



GPS under krontak i skog

Jan Cedervind

Arbetsrapport 20 1997

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET
Institutionen för skoglig resurshushållning
och geomatik
S-901 83 UMEÅ
Tfn: 090-16 58 25 Fax: 090-14 19 15

ISSN 1401-1204
ISRN SLU-SRG-AR--20--SE



GPS under krontak i skog

Jan Cedervind

Arbetsrapport 20 1997

Examensarbete i skogsuppskattning och skogsindelning
Handledare: Håkan Olsson och Torbjörn Cruse

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET
Institutionen för skoglig resurshushållning
och geomatik
S-901 83 UMEÅ
Tfn: 090-16 58 25 Fax: 090-14 19 15

ISSN 1401-1204
ISRN SLU-SRG-AR--20--SE

Förord

Detta examensarbete har utförts vid institutionen för Skoglig resurshushållning och geomatik, SLU. Umeå, under hösten 1996 och våren 1997. Det behandlar GPS, Global Positioning System, och dess tillämpbarhet för positionsbestämning under krontak i skog.

GPS förväntas få ökande betydelse inom flera olika samhällssektorer, inte minst inom näringslivet. Förhoppningsvis kommer detta examensarbete att bidra till kunskapen om systemets användbarhet. Till min handledare, Thorbjörn Cruse, vars hår har blivit åtminstone lite gråare under min tid som examensarbetare, riktar jag ett stort tack. Tack vare Thorbjörns analysprogram i Visual Basic har mitt arbete underlättats avsevärt. Jag skulle också vilja tacka följande personer för deras ovillkorliga assistans och uppmuntran:

Härje Bååth, Zoltan Fazakas, Håkan Olsson, Henrik Feytching, Anders Pettersson och Sören Holm, samtliga vid Inst. för Skoglig Resurshushållning och Geomatik. Dessutom vill jag tacka Bengt Eurenus, Lantmäteriverket och Customer Support, Trimble Navigation Limited.

Umeå, april 1997



Jan Cedervind

Innehållsförteckning

SUMMARY	3
1 SAMMANFATTNING	4
2 INLEDNING	5
2.1 BAKGRUND	5
2.2 SYFTE	5
3 INTRODUKTION TILL GPS	5
3.1 GPS	5
3.2 HISTORIK	6
3.3 HUR GPS FUNGERAR	6
3.3.1 Hur kan man veta hur långt ifrån satelliten man befinner sig?	8
3.3.2 Hur kan man veta satelliternas exakta positioner?	8
3.3.3 Pseudo-random koderna	9
3.4 DGPS	11
3.4.1 Hur DGPS fungerar	11
3.4.2 Pseudoavståndskorrektion	12
3.4.3 Positionskorrektion	12
3.4.4 Korrigering i realtid	12
3.4.5 Noggrannhet	13
3.5 STÖRNINGSFAKTORER	15
3.5.1 Troposfären	15
3.5.2 Brus	15
3.5.3 Signalreflektion	15
3.5.4 S/A-effekten	15
3.5.5 PDOP	16
3.5.6 Satellitsignalens styrka	16
3.6 GLONASS	17
3.7 KOORDINATSYSTEM	18
4 LITTERATURÖVERSIKT	19
4.1 SVENSKA UNDERSÖKNINGAR	19
4.2 UTLÄNDSKA UNDERSÖKNINGAR	20
5 MATERIAL OCH METODER	21
5.1 PLANERINGSSTADIET	21
5.2 FÄLTARBETET	21
5.3 ANALYS	23
5.3.1 Analys av tio timmars data från mottagare R	23
5.3.2 Analys av en timmas data från mottagare A-R	24
5.4 PRESENTATION	24
6 RESULTAT	24
6.1 MÄTFÖRUTSÄTTNINGARNA UNDER FÖRSÖK 1 OCH 3.	24
6.2 GPS-MOTTAGAREN	25
6.3 DEN SANNA POSITIONEN	25
6.4 NOGGRANNHET	25
6.5 PRECISION	27
6.5.1 Spridning på försöksytans centrumpunkt	27
6.5.2 Spridning på försöksytans alla punkter	28
6.6 TIDSÅTGÅNG	29
6.7 KORRIGERING MED OLIKA BASSTATIONSFILER	30
7 DISKUSSION	30
7.1 MÄTFÖRUTSÄTTNINGARNA	30
7.2 GPS-MOTTAGAREN	30
7.3 NOGGRANNHET	31
7.4 PRECISION	31
7.5 FELKÄLLOR	32
7.5.1 Basstationsfiler för korrigering	32
7.5.2 Metoden	32
7.5.3 GPS-mottagaren	32
7.5.4 Signalreflektion	33
7.6 NUTID OCH FRAMTID.	33
7.6.1 Riksskogstaxeringen	33
7.6.2 Framtida undersökningar	34
7.7 SLUTSATSER	35
REFERENSER	36

Summary

This thesis was done at the Department of Forest Resources and Geomatics, SLU, Umeå during the fall 1996 and the spring 1997. The purpose of the study was to investigate how PDOP values influences position accuracy, precision and time spent measuring positions under a Norway spruce canopy. The Swedish National Forest Inventory GPS equipment (Geoexplorer II) was used.

The study area is situated near Umeå (lat. 63° 49' 34"N, long. 20° 18' 47"E) and is characterised by a fairly flat landscape. The test site is located at the end of a gentle slope approximately 200 meters from the crest and it is within a mature spruce forest. Successful measurements took place during ten hours daytime, 8 AM to 4 PM for two days, 27 th of February and 15 th of March. The true coordinate of the test site centre is known and during one hour each day six additional receivers were placed in a 400 m² quadrant facing north, to gather position data. The weather conditions during the trials were good both days with a clear sky and no wind.

Both days show similar results and for PDOP 10 as limit for positions used in calculations, a standard deviation of approximately 5 meters for the average of 40 positions was obtained. For PDOP 6 as limit for positions used in calculations, a standard deviation of approximately 4 meters for the average of 40 positions was obtained. PDOP-mask 6 is also the standard setting used by the Swedish National Forest Inventory. The differences between using PDOP 10 and 6 as limit for positions used in calculations are small due to the fact that most of the positions during both days had low PDOP values.

Time spent for gathering 40 positions which is the recommended number of positions to obtain an accurate averaged position used as a standard routine by The Swedish National Forest Inventory, was for PDOP 10 and 6 as limit for positions used in calculations approximately six and ten minutes respectively. The results showed that for these conditions during these two days the accuracy of positions could be approximated to the standard deviation for averaged and single positions. A sample of 60 averaged positions was fairly evenly spread around the true position although with a slight concentration towards south-east.

Generally the standard deviation of positions decreased as the number of positions used for averaging increased and as the limit for PDOP decreased. Furthermore the time spent for gathering positions increased as the limit for PDOP decreased and as the number of positions gathered increased.

Obtained experiences from measurements also show that the equipment used sometimes may perform in an unexpected way. During the study one of the receivers was discovered to not be able to establish contact with satellites to the same extent as the other receivers. The cause for the degradation in performance for this particular receiver is not known.

1 Sammanfattning

Detta examensarbets syfte är att undersöka hur valda restriktioner för PDOP-värdet samt val av antal observationer påverkar precision, noggrannhet och tidsåtgång vid mätning med Riksskogstaxeringens GPS-utrustning (Geoexplorer II) i två dimensioner.

Försöket utfördes kring en av SLU utmätt punkt i Lill-Janskogen nära SLU i Umeå. Försöksytan är belägen i en svag nordvästlig sluttning ungefär 200 meter från ett krön och karaktäriseras av grov granskog. Mätningar utfördes på försöksytans centrumpunkt under tio timmar 08⁰⁰-16⁰⁰, två olika dagar, den 27:e februari och den 15:e mars. Under en och samma timma, 12⁰⁰-13⁰⁰ båda dagarna mätte också sex andra mottagare, placerade i en kvadrat med sidan 20 meter runt centrumpunkten, sin position. Väderförhållandena var likartade under båda dagarna med klar himmel och ingen vind.

Resultaten under de båda dagarna var mycket likartade och visade att under de förhållanden som rådde gav gränsen < 10 för PDOP en spridning på 5 meter runt det beräknade medelvärdet av 40 positioner. Gränsen < 6 för PDOP som nyttjas av Riksskogstaxeringen gav en spridning på drygt 4 meter runt det beräknade medelvärdet av 40 positioner. Anledningen till att skillnaderna inte blev större var att få positioner hade höga värden för PDOP under de två dagarna som mätningarna utfördes.

Den tid som åtgick för att insamla 40 positioner med gräns för PDOP 6 och PDOP 10 uppgick till ungefär tio minuter respektive sex minuter. Ett mycket litet genomsnittligt systematiskt fel, registrerades för mätningarna. Noggrannheten av mätningarna blev därmed i samma storleksordning som precisionen. Ett slumpmässigt urval av sextio positioner, där alla sextio positioner är ett medelvärde av fyrtio positioner med PDOP < 6 , befanns med en liten övervikt åt sydöst, vara ganska jämnt fördelade runt den sanna positionen. Generellt så minskade spridningen runt det beräknade medelvärdet av positionen med ökat antal positioner och lägre gräns för PDOP. Likaså ökade tidsåtgången med ökat antal insamlade positioner och lägre gräns för PDOP.

Ett försök att med hjälp av GPS ansluten till en dator, vilken i fält placerades i en låda, registrera mycket långa tidsserier misslyckades. Dels avbröts registreringen av GPS-positioner vid vissa klockslag. Dels visade sig den GPS-mottagare som använts vid detta försök ha sämre prestanda än övriga.

2 Inledning

2.1 Bakgrund

Korrekt lägesbunden information är idag en förutsättning för skoglig detaljplanering. Införandet av ståndortsanpassat skogsbruk med små åtgärdsenheter samt växande krav på naturvårdshänsyn och alternativa skötselmetoder medför behov av att kunna behandla en snabbt växande informationsmängd. I takt med att intresset för användning av Geografiska Informations System (GIS) inom bl a skogsnäringen ökar, aktualiseras också frågan om hur man på ett rationellt och enkelt sätt kan inhämta information till ett sådant system.

GPS är ett hjälpmedel för att åstadkomma just detta. Det finns idag gott om potentiella tillämpningar för GPS inom skogsnäringen. Hur systemet fungerar och dess ungefärliga noggrannhet i öppen terräng är väl känt. Däremot finns fortfarande en viss osäkerhet kring hur systemet fungerar under ett krontak i skog. Hur länge måste man mäta innan en godtagbar positionsnoggrannhet kan erhållas? Vilka värden för PDOP (Position Dilution Of Precision) är acceptabla för att med hög säkerhet kunna säga var man är? PDOP är ett mått på hur säker bestämningen av en position är.

Riksskogstaxeringen använder idag GPS för lägesbestämning av provytor. Den typ av GPS som Riksskogstaxeringen använder är Trimbles Geoexplorer II. Modellen har åtta kanaler med funktioner för bl.a. navigering och lagring av positioner. Vissa rekommendationer har satts för hur positionsbestämning av provytorna ska göras i form av begränsningar i mottagaren. De rekommendationer som tillämpas innebär t.ex. att inga mätningar mot satellit får räknas om deras värde för PDOP överstiger 6 samt minst 40 mätningar mot satellit bör erhållas för att man ska få en godtagbar position. Det är angeläget att undersöka om dessa rekommendationer verkligen är de mest lämpliga.

2.2 Syfte

Syftet var undersöka hur valet av PDOP som gräns för lagring av positioner samt valet av antalet registrerade positioner påverkar tidsåtgång, precision och noggrannhet för positionsbestämning.

Examensarbetet har delats upp i dels en litteraturöversikt och dels en fältundersökning.

3 Introduktion till GPS

3.1 GPS

När man pratar om GPS så menas oftast det system som det amerikanska försvaret utvecklat och underhåller, nämligen NAVSTAR-GPS (NAVigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System) (Johansson och Liukko 1992). Systemet är i första hand avsett för militärt bruk men är också tillgängligt för civil användning. Utnyttjandet är idag inte förenat med några kostnader. Andra positionsbestämningssystem finns också.

GPS står således för Global Positioning System och är ett satellitbaserat navigerings- och positionsbestämningssystem som består av 24 st satelliter, varav 3 är reserver. Systemet är funktionellt oberoende av väder. Satelliterna kretsar i 6 olika banplan runt jorden på ca 20 000 km höjd, vilket gör att man alltid bör kunna ha kontakt med minst 4 satelliter samtidigt var man än befinner sig (Andersson 1990).

GPS kan sägas bestå av tre olika delar. Användaren med sin mottagare, US Departement of Defence som äger systemet och sköter korrigering av satellitbanor samt satelliterna själva.

Satelliternas omloppstid är 12 timmar, räknat i stjärntid, vilket betyder att en viss satellit på grund av jordens rörelse runt solen, återkommer ovanför horisonten ca 4 minuter tidigare varje dag. Efter ett år kommer samma satellit tillbaka till exakt samma plats och på exakt samma tid som föregående år.

Beroende på vad avsikten med användningen av GPS är ställs olika krav på noggrannheten i tid och rum. Detta har medfört att olika mät- och beräkningsprocedurer utvecklats beroende på tillämpningsmetod (Johansson 1993).

-*Kinematisk positionsbestämning*, där mottagaren rör sig och positionsbestämning kan utföras i realtid eller i efterhand.

-*Statisk positionsbestämning*, där mottagaren är stilla och positionsbestämning kan utföras i realtid eller i efterhand.

-*Navigering*, där mottagaren får sin position och kurs uppdaterad i realtid.

3.2 Historik

De tio första satelliterna var testsatelliter som benämnes Block I och 1978 sköts den första av dessa satelliter upp. Från 1989 till 1994 sköts 24 ”produktionsatelliter”, benämnda Block II upp och systemet var därmed komplett (Anon. 1996e). GPS-programmet, vilket varit intimt sammanhängande med den amerikanska rymdfärjeverksamheten, har blivit försenat vid flera tillfällen. På grund av praktiska problem med uppskjutning av rymdfärjor, bl.a. Challengerolyckan och dess följdverkningar, så sköts t.ex. bara en satellit upp under 1991 (Johansson och Liukko 1992).

På initiativ av Geodetiska Institutionen vid Kungliga Tekniska Högskolan (KTH) i Stockholm bildades 1985 den Svenska GPS-gruppen som ett forum för diskussioner om GPS tekniken. I GPS-gruppen ingick förutom KTH, Geodetiska Avdelningen vid Uppsala Universitet, Onsala Rymdobservatorium vid Chalmers Tekniska Högskola, Sjöfartsverket, Vägverket, Lantmäteriverket (LMV), dåvarande Televerket och Kommunförbundet samt de militära myndigheterna. Den Svenska GPS-gruppen genomförde en hel del olika försök med GPS och har i hög grad medverkat till att information om GPS har spridits i Sverige (Andersson 1990).

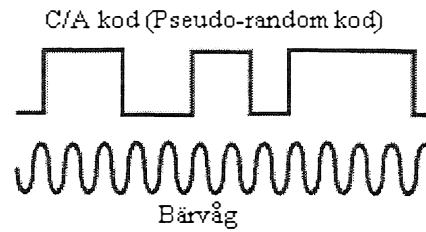
3.3 Hur GPS fungerar

Hela idén med GPS bygger på att man ska kunna mäta avståndet till systemets satelliter för att på så sätt kunna räkna ut var på jordklotet man befinner sig. Det som mäts är den tid det tar för signalen från satelliterna att nå ner till GPS-mottagaren.

Avståndet till satelliterna kan mätas på två sätt:

Bärvågsmätning (Carrier wave method).

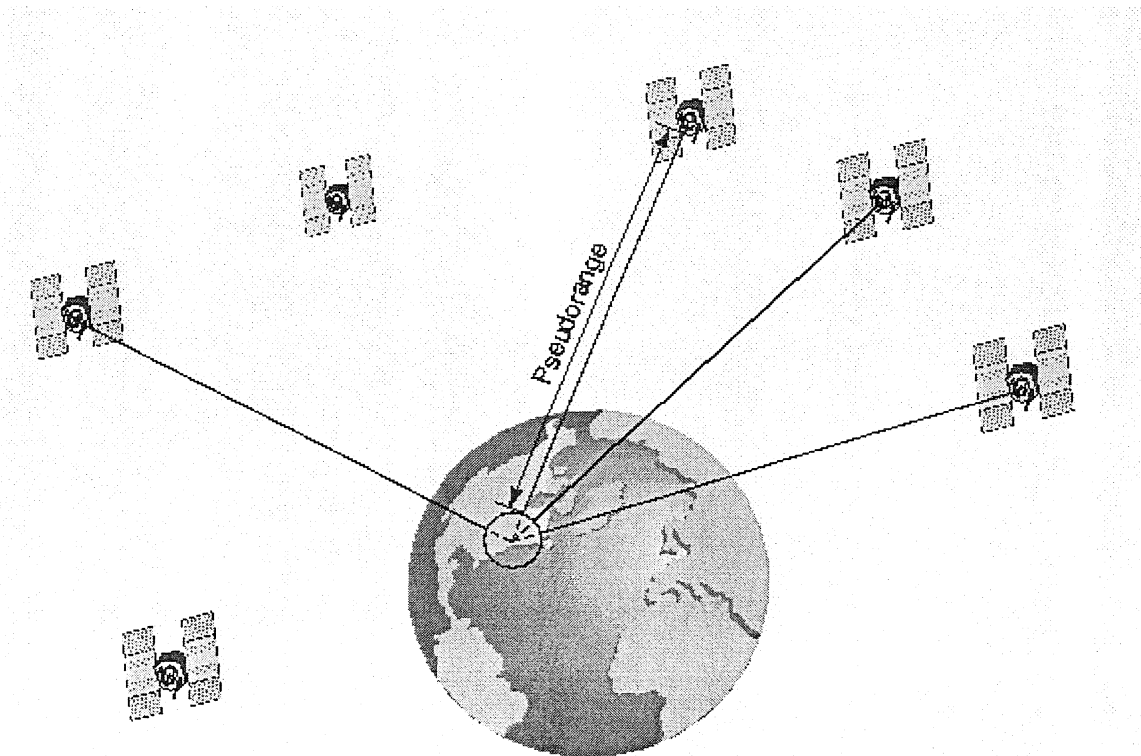
Vid bärvågsmätning bestäms förutom fasskillnaden även antalet hela våglängder mellan satellit och mottagarantenn. Avståndet beräknas med hjälp av fasskillnaden plus antalet hela våglängder multiplicerat med våglängden. Metoden ger högre noggrannhet än kodmätningen men kräver längre observationstid. Den är dessutom mycket känslig för signalavbrott som uppstår då något föremål bryter siktlinjen mellan satelliter och mottagare, en situation som mycket ofta uppstår vid mätning i skog. Detta problem kan minskas genom att mottagarens antenn placeras på en teleskopmast eller liknande ovanför trädtopparna. Bärvågsmetoden har visat sig kunna ge en noggrannhet på omkring en centimeter i alla tre dimensioner, om DGPS utnyttjas (Bard 1994). DGPS står för *Differential Global Positioning System* och innebär att GPS-mätningarna jämförs med motsvarande mätningar för en referensstation. Detta medför att fel i positionsbestämning kan reduceras avsevärt. Det är idag möjligt att vid användande av bärvågsmetoden även korrigera positioner i realtid.



Figur 1. Bärvågen.

Kodmätning (Code phase method).

Metoden kallas också pseudoavståndsmätning. Förenklat kan detta beskrivas så, att en exakt kopia av satellitsignalen genereras i mottagaren, varefter skillnaden i tid mellan den mottagna och genererade signalen bestäms. Eftersom mottagarens och satelliternas klockor inte är exakt synkroniserade, behäftas beräkningen med ett visst fel, varför resultatet av mätningen kallas pseudoavstånd.

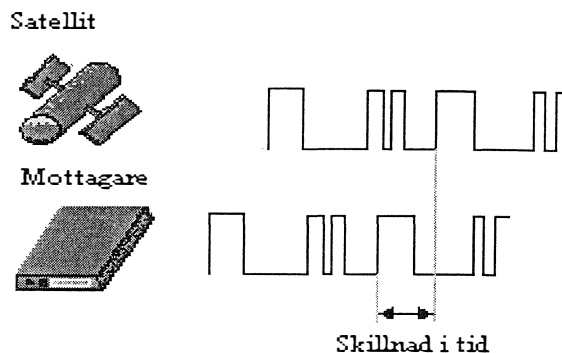


Figur 2. Avståndsmätning mot satellit. Pseudoavstånd p.g.a. osynkroniserade klockor.

3.3.1 Hur kan man veta hur långt ifrån satelliten man befinner sig?

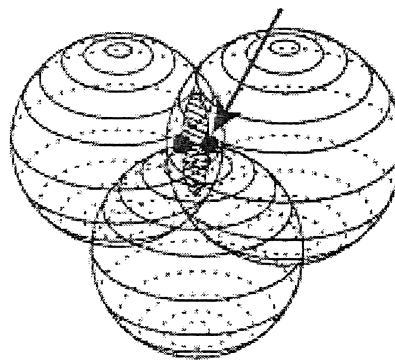
Det hela bygger på formeln: $Tid \cdot Hastighet = Str\dd{a}cka$. Satelliterna s\dd{a}nder ut radiosignaler som f\dd{a}rdas med ljusets hastighet och genom att m\dd{a}ta hur l\dd{a}ng tid det tog f\dd{a}r signalen att f\dd{a}rdas mellan satellit och mottagare s\dd{a} erh\dd{a}ller man str\dd{a}ckan. Eftersom det \dd{a}r fr\dd{a}gan om korta tidsintervaller, 6/100 av en sekund om satelliten \dd{a}r lodr\dd{a}tt ovanf\dd{a}r mottagaren, st\dd{a}lls mycket h\dd{a}ga krav p\dd{a} klockorna som m\dd{a}ter tiden.

Satellitklockorna \dd{a}r synkroniserade med mottagarklockorna s\dd{a} att de genererar samma kod p\dd{a} exakt samma tid. Allt som beh\dd{a}vs \dd{a}r att j\dd{a}mf\dd{a}ra satellitens uts\dd{a}nda kod (pseudo-random kod) med mottagarens egen. P\dd{a} s\dd{a} s\dd{a}tt ges den tid det tar f\dd{a}r satellitens signal att n\dd{a} ner till mottagaren i form av en liten f\dd{a}rskjutning i fas f\dd{a}r de b\dd{a}da kodm\dd{a}nstren.



Figur 3. F\dd{a}sskillnad mellan mottagare och satellit i kodm\dd{a}nstret.

I satelliterna finns fyra mycket exakta atomklockor av cesium- och rubidiumtyp. Satellitklockorna har en noggrannhet p\dd{a} tre nanosekunder eller b\dd{a}ttre. De \dd{a}r emellertid ocks\dd{a} mycket dyra varf\dd{a}r de flesta anv\dd{a}ndare av GPS inte har råd att ha s\dd{a}dana i mottagaren. Man l\dd{a}ser det problemet p\dd{a} ett annat s\dd{a}tt genom en fj\dd{a}rde m\dd{a}tning mot en satellit. Trigonometrin s\dd{a}ger att exakta m\dd{a}tningar mot tre satelliter kan ge positionen i tre dimensioner. Man f\dd{a}r tv\dd{a} m\dd{a}jliga svar p\dd{a} var p\dd{a} jorden man befinner sig. Ett av dessa \dd{a}r dock oftast en orimlig l\dd{a}sning och kan d\dd{a}rf\dd{a}r uteslutas. Fyra oexakta m\dd{a}tningar mot satelliter ger en \dd{a}rverbest\dd{a}mning som kan kompensera f\dd{a}r fel mellan klockorna och s\dd{a}ledes ocks\dd{a} ge en position i tre dimensioner (Hurn 1989).



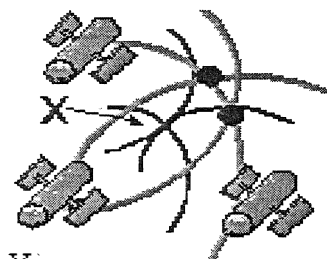
Figur 4. Tre m\dd{a}tningar ger tv\dd{a} m\dd{a}jliga svar.

Om man bara efterstr\dd{a}var ber\dd{a}kning av en position i tv\dd{a} dimensioner s\dd{a} r\dd{a}cker det att m\dd{a}ta mot tre satelliter under f\dd{a}ruts\dd{a}ttning att h\dd{a}jden \dd{a}r k\dd{a}nd. Hela ber\dd{a}kningen sker inne i mottagaren och g\dd{a}r ut p\dd{a} att hitta den gemensamma punkt d\dd{a}r alla m\dd{a}tningarna str\dd{a}lar samman, s.k. triangulering (Hurn 1989).

3.3.2 Hur kan man veta satelliternas exakta positioner?

Ett krav f\dd{a}r att man ska kunna r\dd{a}kna ut sin egen position nere p\dd{a} jordytan \dd{a}r att satelliternas positioner \dd{a}r k\dd{a}nd. Departement of Defense i USA placerar ut varje satellit i en precis bana i enlighet med den s.k. "GPS master plan". Satelliternas banor \dd{a}r allts\dd{a} redan p\dd{a} f\dd{a}rhand k\dd{a}nda.

\dd{A}ven om satelliternas nominella banor \dd{a}r v\dd{a}l k\dd{a}nda, s\dd{a} \dd{a}rvervakas de st\dd{a}ndigt av Departement of Defense i USA som ocks\dd{a} kan korrigeras dessa banor vid behov. De st\dd{a}rningar som kan f\dd{a}rekomma s.k. "orbitala st\dd{a}rningar" beror p\dd{a} gravitation fr\dd{a}n m\dd{a}nen eller fr\dd{a}n solen. \dd{A}ven solstr\dd{a}lning st\dd{a}r ibland satelliternas banor.

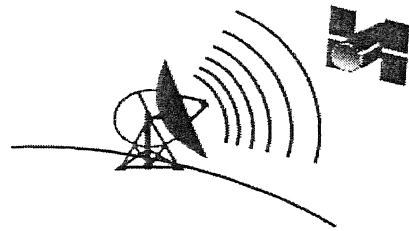


- X - Korrekt position
- - Ej korrekt position
- Korrekt tidskurva
- Ej korrekt tidskurva

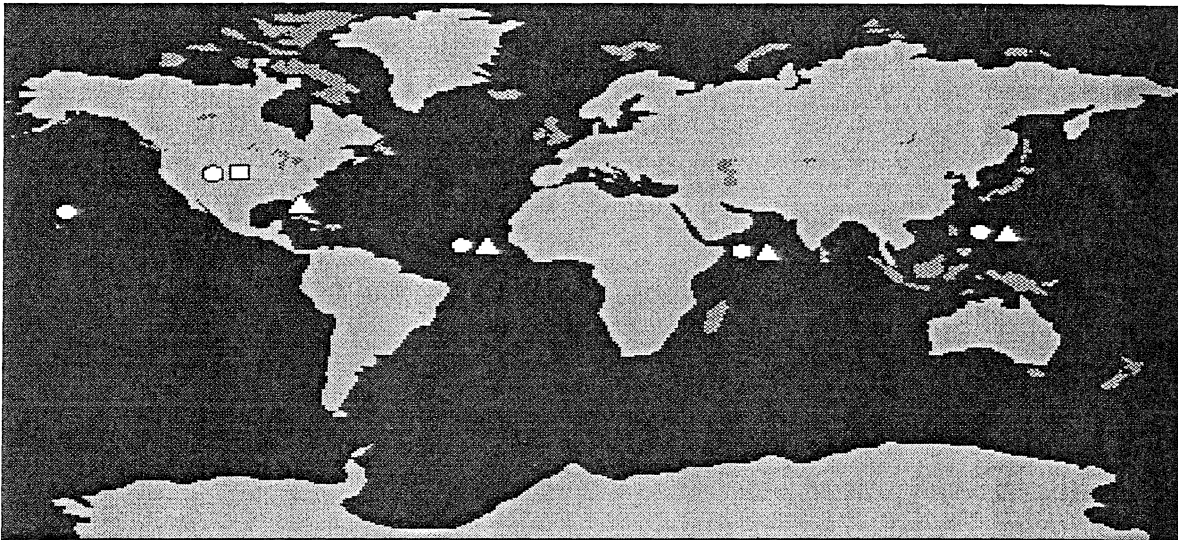
Figur 5. Effekt av osynkroniserade klockor i satelliter och mottagare.

Alla dessa störningar är emellertid mycket små. GPS satelliterna sänder förutom den s.k. pseudo-random koden också ut ett meddelande om satellitbanor och satelliternas hälsa.

Hela systemet styrs från en driftledningscentral, en s.k. masterstation som är belägen i Colorado Springs, USA. För övervakning av satelliterna finns dessutom 5 spårstationer utspridda längs ekvatorn. Spårstationerna registrerar kontinuerligt signaler från de satelliter som vid registreringstillfället befinner sig ovanför respektive spårstations horisont.



Figur 6. Jordbunden övervakning av satelliter.



□ Master Control Station	○ Monitor Station	△ Ground Antenna
Satellite Control	Monitor Navigation	Transmit Data Commands
System Operations	Collect Range Data	Collect Telemetry

Figur 7. De fem spårstationerna inklusive Colorado Springs som också är Masterstation.

I driftledningscentralen i Colorado Springs beräknas satelliternas banparametrar och korrektionsparametrar för satellitklockor ur data som erhållits från spårstationerna. Dessa resultat predikteras sedan framåt i tiden och sänds vidare till satelliterna via någon av de tre spårstationer, vilka är försedda med för denna uppgift lämplig utrustning. Från Colorado Springs ansvarar man även för ersättning av förstörda satelliter med nya (Johansson och Liukko 1992).

3.3.3 Pseudo-random koderna

De koder som satelliterna sänder ut kallas för pseudo-random koder eftersom de ser ut att vara slumpmässigt sammansatta. Det är dock mycket omsorgsfullt utvalda "pseudo-random" sekvenser som upprepas varje millisekund. Satelliterna sänder kontinuerligt ut signaler på två frekvenser och utnyttjar s.k. "spread spectrum". "Spread spectrum" innebär att signaler sprids över ett bredare frekvensintervall vilket används för att underlätta för en mottagare att urskilja satellitens signal från bakgrundsbruset. Frekvenserna kallas L1 och L2, och ligger på 1575,42 Mhz respektive 1227,60 Mhz. Tack vare de atomur som finns ombord på varje satellit, kan en god frekvensnoggrannhet erhållas.

C/A-kod (Coarse/Aquisition Code), består av 1023 bitar och sänds på L1-frekvensen samt upprepas varje millisekund (efter varje 1023 bitar). Olika koder har tilldelats de enskilda satelliterna för att de skall kunna skiljas åt vid mottagning av signalerna.

P-kod (Precise Code), sänds både på L1- och L2-frekvenserna och ger en avsevärt mycket högre noggrannhet vid positionsbestämning än C/A-koden. L2-frekvensen innehåller information om satellitsignalens försening i jonosfären. P-koden har en period på 267 dygn och varje satellit har tilldelats en sju dygn lång del av denna cykel. P-koden upprepas var sjunde dygn.

L1-frekvensen bär förutom C/A-kodsignalen också ett 30 sekunder långt navigationsmeddelande vilket sänds med en hastighet av 50 bitar per sekund till alla mottagare. Navigationsmeddelandet (ephemeris data) består av prognoser om respektive satellits avvikelser från medelbanan samt information angående satelliternas läge (Dana 1995).

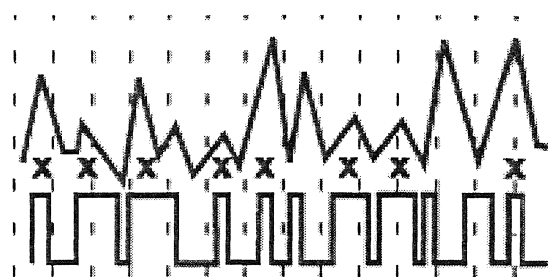
Signalerna som sänds från satelliterna är mycket svaga, så svaga att de lätt skulle kunna försvinna i jordens bakgrundsstrålning av radio-vågor eller förväxlas med signaler från andra satelliter. Jordens bakgrundsstrålning kan illustreras som en sammanhängande ström av elektroniska pulser.



Figur 8. Illustration av elektronisk puls.

För att undvika att satellitsignalen ska försvinna i bakgrundsbruset och istället kunna avge precisa tidsmarkeringar från satelliterna, använder sig GPS av en signalmodulering kallad Pseudo Random Noise (PRN). Denna signalmodulering skapar de två ovan beskrivna koderna, C/A-kod och P-kod, vilka båda två genereras i satelliterna med hjälp av matematiska algoritmer (Johansson 1993).

Pseudo-random koden liknar alltså bakgrundsstrålningen och skulle lätt kunna förväxlas med densamma om det inte vore för att den är känd. Eftersom signalpulserna från jordens bakgrundsstrålning och satellitsignalen är så lika, är det sannolikt att ungefär halva tiden är de samstämmiga och den andra halvan av tiden stämmer de inte överens. Genom att mottagarens kod jämförs med bakgrundsstrålningen i mottagaren, kan den förstärkning som satelliternas signaler utgör urskiljas från bakgrundsstrålningen.



Figur 9. Förstärkning av bakgrundsstrålning.

Det finns flera skäl för att använda sig av pseudo-random koden. Ett av dessa är att i händelse av krig så har USA:s Departement of Defense kontroll över systemet och kan variera den på C/A-koden pålagda störningen (S/A-effekten, Selective Availability). S/A-effekten är alltid pålagd men kan undvikas genom att använda en referensstation (basstation), s.k. DGPS. Pseudo-random koden är också svår att störa av annan än den som har tillgång till den rätta koden (Hurn 1989).

För närvarande finns två olika tjänster för användare av GPS. SPS (Standard Positioning Service), är en tjänst som medger tillgång till C/A-kod och banddata. Noggrannheten hos satelliternas tidsinformation har förvrängts med S/A-effekten och man erhåller därmed en

noggrannhet på endast +/- 100 meter i horisontalplanet (latitud /longitud) om inte DGPS används. SPS är tillgängligt för alla användare och är den tjänst som är aktuell för svenskt skogsbruk.

PPS (Precise Positioning Service), är en tjänst som förutom samma information som SPS, ger tillgång till P-kod på både L1- och L2-frekvenserna. Därtill ger PPS tillgång till den s.k. Y-koden, d.v.s. P-koden i krypterat tillstånd. PPS-tjänsten med dess Y-kod påverkas inte av någon pålagd S/A-effekt. PPS är endast tillgänglig för USA:s krigsmakt och dess allierade.

3.4 DGPS

DGPS står för Differential Global Positioning System och är en vidareutveckling av vanlig GPS. Man pratar också om relativ GPS vilket är detsamma som DGPS. På grund av den höga noggrannheten man kan uppnå med DGPS, så är det främst detta system som är intressant för svenskt skogsbruk. Vanligt GPS i all ära, men för många användningsområden räcker helt enkelt inte noggrannheten till. Då man inom skogsbruket inte kan nöja sig med en positionsnoggrannhet på ca 100 meter så är DGPS det enda alternativet.

Idén med DGPS är att använda sig av två mottagare istället för en. Man antar att den signal som når de två mottagarna har färdats samma väg och således utsatts för samma störningar på sin väg ner mot de två mottagarna.

Eftersom båda mottagarna är utsatta för praktiskt taget samma fel, så låter man en av mottagarna stå på en plats där man känner koordinaterna. Denna mottagare kan då räkna ut det fel som uppstår vid avståndsmätningen mot varje satellit. Dessa värden kan sedan användas för att korrigera den mottagares värden som inte befunnit sig på en känd position. Detta kan göras i realtid d.v.s. direkt som mätningarna görs, eller i efterhand vilket brukar benämnas "post processing"(Hurn 1993).

3.4.1 Hur DGPS fungerar

Med DGPS kan man komma ifrån de flesta störningsfaktorer som nämnts ovan. Nästan hela felet som orsakas av S/A-effekten kan tas bort med differentiell korrektion. Satellitklockornas fel tas bort helt av differentiell korrektion. Likaså tas troposfäriska störningar och jonosfäriska störningar nästan helt bort. Även fel i tidmätning som beror av störningar i satellitens bana kan nästan helt tas bort med korrigering. De fel som är gemensamma för både mottagare och satellit eller för två olika mottagare, är de fel som kan korrigeras med DGPS. Signalreflektion, brus i mottagaren, bakgrundsbrus, fel p.g.a. svaga satellitsignaler eller fel p.g.a. höga värden för PDOP är fel som inte kan tas bort med differentiell korrektion (Anon. 1995d).

De olika typerna av fel kan indelas i brus, bias och misstag av människor. Den mänskliga faktorn kan givetvis ställa till hur stora fel som helst. Likaså kan fel på hårdvaran göra mätningar helt felaktiga. De störningar som är normalt förekommande fördelar sig på följande sätt i styrka på en enskild position i meter (Dana 1995).

Tabell 1. Störningars effekt på mätning med GPS (Dana P.H. 1995).

Störningsfaktor	Avstånd på marken (meter)
Bias	
Troposfäriska störningar	1
Jonosfäriska störningar	10
S/A-effekt	30-100
Signalreflektion	0,5
Störning i satellitens bana	1
Brus	
Bakgrundsbrus (PRN-kod brus)	1
Brus i mottagaren	1

Korrektion av inmätta positioner kan göras med två olika metoder, positionskorrektion eller pseudoavståndskorrektion.

3.4.2 Pseudoavståndskorrektion

Vid pseudoavståndskorrektion krävs att referensstationen har registrerat data från samma satelliter som fältmottagaren. Detta är den rekommenderade och utnyttjade korrektionsmetoden för de i undersökningen utförda mätningarna.

I den programvara där korrektionen görs, t.ex. PFINDER, avläses från fältmättningsfilen vilken satellitkonstellation som har använts för inmätning av respektive position. Programmet använder sig sedan av rådata från basfilen (referensstationens fil) för de aktuella satelliterna för att räkna ut felet mellan satellitens pseudoavstånd och dess sanna avstånd.

3.4.3 Positionskorrektion

Vid positionskorrektion så korrigeras det aktuella värdet för positionerna istället för tidmätningarna mot satellit som vid pseudoavståndskorrektion.

Denna metod utför korrektionerna något snabbare än pseudoavståndsmetoden. I likhet med pseudoavståndskorrektion, kan endast korrigerade ske för de positioner som insamlats under de perioder då referensstationen och mottagaren i fält beräknat positioner från samma satellitkonstellationer. Positionskorrektion används i praktiken mycket sällan.

3.4.4 Korrigerade i realtid

I Sverige sänder företaget TERACOM, f.d. Svensk Rundradio, ut data för differentiella korrektioner över radionätet. Denna tjänst kallas för EPOS och utnyttjar tolv fasta referensstationer som ingår i Lantmäteriverkets SWEPOS-nät. Referensstationerna är placerade så att man erhåller en jämn spridning över landet. Korrigeringsvärdena går från referensstationen via Kaknästornet ut över radionätet. Korrektionerna skickas i ett speciellt format fastställt av *the Radio Technical Commission for Maritime Services*, som är ett amerikanskt standardiseringsorgan för maritima applikationer. Det format som EPOS använder benämns RTCM SC-104 version 2.0. Man sänder ut meddelanden av tre typer, Typ 1, Typ 2 och Typ 9.

Typ 1-meddelandet innehåller korrektioner från alla satelliter som referensstationen kan ta emot samt information om bl a satellitens identitetsnummer, det korrigerade avståndet till satelliten, hastigheten med vilken korrektionen förändras, vilka bankorrigeringsdata som beräkningen är baserad på och information om tiden när korrektionen beräknades.

Typ 2-meddelandet innehåller nya data om satelliternas banor. Dessa sänds ut vid förändringar i satelliternas banor eller var femte minut.

Typ 9-meddelandet innehåller uppgifter om endast en satellit åt gången. Detta meddelande ger generellt ett bättre resultat än Typ 1-meddelanden. Vissa modeller av mottagare kan inte använda Typ 9-meddelanden men alla mottagare kan använda Typ 1-meddelanden.

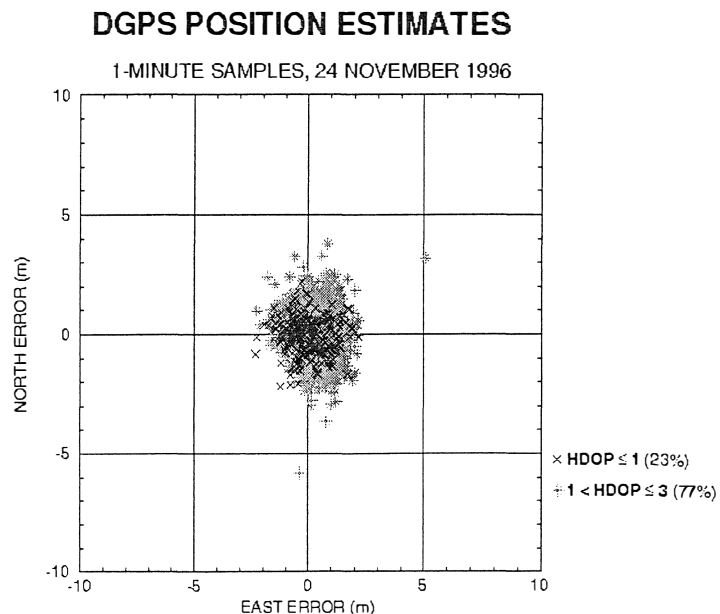
Varje referensstation förser ett begränsat geografiskt område med korrektionsdata, dvs det område som referensstationen är avsett att täcka. Korrektionerna distribueras via det rikstäckande nätet av P3-sändare. EPOS sänder via RDS-kanalen som är en datakanal på FM-bandet. RDS står för *Radio Data System*. Varhelst Sveriges Radios P3 är tillgängligt ska enligt Lantmäteriverket även EPOS kunna användas.

EPOS är alltså ett system som ger möjlighet till differentiell korrigerings av positioner i realtid. För att kunna åtnjuta de tjänster som EPOS erbjuder så krävs ett abonnemang och utrustning som kan ta emot utsända korrektionsdata från radionätet. Två typer av abonnemang kan lösas, ett som ger +/- 2 meters noggrannhet och ett som ger +/- 10 meters noggrannhet (Djurberg 1996).

För närvarande, april 1997, finns abonnemang med två noggrannheter. Kostnaden för ett abonnemang med +/- 10 meters noggrannhet ett år är 1495 kr, för tre år 3745 kr och för fem år 4995 kr inklusive moms. För +/- 2 meters noggrannhet kan ett till tre års abonnemang beställas. Kostnaden för ett år är 7495 kr och för tre år 18700 kr inklusive moms. Om endast Epostjänsten +/- 10 meters noggrannhet efterfrågades så skulle det räcka med en enda referensstation för hela landet. För att Epostjänsten +/- 2 meters noggrannhet ska vara möjlig att erbjuda så krävs fler referensstationer jämnt spridda över hela landet. Därför så blir den tjänsten dyrare. De korrektioner som utsänds via +/- 10 meters tjänsten är mindre noggranna p g a att de har färre antal decimaler än de korrektioner som utsänds för Epostjänsten +/- 2 meters noggrannhet.

3.4.5 Noggrannhet

Figur 10 visar ett exempel på noggrannhet av DGPS för vanlig kodfasmätning i två dimensioner under perfekta mätförhållanden (Anon. 1996b). Det finns flera olika sätt att utnyttja DGPS. Man kan korrigera sina positioner mot fasta referensstationer som drivs av Lantmäteriverket eller utnyttja en egen referensstation om man har tillgång till sådan utrustning. För att korrigeringen av positioner ska fungera bra så rekommenderas att man ställer in sin mottagare så att dess lägsta vinkel för mätning mot satellit är större än den lägsta vinkel som basstationen man korrigerar emot använder. Detta syftar till att undvika att mottagaren i fält använder satelliter som referensstationen inte mäter mot. Lägsta vinkel på fackspråk kallas Elevation-mask och en vanlig inställning är 10° för basstationen och 15° för mottagaren i fält.

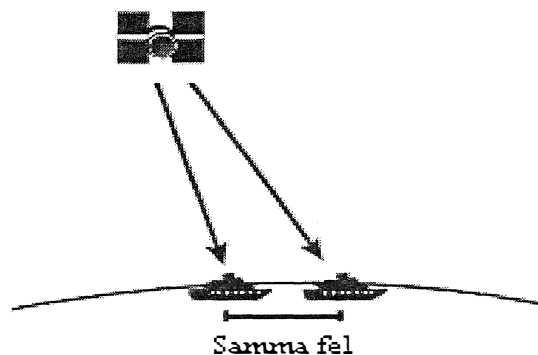


Figur 10. Noggrannhet efter korrigerings.

Något som också är av betydelse för noggrannheten på korrigerat data är vilket lagringsintervall för positioner man använder sig av. Lantmäteriverkets referensstationer lagrar för närvarande data om fel i tidmätning mot satelliter var femtonde sekund. Detta innebär att om man i mätning i fält väljer att lagra positioner med fem eller en sekunders intervall så kommer de positioner som hamnar mellan de femton sekunderna i referensstationsfilen att inte kunna korrigeras mot det fel i tidmätning som rådde exakt vid den tidpunkt som mätningen gjordes. Ett medelvärde av felet i tid vid början och slutet för de femton sekunderna beräknas. Det används för att korrigera de mätningar som hamnar inom det femton sekunders långa intervallet. För Umeå basstation finns nu även möjlighet att få filer innehållande korrektionsdata med fem sekunders intervall.

Ju kortare avståndet mellan mottagare i fält och basstationen är desto bättre blir resultatet av korrigeringen. Enligt Trimble så ska felet i tidmätning mot satellit inte skilja sig allt för mycket inom en radie av 300 kilometer.

Trimble uppger att en Geoexplorer II genom vanlig kodfasmätning kan mäta sin position med en noggrannhet på mellan 2- 5 meter i horisontalplanet om differentiell korrigeringsnyttjas. Detta gäller under förutsättning att mätförhållandena är goda och att referensstationen inte är mer än 300 km bort, samt att de standardinställningar som rekommenderas är satta i mottagaren. Det innebär att minst 50% av alla positioner ska befinna sig inom en radie av 5 meter från den sanna positionen. Med särskild programvara kan samma mottagare även utnyttjas för bärvågs-mätning. Då kommer enligt Trimble noggrannheten efter differentiell korrigerings i ett horisontalt plan att bli 1 meter eller ännu bättre i det horisontella planet. Absolut GPS ger endast en noggrannhet på 100 meter i horisontalplanet, d.v.s. 50% av alla positioner eller fler befinner sig inom en radie av 100 meter från sann position, under förutsättning att S/A-effekten är pålagd. En tumregel är att spridningen i höjddled är två gånger den i horisontalplanet (Anon. 1996c).



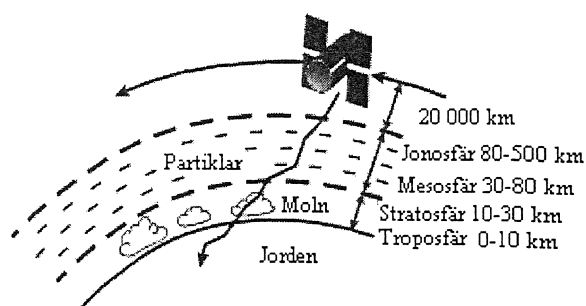
Figur 11. Satellitsignalens väg genom rymden.

En mottagare typ Geoexplorer II har flera inställningsmöjligheter beträffande vilken typ av positioner man vill mäta och lagra. Det kan vara en fördel att endast mäta tvådimensionella positioner eftersom då endast tre satelliter behövs för att få en position. Beroende på vilken sorts position man vill mäta, tvådimensionell eller tredimensionell, så kan noggrannheten försämrats avsevärt om man vid tvådimensionell insamling av positionsdata inte angivit korrekt höjd (Anon. 1996c).

3.5 Störningsfaktorer

3.5.1 Troposfären

GPS ska ju vara oberoende av väder, men trots atomur och trigonometriska trick så finns det vissa störningsfaktorer som är svåra att komma ifrån. Jonosfären består av ett lager av laddade partiklar som påverkar ljusets hastighet samt även radiosignaler från satelliter. Eftersom satellitsignalerna inte färdas i vakuum är den exakta hastigheten inte känd. Signalens utbredningshastighet minskar när det passerar genom ett tjockare medium som t.ex. ett fält av laddade partiklar.



Figur 12. Satellitsignalens väg genom atmosfären.

Det finns emellertid godtagbara lösningar på detta problem. När en radiosignal passerar genom jonosfären minskar dess hastighet omvänt proportionellt mot frekvensen i kvadrat. Det innebär att ju lägre frekvens på radiosignalen, desto mer minskar dess hastighet när den passerar genom jonosfären. En metod är att jämföra ankomsttiden av två olika delar av en och samma radiosignal, två delar som har olika frekvens. På detta sätt kan signalens utbredningshastighet bestämmas. För PPS tjänsten kan signalens fördröjning i jonosfären beräknas genom att P-koden sänds på både L1- och L2-frekvensen.

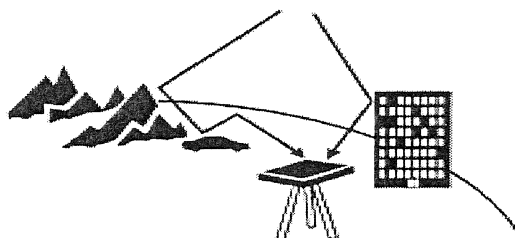
Troposfären utbreder sig från marknivå till 8 eller 13 km höjd ovan marknivå och utgör den lägre delen av atmosfären. Här finns vattenånga som kan påverka radiosignalens hastighet. Förutom vattenånga orsakar ändringar i väder, lufttrycks- humiditets- och temperaturförändringar också störningar. I sämsta fall kan dessa störningar vara lika stora som de störningar som orsakas av jonosfären (Dana 1995).

3.5.2 Brus

Även om atomur är utomordentligt pålitliga så är de inte helt felfria. USA:s Departement of Defense mäter och justerar satellitkonstellationernas eventuella fel. Likaså kan våra mottagare ibland utsättas för både inre och yttre elektriska störningar, brus respektive bakgrundsbrus, som gör att de inte behandlar pseudo-random koderna korrekt. Äldre modeller av mottagare kan också avrunda i sina matematiska beräkningar så att positionsbestämningen blir mindre korrekt (Dana 1995).

3.5.3 Signalreflektion

En annan typ av fel är s.k. "multipath errors", signalreflektion, som beror av att radiosignalen har studsat på olika föremål innan den har nått mottagaren. Att signalerna inte går raka vägen till mottagaren gör att mottagaren mäter en felaktig tid. Detta fel är svårt att beräkna eller förutse.



Figur 13. Signalreflektion.

3.5.4 S/A-effekten

Den absolut största källan till fel i positionsbestämning är S/A-effekten. S/A-effekten varierar med en låg frekvens och den är individuell för varje enskild satellit.

3.5.5 PDOP

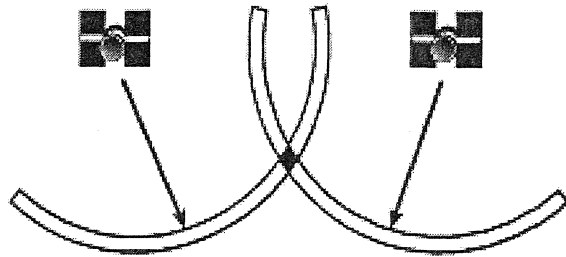
Det är inte bara störningar som orsakar osäkerhet i positionsbestämning. Även satelliternas vinkel i förhållande till varandra och mottagaren spelar roll. PDOP (Position Dilution of Precision) är ett enhetslöst mått på hur säker positionsbestämningen är. PDOP beror av vilka vinklar som de olika satelliterna har i förhållande till varandra och mottagaren. Ju längre ifrån varandra satelliterna är desto säkrare positionsbestämning och lägre värde för PDOP erhålls.

I figur 14 åskådliggörs i två dimensioner hur satelliter som befinner sig längre ifrån varandra ger en säkrare positionsbestämning än som i figur 15, där mottagare typ Geoexplorer II fungerar så att den beräknar sin position med hjälp av de fyra satelliter som för tillfället ger det lägsta värdet för PDOP och därmed den säkraste positionen.

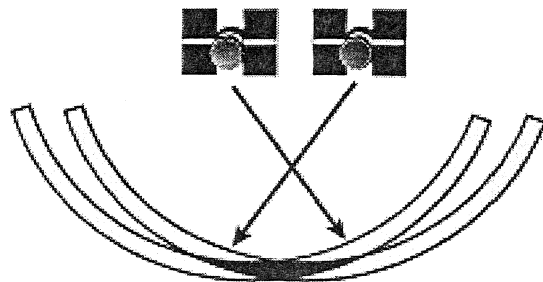
PDOP är omvänt proportionellt mot volymen av den pyramid som bildas av de fyra satelliterna och mottagaren (se figur 16). När pyramidens volym ökar minskar värdet för PDOP och vice versa.

3.5.6 Satellitsignalens styrka

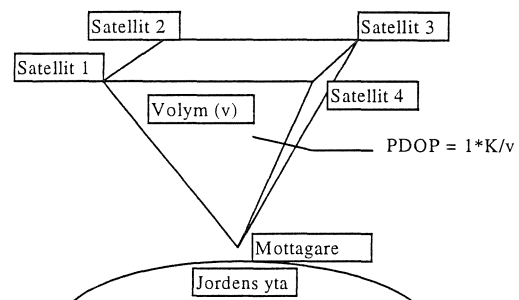
Satellitsignalens styrka påverkar också positionsbestämningen. Det är viktigt att inte tillåta mottagaren att beräkna positioner med för svaga signaler som grund. Svaga signaler innebär en risk för försämrade noggrannhet. Reflekterade signaler är svagare än normala signaler och ger en sämre noggrannhet. I en GPS av typ Geoexplorer II kan man sätta en begränsning för hur svag signalen får vara. Denna variabel kallas på fackspråk för SNR-mask och ett vanligt värde är 4. Det som kan hindra satellitsignalerna är t.ex. människor, byggnader, tät skog, stora fordon och topografi i form av svackor. Signalerna kan med viss försvagning (minskning av amplitud) gå igenom plast, glas, trä och vatten (Anon. 1996c).



Figur 14. Lågt värde för PDOP.



Figur 15. Hög värde för PDOP.



Figur 16. PDOP visualiserat.

3.6 GLONASS

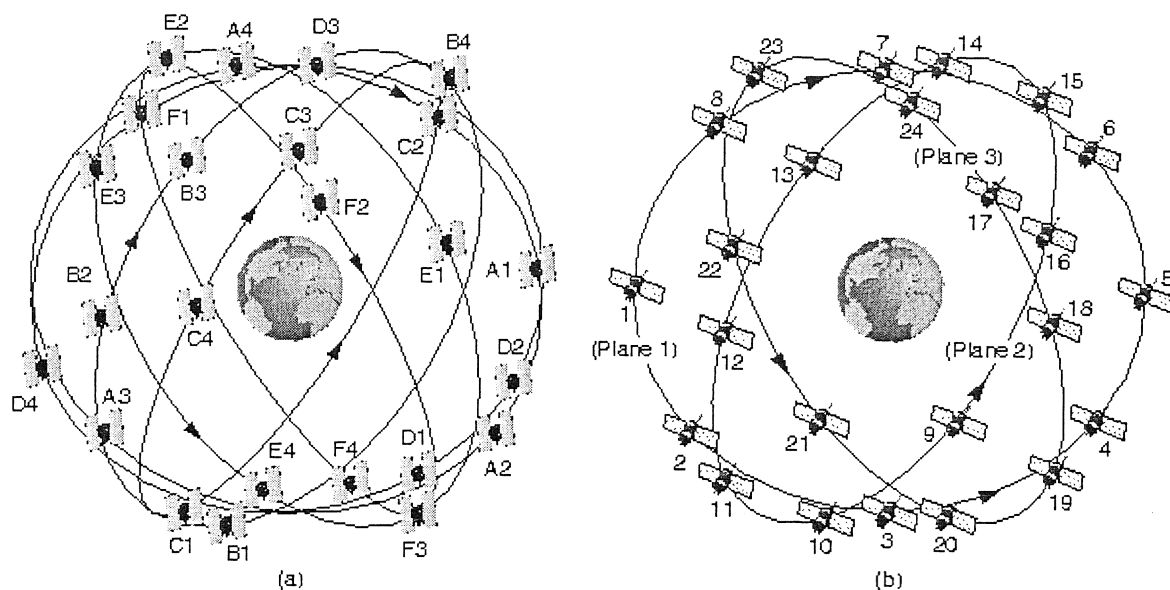
Ett annat intressant navigeringssystem är det ryska GLONASS (GLObal Navigation Satellite Systems). Det har mycket gemensamt med USA:s GPS (Global Positioning System), vad gäller satellitkonstellation, satellitbanor och signalstruktur. Båda systemen ägs av respektive lands försvarsdepartement och erbjuder möjligheter till precisa, globala och kontinuerliga positionsbestämningar. Båda systemen sänder "spread spectrum" signaler på två frekvenser på L-bandet (1,2 GHz och 1,6 GHz). Båda länderna har också gjort en utfästelse om att tillhandahålla ett antal signaler tillgängliga för civil användning, utan kostnad för åtminstone tio år eller mer framåt i tiden.

En skillnad mellan GLONASS och GPS är att det förra systemet inte är belagt med någon S/A-effekt (Anon. 1996a). GLONASS sänder heller inte ut någonting i sitt navigationsmeddelande som kompenserar för jonosfäriska störningar (Misra 1993). Liksom GPS, så erbjuder GLONASS två olika tjänster. CSA-kanalen (Channel of Standard Accuracy), som är tillgänglig för alla civila användare och CHA-kanalen (Channel of High Accuracy), som endast kommer att finnas tillgänglig för behöriga användare.

GLONASS är fortfarande under utveckling. I januari 1996 hade för första gången systemet sin fullständiga konstellation av 24 satelliter. Under 1996 har GLONASS-mottagare börjat komma ut på marknaden. Systemet har ännu inte officiellt deklarerats färdigt för operationell användning (Anon. 1996a). En anledning till att GLONASS är så intressant är att om man kunde kombinera systemet med GPS så kunde man få ett mycket komplett och säkert navigeringssystem för bl.a. flygtrafik (Misra 1993). För att inte tala om den betydelse det skulle kunna få för mätningar i skog där det p.g.a. terrängförhållanden ibland kan vara svårt att få in tillräckligt med satelliter för en säker positionsbestämning.

Tabell 2. Karaktäristika för GPS och GLONASS.

Karaktär	GPS	GLONASS
Konstellation		
Antal satelliter	24	24
Antal banplan	6	3
Orbital inklination (grader)	55	65,8
Orbital Radie (km)	26,560	25,510
Period (tim:min)	11:58	11:16
Omloppstid (stjärndygn)	1	8
Signal karaktäristika		
Radiosignal (Mhz)	L1: 1575,42 L2: 1227,60	L1: (1602+0,5625n) L2: (1246+0,4375n) n=1,2,...,24
Kod	C/A kod på L1 P kod på L1 och L2	C/A kod på L1 P kod på L1 och L2
Kod frekvens (Mhz)	C/A kod: 1,023 P kod: 10,23	C/A kod: 0,511 P kod 5,11
Referens standard		
Koordinatsystem	WGS 84	SGS 85
Tid	UTC (USNO)	UTC (SU)
Noggrannhetsspecifikation (95% respektive 99% säkerhet)		
Horisontalt (m) SPS- respektive CSA-tjänsten	100	60
Vertikalt (m) SPS- respektive CSA-tjänsten	156	75



Figur 17. Visar konstellationen av satelliter i (a) GPS och (b) GLONASS. Vardera systemet har då det är fullt utbyggt 24 satelliter.

3.7 Koordinatsystem

Det Svenska nationella geodetiska koordinatsystemet heter Rikstriangelnät 90 (RT 90) och är baserat på en ellipsoid beräknad av Bessel år 1841. Sedan januari 1987 används det amerikanska koordinatsystemet World Geodetic System 1984 (WGS 84) i GPS-verksamheten. Detta innebär att positionsbestämning som utförts med GPS måste transformeras från WGS-84 till RT 90 eller till det lokala koordinatsystem som används (Reit 1990). De sjökort som idag produceras i Sverige är baserade på WGS 84.

WGS-84 är ett globalt system som har en osäkerhet i själva definitionen på 1-2 meter. För att åstadkomma en bättre referens för mer regionala mätningar har därför olika initiativ tagits. I Europa har t.ex. systemet EUREF 89 (European Reference Frame 1989) byggts upp, vilket kan sägas vara den europeiska realiseringen av WGS 84. I Sverige har Lantmäteriverket förtätat EUREF 89 och etablerat systemet SWEREF 93, där SWEPOS-stationerna ingår som en integrerad del. Med andra ord gäller sambandet:

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

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

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

Dessa benämns sammantaget RR 92 (Rikets referenssystem 1992). Lantmäteriverket har därför utvecklat ett transformationssamband mellan SWEREF 93 och RR 92 (Persson och Persson 1995).

En GPS-mottagare typ Geoexplorer II kan beräkna positioner i flera olika geodetiska datum, däribland RT 90, samt få koordinater visade på display i olika sorters enheter, t.ex. kilometer. Detta är en fördel vid navigering med hjälp av en vanlig svensk karta (Anon. 1996c).

4 Litteraturoversikt

Försök som syftar till att studera skogliga tillämpningar av GPS har i Sverige främst genomförts av Skogforsk. En del andra intressanta undersökningar, ej direkt knutna till skogsbruk, som producerats utanför Sveriges gränser refereras också.

4.1 Svenska undersökningar

År 1991 genomförde Skogforsk ett försök med GPS för bestämning av positioner och arealer. Resultatet visade att absolut GPS är alltför inexakt p.g.a. S/A-effekten och att relativ GPS är det som är aktuellt för skogliga tillämpningar. Felet i positionsbestämning med DGPS låg inom 10 meter och noggrannheten försämrades inte i skog jämfört med öppna ytor. Träden hindrar visserligen satellitsignalerna från att nå ner till mottagaren i viss utsträckning men förutsatt att de når ner är noggrannheten i positionsbestämning god. Arealbestämning av ett 4 ha stort hygge gav ett 0-3% fel i arealbestämning. Felet i arealbestämning för ett 16 ha stort hygge var 0,08% av arealen. (Hellström och Johansson 1993a).

År 1993 genomförde Skogforsk en studie för att bl a jämföra traditionell, ortofotobaserad arealuppskattning med GPS-stödd arealuppskattning. Man använde sig av två olika metoder, punktvis och kontinuerlig mätning. Vid den punktvisa mätningen togs ungefär var 30:e meter fem positioner från vilka ett medelvärde beräknades. Vid den kontinuerliga mätningen togs en position var 10:e sekund. Ett resultat blev att GPS-stödd arealuppskattning ger ett försumbart arealfel. I medeltal avvek planerarnas icke GPS-stödda arealuppskattning med 7%. Erfarenheterna angående mätmetod tyder på att punktmätning ger en högre noggrannhet i positionsbestämning i varje mätpunkt men ökad tidsåtgång, 5 minuter/ha, jämfört med kontinuerlig mätning, 3minuter/ha (Hellström och Johansson 1993b).

År 1993 sammanställde Skogforsk resultat från olika försök. Här beskrivs hur test av DGPS under krontak i skog har genomförts. Mätningarna har gjorts när minst 6 satelliter funnits 15° ovanför horisontalplanet. Resultatet visar att ett krontak begränsar satellitsignalens förmåga att nå mottagaren. Vidare går det bra att mäta med GPS i de flesta typer av bestånd, men i täta unga bestånd av gran (*Picea abies*) är det svårt att uppehålla en kontinuerlig kontakt med satelliterna. För att kunna utvärdera noggrannheten av de mätningar som gjorts med GPS så gjordes två försök. Ett försök genomfördes i en 70-årig blandskog av tall (*Pinus silvestris*) och gran. Det andra försöket gjordes i en 1,5 meter hög tallplantering. I båda försöken positionsbestämdes 12 punkter med 0,2 meters noggrannhet med traditionella geodetiska metoder. Noggrannheten varierade mellan 4-7 meter i genomsnitt. Mätningar av positioner i de två beståndstyperna genomfördes parallellt i tid och resulterade i att ingen märkbar skillnad i positionsnoggrannhet kunde påvisas (Hellström 1993).

År 1993 utvärderar Skogforsk i samarbete med dåvarande Domän Skog AB och Swedforest System AB användandet av GPS och GIS vid inventering och àjourhållning av skogsbilvägnätet. Resultaten visar att GPS äger stor potential att förenkla och effektivisera àjourhållning och datainsamling. GPS står för en mycket liten del av inventeringskostnaden men höjer drastiskt kvaliteten på insamlade data. Analys och presentation av àjourhållningsbehovet görs enkelt med hjälp av GIS (Johansson och Gunnarsson 1994).

Ett examensarbete utfördes 1993 för Nämnden för Skoglig Fjärranalys som en del av ett större projekt med namnet "Mark- och vegetationskartering med fjärranalys". Projektet syftade till att hitta en praktiskt gångbar fjärranalysmetod för att insamla data till GIS och undersöka möjligheterna till positionsbestämning av provytor med DGPS för kartering av bergart och skogstyp. Provytorna fungerade som referensytor när sedan geografiska data skulle uttolkas i området. Alla resultat som erhöles visar att positionsbestämning med DGPS fungerat mycket bra. Vid kontrollmätning av punkter med givna lägen erhöles en radiell medelavvikelse i positionsbestämning på 2,04 meter med en standardavvikelse på 1,88 meter. Man fann att terrängen verkade vara den dominerande orsaken för försämrade satellitgeometri och till följd höga värden för DOP (Eriksson 1993).

I en arbetsrapport från dåvarande Institutionen för Biometri och Skogsindelning, avdelningen för Skogstaxering, SLU, redovisas praktiska erfarenheter från mätningar med GPS. Det egentliga syftet med undersökningen var att framställa ett facit för satellitbildsforskning av hyggesgränser men för att kontrollera mätningarnas precision gjordes även ett antal kontrollmätningar. Medelfelet i positionsbestämning var med 95% sannolikhet, i horisontalplanet för en 50 sekunder lång mätning, mindre än 3 meter. Vidare visade det sig också att mottagaren i genomsnitt hade kontakt med 0,4 färre satelliter i skog jämfört med på hyggen (Bergström och Olsson 1993).

4.2 Utländska undersökningar

I Ontario, Kanada jobbar Ministry of Natural Resources, Centre for Northern Forest Ecosystem Research med att försöka följa älgars rörelsemönster. För detta ändamål används en GPS-utrustning som fästs runt halsen på älgarna. Innan GPS-utrustningen kan användas för habitatanalys så måste den testas under de olika krontak som kan komma i fråga. GPS-utrustningens positionsnoggrannhet utvärderades, beroende av krontak, i mogna och jämnt slutna bestånd med hjälp av där fritt strövande älgar. Absolut GPS (ej DGPS) användes och resultaten visade att positionsnoggrannheten inte varierade nämnvärt mellan olika typer av trädslag. Ej heller verkade beståndens olika grundtyper eller varierande höjd ha någon betydelse för positionsnoggrannheten. Däremot så hade ovan nämnda parametrar effekt på mängden positioner som kunde mätas. Felet för positionsbestämning var större för tvådimensionella positionsbestämningar än för tredimensionella dito. När beståndens densitet ökade så minskade antalet tredimensionella positioner till förmån för de tvådimensionella positionerna, med följderna att felet för lägesbestämning ökade. Om DGPS skulle användas så räknar man med att kunna komma ner i en positionsnoggrannhet på mindre än 10 meter (Abraham et al. 1995).

En artikel i tidskriften Photogrammetric Engineering and Remote Sensing presenterar en studie som syftar till att belysa terrängens-, krontak av olika trädslags-, antalet mätta positioners- och satellit-geometrins inverkan på noggrannheten i positionsbestämning med GPS. Studien är gjord i nordöstra USA:s skogar och totalt så bestämdes positionsnoggrannheten för 27 områden. Tio upprepningar av alla kombinationer av tre krontaksvariabler: barrskog, lövskog, öppen terräng, samt tre terrängvariabler: krön, sluttning och dal genomfördes under en period på nio månader. Medelnoggrannheten för differentiellt korrigerade positionsdata för alla 27 områden blev 4,35 meter och med 95% sannolikhet så ligger det värdet inom 10,2 meter från det sanna värdet. De minst korrekta positionsdata återfanns i barrskog. Noggrannheten för positioner från lövskogsområden var mer korrekta än positioner från barrskog och mest korrekt var positionerna i öppen terräng. Medelvärdet för noggrannheten i lägesbestämning ökade vidare från dal till krön samt med ökat antal positioner som inmättes. När antalet positionsmätningar ökade från 60 till 500 så ökade positionsnoggrannheten från 5,9 till 3,1 meter i lövskog, från 6,6 till 4,4 meter i barrskog och

från 3,9 till 2,2 meter i öppen terräng. För att få det antal positionsmätningar man förutbestämt, fick man offra minst tid i öppen terräng och mest tid i barrskog (Deckert och Bolstad 1996).

5 Material och Metoder

5.1 Planeringsstadiet

För att ta reda på hur försöket borde utformas, vilken typ av data som borde insamlas och hur det skulle genomföras så utgick vi från det resultat som eftersträvades. Inställningar i mottagarna sattes till de samma som Riksskogstaxeringen använder, SNR-mask 4, elevation-mask 15, lagringsintervall 5 sekunder och tredimensionell mätning (3D mode), förutom gräns för PDOP som sattes till 99 den 27:e februari respektive 12 den 15:e mars.

Riksskogstaxeringens inställningar grundar sig på rekommendationer från Trimble (tillverkare av Geoexplorer, PFINER, Quickplan och CBS).

Den utvalda försöksytan ligger i Lill-Jansskogen i Umeå ovanför Skoghögsskolans huvudbyggnad, ganska långt ner i en svag nordvästlig sluttning, ungefär 200 meter från ett krön och karaktäriseras av gammal granskog med inslag av mindre lövträd (medeldiameter 11 cm). Försöksytans centrumkoordinat är sedan tidigare uppmätt och säkert fastlagd.

Tabell 3. Beståndsdata för försöksytan i Lill-Jansskogen.

Beståndsparameter	
Trädslagsblandning (Tall, Gran, Löv)	0-10-0
Medelhöjd (m)	19
Medeldiameter (cm)	30
Grundyta (m ²)	20
Grönkrongräns (m)	5
Stamantal ha ⁻¹	625

Alla mottagare försågs med individuella markeringar och filprefix för att lätt kunna åtskilja insamlat data samt för att kunna placera varje enskild mottagare på samma punkt som föregående mätningssomgång.

5.2 Fältarbetet

Utrustning som använts i denna studie är en bärbar PC, sju GPS-mottagare av modell Geoexplorer II, kompass, måttband och ett lastbilsbatteri samt laddningsutrustning för batteriet. Programvaror som använts är Visual Basic, PFINDER, CBS, Access, Excel, Word, Paintbrush, Pkzip och Quickplan.

Förberedande tester

En lång serie av testförsök utfördes för att utprova metoden. Under dessa förberedande tester framkom en del problem med att använda en Geoexplorer II tillsammans med en bärbar dator kopplad till ett lastbilsbatteri, för mätning och lagring av positioner. Programvaran CBS som är ett program avsett för insamling av basstationsfiler, hade en otäck förmåga att sluta lagra positioner i en timma långa intervaller efter klockan 00:00 GPS-tid. Om programmet startades efter klockan 01:00 lokal tid så började programmet att lagra positioner normalt igen ända fram till och med timme 46 då all lagring av data ovillkorligen upphörde.

Som skydd för väder och vind användes en stor låda av trä för att härbärgera utrustningen. Någonting verkade påverka mätningarna negativt eftersom alldeles för få positioner lagrades.

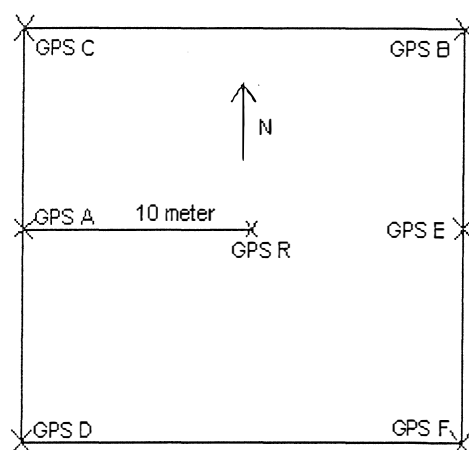
Lådan som var tillverkad av tunt trä kunde rimligtvis inte ha någon negativ effekt på mätresultatet. Efter en lång tid övergavs idén att använda en Geoplorer II tillsammans med en dator för insamling och lagring av data.

Försöken

Mottagarnas beräknade kapacitet för lagring av data är ungefär femton timmar om en position lagras var femte sekund och mottagarens batteri räcker i ungefär sju timmar. I praktiken så kommer aldrig positioner att lagras var femte sekund eftersom mottagaren ibland tappar kontakten med satelliterna. Därför så räcker i praktiken datalagringskapaciteten mer än femton timmar om fem sekunders lagringsintervall nyttjas (se Anon. 1996c, sidan 3-17). Varje mottagare erhöll alltid samma plats genom alla försök. Mottagare A-F lagrade bara positioner i en timma vardera dagen av praktiska skäl medan mottagare R lagrade data i tio timmar.

Försök 1

Syftet med detta försök var ursprungligen att jämföra hur många positioner som kunde insamlas varje timma jämfört med de testförsök som genomförts tidigare. Om resultatet gav fler positioner per timma än tidigare testförsök så skulle detta indikera att något inte fungerade med att använda en Geoplorer II tillsammans med en PC för mätning och lagring av data. Försöket ägde rum den 27:e februari. Vädret var vackert med solsken från en klarblå himmel och i det närmaste vindstilla. Temperaturen var strax under 0° C. Ett mycket tunt lager med snö fanns på trädens grenar. Alla batterier laddades och all utrustning kontrollerades. Alla mottagare rensades på gamla filer och inställdes enhetligt. Med kompass och måttband utmättes och utmärktes de sex punkter där sex mottagare, A-F skulle placeras för att lagra positioner under en timma. Mottagarna placerades på sina respektive platser (se figur 18) och lades ovanpå den väska som de vanligtvis transporteras i varvid antennen i mottagaren kom att befinna sig i ett horisontellt läge. Efter att försöket avslutats så säkerhetskopierades insamlat data.



Figur 18. Mottagarnas placering.

Försök 2

Under *försök 1* upptäcktes att en av mottagarna verkade ha svårare än de andra att få kontakt med satelliter. Detta ledde till *försök 2* som avsåg att jämföra de olika mottagarnas prestanda. Sålunda placerades alla mottagare i en rad på Skogshögskolans tak för att där lagras positioner i fem timmar. Resultatet visade att det faktiskt förelåg en betydande skillnad mellan den mottagare som tidigare använts i testförsöken med låda och PC och de andra mottagarna. Detta medförde att de mätningar där den mottagare med sämre prestanda använts måste uteslutas ur beräkningarna (mottagare D den 27:e februari).

Försök 3

Syftet med detta försök var att upprepa det lyckade första försöket. Detta sista försök utfördes den 15:e mars och samma förfarande som begagnades i *försök 1* den 27:e februari nyttjades även denna gång. Vädret var även denna gång vackert med solsken från en klarblå himmel och

vindstill. Temperaturen var strax ovanför 0° C. Ingen snö fanns på träden. GPS D ersattes av en ny mottagare och alla mottagare som användes i försök 3 hade likvärdig förmåga att få kontakt med satelliter.

5.3 Analys

Efter att ha försäkrat sig om att säkerhetskopior av insamlat data fanns och kunde hämtas upp i oförändrat skick så påbörjades proceduren att få data i bearbetningsbart skick.

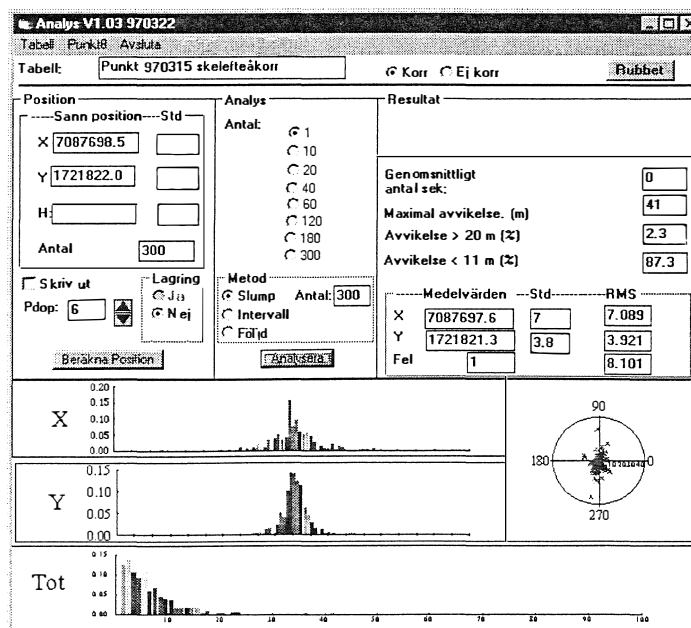
Basstationsfiler från Lantmäteriets referensstation i Umeå samt Skelefteå hämtades upp i rinex-format via Internet. Filerna är komprimerade och packas upp genom att exekvera dem varvid tre nya filer bildas. För att konvertera från rinex-format till ssf-format användes en programmodul i PFINDER vid namn RNXSSF. Den måste köras från DOS. När en användbar basstationsfil tillverkats korrigerades positionerna i PFINDER där också data sparades som filer i ascii-format. I basstationsfilen har tidsfel mätts och lagrats var femtonde sekund. PFINDER räknar ut ett medelvärde för felet mellan de femton sekunderna och använder detta för att korrigera de positioner som hamnar inom intervallet. Med hjälp av ett Visual Basic program så flyttades data till en Accessdatabas. Programmet konverterar också positionsdata från WGS 84 till RT90.

För att också testa om det förelåg någon skillnad mellan att korrigera insamlat data mot Lantmäteriverkets basstationsdata eller SLU:s egen basstation (tillverkad av Trimble) så korrigerades ett dataset med de två olika basfilerna från respektive basstation.

5.3.1 Analys av tio timmars data från mottagare R

Med ytterligare ett Visual Basic program utfördes beräkningarna för att analysera data. De alternativ som valts för beräkningarna innebär att 300 samples om vardera 1, 10, 40, 60, 120, 180 och 300 positioner slumpmässigt har utvalts för båda dagarna. Beräkningarna utfördes med PDOP 4, 5, 6, 7, 8, 9 och 10 som gräns.

Programmet väljer slumpmässigt en startposition och räknar därifrån t.ex. fyrtio positioner framåt som har t.ex. PDOP < 6. Val av startposition utförs med möjligheten att samma urval av positioner kan återkomma i beräkningarna. Ett medelvärde av dessa fyrtio positioner beräknas och en ny startposition väljs. Detta upprepas 300 gånger varvid en standardavvikelse beräknas för de 300 samplen. Det innebär att spridningen (standardavvikelsen) kan beräknas för varje enskild position eller för ett medelvärde av exempelvis fyrtio positioner. Analysprogrammet ger också ett medelvärde för den tid det tagit att insamla 10, 20, 40, 60, 120, 180 eller 300 positioner samt beräknar ett medelvärde av ett horisontellt absolut avståndsfel till den position som angivits som den sanna positionen (se figur 19).



Figur 19. Interface till det analysprogram i Visual Basic som utvecklats för denna studie.

Standardavvikelsen och det absoluta avståndsfelet räknades först ut för alla X och Y separat och sedan användes Pythagoras sats för att få den horisontella standardavvikelsen. Alla beräkningar upprepades två gånger för vardera dagarna och ett medelvärde beräknades.

För att också inkludera det systematiska felet i standardavvikelsen så beräknades RMSE (Root Mean Square Error).

$$RMSE = \sqrt{S_h^2 + bias^2} \quad (\text{där } S_h \text{ är den horisontella standardavvikelsen})$$

5.3.2 Analys av en timmas data från mottagare A-R

För det data som insamlats av de i rutnätet, omkring mittpunkten utplacerade mottagarna A-F, upptäcktes att materialet inte räckte till för en likvärdig analys. En enda timma innehöll för lite positioner för att kunna analyseras på samma sätt som beskrivits ovan. För att kunna jämföra mätningar som gjorts på alla punkter så beräknades standardavvikelsen för medelvärdet av 10 positioner med PDOP 6 eller bättre, under den timma som alla mottagare (A-R) samtidigt lagrat positioner. Femtio samples valdes slumpvis och beräkningarna upprepades tio gånger för varje mottagare.

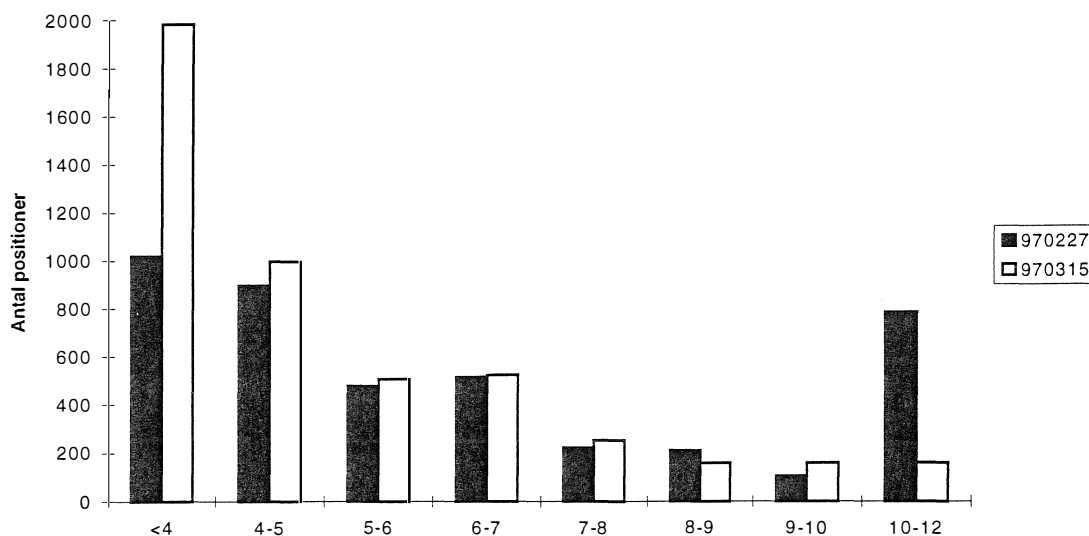
5.4 Presentation

Från de beräkningar som gjorts och lagrats i en Accessdatabas hämtades data upp i Excel för ytterligare beräkningar och tillverkning av diagram. Allt sammanställdes i Word.

6 Resultat

6.1 Mätförutsättningarna under försök 1 och 3.

Under två dagar lagrades på centrumunkten på försöksytan (representerat av mottagare R) positioner kontinuerligt under tio timmar. Det finns en viss skillnad i antalet insamlade positioner för olika PDOP klasser för de båda dagarna. Under försök 3, den 15:e mars lagrades ungefär dubbelt så många positioner med PDOP < 4 som under försök 1, den 27:e februari. För de övriga positionerna i PDOP klasserna 4-5 t.o.m. 9-10 vilka använts i beräkningarna kan ingen stor skillnad i antalet lagrade positioner ses.



Figur 20. Skillnaden i antal positioner olika PDOP-klasser under tio timmar för mottagare R.

6.2 GPS-mottagaren

Det faktum att det fanns en viss skillnad mellan olika mottagares förmåga att mäta mot satellit är ett överraskande resultat i sig. Detta framkom under *försök 2* som gjordes på SLU:s tak där alla mottagare utom en visade sig lagra data likvärdigt med de andra mottagarna.

Tabell 4. Antal lagrade positioner mellan de olika mottagarna på SLU:s tak från försök 2.

Mottagare	GPS A	GPS B	GPS C	GPS D	GPS E	GPS F	GPS R
Antal positioner	3316	3336	3307	2842	3314	3348	3319

Som framgår av tabell 4 så har alla utom mottagare D lagrat över 3300 positioner. Största skillnaden mellan mottagare A-R (mottagare D undantagen) är 41 positioner.

Tabell 5. Genomsnittligt antal positioner per timma från försöksytans centrumpunkt.

Alla dagar utom 27:e användes GPS D och en PC kopplad till GPS-mottagaren.

Dag för mätning	970202	970203	970208	970209	970227
Genomsnittligt antal positioner/timma	250	225	313	243	423
Antal beräkningsgrundande timmar	24	22	24	22	10

Ytterligare en indikation som tyder på att mottagare D har fungerat sämre än övriga mottagare ger tabell 5, som dock bör tolkas med försiktighet, eftersom den har framställts med olika dagar och olika antal timmar som grund. Ändå så är det resultat man får i överensstämmelse med de misstankar som finns om mottagare D. Alla dagar utom den 27:e februari har nämligen mottagare D använts för mätningarna.

6.3 Den sanna positionen

SLU har låtit företaget VAB ta fram ett facit för den punkt där försöket ägt rum. Utrustningen som använts är GPS-utrustning av mycket hög kvalitet och positionen som uppmätts av VAB måste betraktas som mycket säker.

VAB:s koordinater för positionen är X: 7087698,475 Y: 1721822,000

Den position som uppmätts under försökens gång är beräknad på medelvärdet av alla, under tio timmar insamlade positioner, med värde för PDOP 12 eller bättre.

970227 uppmättes X: 7087698.6 Y: 1721821.8

970315 uppmättes X: 7087697.5 Y: 1721821.1

Om man istället beräknar koordinaten på alla positioner med värde för PDOP 6 eller bättre så blir inte resultatet särdeles annorlunda.

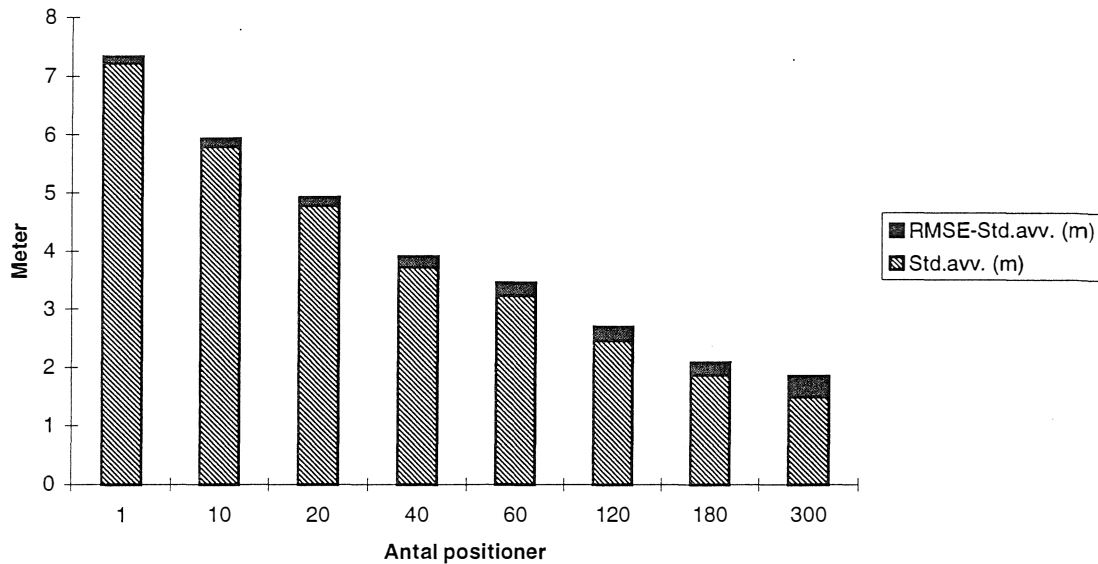
970227 uppmättes X: 7087697.7 Y: 1721822

970315 uppmättes X: 7087697.6 Y: 1721821.5

6.4 Noggrannhet

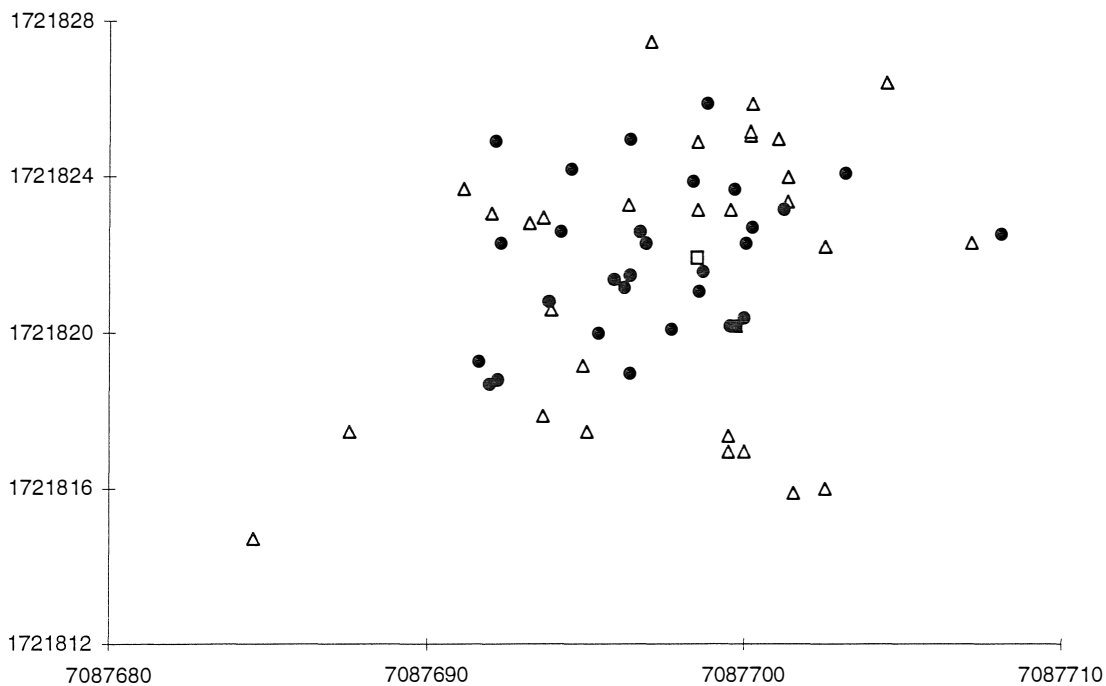
Noggrannhet är inte detsamma som spridning. Spridning eller precision är positionernas avvikelser från deras beräknade medelvärde. Noggrannhet är positionernas avvikelser från den sanna positionen. Figur 21 visar att det systematiska felet hade ringa betydelse för hur noggrann en positionsbestämning i två dimensioner blev. Med systematiskt fel avses det beräknade medelvärdet av en tvådimensionell positions avvikelse från den sanna positionen i meter. När standardavvikelsen minskar så ökar det systematiska felets betydelse för

positionsnoggrannheten. Här redovisas endast ett diagram men sambandet är genomgående lika för alla gränser för PDOP under de båda dagarna.



Figur 21. Visar skillnaden i RMSE och standardavvikelse för medelvärdet av olika antal positioner för mottagare R. Alla positioner har värde för PDOP bättre än 6. Dag 970315.

De sextio beräknade medelpositionerna, alla ett medelvärde av fyrtio positioner med PDOP < 6, verkar vara ganska jämnt fördelade runt den sanna positionen med en liten övervikt åt sydöst.

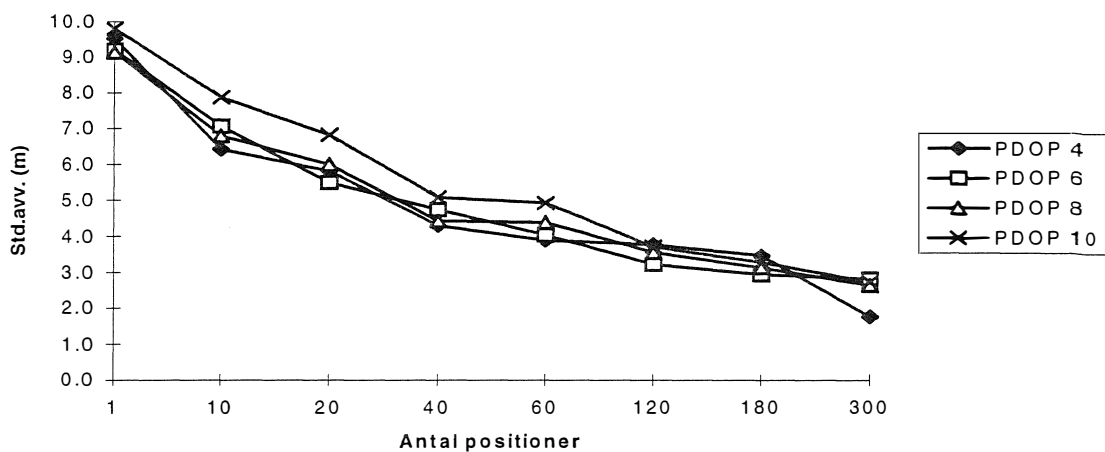


Figur 22. Visar läget för 60 slumpvis valda positioner, där varje position är ett medelvärde av 40 enskilda positioner. 970227 (trekanter) och 970315 (punkter), Den sanna positionen markeras i figuren av en fyrkant.

6.5 Precision

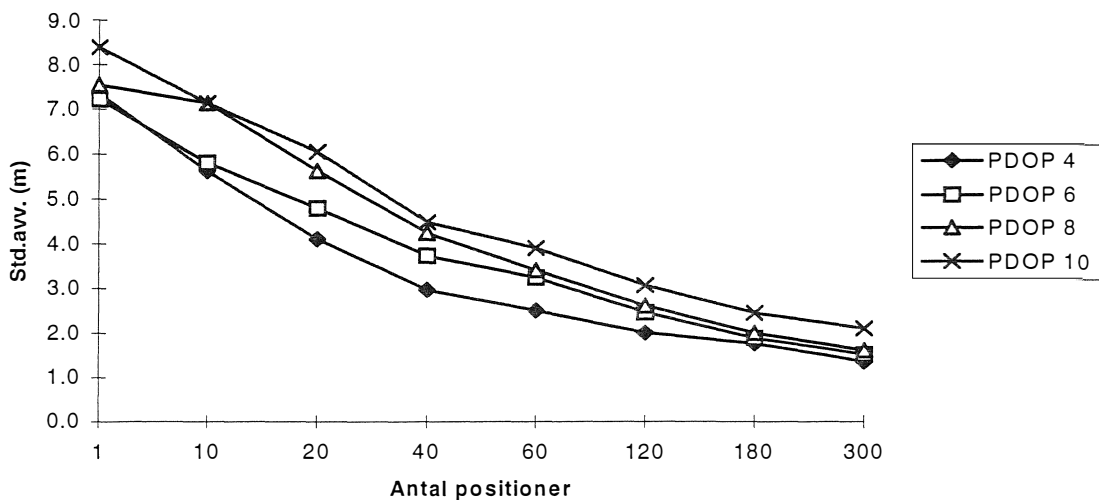
Tendenserna är generellt sett ganska tydliga. Precisionen för den beräknade medelpositionen minskar i de flesta fall med ökat antal positioner som används för att bestämma medelvärdet av positionen samt minskar med lägre gränsvärden för PDOP. Medelvärdet för positionen och dess spridning beräknat på exempelvis 40 positioner är säkrare än om bara 20 positioner används för beräkningen. Detta gäller för alla de gränsvärden för PDOP som använts i beräkningarna.

6.5.1 Spridning på försöksytans centrumpunkt



Figur 23. Skillnad i spridning vid olika gränser för PDOP. Dag 970227.

Figur 23 beskriver den 27:e februari och hur värdet för PDOP påverkar spridningen i positionsbestämning beroende på det antal positioner man väljer för att beräkna sin position med. Skillnaden mellan att insamla positioner med högt värde för PDOP som gräns för insamlingen och insamling av positioner med lågt värde för PDOP som gräns, är ganska liten.



Figur 24. Skillnad i spridning vid olika gränser för PDOP. Dag 970315.

Figur 24 beskriver den andra dagen, den 15:e mars som mätningar gjordes och i övrigt samma samband som figur 23 ovan. Figur 24 visar att skillnaderna i spridning mellan att mäta positionen med ett högt och ett lågt värde för PDOP som gräns för insamlingen av data, är något större än för den 27:e februari.

På försöksytans centrumpunkt finns ingen markant skillnad mellan de olika dagarna beträffande spridningen på inmätta positioner. Detta trots att den 15:e mars varit en mer gynnsam dag att mäta med GPS (se figur 20).

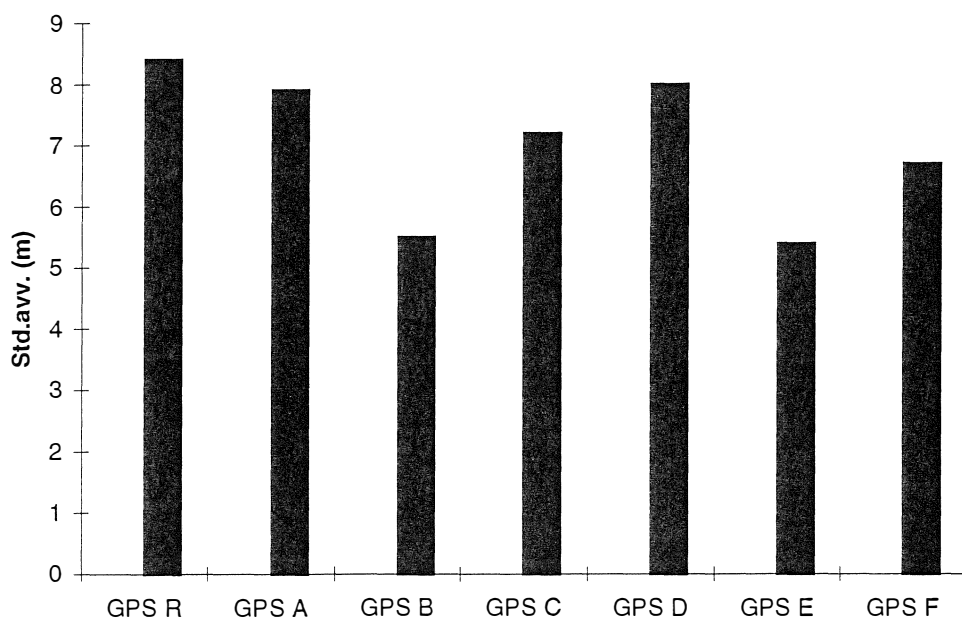
6.5.2 Spridning på försöksytans alla punkter

För att undersöka hur spridningen påverkas av läge i ett bestånd så har beräkning av spridningen utförts den timma som alla sju mottagarna lagrat positioner (se figur 25). Den 27:e februari har mottagare D uteslutits eftersom den under pågående försök misstänktes vara sämre än de andra.

Tabell 6. Skillnader i antal insamlade positioner med PDOP < 6 under en timma.

Mottagare	GPS R	GPS A	GPS B	GPS C	GPS D	GPS E	GPS F
970227							
Antal positioner	139	182	11	82	uteslutits	94	85
970315							
Antal positioner	430	464	629	392	452	626	571

Tabell 6 visar att det generellt sett varit mycket svårare att mäta med GPS den 27:e februari jämfört med den 15:e mars. Den 27:e februari var punkten GPS B en synnerligen besvärlig plats att lagra positioner på.



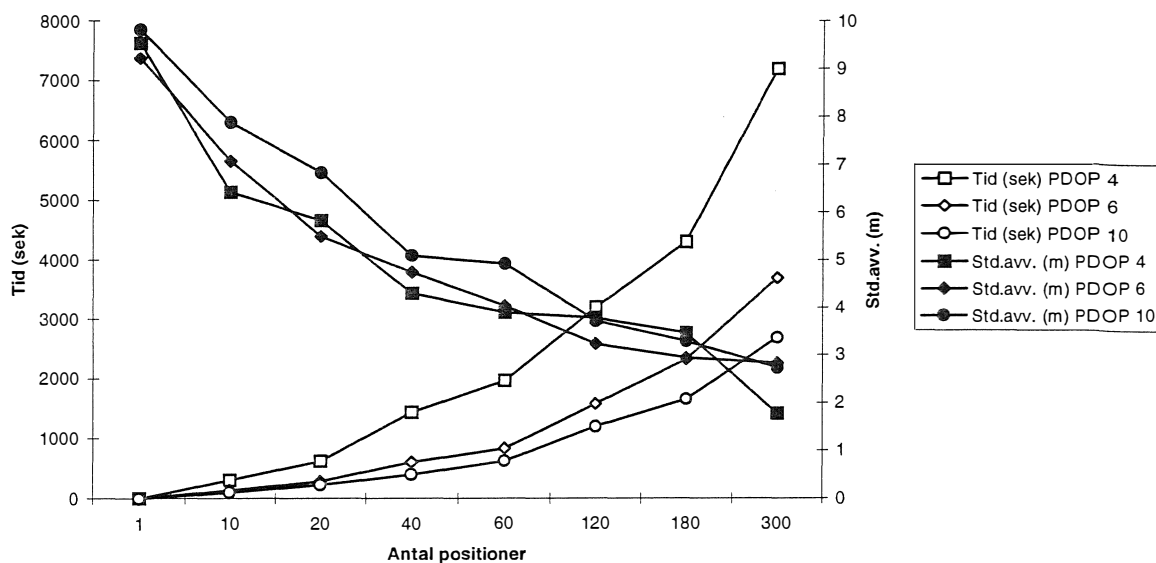
Figur 25. Precisionens variation för 50 medelpositioner om 10 positioner vardera mellan olika punkter representerade av olika mottagare på försöksytan. En timmas mätning under dag 970315. Alla positioner har PDOP < 6.

Figur 25 redovisar endast spridningen av medelvärdet för tio positioner under en timma den 15:e mars. Den 27:e februari erhöles för få positioner och denna dag har därför uteslutits.

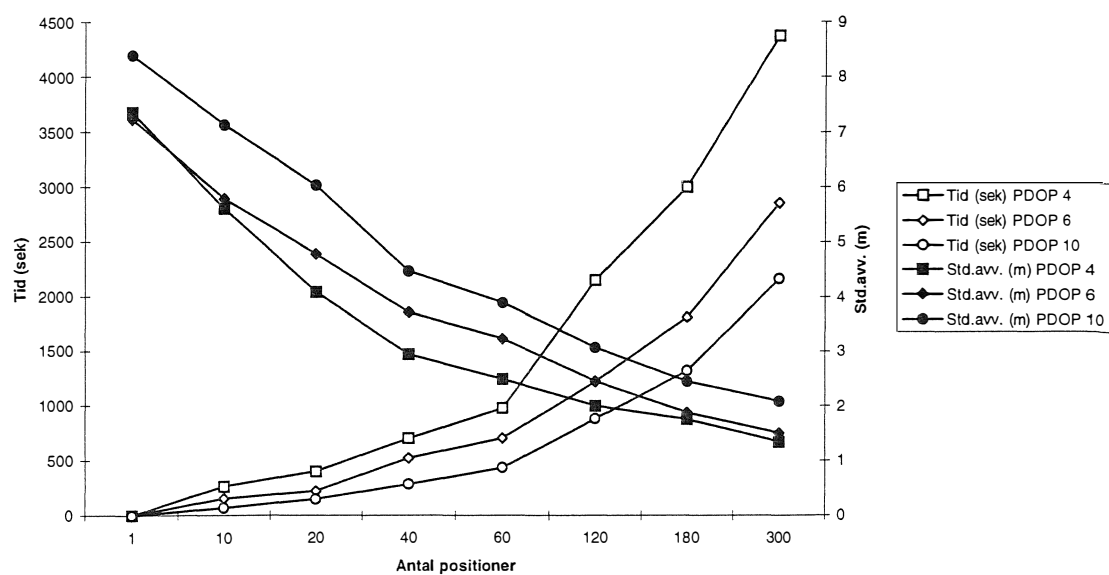
Alla mottagare som använts har testats under likvärdiga förhållanden och ingen individuell skillnad i prestanda mellan olika mottagare finns som skulle kunna vara orsaken till skillnaderna i tabell 6 och figur 25.

6.6 Tidsåtgång

För att se hur åtgången av tid varierar med antalet insamlade positioner och när kostnaden i tid överstiger vinsten i spridning, så har figurerna 26 och 27 tagits fram. Här redovisas endast beräkningar baserade på gräns för PDOP 4, 6 och 10. Beräkningar baserade på gräns för PDOP 5, 7, 8 och 9 ger liknande mönster för spridning och åtgång av tid som kan ses i figurerna 26 och 27 och redovisas därför inte.



Figur 26. Tidsåtgång och spridning av positioner med värde för PDOP < 4, < 6 och < 10, runt ett beräknat medelvärde av 1-300 positioner. Dag 970227.



Figur 27. Tidsåtgång och spridning av positioner med värde för PDOP < 4, < 6, < 10, runt ett beräknat medelvärde av 1-300 positioner. Dag 970315.

Den tid man behöver spendera för att få en godtagbar position den 27:e februari, på försöksytans centrumpunkt, vilket här definieras som 5 meter eller bättre, är acceptabel och

varierar mellan ungefär 7 till 25 minuter för 40 insamlade positioner och 21 till 56 minuter för 120 insamlade positioner. Åtgången av tid ökar generellt för lagring av ett visst förutbestämt antal positioner med lägre värde för PDOP som gräns för insamling av positioner.

Vinsten i precision överstiger inte kostnaderna i tid till höger om brytpunkten i figurerna 26 eller 27. Brytpunkten för tidskurvan och spridningskurvan förskjuts något åt vänster för lägre gränsvärde för PDOP. Precisionen ligger på en acceptabel nivå (5 meter) för 40 positioner långt till vänster om brytpunkten i alla figurerna.

Den 15:e mars behövs det något kortare tid för att beräkna ett medelvärde av sin position med ett förutbestämt antal positioner som grund jämfört med den 27:e februari. Likaså blir spridningen något lägre för denna dag jämfört med den 27:e. Skillnaderna är dock små.

6.7 Korrigering med olika basstationsfiler

Det test som gjordes för att undersöka skillnaden mellan korrigering med Lantmäteriverkets och SLU:s basstationsdata gav ingen skillnad i antalet positioner sånär som på två positioner som SLU:s basstation inte kunde korrigera. Någon undersökning om hur spridningen av positionerna varierade mellan de olika vägarna att korrigera data gjordes inte.

7 Diskussion

7.1 Mätförutsättningarna

Försöksytans geografiska läge och dess beskaffenhet är det som sätter gränserna för insamlingen av data på den utvalda punkten. Det är sedan tidigare undersökningar känt att topografin spelar en stor roll för möjligheterna att mäta mot satellit. Det är mycket lättare att få kontakt med flera satelliter på ett krön än i en svacka eller dal. Därför är det möjligt att det val av försöksyta som gjorts för denna undersökning inte givit de absolut bästa förutsättningarna för att alltid hålla kontakten med åtminstone fyra satelliter samtidigt. Mottagarens möjlighet att få kontakt med satelliter som genererar ett så lågt värde för PDOP som möjligt påverkar givetvis precisionen i högsta grad. Försöksytan hade i övrigt de egenskaper som var efterfrågade för detta försök och andra, mer praktiska aspekter gjorde att denna plats valdes.

De träd som står på försöksytan påverkar satellitsignalens styrka negativt. Ju mer skog som satellitsignalen måste tränga igenom för att nå mottagaren på marken desto mer ökar risken för att satellitsignalen ska försvagas. Om satellitsignalens styrka går under ett i mottagaren angivet värde, så användas inte satelliten i beräkningen av positionen. Mottagaren håller dock kontakten med satelliten så länge satellitsignalen kan uppfattas. Detta påverkar mätningarna på så sätt att mottagaren får färre satelliter att välja mellan för sin positionsberäkning vilket i sin tur kan medföra sämre värde för PDOP.

Orsaken till att färre positioner med låga värden för PDOP uppmätts på försöksytans centrumpunkt för den 27:e februari, jämfört med den 15:e mars är inte känd. Mottagarna har inte placerats på exakt samma plats och detta skulle kunna vara en förklaring. Ett tunt lager av snö fanns på trädens grenar den 27:e februari och kanske har detta inverkat negativt på möjligheten för satellitsignaler att nå ner till mottagaren.

7.2 GPS-mottagaren

Under arbetets gång har ytterligare en fråga uppstått som inte ingick i det ursprungliga syftet med examensarbetet. Nämligen mottagarnas individuella prestanda. Beträffande den

individuella prestandan för de olika mottagarna kunde en tydlig skillnad ses för mottagare D jämfört med de andra som använts i försöken. De skillnader i antal positioner som kan ses i tabell 4 för mottagare A-F kan till viss del förklaras med att mottagarna inte startades upp eller stängdes av exakt samtidigt. Om så skulle vara möjligt skulle säkerligen skillnaden vara ännu mindre. Mottagare D däremot kan inte förklaras med annat än att den är sämre än de andra mottagarna.

7.3 Noggrannhet

De resultat som framkommit visar att spridningen kan approximeras till ett noggrannhetsmått för denna undersökning. Det genomsnittliga systematiska fel som uppmätts är så litet att standardavvikelsen blir den dominerande delen av den uppmätta positionens fel.

I denna undersökning har korrigeringsprogrammet MCORR300 utförts i programmet PFINDER. Denna modul är avsedd att användas för referensstationer med 6 kanaler eller färre. Lantmäteriverkets referensstationer har fler kanaler och noggrannheten och precisionen skulle kunnat bli ännu bättre om programmodulen MCORR400 använts för korrigeringsprogrammet. Varför programvaran PFINDER inte automatiskt använder den för korrigeringsprogrammet mest lämpade modulen är ännu inte känt.

7.4 Precision

Trimbles specifikation för precision och noggrannhet för Geoexplorer II är 5 meter CEP (cirkular error probable). Förutom den mottagare som visat sig sämre än de andra så faller alla testmätningar som utförts under perfekta förhållanden inom Trimbles specifikation för noggrannhet.

Den enskilda positionens standardavvikelse är ganska hög för båda dagarna. Figur 23 och 24 demonstrerar tydligt hur värdefullt det är att ta medelvärdet av flera positioner istället för att lita till enstaka positioner. Likaså står det klart att ju fler mätningar man använder för att beräkna sin position, desto större sannolikhet är att man får en bra och säker positionsbestämning oavsett vilket PDOP man har satt som gräns för mätningarna.

Samband mellan antalet insamlade positioner och deras spridning beror på vilket värde för PDOP positionerna har. Att PDOP 6 har satts som gräns för beräkningarna innebär att alla positioner som har PDOP 6 eller *bättre* får användas. Om många positioner under en dag har låga värden för PDOP så innebär detta att man får en bra positionsbestämning även om gräns för PDOP är högt satt. Detta är anledningen till varför man inte ser någon stor skillnad mellan att mäta med olika gränsvärden för PDOP.

Figur 25 visar precisionen mellan olika punkter på försöksytan. Precisionen på de flesta punkterna den 15:e mars är sämre än det genomsnittliga värdet för tio positioner med PDOP < 6 på försöksytans centrumpunkt (se figur 24). Det mönster som figur 25 visar är endast en indikation på att vissa platser i ett bestånd är svårare än andra att mäta med GPS på. För att verkligen kunna fastslå om de olika punkterna är olika svåra att mäta sin position på så skulle fler och längre försök behövas.

7.5 Felkällor

7.5.1 Basstationsfiler för korrigerig

I detta försök har Lantmäteriverkets basstationsfiler använts för korrigerig av insamlat data. När basstationsfilen från Umeå basstation för den 15:e mars användes för korrigerig så blev resultatet nedslående. De värden för spridning som erhöles liknade mer värden för okorrigerat data med standardavvikelser mellan 6 och 30 meter. När data istället korrigerades mot Lantmäteriverkets basstation i Skelefteå så blev resultatet mycket likt det som erhöles för den 27:e februari.

I det program för differentiell korrektion i efterhand som använts, PFINDER, kunde inte något fel upptäckas som tydde på att korrigerig inte fungerade som den skulle för Umeå basstations korrigerigsfil. Vad orsaken till att inte korrigerig med basstationsfiler från Umeå basstation fungerade lika bra som för Skelefteå är inte känt. Ännu bättre värden för precision hade säkerligen kunnat uppnås om korrigerig mot en basstation belägen i Umeå hade varit möjlig.

7.5.2 Metoden

Vid utläggningen av provytan så uppmättes sex punkter i en kvadrat runt mittpunkten. Detta gjordes med en kompass och ett "huggarmåttband". Dessa punkter uppmättes med en osäkerhet på någon decimeter. Mottagarens placering på de olika punkterna kunde ge ett avstånd på maximalt en decimeter från centrum av punkten till centrum på antennen i mottagaren. Under mätningarnas gång vistades jag tidvis i närheten av mottagarna vilket kan ha medfört att signalens styrka påverkats negativt vid några tillfällen.

Korrigerig av insamlat data ger en väsentligt förbättrad noggrannhet för alla positioner men tekniken är inte fulländad såtillvida att exakt den tidpunkt som basstationen mätte felet i tid mot satellit, sällan är exakt den tidpunkt på vilken mottagaren i fält beräknade sin position. Detta medför att ett medelvärde för felet får gälla för alla positioner som ligger inom ett femton sekunder långt intervall i basstationens fil.

Hur beräkningen av spridningen kring det sanna värdet för ett visst antal av positioner utförs är helt avgörande för det resultat som erhöles. Om en datafil innehållande ett mindre antal positioner skrivs ut på bildskärm så kan man se att positionerna tycks vandra i oregelbundna cirkelmönster för att göra ett plötsligt hopp när en ny satellitkonstellation väljs. Detta medför givetvis att om man gör ett för litet urval av positioner så finns en risk att man får en skev bild av precisionen i och med att bara en sida av de oregelbundna cirklarna kan komma att representeras. Det är därför viktigt att beräkningen på det valda antalet positioner upprepas många gånger.

7.5.3 GPS-mottagaren

Som har nämnts ovan, skulle vilken mottagare man för tillfället använder kunna spela en viss roll. De test som gjorts på de i försöken ingående mottagarna visar ändå att alla förutom en enda har haft god förmåga att få kontakt med satelliter.

Mottagaren kan vidare utsättas för störningar av olika slag. Några kraftiga yttre störningar har dock sannolikt inte kunnat påverka de aktuella mätningarna.

7.5.4 Signalreflektion

Något som kan spela roll för hur noggrannhet och precision påverkats är signalreflektion. Denna typ av fel kan inte korrigeras bort. En starkt reflekterande yta som exempelvis plåttak på hus eller bilar utgör, kan förorsaka signalreflektion. Det är därför viktigt att se till att den lägsta vinkel (elevation-mask) för mätning mot satellit är korrekt satt. Under dessa försök har lägsta vinkel satts till 15° och det har till synes varit fullt tillräckligt nästan alla gånger för att undvika reflekterade signaler trots att mottagarna befunnit sig nära marknivå. Reflekterade signaler är också svagare än oreflekterade signaler. För att undvika att svagare signaler som också kan misstänkas vara reflekterade ska användas för beräkning av position i mottagaren kan lägsta styrka för signal lämpligen sättas till 4. Det har i de flesta fall visat sig vara fullt tillräckligt för att uppnå en godtagbar positionsnoggrannhet.

7.6 Nutid och Framtid.

Användningen av GPS inom skogsnäringen och i samhället i övrigt kommer troligtvis att öka. Kanske blir så småningom en GPS mottagare var mans egendom som bilen blev på 50 -talet. År 2000 ska dessutom Presidenten i USA besluta om S/A-effektens vara eller icke vara vilket skulle innebära en förbättrad noggrannhet på positionsbestämningar som görs utan korrigerings.

Listan på användningsområden för GPS kan göras lång. Inte minst skogsnäringen har användning för GPS. Gränser, vägnät och provytor kan med fördel positionsbestämmas med GPS. Detta är något som redan testats och kommer sannolikt att tillämpas i ökad utsträckning inom en snar framtid. Den absolut största fördelen med GPS är kanske att insamlingen av lägesbundet data kan underlättas väsentligt. Proceduren med digitalisering kan ersättas av direkt uppdatering via GPS för att åjourhålla kartor.

I takt med att ny teknik kontinuerligt förbättrar noggrannheten av insamlat data så skulle man i en framtid kunna tänka sig en databas där varje träd har en individuell position med tillhörande attributdata. Ett synnerligen intressant perspektiv med tanke på det ökade informationsbehovet om de tillgängliga resurserna. Kundenpassning och tillfredsställelse av kundens önskemål blir allt viktigare. Ökad kunskap om det egna skogsinnehavet i en tid av rationalisering skulle kunna göras möjlig med GPS som verktyg.

7.6.1 Riksskogstaxeringen

Riksskogstaxeringens förfarande vid mätning med GPS bygger för närvarande på att insamla minst 40 positioner med ett värde för PDOP 6 eller bättre med fem sekunders lagringsintervall. Kanske kunde man istället för att använda sig av dessa gränser för mätning av positionen använda spridningen av insamlade positioner som ett kvalitetsmått.

Att använda spridningen som ett mått på positionsnoggrannheten skulle kanske innebära en större möjlighet till anpassning för de mätförhållanden som råder på en specifik plats. En slags optimering av tid och noggrannhet. Om lagring av positioner i en bärbar dator vore möjlig så minskar också risken för minnesbrist om 1 sekunds lagringsintervall används. Att använda 1 sekunds lagringsintervall för positioner skulle vara en fördel där det är svårt att få kontakt med tillräckligt antal satelliter eller där de tillgängliga satelliterna har ett för högt värde för PDOP. Möjligtvis kunde gränsen för PDOP sättas högre om också intervallet för lagring av positioner minskades från nuvarande 5 sekunder till 1 sekund och korrigeringsfiler med 1 sekunders intervall kunde användas för korrigerings. Om detta är en möjlig väg för att få en god noggrannhet för positionsbestämning eller ej får emellertid framtida undersökningar visa.

I framtiden kanske mätningarna kunde korrigeras i realtid? Fördelen vore att man kunde slippa korrigeringsproceduren som nu sker i efterhand och kräver tid. Det skulle emellertid som tekniken fungerar idag vara vanskligt. Dels är täckningen av landet inte helt tillfredsställande, dels kan noggrannheten ifrågasättas eftersom korrigeringsdata idag konkurrerar med annan information på radionätet och ibland inte kan sändas förrän en lucka i utsändningen av andra signalmeddelanden uppstår. Ytterligare en nackdel vore om en basstation inte fungerade tillfredsställande och skickade ut felaktiga korrigeringsparametrar. Det kunde innebära att alla positioner som uppmätts under en dag skulle ha en oacceptabelt låg precision.

Eftersom korrigeringsdata från en basstation en viss dag kan fungera dåligt, vore det önskvärt att finna en metod för kontroll av hur väl korrigeringen fungerar för den aktuella basstationen just den dagen. Om taxeringslaget t.ex. mätte sin utgångspunkt, där de parkerat bilen, så kunde den positionen jämföras med den på kartan angivna positionen och därigenom ge en indikation på om korrigeringsdata från en basstation fungerar för just den dagen. Ytterligare ett sätt att kontrollera hur bra korrigeringen av positioner fungerat skulle vara att räkna ut standardavvikelsen för ett antal positioner. Om standardavvikelsen visade sig vara onormalt hög kunde korrigeringsdata från en annan basstation provas.

7.6.2 Framtida undersökningar

De resultat som detta försök har gett är i och för sig intressanta men de slutsatser som kan dras är givetvis begränsade. För att få ett bättre underlag skulle fler försök behövas. Hur skulle resultaten ha sett ut om ett liknande försök gjorts under en annan årstid eller i en annan typ av bestånd? Påverkar stamtätheten eller grundytan och trädhöjden möjligheterna att insamla data samt påverkar det noggrannheten i positionsbestämning? Hur påverkar intervallet för datalagring noggrannheten vid korrigeringen? Vilken precision kan uppnås om endast positioner med PDOP 8, 10 eller 12 används för positionsbestämning? En jämförande studie av olika tillverkares produkter skulle vara intressant. Ytterligare av intresse skulle vara att göra om mätningarna på den försöksyta som nu har undersökts efter det att skogen avverkats och inga hinder i form av träd kan skymma mottagaren sikt mot satelliterna.

Själva försöksuppläggningsen är också något som skulle kunna varieras. För att få en bättre bild av hur variationen i t.ex. noggrannhet och precision av positioner kan variera inom ett bestånd, skulle man kunna placera ut fler GPS mottagare i ett större rutnät inom ett bestånd. Variationsmöjligheterna är många. Eftersom den undersökning som nu har presenteras bygger på tio timmars insamlat data så skulle det för att få en ännu bättre bild, vara intressant att samla in data under ett helt dygn. Anledningen till detta är att då kan alla möjliga kombinationer av satellitkonstellationer som förekommer under ett dygn representeras. Förhoppningsvis kan fler framtida examensarbeten komma att sprida ytterligare ljus över Riksskogstaxeringens mätningar med GPS.

Har olika slags väder inverkan på mätningarna? Under mina tester kunde trädens betydelse för försvagning av satellitsignalen tydligt studeras under en blåsig dag. Denna dag ingår inte i de redovisade resultaten men den iakttagelse jag gjorde är att i takt med att träden vajade fram och tillbaks i den kraftiga vinden så förlorades kontakten respektive etablerades kontakten med mycket korta intervaller.

Hur kan signalreflektion påverka mätningar med GPS? Ett test som utfördes gav ett förvånande resultat. Testet genomfördes på ett helt öppet fält täckt med skarsnö under en timma. Ungefär 550 positioner insamlades och visade sig efter korrigeringsdata ligga samlade i två klungor med ungefär 10 meter mellan respektive centrum. Känt är att om lägsta vinkel för

mätning mot satellit är för lågt satt så kan en "multipath-effekt" uppstå som ger två centrum av insamlade positioner. Till saken hör att bara två dagar innan denna mätning genomfördes så gjordes en exakt likadan mätning på samma plats varvid endast ett mycket väl samlat centrum erhöles för båda mottagarna.

7.7 Slutsatser

Denna studie har visat att mätning med GPS i ett slutavverkningsmoget granbestånd fungerar med de för försöksytan givna förutsättningarna samt ger acceptabla värden för spridning och noggrannhet inom en rimlig tidsgräns. Med studien som grund kan man med fog säga att Riksskogstaxeringens nuvarande gränsvärden för mätning med GPS är tillräckliga för att uppnå en god noggrannhet och precision.

En metod för analys av positionsdata har utvecklats. Någon tillförlitlig metod för insamling av mätserier av positionsdata längre än ett dygn har dock inte kunnat realiserats. Orsaken till detta står att finna i de oväntade resultat från tidiga tester som erhöles och som medförde brist på tid för vidare undersökning.

Att precisionen och tidsåtgången ökar med antalet inmätta positioner som grund är ett faktum. Eftersom försöksytan är belägen i ett ganska flackt landskap så är förutsättningarna goda för att få högkvalitativt data. För de dagar som mätningarna utförts verkar det inte spela någon större roll för precisionen om gräns för PDOP är satt till 6 eller 8, eftersom många positioner ändå har ett PDOP bättre än 6.

Det vore förhastat att säga att gränsen för PDOP kan sättas högre än 6 eftersom det data som beräkningarna har baserats på är av hög kvalitet. Man skulle troligtvis få en annorlunda bild av hur spridningen varierar för höga gränser för PDOP om beräkningarna grundades på ett kvalitativt sämre material. Områden som skulle kunna tänkas ge sämre kvalitet på inmätta positioner är starkt kuperad terräng.

Referenser

Abraham K.F. et al. 1995, *Performance of a GPS animal location system under boreal forest canopy*, Ontario Ministry of Natural Resources, Centre for Northern Forest Ecosystem Research, Lakehead University, Canada.

Andersson K. 1990, *Global positioning system, Beskrivning av GPS och exempel på användning inom skogsbruket*, Arbetsrapport 6, Institutionen för Skogstaxering, SLU, Umeå.

Anonym 1996a, "About GLONASS", MIT Lincoln Laboratory, Lexington, http://satnav.atc.ll.mit.edu/glonass/about_glonass.html

Anonym 1996b, "DGPS", MIT Lincoln Laboratory, Lexington, http://satnav.atc.ll.mit.edu/gps/images/dgps_gg24.gif

Anonym 1996c, *Geoexplorer II Operation Manual*, Trimble.

Anonym 1995d, *PFINDER Software User guide*, Trimble.

Anonym 1996e, *Navstar GPS*, Internet homepage, <http://www.laafb.af.mil/SMC/CZ/homepage/>

Bard P. 1994, *Detaljmåtning med GPS*, Lantmäteritidskriften nr. 1.

Bergström J. och Olsson H. 1993, *Praktiska erfarenheter av GPS-mätningar för beståndsavgränsning*, Arbetsrapport 1, Institutionen för biometri och skogsindelning, SLU, Umeå.

Dana P.H, 1995, *Global Positioning System Overview*, Departement of Geography, University of Texas at Austin.

Deckert C. och Bolstad P.V. 1996, *Forest canopy, terrain and distance effects on Global positioning system accuracy*, Photogrammetric Engineering and Remote sensing, Vol. 62, Nr. 3, sid. 317-321.

Djurberg H. 1996, *GPS-är tekniken mogen för tillämpning i Svenskt skogsbruk?*, Studentuppsats nr 2, Seminariearbete i ämnet skogsteknik, SLU, Garpenberg.

Eriksson M. 1993, *GPS i skogligt metodförsök*, Orsaprojektet, Delrapport 1, NSF-Information nr. 12.

Hellström C. 1993, *GPS/GIS Forestry Applications in Sweden-Experiences and Possibilities*, Results nr. 5, Skogforsk.

Hellström C. och Johansson S. 1993a, *Exakta positioner och arealer med GPS*, Resultat nr. 13, Skogforsk.

Hellström C. och Johansson S. 1993b, *Var går gränsen? Arealbestämning av slutavverkningsbestånd med GPS-teknik*, Resultat nr. 14, Skogforsk.

Hurn J. 1989, *GPS a guide to the next utility*, Trimble Navigation.

- Hurn J. 1993, *Differential GPS explained*, Trimble Navigation.
- Johansson S. och Eriksson I. 1995, *Det ljusnar för GPS i skogen*, Resultat nr 11, Skogforsk.
- Johansson S. och Gunnarsson P. 1994, *GPS och GIS för inventering och àjourhållning av vägnätet*, Resultat nr 2, Skogforsk.
- Johansson S. och Gunnarsson P. 1994, *Using GPS and GIS for Road-Network Surveying and Updating*, Results nr 3, Skogforsk.
- Johansson S. 1993, *GPS i återväxtplaneringen*, Examensarbete i skogsuppskattning och skogsindelning, Arbetsrapport 13, Institutionen för Skogstaxering, SLU, Umeå.
- Johansson S. och Liukko K. 1992, *Satellitbaserad positionsbestämning med NAVSTAR-GPS och dess skogliga tillämpningsmöjligheter*, Seminariearbete i ämnet skogsteknik, SLU, Umeå.
- Misra P.N. 1993, "Integrated Use of GPS and GLONASS in Civil Aviation", Lincoln Laboratory Journal, MIT, Vol 6, 1993.
(<http://satnav.atc.ll.mit.edu/papers/LLjournal/Misra.html>)
- Persson K. och Persson C.G. 1995, *Datafångst för GIS med användning av GPS*, Lantmäteritidskriften nr 1.
- Reit B.G. 1990, *Riksnät och Koordinattransformationer*, Lantmäteriverket.

Serien Arbetsrapporter utges i första hand för institutionens eget behov av viss dokumentation.

Författarna svarar själva för rapporternas vetenskapliga innehåll.

- 1995 1 Kempe, G. Hjälpmedel för bestämning av slutenhet i plant- och ungskog. ISRN SLU-SRG-AR--1--SE
- 2 Riksskogstaxeringen och Ståndortskarteringen vid regional miljöövervakning. - metoder för att förbättra upplösningen vid inventering i skogliga avrinningsområden. ISRN SLU-SRG-AR--2--SE.
- 3 Holmgren, P. & Thuresson, T. Skoglig planering på amerikanska västkusten - intryck från en studieresa till Oregon, Washington och British Columbia 1-14 augusti 1995. ISRN SLU-SRG-AR--3--SE.
- 4 Ståhl, G. The Transect Relascope - An Instrument for the Quantification of Coarse Woody Debris. ISRN SLU-SRG-AR--4--SE.
- 5 Törnquist, K. Ekologisk landskapsplanering i svenskt skogsbruk - hur började det?. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--5--SE.
- 1996 6 Persson, S. & Segner, U. Aspekter kring datakvaliténs betydelse för den kortsiktiga planeringen. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--6--SE.
- 7 Henriksson, L. The thinning quotient - a relevant description of a thinning? Gallringskvot - en tillförlitlig beskrivning av en gallring? Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--7--SE.
- 8 Ranvald, C. Sortimentsinriktad avverkning. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--8--SE.
- 9 Olofsson, C. Mångbruk i ett landskapsperspektiv - En fallstudie på MoDo Skog AB, Örnsköldsviks förvaltning. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--9--SE.
- 10 Andersson, H. Taper curve functions and quality estimation for Common Oak (*Quercus Robur L.*) in Sweden. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--10--SE.
- 11 Djurberg, H. Den skogliga informationens roll i ett kundanpassat virkesflöde. - En bakgrundsstudie samt simulering av inventeringsmetoders inverkan på noggrannhet i leveransprognoser till sågverk. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--11--SE.
- 12 Bredberg, J. Skattning av ålder och andra beståndsvariabler - en fallstudie baserad på MoDo:s indelningsrutiner. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--12--SE.

- 13 Gunnarsson, F. On the potential of Kriging for forest management planning. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--13--SE.
- 14 Holm, S. & Thuresson, T. samt jägm.studenter kurs 92/96. En analys av skogstillståndet samt några alternativa avverkningsberäkningar för en del av Östads säteri. ISRN SLU-SRG-AR--14--SE.
- 15 van Kerkvoorde, M. A sequential approach in mathematical programming to include spatial aspects of biodiversity in long range forest management planning. ISRN SLU-SRG-AR--15--SE.
- 16 Tormalm, K. Implementering av FSC-certifiering av mindre enskilda markägares skogsbruk. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--16--SE.
- 1997 17 Engberg, M. Naturvärden i skog lämnad vid slutavverkning. - En inventering av upp till 35 år gamla förnygringsytor på Sundsvalls arbetsomsåde, SCA. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN-SRG-AR--17--SE.
- 18 Christoffersson, P & Jonsson, P. Avdelningsfri inventering - tillvägagångssätt och tidsåtgång. ISRN-SRG-AR--18--SE.
- 19 Ståhl, G., Ringvall, A. & Lämås, T. Guided transect sampling - An outline of the principle. ISRN-SRG-AR--19--SE.
- 20 Cedervind, J. GPS under krontak i skog. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN-SRG-AR--20--SE.