 bitar per sekund. Inom Sverige varierar elevationsvinkeln mot EMS från cirka 12° i norr till cirka 27° i söder medan azimuthen överallt avviker mindre än 9° från syd. Den låga elevationsvinkeln i norr kan vara ett problem eftersom god mottagning i princip kräver fri sikt mellan satellit och antenn. EMS förmedlar data från 17 referensstationer inom täckningsområdet, varav Lantmäteriverkets SWEPOS-station i Visby är den enda som ligger inom Sverige (Fugro 2001b:38) (se figur 1.3).

En användare av Omnistar har alltså tillgång till korrekationer från flera referensstationer med relativt stor geografisk spridning. Storleken på dessa korrekationer kommer att variera något, framförallt på grund av att atmosfären inte är identisk vid varje station. Med hjälp av en atmosfärsmodell kan emellertid korrektionerna anpassas för användarens position, och genom att sedan väga korrektionerna i förhållande till baslinjernas längd fås slutligen en korrekktion som är optimerad för användarens position (Fugro 1999).

Dessa beräkningar görs automatiskt av den speciella mottagaren för Omnistar, som även övervakar korrektionernas kvalitet (Fugro 2001a). För att systemet skall fungera behöver dock mottagaren en ungefärlig position för användaren. Denna position kan matas in manuellt och tas från till exempel en karta, vilket kan

fungera bra vid mätning inom begränsade områden (några hundra kvadratkilometer). För mätning inom större områden, samt för mobila tillämpningar, krävs dock automatisk uppdatering av positionen.

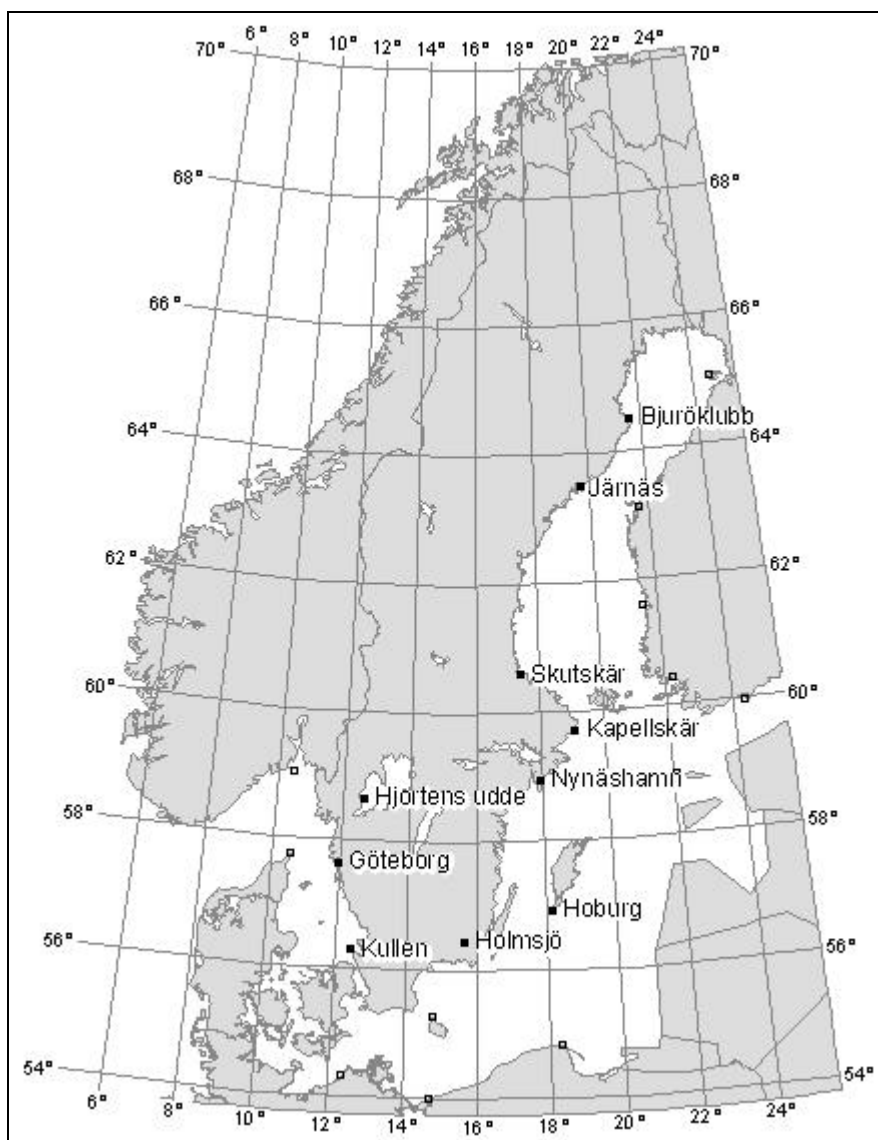


Figur 1.3 Kartan visar fem av de referensstationer som levererar data till Fugros DGPS-tjänst Omnistar. Övriga stationer befinner sig utanför det område som visas.

Det enklaste sättet att uppfylla detta är genom integrering med en GPS-mottagare. GPS-mottagaren kan då med absolut kodmätning beräkna en ungefärlig position som skickas till Omnistar-mottagaren i formatet NMEA 0183 version 2.1 – en standard utarbetad av National Marine Electronics Association (Fugro 2001b:32). Sådana integrerade system säljs både av Omnistar och av vissa tillverkare av GPS-mottagare. Eftersom både Omnistar och GPS sänder på L-bandet kan ofta en

kombinerad antenn användas. Man kan också använda Omnistar tillsammans med en separat GPS-mottagare.

1.3.4 Sjöfartsverkets DGPS-tjänst



Figur 1.4 Kartan visar Sjöfartsverkets tio referensstationer för DGPS. Utländska stationer i Sveriges närhet, utom de längs Danmarks och Norges västkust, visas som ofyllda kvadrater.

Sjöfartsverkets DGPS-tjänst bekostas av den internationella sjöfarten genom farledsavgifter och kräver därför inget abonnemang. Tjänsten följer internationella rekommendationer fastställda av IALA (International Association of Lighthouse Authorities) och liknande tjänster finns tillgängliga i en stor del av världens far-

vatten. DGPS-korrekationer sänd ut på långvåg från vissa radiofyrrar längs kusterna i formatet RTCM SC-104 version 2.2, meddelandetyyp 9. Även meddelandetyyp 3 sänds ut.

Sjöfartsverket driver tio stationer som tillsammans täcker alla svenska farvatten (se figur 1.4). Eftersom tjänsten följer internationella rekommendationer uppnås tillsammans med omkringliggande länder dessutom dubbel täckning, med undantag av vissa inre vattenvägar. Varje station utgör en självständig enhet som både beräknar, kontrollerar och sänder ut korrekationer. Utsända korrekationer kontrolleras kontinuerligt genom att de används för att beräkna stationens position. Om den beräknade positionen avviker mer än 8 meter från stationens kända position sänds ett varningsmeddelande ut till användarna (Sjöfartsverket 2001a).

Överföringshastigheten för de svenska stationerna ligger på 200 bitar per sekund, men kommer att halveras till 100 bitar per sekund då en ny frekvensplan för europeiska radiofyrrar införs, troligen under andra halvåret 2001 (Sjöfartsverket 2001b). En sänkning av överföringshastigheten kommer att öka stationernas räckvidd eftersom signal/brus-förhållandet förbättras.

Räckvidden för stationerna varierar men brukar uppges till runt 200 kilometer över vatten (Radionavigeringsnämnden 2000:88). Om man kan godta en låg signalstyrka är dock räckvidden i många fall betydligt större. Över land når inte signalen lika långt, men resultat från detta arbete indikerar ändå en räckvidd på 100 till 200 kilometer med bra radioutrustning. Räckvidden är till stor del beroende av terrängen och minskar i starkt kuperade landskap. Dessutom kan räckvidden påverkas bland annat av rådande väderförhållanden.

2 METOD

Varje undersökning genomförs i en tredimensionell kontext. De variabler som måste beaktas är tid, plats och tillvägagångssätt – det vill säga när, var och hur undersökningen genomförs.

2.1 TID

För helt jämförbara resultat borde egentligen de fyra DGPS-tjänsterna testas samtidigt. Detta beror främst på att satellitgeometri och följaktligen PDOP (Position Dilution Of Precision – ett teoretiskt mått på GPS-positionens kvalitet) varierar över tid. En samtidig test skulle dock kräva fyra identiska GPS-mottagare, något som inte var praktiskt genomförbart. En alternativ metod där tjänsterna testades i sekvens fick därför utvecklas.

Analys av satellitkonfigurationen med hjälp av programmet Quick Plan 2.35 från amerikanska Trimble visade mycket bra förhållanden under den aktuella perioden från sen förmiddag till tidig eftermiddag om en elevationsmask på 10° användes. Under denna tid på dygnet var antalet satelliter hela tiden minst 6 samtidigt som PDOP låg under 3 och inte uppvisade några stora förändringar. Eftersom antalet operativa satelliter ständigt förändras gjordes före varje dags mätning en ny analys med uppdaterad satellitalmanacka.

Tjänsterna kom alltså att testas i sekvens under den gynnsamma tiden på dagen. Varje mätning pågick i 15 minuter och positionsdata lagrades varje sekund vilket gav cirka 900 observationer. Dessutom upprepades sekvensen så att tjänsterna testades två gånger på varje punkt med 1 ½ till 2 timmars mellanrum. Positionsdata från de två mätningarna slogs sedan ihop till en datafil med cirka 1800 observationer ur vilken resultaten beräknades. Tillsammans med ett lämpligt antal testpunkter bedömdes denna metod vara tillräckligt tillförlitlig för jämförbara resultat.

Fördelen med denna metod, jämfört med oavbruten mätning under 30 minuter, är att eventuella skillnader i resultat till följd av satellitkonfiguration och andra variationer över tid reduceras. På samma sätt fås också ett resultat som är mer representativt för vad man kan vänta sig vid praktisk mätning. Metoden är alltså en mer tidseffektiv variant av att mäta under flera timmar.

2.2 PLATS

2.2.1 Geografisk spridning

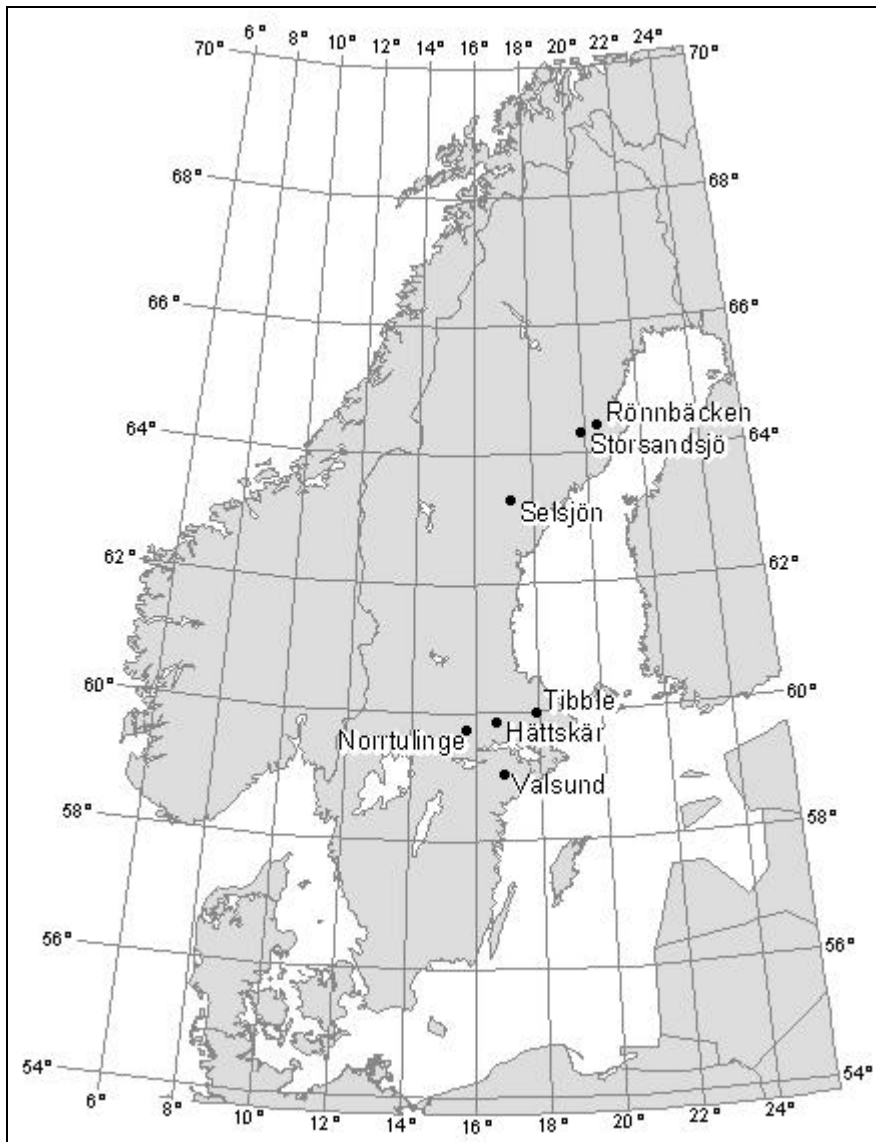
Testpunkter valdes så att avståndet till närmaste referensstation för Epos, Mobipos och Sjöfartsverkets DGPS-tjänst blev ungefär lika. Anledningen till detta är främst skillnader i atmosfärsförhållanden och vinklar mot GPS-satelliterna vid användarens och referensstationens position. Detta gör att korrektionernas giltighet avtar med avståndet från referensstationen, och för jämförbara resultaten krävs därför likartade baslinjelängder. Detta gäller dock inte Omnistar som använder ett nätverkskoncept och som därför inte behövde beaktas vid valet av testpunkter.

Hur snabbt den differentiella positionen försämras med avståndet från referensstationen är svårt att avgöra, men troligen rör det sig om någon eller några decimeter per 100 kilometer (jämför avsnitt 5.2). Med tanke på noggrannheten för inmätningen av testpunkterna (se avsnitt 2.3.3) bedömdes därför en avståndsskillnad på några kilometer godtagbar. Denna marginal var dessutom nödvändig eftersom de beräknade testpunkterna sällan var praktiskt möjliga att mäta på

För att lokalisera testpunkterna användes programmet TNT Lite från amerikanska Microimages. Vektorlager med de fyra DGPS-tjänsternas referensstationer skapades från koordinatlistor med positioner i ett globalt referenssystem. Dessa presenterades sedan i det nationella koordinatsystemet RT 90 mot bakgrund av en vektorkarta över det aktuella området. Koordinater för sju lämpliga testpunkter beräknades därefter direkt i projektionsplanet (se figur 2.1).

Den genomsnittliga baslinjelängden vid dessa punkter kom att variera mellan 60 och 131 kilometer. Variationen gav framförallt en möjlighet att undersöka hur mottagningen av Sjöfartsverkets DGPS-tjänst försvåras med ökat avstånd från radiofyrrarna, men också hur den differentiella positionen försämras med ökat avstånd från referensstationen (se avsnitt 5.2). Den senare frågeställningen ingick dock inte i arbetets syfte och bör snarare betraktas som en biprodukt av undersökningen.

Spridningen inom landet blev också relativt stor vilket ökar undersökningens värde. Möjligheten att använda Sjöfartsverkets DGPS-tjänst påverkas nämligen också av terrängens utseende och det var därför intressant med testpunkter både i Svealands lågland och i Norrlands kuperade terräng. Dessutom varierar räckvidden mellan olika radiofyrrar. På högre latituder sätts också Omnistar på prov, då elevationsvinkeln minskar vilket ökar känsligheten för sikthinder.



Figur 2.1 Kartan visar de sju testpunkter där mätningar med DGPS-tjänsterna utfördes. I närheten av alla punkter utom Valsund och Selsjön gjordes även tester i skogsmark.

2.2.2 Terräng

För att testa noggrannheten hos tjänsterna bör mottagningsförhållanden för både GPS och radio vara så goda som möjligt. Koordinaterna för testpunkterna lokaliserades därför på ekonomiska kartan och justerades så att de hamnade i öppet jordbrukslandskap. Denna terrängtyp förekommer i hela landet och medger fri sikt och goda mottagningsförhållanden med liten risk för flervägsfel (reflexion av radiosignaler). Genom att varje testpunkt etableras i samma terrängtyp blir även resultaten från olika punkter delvis jämförbara.

Även vid mätning i öppen terräng fås en ganska god uppfattning om mottagningsförhållanden – om hur bra tjänsterna täcker platsen i fråga och hur stor inverkan en eventuell sämre täckning får på resultatet. För att ytterligare testa dessa faktorer gjordes i direkt anslutning till fem av de primära testpunkterna även mätningar i svårare terräng. Valsund och Selsjön fick här uteslutas på grund av lång resväg.

Utrustningen transporterades upp till några kilometer från den primära punkten och en ny uppställning gjordes i skogsmark. Vid dessa punkter studerades endast precision och sekvensen av mätningar upprepades ej. Meningen med dessa mätningar var att på ett realistiskt sätt testa de olika tjänsternas prestanda under svårare förhållanden, främst med avseende på mottagning.

2.3 TILLVÄGAGÅNGSSÄTT

2.3.1 GPS

För att uppskatta noggrannhet behövs någon form av referens. Denna referens bör vara bestämd med en metod vars noggrannhet är mycket större än hos den metod man vill testa. Differentiell kodmätning i realtid är en metod med relativt låg noggrannhet på meternivå. En lämplig referens är då statisk bärvägsmätning med efterberäkning som tillåter positionering på centimeternivå.

En GPS-mottagare konfigurerad för statisk bärvägsmätning fick vara igång under tiden de övriga mätningarna pågick, vilket gav observationstider på 3 ½ till 4 ¼ timmar. Elevationsmasken sattes till 10° och rådata lagrades med 15 sekunders intervall.

Under tiden utfördes med en annan GPS-mottagare differentiell kodmätning med korrektioner från de olika DGPS-tjänsterna. Elevationsmasken sattes även här till 10° men positionsdata lagrades varje sekund. Den maximala åldern på korrektioner sattes till 20 sekunder. Om denna ålder överskreds förkastades observationen och ersattes med en ny genom att mättiden förlängdes. Som en jämförelse mättes även absolut (utan korrektioner).

De två GPS-mottagarna använde en gemensam antenn och mätpunkterna markerades tillfälligt med träpålar.

2.3.2 Radio

Radiomottagarna för Epos, Mobipos och Sjöfartsverkets DGPS-tjänst ställdes in på den frekvens som gav starkast signal och som samtidigt levererade korrektioner från rätt referensstation (den närmast belägna, se avsnitt 2.2.1). Täckningskartor och frekvenslistor över FM-nät och radiofyror användes för att i förväg uppskatta lämpliga frekvenser. Automatisk genomsökning av frekvensområden användes ej på grund av risken för korrektioner från fel referensstation.

Mottagaren för Omnistar krävde ingen justering av frekvens eftersom samma satellit täcker hela området. Däremot tillämpades manuell inmatning av den unge-

färliga position som krävs för beräkning av optimerade korrektioner. Anledningen till detta var problem med överföringen av NMEA-data från GPS-mottagaren till mottagaren för Omnistar. På grund av ett misstag var inte korrektionerna från Omnistar optimerade vid två testpunkter (Tibble och Hättskär) och mätningarna med denna tjänst fick göras om några dagar senare.

2.3.3 Beräkning

Vid efterberäkning av positioner från statisk bärvågsmätning användes Lantmäteriverkets internet-baserade beräkningstjänst (för mer information besök SWEPOS hemsida på <http://www.swepos.com>). Tvåfrekvensdata i RINEX-format (Receiver INdependent EXchange format) skickades till beräkningstjänsten med FTP och resultat i form av textfiler med koordinater och kvalitetstal erhöles via e-post inom några minuter. Enligt tidigare studier bör dessa positioner ha centimeternoggrannhet både i plan och i höjd (Kempe 2001).

Eftersom de två GPS-mottagarna använde en gemensam antenn blev en position erhållen genom differentiell kodmätning direkt jämförbar med den efterberäknade positionen. Vid de ommätningar som gjordes med Omnistar låg felen i centrerings och antennhöjd på millimeternivå och innan beräkning korrigerades positionsdata för skillnaden i antennhöjd. De olika tjänsterna kunde sedan jämföras genom studium av de kvalitetstal som beräknades (se kapitel 4).

Den efterberäknade positionen erhöles i det svenska referenssystemet SWEREF 93 som realiseras av Lantmäteriverkets nätverk av SWEPOS-stationer. Detta system är i sin tur anslutet till det globala referenssystemet EUREF 89. Korrektioner från Epos och Mobipos fås alltså i SWEREF 93, liksom korrektioner från Sjöfartsverkets DGPS-tjänst eftersom radiofyrarna är positionsbestämda relativt SWEPOS.

Referensstationerna för Omnistar har dock inget enhetligt referenssystem. Korrektioner från stationen i Visby ges naturligtvis i SWEREF 93, men från övriga stationer ges de i olika versioner och epoker av något globalt referenssystem. Skillnaden mellan de olika globala systemen (högst 2 till 3 decimeter) är dock relativt liten i jämförelse med noggrannheten hos differentiell GPS och ingen hänsyn togs därför till tjänsternas skilda referenssystem. Det fanns heller ingen möjlighet att göra detta.

3 UTRUSTNING

3.1 ALLMÄNT OM UTRUSTNING

Prestandan hos de fyra DGPS-tjänsterna kan naturligtvis bara jämföras om de ges samma tekniska förutsättningar. Kvaliteten hos radioutrustningen för respektive DGPS-tjänst, speciellt kvaliteten hos antennerna, kan ha stor inverkan på resultatet. Att testa tjänsterna med olika radioutrustningar faller dock utanför ramen för detta arbete. De antenner som användes var dock genomgående av hög kvalitet och gav på alla lokaler god signalkvalitet.

Vid mätning var all utrustning utom antenner placerade i en bil av kombimodell. För att få så god signalkvalitet som möjligt monterades de tre radioantennerna på ett gemensamt 2 till 3 meter högt teleskopstativ några meter från bilen. Eftersom de ej användes samtidigt fanns ingen risk för inbördes störning. GPS-antennen monterades med trefot på ett cirka 1 ½ meter högt stativ 10 till 20 meter från bilen för att undvika flervägsfel genom reflexer i kaross och vindrutor.

3.2 GPS

För att med statisk bärvågsmätning bestämma positionen för testpunkterna användes GPS-mottagaren Z-12 från amerikanska Ashtech (se figur 3.1). Denna mottagare är av mycket hög kvalitet och kan mäta både kod och bärvåg på två frekvenser från upp till tolv satelliter (Magellan 2000b). Rådata lagrades i mottagarens interna minne och alla inställningar gjordes direkt via en inbyggd display med menysystem. För att överföra rådatafilerna till en dator, samt för att konvertera filerna till RINEX-format för efterberäkning, användes programmet Receiver Communication Software 3.2 från Ashtech.



Figur 3.1 Ashtech Z-12 som användes för statisk bärvågsmätning. Efter Magellan 2000b.

För differentiell kodmätning med de olika DGPS-tjänsterna användes GPS-mottagaren Z-Surveyor från Ashtech (se figur 3.2). Denna mottagare är en modernare och mer fältmässig efterträdare till Z-12 och kan liksom denna mäta både kod och bärvåg på två frekvenser från upp till tolv satelliter.

Mottagaren är dessutom utrustad med multipath-filter och använder vid kodmätning bärvågsunderstöd från två frekvenser (Magellan 2000a). Multipath-filtret minskar inverkan av eventuella flervägsfel, medan bärvågsunderstödet ökar precisionen vid kodmätning. Huruvida mottagaren vid differentiell kodmätning kan utnyttja RTCM-meddelande typ 3 för att kompensera för baslinjens längd är tyvärr osäkert.



Figur 3.2 Ashtech Z-Surveyor som användes för differentiell kodmätning. Efter Magellan 2000a.

Positionsdata i NMEA-format (GGA och POS – två typer av NMEA-meddelanden med något olika informationsinnehåll) lagrades på en bärbar dator med hjälp av programmet Ashtech Evaluate 5.1. Detta program användes också för att övervaka mätningarna och för att beräkna resultaten. Alla inställningar av mottagaren gjordes med Receiver Communication Software 3.2.

De två GPS-mottagarna använde en gemensam antenn av typen Ashtech Marine 700700 B som är anpassad för två frekvenser.

3.3 RADIO

För att ta emot korrekationer från Epos användes RDS-mottagaren RXMAR 1 från franska Aztec Radiomedia (se figur 3.3). Mottagaren är mycket kompakt, väger endast 150 gram och strömförsörjdes via GPS-mottagaren. Alla inställningar av mottagaren gjordes med programmet RTCM Win 3.2 där man bland annat har möjlighet att justera överföringshastighet och frekvens, samt avläsa signalstyrka. Man kan antingen ställa in frekvensen manuellt genom att definiera en lista med frekvenser, eller låta mottagaren söka igenom hela frekvensområdet automatiskt. Mottagaren har en grön och en röd lysdiod som indikerar mottagningsförhållanden och eventuella fel.



Figur 3.3 RDS-mottagaren RXMAR 1 som användes för Epos. Efter Aztec Radiomedia 2001.

För Mobipos användes DARC-mottagaren DRB-3000 från svenska Sectra (se figur 3.4). Även denna mottagare är mycket kompakt, väger endast 100 gram och strömförsörjdes via GPS-mottagaren. Alla inställningar av mottagaren gjordes med programmet Mobile Net Client 2.01 där man har möjlighet att justera överföringshastighet och frekvens, samt avläsa signalstyrka. Man kan antingen ställa in frekvensen manuellt eller låta mottagaren söka igenom hela frekvensområdet automatiskt. Mottagaren har en grön lysdiod som indikerar mottagningsförhållanden och som skiftar till rött sken vid eventuella fel.

Till både Epos och Mobipos användes en rundstrålande dipolantenn av beprövad modell. Denna antenn består av två omvikta cirka 75 centimeter långa element som formats till en cirkel med en diameter på cirka 50 centimeter.



Figur 3.4 DARC-mottagaren DRB-3000 som användes för Mobipos. Efter Sectra 2001.

För Omnistar användes L-bandsmottagaren 3000 LR från Fugro (se figur 3.5). Mottagaren är betydligt större än ovanstående, väger cirka 1500 gram och har yttre strömförsörjning (12 volt). Detta är den enda radiomottagaren i testet där alla inställningar kan göras direkt via en inbyggd display med menysystem. Man kan

bland annat justera överföringshastighet och frekvens, samt avläsa signalstyrka. En antenn med inbyggt interdigitalfilter användes. Filtret är av bandpass-typ och släpper endast igenom signaler inom ett visst frekvensområde, vilket minskar risken för störningar.



Figur 3.5 L-bandmottagaren 3000 LR som användes för Omnistar. I bakgrunden syns en antenn av något annorlunda modell. Efter Fugro 2001a.

För Sjöfartsverkets DGPS-tjänst användes långvågsmottagaren Navbeacon XL från Trimble (se figur 3.6). Mottagaren är något mindre än ovanstående, väger cirka 1100 gram och har yttre strömförsörjning (12 volt). Överföringshastighet ställdes in direkt på mottagaren, men övriga inställningar gjordes via medföljande programvara där man bland annat har möjlighet att justera frekvens, samt avläsa signalstyrka och signal/brus-nivå. Man kan antingen ställa in frekvensen manuellt genom att definiera en lista med frekvenser, eller låta mottagaren söka igenom hela frekvensområdet automatiskt. Mottagaren har en gul lysdiod som indikerar låsning mot en radiofyr. En loop-antenn av H-fälttyp användes, vilket anses ge den bästa mottagningen.



Figur 3.6 Långvågsmottagaren Navbeacon XL som användes för Sjöfartsverkets DGPS-tjänst. I bakgrunden syns antennen. Efter Trimble 1998.

4 RESULTAT

4.1 DEFINITIONER

I avsnitt 4.2 redovisas resultaten från mätningar på de sju testpunkterna i tabellform med kommentarer. Under varje tabell finns också ett diagram som åskådliggör värdet 95 % (se avsnitt 4.1.5) i plan och i höjd. I diagrammen har avvikelsen i höjd vid absolut mätning uteslutits av praktiska skäl.

Överst i varje tabell anges ort och kommun för testpunkten, samt det datum då mätningarna genomfördes. Därefter anges punktens ungefärliga position i ett globalt referenssystem (SWEREF 93). Höjden är dock angiven i meter över havet (egentligen över geoiden i Rikets höjdsystem RH 70 via geoidhöjdssystemet SWEN 98 L).

Därefter redovisas fakta som är viktiga för att bedöma förutsättningarna för respektive DGPS-tjänst (baslinje, ålder, satelliter och PDOP), följt av resultat i plan och i höjd (95 %, noggrannhet, precision och riktighet). Anledningen till att resultaten i plan och i höjd skilts åt är att kvaliteten hos dessa är mycket olika, samt att många användare enbart är intresserade av en plan position. De storheter som redovisas i tabellerna kräver en närmare förklaring vilken ges nedan.

4.1.1 Baslinje

Baslinjen är avståndet i kilometer mellan testpunkten och aktuell referensstation för Epos, Mobipos och Sjöfartsverkets DGPS-tjänst. Detta värde saknas för absolut mätning (utan korrekationer) och för differentiell mätning med Omnistar (nätverkskoncept – flera referensstationer). Eftersom den differentiella positionen försämras med avståndet från referensstationen bör dessa värden vara ungefär lika, annars blir tjänsternas prestanda på den aktuella platsen inte jämförbara. Avståndet är beräknat med programmerbar miniräknare på en sfär med radien 6389 km (medelkrökningsradien i mitten av Sverige).

4.1.2 Ålder

Detta värde anger den genomsnittliga åldern i sekunder hos de differentiella korrektionerna och är sålunda ett mått på korrektionernas kvalitet. Detta värde saknas för absolut mätning (utan korrekationer).

När korrekationer beräknas vid referensstationen förses de med en tidsmärkning som gör det möjligt för användarens GPS-mottagare att beräkna åldern. Problemet är att en del leverantörer tar bort tidsmärkningen innan korrektionerna sänds ut för att minimera storleken på varje meddelande. I dessa fall anger åldern i

stället den genomsnittliga tiden mellan varje meddelande, det vill säga hur ofta korrektionerna sänds ut av leverantören.

Troligen är åldern hos Omnistar och hos Sjöfartsverkets DGPS-tjänst den genomsnittliga tid som förflutit sedan korrektionerna beräknades vid referensstationen, medan åldern hos Epos och Mobipos är den genomsnittliga tiden mellan varje meddelande. Det är tyvärr något osäkert vad som gäller för de testade tjänsterna varför dessa värden mer skall betraktas som allmän information.

Efter att den avsiktliga störningen SA togs bort från GPS i maj 2000 är åldern på differentiella korrektioner av liten betydelse. Med SA påslagen kunde en ålder på några tiotals sekunder ge fel i positionen på meternivå. Utan SA kan man troligen tillåta en ålder på över en minut utan att positionen försämras märkbart. Den genomsnittliga åldern har beräknats i Microsoft Excel 97 med data från NMEA-meddelandet GGA.

4.1.3 Satelliter

Här anges det genomsnittliga (därav decimalen) antal satelliter som samtidigt använts för att beräkna positionen. Eftersom testpunkterna är förlagda till öppen terräng är detta värde stort. För jämförbara resultat bör antalet vara ungefär lika vid mätning med respektive tjänst. Värdet har beräknats i Microsoft Excel 97 med data från NMEA-meddelandet GGA eller POS (båda innehåller denna information).

4.1.4 PDOP

Här anges genomsnittligt PDOP för varje mätning. PDOP står för Position Dilution Of Precision och är ett teoretiskt mått på positionens kvalitet, både i plan och i höjd, beräknat i GPS-mottagaren utifrån satellitgeometrin. Lågt PDOP indikerar en god satellitgeometri där tillgängliga satelliter är jämt fördelade runt horisonten med varierande elevationsvinklar. Högt PDOP indikerar en dålig satellitgeometri där tillgängliga satelliter är ojämnt fördelade runt horisonten med likartade elevationsvinklar. För jämförbara resultat bör därför PDOP vara ungefär lika vid mätning med respektive tjänst. Värdet har beräknats i Microsoft Excel 97 med data från NMEA-meddelandet POS.

4.1.5 95 %

Detta värde anger i plan radien i meter av den cirkel, med centrum i den sanna positionen, som innehåller 95 % av mätseriens cirka 1800 individuella positioner. I höjd avses i stället det vertikala avståndet i meter, över och under den sanna positionen, som innehåller 95 % av positionerna (Magellan 1998:29). Värdet visar hur väl samlad och centrerad mätserien är, men är till skillnad från noggrannheten (se

avsnitt 4.1.6) ett exakt mått. Det har beräknats i Ashtech Evaluate 5.1 med data från NMEA-meddelandet GGA.

4.1.6 Noggrannhet

Noggrannheten är standardavvikelsen i meter hos mätserien, i förhållande till den sanna positionen. I plan är detta radien av den cirkel, med centrum i den sanna positionen, som innehåller cirka 68 % av mätseriens 1800 individuella positioner. I höjd avses i stället det vertikala avståndet i meter, över och under den sanna positionen, som innehåller cirka 68 % av positionerna. Procenttalen är approximationer som endast gäller om mätserien är normalfördelad. Noggrannheten visar hur väl samlad och centrerad mätserien är. Värdet har beräknats i Ashtech Evaluate 5.1 med data från NMEA-meddelandet GGA.

4.1.7 Precision

Precisionen är standardavvikelsen i meter hos mätserien, i förhållande till mätseriens genomsnittliga position. I plan är detta radien av den cirkel som innehåller cirka 68 % av mätseriens 1800 individuella positioner. I höjd avses i stället det vertikala avståndet i meter, över och under den genomsnittliga positionen, som innehåller cirka 68 % av positionerna. Procenttalen är approximationer som endast gäller om mätserien är normalfördelad. Precisionen visar hur väl samlad mätserien är och har beräknats i Ashtech Evaluate 5.1 med data från NMEA-meddelandet GGA.

4.1.8 Riktighet

Riktigheten anger i plan den radiella avvikelsen i meter mellan mätseriens genomsnittliga position och den sanna positionen. I höjd avses i stället den vertikala avvikelsen i meter mellan mätseriens genomsnittliga position och den sanna positionen. Ingen hänsyn har tagits till avvikelsens riktning i plan (väderstreck) eller i höjd (positiv eller negativ). Riktigheten visar hur väl centrerad mätserien är och indikerar därför hur positionens kvalitet kan förbättras genom medeltalsbildning. Värdet har beräknats i Ashtech Evaluate 5.1 med data från NMEA-meddelandet GGA.

4.2 REDOVISNING AV RESULTAT

Här redovisas resultaten från de sju testpunkterna i tabeller och diagram från den sydligaste till den nordligaste punkten, tillsammans med korta kommentarer om terrängförhållanden och eventuella problem. Resultaten sammanfattas i avsnitt 4.3 och i avsnitt 4.4 ges en grafisk redovisning av resultaten från Valsund.

4.2.1 Valsund

Denna punkt ligger i relativt öppet och svagt kuperat jordbrukslandskap. Sikten var fri, med undantag av ett par låga buskage.

Mobipos fungerade här bra med endast ett par mycket korta uppehåll. Sjöfartsverkets referensstation i Nynäshamn är utrustad med en 9-kanals GPS-mottagare, vilket resulterat i ett lägre antal satelliter och högre PDOP (tabell och figur 4.1).

Valsund, Flen kommun, 2001-05-04

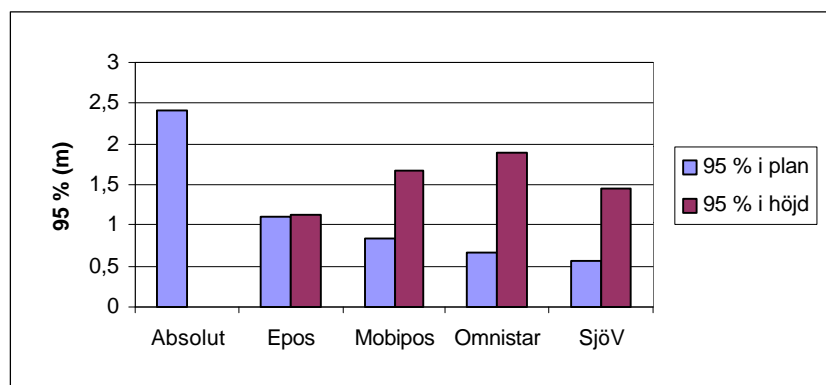
Latitud 59°03'55''N, Longitud 16°51'52''E, Höjd 31 m

	Absolut	Epos	Mobipos	Omnistar	Sjöv
Baslinje (km)	-	63,9	62,9	-	64,2
Ålder (s)	-	1,6	3,7	7,6	3,8
Satelliter	10,6	10,1	10,1	9,2	8,0
PDOP	1,7	1,8	1,8	2,1	2,6

	Resultat i plan (m)				
95 %	2,41	1,11	0,83	0,66	0,56
Noggrannhet	1,89	0,69	0,58	0,36	0,36
Precision	0,77	0,35	0,36	0,22	0,35
Riktighet	1,73	0,59	0,45	0,28	0,05

	Resultat i höjd (m)				
95 %	23,98	1,12	1,68	1,90	1,44
Noggrannhet	22,11	0,56	1,02	1,05	0,88
Precision	1,41	0,54	0,56	0,74	0,88
Riktighet	22,06	0,12	0,85	0,74	0,01

Tabell 4.1 Resultat från Valsund.



Figur 4.1 Resultat från Valsund.

4.2.2 Norrtulinge

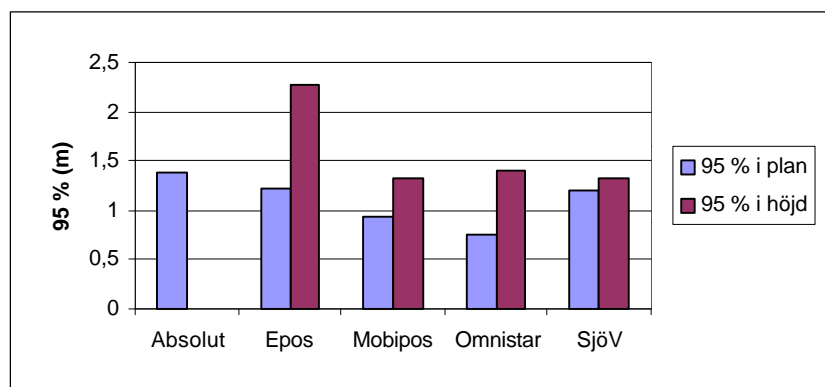
Punkten ligger i relativt öppet men kuperat jordbrukslandskap. Sikten var fri, med undantag av några träd med god genomsikt och låg barrskog.

Mätningen gjordes innan ett fel i utsändningen av DARC åtgärdats och Mobipos hade stora problem med att leverera korrektioner utan långa avbrott. Sjöfartsverkets baslinje var här relativt stor i förhållande till Epos och Mobipos (tabell och figur 4.2).

Norrtulinge, Skinnskatteberg kommun, 2001-05-03
 Latitud 59°44'44''N, Longitud 15°42'01''E, Höjd 86 m

	Absolut	Epos	Mobipos	Omnistar	SjöV
Baslinje (km)	-	128,3	128,6	-	137,2
Ålder (s)	-	1,9	5,9	8,2	4,4
Satelliter	10,2	10,8	10,0	9,5	9,4
PDOP	1,6	1,7	2,0	2,0	2,0
	Resultat i plan (m)				
95 %	1,39	1,21	0,93	0,75	1,20
Noggrannhet	0,97	0,73	0,58	0,53	0,71
Precision	0,86	0,41	0,34	0,31	0,30
Riktighet	0,45	0,60	0,47	0,43	0,65
	Resultat i höjd (m)				
95 %	23,52	2,27	1,33	1,41	1,33
Noggrannhet	21,23	1,38	0,74	0,88	0,66
Precision	1,25	1,31	0,71	0,66	0,65
Riktighet	21,20	0,44	0,22	0,58	0,15

Tabell 4.2 Resultat från Norrtulinge.



Figur 4.2 Resultat från Norrtulinge.

4.2.3 Hättskär

Denna punkt ligger i flackt jordbrukslandskap där sikten var helt fri.

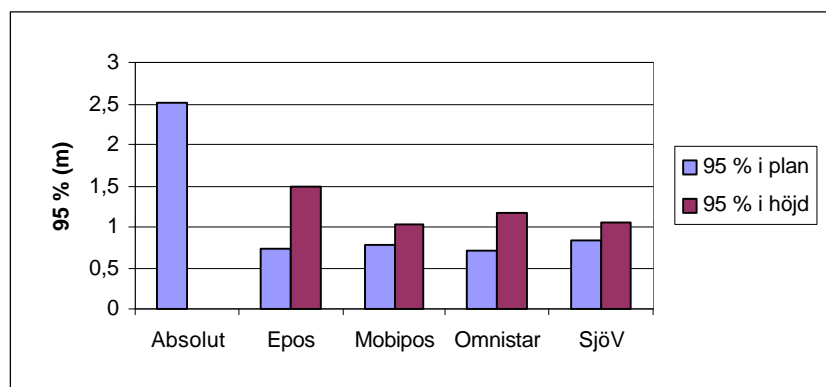
Mätningen gjordes innan ett fel i utsändningen av DARC ågårdats och Mobipos hade vissa problem med att leverera korrektioner utan tillfälliga avbrott. På grund av ett misstag var inte korrektionerna från Omnistar optimerade vid första mätningen, varför en ny mätning med denna tjänst gjordes några dagar senare (tabell och figur 4.3).

Hättskär, Sala kommun, 2001-04-27 (2001-05-02)

Latitud 59°52'45''N, Longitud 16°38'48''E, Höjd 48 m

	Absolut	Epos	Mobipos	Omnistar	Sjöv
Baslinje (km)	-	90,0	90,0	-	93,7
Ålder (s)	-	2,0	6,4	7,7	5,1
Satelliter	8,2	8,5	10,5	9,0	10,3
PDOP	2,4	2,3	1,8	2,3	1,8
	Resultat i plan (m)				
95 %	2,52	0,73	0,77	0,70	0,84
Noggrannhet	1,42	0,56	0,54	0,49	0,74
Precision	1,36	0,42	0,27	0,23	0,18
Riktighet	0,40	0,35	0,46	0,44	0,67
	Resultat i höjd (m)				
95 %	23,67	1,49	1,02	1,18	1,04
Noggrannhet	18,03	0,87	0,53	0,63	0,76
Precision	2,34	0,62	0,52	0,42	0,55
Riktighet	17,88	0,61	0,08	0,47	0,40

Tabell 4.3 Resultat från Hättskär.



Figur 4.3 Resultat från Hättskär.

4.2.4 Tibble

Punkten ligger i relativt öppet jordbrukslandskap. Sikten var fri, med undantag av några träd med god genomsikt och låga byggnader

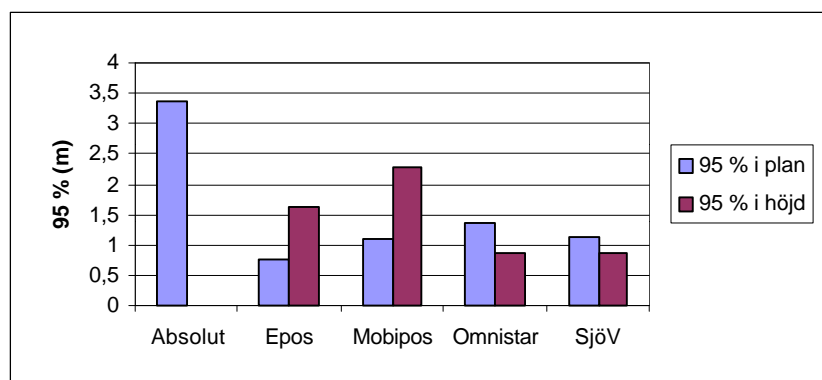
Trots att mätningen gjordes innan ett fel i utsändningen av DARC ågärdats fungerade Mobipos bra och levererade korrektioner utan uppehåll. På grund av ett misstag var inte korrektionerna från Omnistar optimerade vid första mätningen, varför en ny mätning med denna tjänst gjordes några dagar senare (tabell och figur 4.4).

Tibble, Uppsala kommun, 2001-04-26 (2001-05-02)

Latitud 59°59'42''N, Longitud 17°52'20''E, Höjd 23 m

	Absolut	Epos	Mobipos	Omnistar	Sjöv
Baslinje (km)	-	73,3	73,3	-	73,8
Ålder (s)	-	1,8	5,1	7,7	4,5
Satelliter	10,5	10,0	8,5	7,6	9,9
PDOP	1,7	2,1	2,3	2,1	1,8
	Resultat i plan (m)				
95 %	3,37	0,77	1,08	1,37	1,13
Noggrannhet	3,04	0,53	0,60	0,66	0,87
Precision	1,94	0,39	0,48	0,50	0,18
Riktighet	2,34	0,35	0,37	0,43	0,85
	Resultat i höjd (m)				
95 %	26,72	1,63	2,29	0,85	0,86
Noggrannhet	23,37	0,87	1,53	0,53	0,57
Precision	1,97	0,83	1,53	0,52	0,55
Riktighet	23,28	0,27	0,15	0,11	0,16

Tabell 4.4 Resultat från Tibble.



Figur 4.4 Resultat från Tibble.

4.2.5 Selsjön

Denna punkt ligger på åkermark i en dalgång omgiven av relativt höga barrskogsklädda berg. Sikten var fri, med undantag av några träd med god genomsikt och låga bergsryggar.

Mobipos hade vissa problem med att leverera korrektioner utan tillfälliga avbrott. Antennen för Omnistar fick flyttas något för full signalstyrka, tydligen på grund av att en telefonstolpe hamnat precis på linjen mellan satellit och mottagare. Signalen från Sjöfartsverkets station i Järnäs var mycket svag, troligen på grund av det kuperade landskapet. En 9-kanals GPS-mottagare i Järnäs referensstation resulterade i färre satelliter och högre PDOP (tabell och figur 4.5).

Selsjön, Sollefteå kommun, 2001-05-11

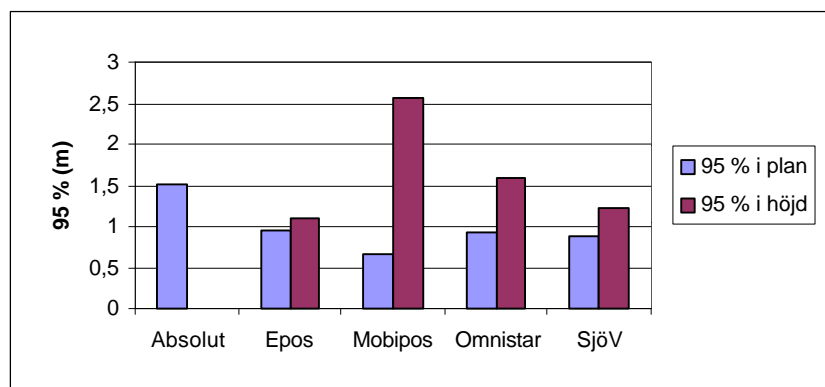
Latitud 63°18'38''N, Longitud 17°12'27''E, Höjd 139 m

	Absolut	Epos	Mobipos	Omnistar	Sjöv
Baslinje (km)	-	122,4	118,3	-	123,5
Ålder (s)	-	1,6	9,7	7,4	3,8
Satelliter	9,4	10,0	10,9	9,9	8,0
PDOP	2,0	2,3	1,8	1,8	2,5

	Resultat i plan (m)				
95 %	1,52	0,96	0,65	0,92	0,89
Noggrannhet	1,18	0,61	0,41	0,65	0,61
Precision	0,96	0,36	0,28	0,23	0,31
Riktighet	0,69	0,48	0,30	0,60	0,52

	Resultat i höjd (m)				
95 %	19,22	1,09	2,56	1,58	1,21
Noggrannhet	17,52	0,66	1,56	1,11	0,68
Precision	1,64	0,65	0,98	0,31	0,67
Riktighet	17,44	0,14	1,22	1,07	0,07

Tabell 4.5 Resultat från Selsjön.



Figur 4.5 Resultat från Selsjön.

4.2.6 Storsandsjö

Punkten ligger på åkermark omgärdad av barrskog. Sikten var fri med undantag av en lada och låg barrskog.

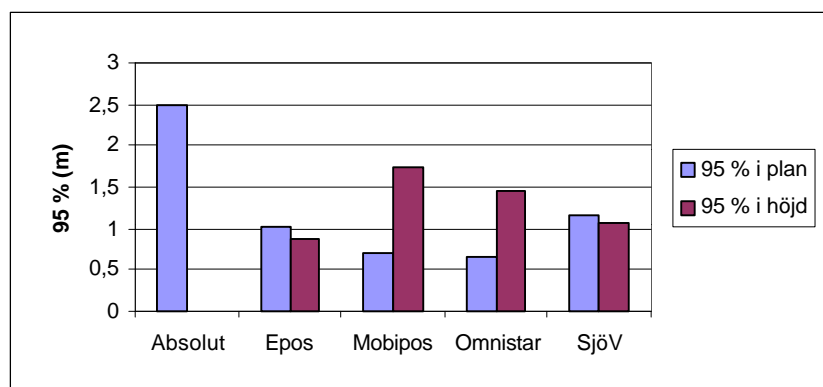
Mobipos hade problem med att leverera korrektioner utan tillfälliga avbrott. Antennen för Omnistar krävde cirka 3 meters höjd för full signalstyrka på grund av låg elevationsvinkel i kombination med skog i söder. Sjöfartsverkets referensstation i Bjuröklubb är utrustad med en 9-kanals GPS-mottagare (tabell och figur 4.6).

Storsandsjö, Vindeln kommun, 2001-05-08

Latitud 64°18'56''N, Longitud 19°47'12''E, Höjd 257 m

	Absolut	Epos	Mobipos	Omnistar	SjöV
Baslinje (km)	-	87,1	87,1	-	88,1
Ålder (s)	-	1,8	6,0	7,8	3,8
Satelliter	10,4	9,5	8,7	10,6	8,5
PDOP	1,7	2,4	2,3	1,7	2,5
	Resultat i plan (m)				
95 %	2,48	1,02	0,69	0,65	1,17
Noggrannhet	1,92	0,54	0,42	0,45	0,62
Precision	0,63	0,44	0,32	0,40	0,42
Riktighet	1,81	0,31	0,28	0,21	0,46
	Resultat i höjd (m)				
95 %	17,55	0,88	1,73	1,46	1,07
Noggrannhet	15,02	0,49	1,02	0,91	0,57
Precision	1,87	0,34	0,76	0,60	0,56
Riktighet	14,90	0,36	0,68	0,69	0,12

Tabell 4.6 Resultat från Storsandsjö.



Figur 4.6 Resultat från Storsandsjö.

4.2.7 Rönnbäcken

Denna punkt ligger på sluttande åkermark i relativt kuperat landskap. Siktförhållandena var något sämre än på övriga punkter, med låga hinder i form av skog i många riktningar.

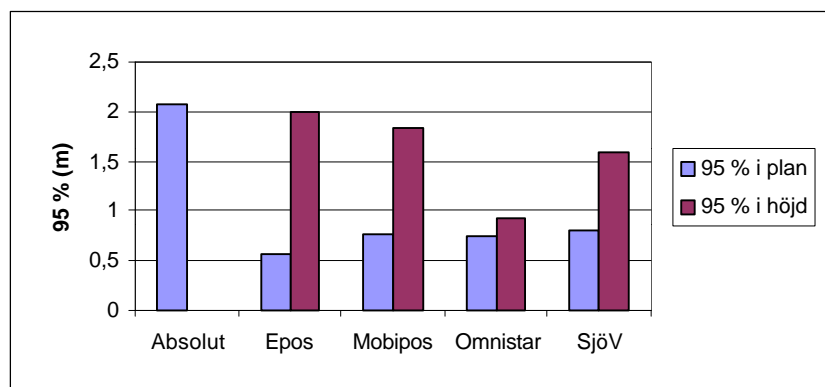
Mobipos fungerade här bra och levererade korrektioner med endast ett par korta avbrott. De något sämre siktförhållandena skapade problem vid mätning med Sjöfartsverkets tjänst på grund av 9-kanals GPS-mottagare i Bjuröklubbs referensstation. Mätning med denna tjänst fick senareläggas på grund av lågt antal satelliter och högt PDOP (tabell och figur 4.7).

Rönnbäcken, Skellefteå kommun, 2001-05-09

Latitud 64°25'58''N, Longitud 20°21'10''E, Höjd 160 m

	Absolut	Epos	Mobipos	Omnistar	Sjöv
Baslinje (km)	-	59,8	59,8	-	59,0
Ålder (s)	-	1,6	7,8	7,9	3,5
Satelliter	9,5	9,0	9,3	9,8	8,9
PDOP	2,2	2,2	2,2	1,9	2,5
Resultat i plan (m)					
95 %	2,07	0,57	0,77	0,74	0,80
Noggrannhet	1,29	0,38	0,51	0,53	0,51
Precision	1,16	0,34	0,33	0,29	0,25
Riktighet	0,57	0,18	0,39	0,45	0,44
Resultat i höjd (m)					
95 %	19,33	1,99	1,83	0,92	1,59
Noggrannhet	14,90	1,19	1,07	0,50	0,78
Precision	3,45	0,70	0,51	0,42	0,60
Riktighet	14,49	0,96	0,94	0,27	0,50

Tabell 4.7 Resultat från Rönnbäcken.



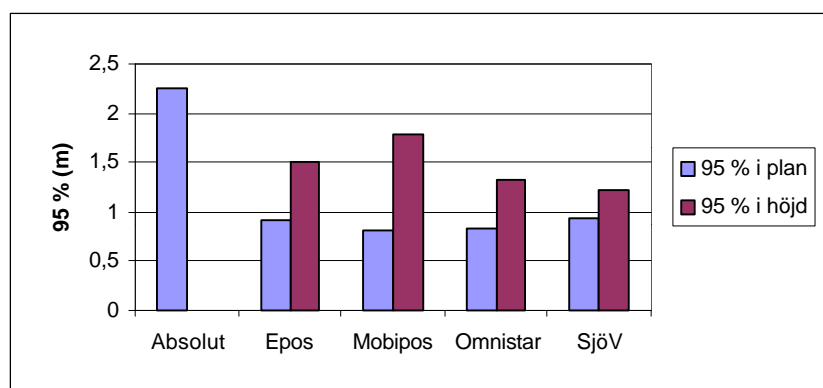
Figur 4.7 Resultat från Rönnbäcken.

4.3 SAMMANFATTNING AV RESULTAT

Nedan (tabell och figur 4.8) har resultaten från de sju testpunkterna sammanfattats genom medelvärdesbildning av tabellerna i avsnitt 4.2. Vid beräkning av riktighet i plan och i höjd har ingen hänsyn tagits till avvikelsernas riktning eller tecken. Man kan se att förutsättningarna för de fyra DGPS-tjänsterna har varit mycket likartade. Skillnaderna i baslinjelängd för Epos, Mobipos och Sjöfartsverkets DGPS-tjänst är försumbara, samtidigt som antal satelliter och PDOP endast uppvisar små variationer.

	Absolut	Epos	Mobipos	Omnistar	SjöV
Baslinje (km)	-	89,3	88,6	-	91,4
Ålder (s)	-	1,8	6,4	7,8	4,1
Satelliter	9,8	9,7	9,7	9,4	9,0
PDOP	1,9	2,1	2,0	2,0	2,2
	Resultat i plan (m)				
95 %	2,25	0,91	0,82	0,83	0,94
Noggrannhet	1,67	0,58	0,52	0,52	0,63
Precision	1,10	0,39	0,34	0,31	0,28
Riktighet	1,14	0,41	0,39	0,41	0,52
	Resultat i höjd (m)				
95 %	22,00	1,50	1,78	1,33	1,22
Noggrannhet	18,88	0,86	1,07	0,80	0,70
Precision	1,99	0,71	0,80	0,52	0,64
Riktighet	18,75	0,41	0,59	0,56	0,20

Tabell 4.8 Sammanfattning av resultat från samtliga testpunkter.



Figur 4.8 Sammanfattning av resultat från samtliga testpunkter.

Även om tjänsterna testats under likvärdiga förhållanden bör man avhålla sig från alltför ingående tolkningar av resultaten. Trots att de värden som redovisas grun-

dar sig på relativt många mätningar är inte materialet tillräckligt stort för jämförelser på centimeternivå

Resultaten visar att en genomsnittlig DGPS-tjänst ger en position som i 95 % av fallen avviker högst cirka 0,9 meter i plan och högst cirka 1,5 meter i höjd från den sanna positionen. Avvikelseerna i höjd är alltså nästan dubbelt så stora som avvikelseerna i plan. Detta gäller även precisionen, men inte riktigheten som är ungefär lika både i plan och i höjd. Skillnaderna i resultat mellan olika tjänster är också större i höjd.

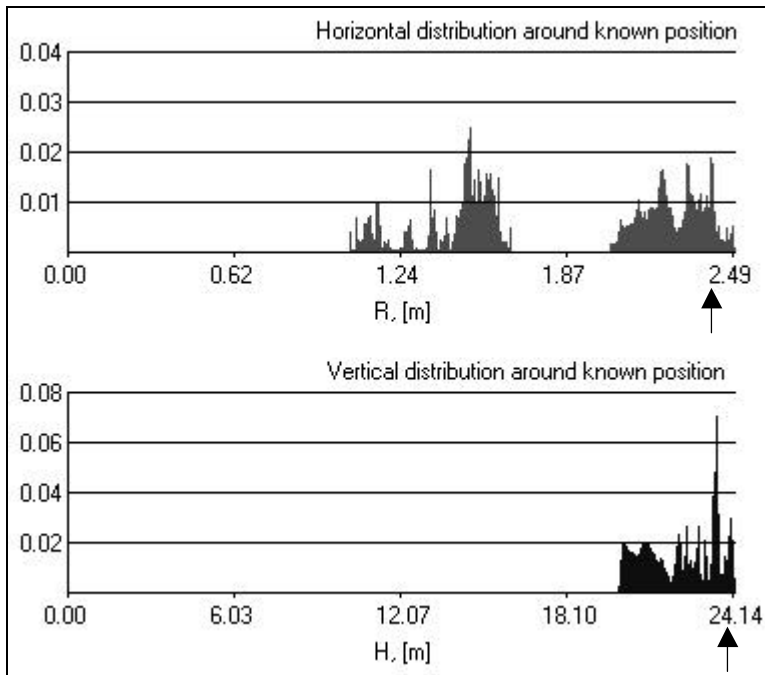
Man ser också att den aktuella GPS-mottagaren även vid absolut kodmätning (utan korrekationer) har mycket bra prestanda i plan. Ashtech Z-Surveyor tillhör den klass av GPS-mottagare som har högst prestanda, men är några år gammal. Möjligen skulle de senaste mottagarna ge ännu bättre resultat. Anledningen till de stora avvikelseerna i höjd är att ingen jonosfärmodell använts. Med jonosfärskorrektion skulle avvikelseerna i höjd troligen halveras.

4.4 GRAFISK REDOVISNING FRÅN VALSUND

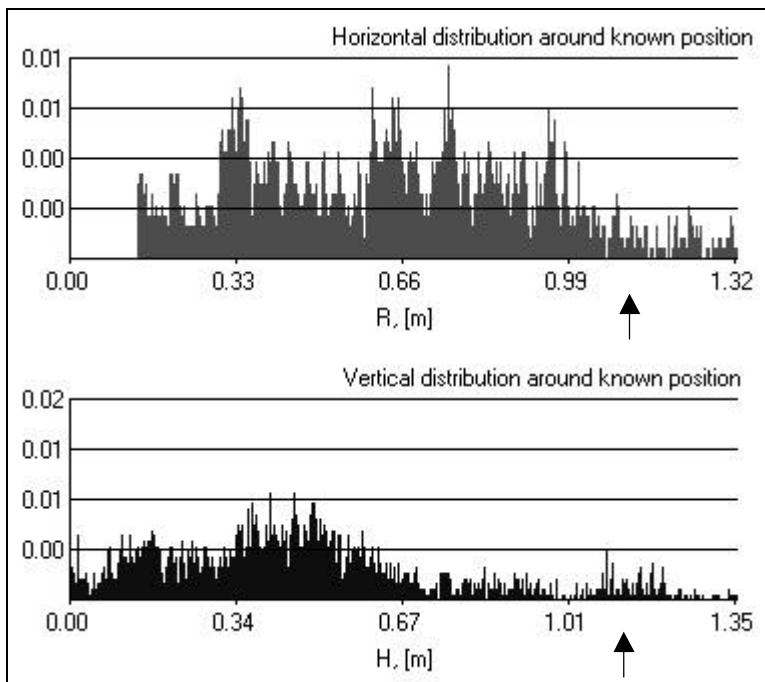
Som ett exempel ges här en grafisk redovisning av mätresultaten från den sydligaste testpunkten (figur 4.9 till 4.13). Histogrammen är skapade med Ashtech Evaluate 5.1 och visar fördelningen av enskilda observationer i förhållande till den sanna positionen.

Den övre av graferna visar den radiella avvikelsen (R) i plan och den undre grafen visar den vertikala avvikelsen i höjd (H). Den horisontella axeln visar avvikelsens storlek i meter och den vertikala axeln visar andelen observationer med den aktuella avvikelsen (Magellan 1998:30). Observera att skalan på axlarna varierar.

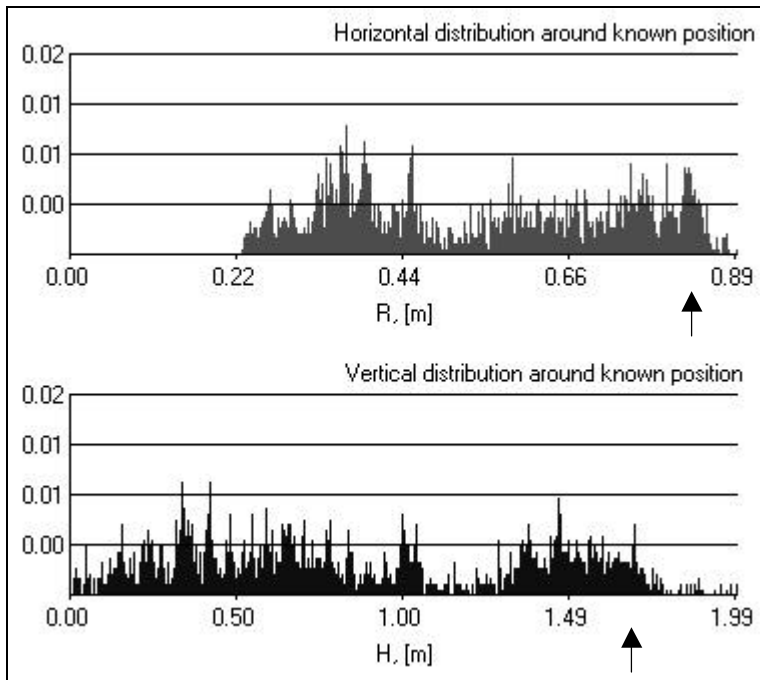
Graferna har kompletterats med pilar som visar det ungefärliga läget för värdet 95 %.



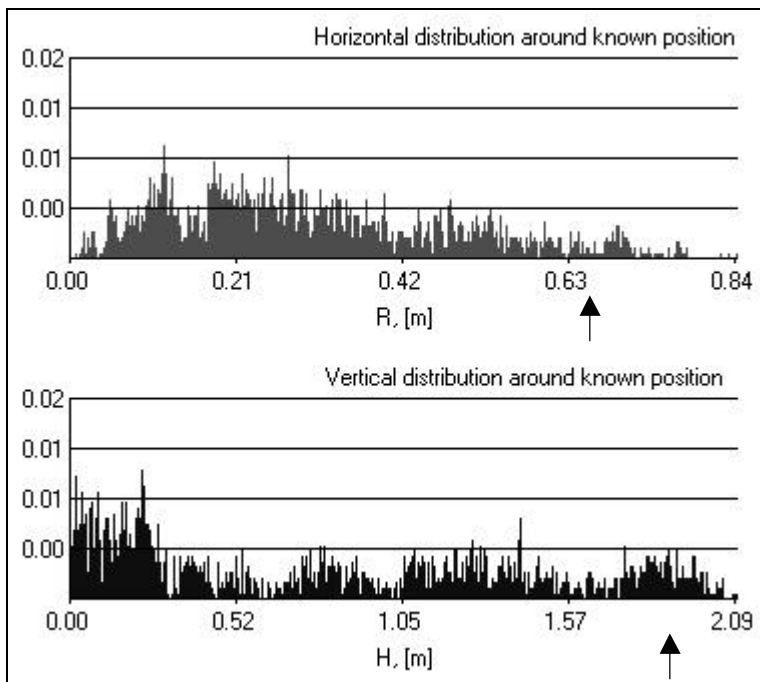
Figur 4.9 Diagrammet visar resultatet vid absolut mätning. Den ojämna fördelningen och den stora avvikelsen i höjd är typisk.



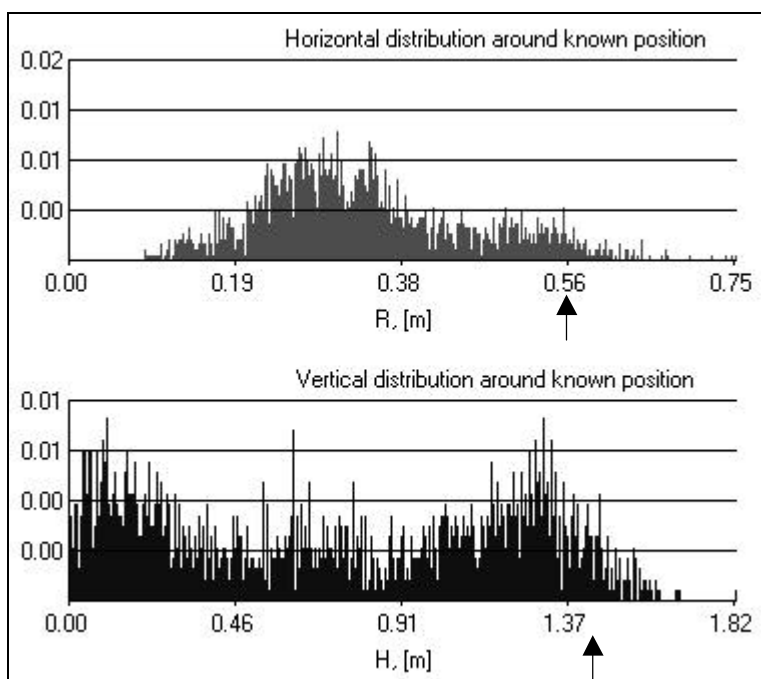
Figur 4.10 Diagrammet visar resultatet vid mätning med Epos. Typiskt för Epos är en jämn spridning i plan (låg precision).



Figur 4.11 Diagrammet visar resultatet vid mätning med Mobipos. Även för Mobipos är en jämn spridning i plan typisk (låg precision).



Figur 4.12 Diagrammet visar resultatet vid mätning med Omnistar.



Figur 4.13 Diagrammet visar resultatet vid mätning med Sjöfartsverkets DGPS-tjänst. Den höga precisionen i plan är typisk.

4.5 MÄTNINGAR I SKOGSMARK

I omedelbar närhet till fem av de ovan beskrivna punkterna gjordes även mätningar i skogsmark. Resultat i form av siffror från dessa mätningar publiceras emellertid inte eftersom de mycket varierande förhållandena omöjliggör direkta jämförelser utan omfattande kommentering. Även resultaten från dessa mätningar ligger dock till grund för de slutsatser som ges i kapitel 5.

Eftersom utrustningen var bunden till bilen fick dessa mätningar genomföras intill skogsvägar. Terrängtypen varierade från relativt gles blandskog till tät barrskog, men på grund av årstiden hade lövträden god genomsikt. Ofta var sikten uppåt relativt fri, medan sikten mot söder alltid var blockerad av skog.

Vid dessa mätningar var det genomsnittliga antalet satelliter cirka 6 och PDOP cirka 5. Den genomsnittliga precisionen i plan och i höjd minskade då med en faktor på runt 3. Man kan anta att även noggrannheten minskade med samma magnitud.

Vid en tidigare undersökning användes en enkel GPS-mottagare (Garmin GPS 12 XL) tillsammans med Epos för inmätning av skogsbilvägar (Kempe 2000). Denna undersökning visade en noggrannhet och en riktighet i plan som var cirka 6 gånger sämre än resultaten i avsnitt 4.3. Detta antyder att den enkla GPS-mottagaren ungefär fördubblade avvikelserna.

5 SLUTSATSER

5.1 OM DGPS-TJÄNSTERNA

Resultaten i kapitel 4 visar en noggrannhet som är ungefär likvärdig för de undersökta DGPS-tjänsterna, där en genomsnittlig tjänst ger en position som i 95 % av fallen avviker mindre än 0,9 meter i plan och mindre än 1,5 meter i höjd från den kända positionen. Mobipos gav något sämre resultat i höjd än övriga tjänster, medan Sjöfartsverkets DGPS-tjänst gav något bättre resultat i höjd. Dessa värden erhöles med en GPS-mottagare av hög kvalitet med multipath-filter och bärvågsunderstöd från två frekvenser.

Goda mottagningsförhållanden observerades för alla tjänster, även om Mobipos hade vissa problem med att leverera korrektioner utan tillfälliga avbrott. Omnistar visade sig vara känslig för siktförhållanden, speciellt på höga latituder. För Sjöfartsverkets DGPS-tjänst kunde den maximala räckvidden över land uppskattas till cirka 100 till 200 kilometer, främst beroende på terräng. Vidare upptäcktes att vissa radiofyrar var utrustade med 9-kanals GPS-mottagare, något som vid en testpunkt begränsade användningen.

Nedan ges ett mer detaljerat omdöme för de fyra DGPS-tjänsterna. Observera att dessa slutsatser gäller för den kontext inom vilken tjänsterna testats. Med en annan utrustning och med andra krav kunde slutsatserna delvis blivit annorlunda.

5.1.1 *Epos*

Epos har vid samtliga mätningar fungerat bra och prestandan är genomsnittlig. Tidigare studier av noggrannhet, där GPS-mottagaren Ashtech Z-12 användes, har gett liknade resultat (Bergman & Frisk 1995). Under mätningar i skogsmark märktes ingen försämring av signalkvaliteten. Det finns helt enkelt inte mycket att kommentera runt denna tjänst.

5.1.2 *Mobipos*

Mobipos har vid de flesta mätningar haft problem med att leverera korrektioner utan tillfälliga avbrott – trots full signalstyrka. Vid de inledande mätningarna förekom avbrott på upp till några minuters längd. Vid kontakt med leverantören Generic Mobile upptäcktes ett fel i utsändningen av DARC som gjorde att andra dataströmmar tidvis trängde ut korrektionerna. Felet åtgärdades, men tillfälliga kortare avbrott fortsatte att uppträda.

Orsaken till problemen misstänktes vara störning från övrig utrustning i bilen, men omflyttning och fränkoppling av elektrisk utrustning gav ingen förbättring.

Det verkar som att DARC är känsligare än RDS och att kanalen varit utsatt för någon form av störning. Problemen gjorde att korrektionernas ålder ibland överskred de 20 sekunder som satts som gräns i GPS-mottagaren, varför mätningarna ibland fick förlängas.

Detta behöver dock inte utgöra något problem för de flesta användare. Utan SA kan man tillåta korrektioner som är betydligt äldre än 20 sekunder, och det är möjligt att problemet inte hade upptäckts förrän vid beräkning av resultaten om en högre åldersgräns använts. Mobipos har dessutom en betydligt lägre abonnemangskostnad än både Epos och Omnistar.

Mobipos utmärker sig i övrigt genom ett något sämre resultat i höjd än de andra tjänsterna, men detta beror knappast på problem med mottagningen eftersom prestandan i plan är genomsnittlig. Under mätningar i skogsmark märktes ingen försämring av signalkvaliteten.

5.1.3 Omnistar

Omnistar har vid samtliga mätningar fungerat bra och prestandan är genomsnittlig. Utsändningen via satellit gör dock mottagningen känslig för hinder eftersom god mottagning i princip kräver fri sikt mot satelliten. Tjänsten är dock användbar även i skogsmark, men antennens position blir då helt avgörande för signalstyrkan. En förändring av positionen med några decimeter kan utgöra skillnaden mellan ingen signal och full signalstyrka.

För rörlig mätning i skogsmark bör man med andra ord inte välja Omnistar, men vill man bara mäta in enstaka punkter kan man oftast hitta en gynnsam position för antennen även i tät skog. Vindbyar som får träden att svaja kan dock orsaka signalbortfall. Kompakta hinder som trädstammar och telefonstolpar kan blockera signalen helt och hållet om de befinner sig precis på linjen mellan satellit och mottagarantenn.

Känsligheten för hinder ökar ju längre norrut i landet man kommer eftersom elevationsvinkeln mot satelliten då minskar. Resultatet blir att man längst i norr måste ha mycket goda siktförhållanden om man skall kunna använda Omnistar. Det finns dock områden i norra Sveriges inland där man vare sig har tillgång till Epos, Mobipos eller Sjöfartsverkets DGPS-tjänst (jämför avsnitt 5.1.4). Här kan en satellittjänst som Omnistar ändå erbjuda en möjlighet för differentiell GPS, under förutsättning att siktförhållandena är goda.

Fördelen med en satellittjänst är just att man aldrig behöver bekymra sig om läget för vare sig referensstationer eller radiosändare. Man har på alla platser samma goda kvalitet på både radiosignal och korrektioner – det enda som krävs är fri sikt åt söder.

5.1.4 Sjöfartsverkets DGPS-tjänst

Sjöfartsverkets DGPS-tjänst har i genomsnitt ett lägre antal satelliter än de andra tjänsterna vilket beror på att många av referensstationerna är utrustade med 9-

kanals GPS-mottagare. Detta får till följd att korrekationer ibland levereras för ett lägre antal satelliter än det antal som finns tillgängliga med en 12-kanals GPS-mottagare. För användning till sjöss är detta inte något problem eftersom användaren vanligen har fri sikt, men för användning på land kan detta innebära en begränsning.

Om sikten är skynd mot en eller flera av de gemensamma satelliterna kan nämligen satellitgeometrin försämrats kraftigt och göra noggrann differentiell mätning omöjlig. Det är också svårt att inför en planerad mätning analysera satellitkonfigurationen då referensstationen och användarens GPS-mottagare inte har lika många kanaler. Detta inträffade på testpunkten i Rönnbäcken där mätning med Sjöfartsverkets DGPS-tjänst fick senareläggas på grund av lågt antal satelliter och högt PDOP. Orsaken till detta var att några gemensamma satelliter med mycket låg elevationsvinkel skyndes av skog, samtidigt som inga korrekationer levererades för de i övrigt tillgängliga satelliterna.

Sjöfartsverkets DGPS-tjänst utmärker sig annars genom ett något bättre resultat i höjd än de andra tjänsterna, vilket skulle kunna bero på att även RTCM-meddelande typ 3 sänds ut (jämför avsnitt 1.2 och 3.2). Under mätningar i skogsmark märktes ingen försämring av signalkvaliteten och den radioutrustning som användes gav felfri mottagning även då signalstyrka och signal/brus-nivå var mycket låga. Att tjänsten är gratis är naturligtvis en fördel.

Räckvidden för denna tjänst är svår att uppskatta men beror till stor del på terrängens utseende mellan sändare och mottagare. Den maximala räckvidden över land kan grovt uppskattas till runt 200 kilometer då landskapet är flackt, medan man i ett starkt kuperat landskap kan räkna med en räckvidd på runt 100 kilometer. Dessa räckvidder måste betraktas som mycket bra och utgjorde en positiv överraskning under fältarbetet. Radiomottagarens förmåga att hantera låga signalstyrkor och låga signal/brus-nivåer är, liksom antennen, naturligtvis avgörande för räckvidden. Dessutom finns det skillnader i räckvidd mellan de olika radiofyrrarna.

Huruvida radiofyrrar längs Norges västkust är användbara i Sveriges inland (Jämtlands och Lapplands fjälltrakter) är okänt. Visserligen är terrängen i dessa områden extremt kuperad, men det är inte omöjligt att radiosignalerna kan nå fram till den svenska gränsen.

5.2 BASLINJELÄNGD OCH AVVIKELSE

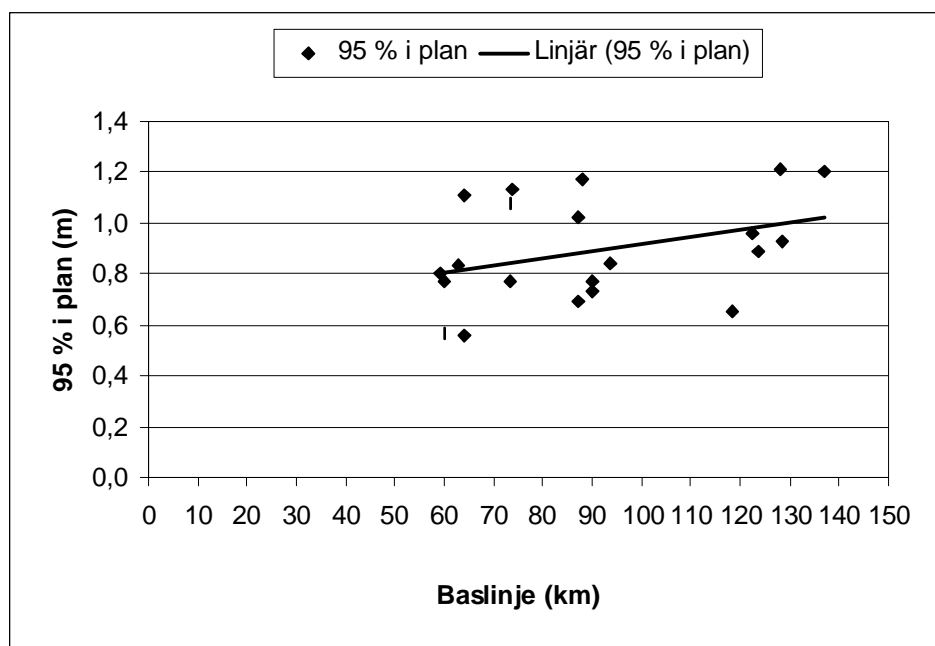
En position som bestäms med differentiell GPS försämrats när avståndet från referensstationen ökar. Om man bortser från en eventuell kompensering för baslinjens längd utifrån RTCM-meddelande typ 3 (jämför avsnitt 1.2 och 3.2) kan man anta att försämringens storlek är ungefär lika för både Epos, Mobipos och Sjöfartsverkets DGPS-tjänst. Under detta antagande innehåller denna undersökning totalt 21 mätningar med olika baslinjelängder, vilket gör det möjligt att uppskatta försämringens storlek. Här antas vidare att försämringen är linjär.

Med minsta kvadrat-metoden på matrisform i Microsoft Excel 97 kunde försämringen av värdet 95 % uppskattas till 28 centimeter per 100 kilometer i plan (se figur 5.1). Detta värde är dock ej statistiskt signifikant eftersom det överskrider

av medelfelet i skattningen som enligt t-fördelningen är 35 centimeter på 95 % konfidensnivå

Vid en opublicerad undersökning som gjordes inom Lantmäteriverket 1994 kom man fram till en signifikant försämring på 27 centimeter per 100 kilometer för värdet 95 %. Resultaten ligger alltså mycket nära varandra och detta är orsaken till att avsnittet tas med trots att resultatet inte är signifikant.

Inget rimligt samband kunde hittas mellan baslinjelängd och avvikelse i höjd. En beräkning visade till och med en förbättring av värdet 95 % med ökad baslinjelängd!



Figur 5.1 Diagrammet visar sambandet mellan baslinjens längd och värdet 95 % i plan för Epos, Mobipos och Sjöfartsverkets DGPS-tjänst. Det tycks finnas en trend, men variansen är mycket stor.

5.3 OM UNDERSÖKNINGEN

Sammanfattningsvis kan sägas att undersökningen har motsvarat sitt syfte. De olika DGPS-tjänsternas noggrannhet har studerats ingående och resultaten verkar rimliga. Även mottagningsförhållanden och tillförlitlighet i stort har studerats, om än inte lika utförligt.

Något som av tidsbrist tyvärr inte kunnat undersökas är hur resultaten påverkas av den använda GPS-mottagaren. Det vore intressant att testa tjänsterna med en enkel mottagare utan multipath-filter och bärvågsunderstöd. En gissning är att avvikelserna då skulle fördubblas (jämför avsnitt 4.5).

REFERENSER

- Aztec Radiomedia 2001. *Differential GPS receiver using RDS*.
<http://www.aztec.fr/@nav/rxmar.htm> (2001-06-04).
- Magellan 1998. *Evaluate 5.0 user's manual*
ftp://ftp.ashtech.com/pub/Reference%20Manuals/Evaluate/eval_50.pdf
(2001-06-04).
- 2000a. *Ashtech Z-Surveyor* . Produktblad.
<http://www.ashtech.com/Media/PDF/ZSurveyorDS5.01.pdf> (2001-06-04).
 - 2000b. *Z-12 GPS receiver*. Produktblad.
http://www.ashtech.com/Media/PDF/Z12%20GPS_ds_4.01.pdf (2001-06-04).
- Bergman, A. & Frisk, A. 1995. *Positionsnoggrannheten för differentiell GPS via EPOS-tjänsten*. LMV-rapport 1995:14. Gävle.
- Engfeldt, A. & Jivall, L. 2000. *Kort introduktion till GNSS*. LMV-rapport 2000:2. Gävle.
- Fugro 1999. *How it works: technical description*.
http://www.omnistar.com/how_techdesc.html (2001-06-04).
- 2001a. *3000 LR demodulator*. <http://www.seastar.co.uk/Demod.html> (2001-06-04).
 - 2001b. *Omnistar 3000 LR DGPS receiver operator's manual*
http://www.omnistar.nl/manuals/omnistar/3000LR_manual_version_B.pdf
(2001-06-04).
- Generic Mobile 2001. *Utan titel*. Produktblad om Mobipos.
- Lantmäteriverket 2000. *Selective availability: borttaget den 2 maj 2000*.
<http://swepos.lmv.lm.se/sa/sa.htm> (2001-06-04).
- Kempe, C. 2000. *Metodstudie för inmätning av skogsbilvägar*. LMV-rapport 2000:3. Gävle.
- 2001. *Utvärdering av SWEPOS beräkningstjänst*.
<http://swepos.lmv.lm.se/autoutv.htm> (2001-06-04).
- Radionavigeringsnämnden 2000. *Radionavigeringsplan för Sverige år 2000*
<http://www.sjofartsverket.se/tabla-d/pdf/d14/utredningar/rnp2000.pdf.pdf>
(2001-06-04).
- Sectra 2001. *Wavegrabber Sectra DRB-3000: DARC stand alone receiver*.
<http://www.sectra.se/wireless/produkter/714oembox.html> (2001-06-04).
- Sjöfartsverket 2001a. *DGPS-information*. http://www.sjofartsverket.se/tabla-a/pdf/a175_1.pdf (2001-06-04).
- 2001b. *Frekvensplan för DGPS-sändarna* <http://www.sjofartsverket.se/tabla-d/htm/d11/d110/2001-01-10.htm> (2001-06-04).
- Teracom 1999a. *Antenner och mottagning*.
http://www.teracom.se/pdf/antenner_mottagning.pdf (2001-06-04).
- 1999b. *Teracom teknikinfo: Epos – differentiell GPS* .

Trimble 1998. *Probeacon: marine radiobeacon MSK receiver* Produktblad.
<http://www.trimble.com/products/pdf/probeacon.pdf> (2001-06-04).

Övriga dokument som inte refereras till i texten, men som ändå varit viktiga för arbetets genomförande:

Aztec Radiomedia 1998. *Differential GPS receiver RXMAR 1*.

Finska Sjöfartsverket 1999. *DGPS-täckning på norra Östersjön*
http://www.fma.fi/svenska/rnav_swedish/dgps_c3.htm (2001-06-04).

Fugro 1999. *Frequently asked questions*. <http://www.omnistar.com/faq.html>
(2001-06-04).

Kempe 2001. *Handledning till SWEPOS beräkningstjänst*.
<http://swepos.lmv.lm.se/handledning1.htm> (2001-05-28).

Lantmäteriverket 1996. *Handbok till mätningsskuggörelsen: Geodesi, GPS*. Andra utgåvan. Gävle.

– 1996. *Handbok till mätningsskuggörelsen: Geodesi, stommätning*. Gävle.

Magellan 1997. *Z-Surveyor operation & reference manual*. Sunnyvale.

– 1999. *Receiver Communication Software user's guide*. Santa Clara.

– 1999. *Z-12 GPS receiver operation & technical manual*
<ftp://ftp.ashtech.com/pub/Reference%20Manuals/Z-12/z12.pdf> (2001-06-04).

Sectra 2000. *Användarinstruktion för Mobile Net Client*.

– 2000. *Sectra DRB-3000 hardware manual*.

Teracom 1999. *Sverigekarta över sändarstationernas täckning*
http://www.teracom.se/pdf/tvsandare_karta.pdf (2001-06-04).

– 2000. *Täckningskarta Epos*.

Trimble Navigation 1992. *Navbeacon XL operator's manual*. Sunnyvale.