

Högskolan i Gävle
Institutionen för teknik
Examensarbete 10 p/C-nivå
juni 2001

Jämförande studie: GPS-mätningar i skog

Gustav Berglund



Omslagsteckning: Anna Marconi

Ämnesord: GPS

SkogForsk – Stiftelsen Skogsbrukets Forskningsinstitut

SkogForsk arbetar för ett långsiktigt, lönsamt skogsbruk på ekologisk grund. Bakom SkogForsk står skogsbolag, skogsägareföreningar, stift, gods, allmänningar, plant-skolor, SkogsMaskinFöretagarna m.fl., som betalar årliga intressentbidrag. Hela skogsbruket bidrar dessutom till finansieringen genom en avgift på virke som avverkas i Sverige. Verksamheten finansieras vidare av staten enligt särskilt avtal och av fonder som ger projektbundet stöd.

SkogForsk arbetar med forskning och utveckling med fokus på fyra centrala frågeställningar: Produktvärde och produktionseffektivitet, Miljöanpassat skogsbruk, Nya organisationsstrukturer samt Skogsodlingsmaterial. På de områden där SkogForsk har särskild kompetens utförs även i stor omfattning uppdrag åt skogsföretag, maskintillverkare och myndigheter.

Serien **Arbetsrapport** dokumenterar långliggande försök samt inventeringar, studier m.m. och distribueras enbart efter särskild beställning.

Forsknings- och försöksresultat från SkogForsk publiceras i följande serier:

SkogForsk-Nytt. Nyheter, sammanfattningar, översikter.

Resultat. Slutsatser och rekommendationer i lättillgänglig form.

Redogörelse. Utförlig redovisning av genomfört forskningsarbete.

Report. Vetenskapligt inriktad serie (på engelska).

Handledningar. Anvisningar för hur olika arbeten lämpligen utförs.

ISSN 1404-305X

Innehåll

Sammanfattning.....	3
Introduktion.....	4
Bakgrund.....	4
Syfte.....	4
Disposition.....	4
Teori.....	6
Navstar GPS.....	6
GPS i skog.....	12
Genomförande.....	13
Utrustning.....	13
Skillnader hos mottagarna.....	15
Punktval.....	15
Mätstrategi.....	16
Planering av mättillfällen.....	18
Resultat.....	18
Diskussion.....	25
Resultat.....	25
Mätstrategi.....	27
Inställningar mottagare.....	28
Slutsatser.....	28
GPS i skogsbruk.....	29
Slutord SkogForsk.....	29
Frågeställningar för fortsatt arbete.....	30
Referenslista.....	31
Internetsidor.....	32
Bilaga 1 Resultat.....	33
Bilaga 2 Punktbeskrivningar.....	35
Bilaga 3 Frekvensfördelning.....	41

Sammanfattning

Syftet med detta försök var att utreda skillnader i punktnoggrannhet (i plan) för olika GPS-utrustningar i skog och därmed vilken noggrannhet man kan uppnå i skogsmiljö. Arbetet är ett examensarbete vid Högskolan i Gävle och har initierats av, och utförts hos, SkogForsk, Uppsala.

I försöket har två handhållna mottagare för absolut kodmätning samt två DGPS-utrustningar använts. Den ena DGPS-utrustningen testades både med och utan korrektioner d.v.s. även som absolut kodmätare. Mätningarna utfördes strax utanför Uppsala på en testbana med sedan tidigare inmätta punkter. Av dessa punkter valdes fem försökspunkter som ansågs representativa för skogsbruk. Utöver dessa punkter valdes ytterligare en punkt för att med så gott som optimala förhållanden testa noggrannheten. Vid försökspunkterna utfördes mätningarna i följd med fem minuters observationstid per mottagare, varje punkt besöktes fem gånger. Eftersom mätningarna vid punkterna utfördes i följd krävdes en noggrann planering av mättillfällena för att mottagarna skulle få likvärdiga förutsättningar. Planering gjordes efter antal tillgängliga satelliter samt predikterade HDOP- och PDOP-tal. Av de fem testade GPS-uppsättningarna (fyra mottagare) ströks två från resultaten. Den ena handhållna mottagaren utgick p.g.a. bristande information från tillverkaren och DGPS-mottagaren utan korrektioner ströks p.g.a. mjukvaru-/hårdvarufel.

Resultaten visar att noggrannheten i tätare skog, relativt punkter med enstaka träd, försämras 3 till 8 gånger beroende på mottagartyp. Med avancerade DGPS-mottagare som utnyttjar multipath-filter och bärvågsunderstöd kan man i krävande miljöer (tät skog) hålla en noggrannhet på ca 8 m (95 %). Enklare DGPS-mottagare ger en noggrannhet på ca 24 m (95 %) och en bra handhållen mottagare kan hålla en noggrannhet på ca 26 m (95 %). Vid mer öppna punkter var noggrannheten för respektive mottagare ca 1 m, 3 m och 9 m.

Introduktion

Bakgrund

Tidigare studier vid SkogForsk har visat att det globala satellitbaserade amerikanska positioneringssystemet (GPS) med fördel kan nyttjas vid olika moment inom skogsbruket (SkogForsk, Resultatserie). Beroende av användningsområde har noggrannhetskravet varierat. Används exempelvis systemet för orientering i fält har en noggrannhet av 10–20 meter varit acceptabel. Utvecklingen av bättre mottagare samt borttagandet av amerikanska försvarets SA-störning (Selective Availability) i maj 2000 ger förutsättningar för en ökad noggrannhet vid positionering med enkla mottagare inom skogsbruket. Om noggrannheten visar sig vara tillräcklig finns möjligheter att exempelvis effektivisera avverkningsplanering och drivning. Endast ett besök i fält skulle vara tillräckligt för positionering av områden som skall åtgärdas och objekt som ej får påverkas. Denna digitala snitsling är därmed tillgänglig via GIS (Geografiska Informationssystem) i fält och i fordon för många år framåt och kan nyttjas vid avverkning, skotning, markberedning och planering.

Syfte

Målsättningen med detta försök är att utreda och jämföra noggrannheten hos olika GPS-utrustningar vid mätning i fält. GPS-mottagarna skall testas i representativa miljöer för skogsbruk d.v.s. i en skala från skog med hög kronslutenhet till kalhyggen. Syftet är att undersöka skillnader i punktnoggrannhet i plan vid realtidsmätning med korta observationstider. Metoden har valts för att den är enkel och robust. Försöket kan senare upprepas med andra mottagare och på andra platser.

Disposition

Generella referenser ges nedan, mer specifika uppgifter refereras löpande i texten.

Rapporten disponeras enligt följande:

Teori. Rapporten inleds med ett teoriavsnitt som förklarar GPS-systemet, samt i försöket använda tekniker. Facktermer och begrepp av betydelse för förståelse av rapporten redovisas också. Kunskap och information om detta har huvudsakligen inhämtats från:

- Geodetisk Positionsbestämning (Kurs, HiG VT01).
- LMV:HMK-Ge:GPS.
- Engfeldt, A. & Jivall, L. Kort introduktion till GNSS.
- Hoffman-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. & Collins, J. GPS-Theory and Practice.
- Ekman, M. Jordellipsoider, geoider, koordinatsystem, höjdsystem och tyngdkraftssystem i Sverige genom tiderna.

Information till avsnitten om mottagning av korrektioner samt antenner har hämtats från Teracom, *Antenner och mottagning*.

Genomförande. Här redovisas val av utrustning, val av, samt resonemang till grund för val av mätillfällen och arbetsmetod, punktval samt erhållna mätresultat.

Information om utrustningarna har hämtats från tillverkarnas produktblad (Trimble.com, Garmin.com).

Diskussion. I diskussionen diskuteras resultaten, samt av resultaten påvisade tendenser tillsammans med osäkerhetsfaktorer och sannolika förklaringar till resultaten.

Slutsatser. Här presenteras de viktigaste resultaten samt frågeställningar för fortsatt arbete. Stycket *GPS i skogsbruk* och *Slutord SkogForsk* i samarbete med Mattias Forsberg, SkogForsk.

Teori

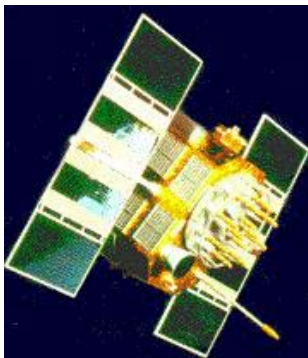


Figur 1.
GPS-systemet
(<http://www.garmin.com/aboutGPS>)
(Acc 01-06-04).

Navstar GPS

NavStar GPS (Navigation Satellite Time and Ranging Global positioning system) är ett system för positionsbestämning som ägs och förvaltas av det amerikanska försvaret. GPS initierades 1973 och var fullt utbyggt för civila och militära tillämpningar 17 Juli 1995. Systemet är gratis att använda och det finns inga planer på att införa användaravgifter.

Systemet garanteras omfatta 24 satelliter som befinner sig i sex banplan kring jorden. Detta innebär att man var som helst, dygnet runt, i 99,9 % av fallen har tillgång till fyra satelliter. Med fyra satelliter går det att, oavsett väderlek, i realtid bestämma sin tredimensionella position. Systemet innehåller för det mesta fler satelliter (29 st juni 2001). Det finns tre s.k. segment: rymdsegment (satelliter), kontrollsegment samt användarsegment. Kontrollsegmentet som består av flera kontrollstationer placerade i huvudsak kring ekvatorn, används för att övervaka, beräkna samt styra satellitbanorna.

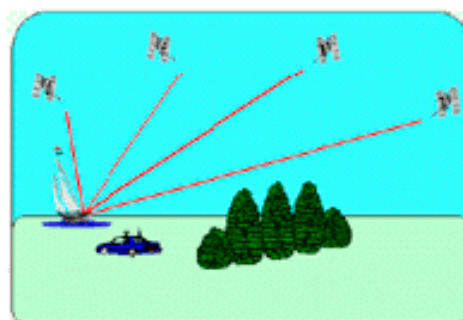


Figur 2.
GPS-satellit
(http://swepos.lmv.lm.se/index_gnss.htm)
(Acc.01-06-04).

GPS-satelliterna (se figur 2) sänder ut signaler på två frekvenser, L1 samt L2. På L1 frekvensen sänds både C/A-kod (Coarse /Aquisition) och P-kod (Precise). C/A koden är tillgänglig för civil användning, medan P-koden är reserverad för det amerikanska försvaret. L2 innehåller endast P-kod. C/A-koden sänds med våglängden 300 m och P-koden med 30 meters våglängd. Utöver koden sänds ett satellitmeddelande som innehåller information om banddata, satellitklockparametrar, satellithälsa etc. Denna information är nödvändig för att beräkna satellitens position samt klockkorrektioner.

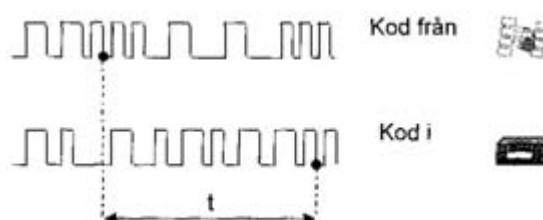
Positioner som beräknas med GPS-mottagare får i det för GPS skapade globala referenssystemet WGS84 (WorldGeodeticSystem), med positionsangivelser i latitud, longitud och höjd över ellipsoiden WGS84.

Kodmätning



Figur 3.
Absolut kodmätning
(http://swepos.lmv.lm.se/index_gnss.htm).

I mottagaren genereras en kod synkront med satelliterna. När koden från en satellit tas emot jämförs genererad och mottagen kod med varandra. Eftersom den mottagna koden har färdats från satelliten till mottagaren uppstår en förskjutning som kan uppmätas genom tidsmarkeringar i koden. Med hjälp av uppmätt tidsdifferens (t) mellan mottagen och genererad kod kan distansen (s) till varje satellit beräknas enligt $s=v*t$ (v =ljusets hastighet)(se figur 4).

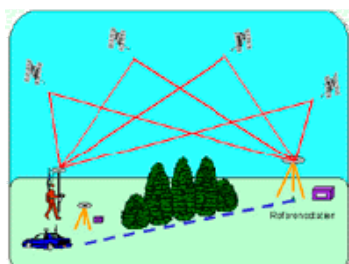


Figur 4.
Kodmätning
(Engfeldt, A. & Jivall, L.
Kort introduktion till GNSS).

Det krävs tre beräknade avstånd för att bestämma en position i rymden, men eftersom klockorna ej kan garanteras vara exakt synkroniserade införs ett klockfel som extra obekant. För att lösa ett ekvationssystem med fyra obekanta (X , Y , Z , klockfel) krävs fyra observationer, detta medför att det teoretiskt krävs fyra satelliter för att beräkna en tredimensionell position. I praktiken eftersträvas fler satelliter för att kunna beräkna en säker position. Upplösningen i kodmätningen kan uppskattas till några decimeter.

Fram till maj 2000 fanns en avsiktlig degradering av noggrannheten vid kodmätning kallad SA (Selective Availability). Denna degradering av noggrannheten infördes av den amerikanska försvarsmakten genom manipulering av satellitklockorna. Borttagning av denna degradering har avsevärt förbättrat noggrannheten vid absolut kodmätning.

Relativ kodmätning: DGPS



Figur 5.
Relativ kodmätning
(http://swepos.lmv.lm.se/index_gnss.htm).

För att förbättra noggrannheten vid kodmätning kan man utnyttja två mottagare och s.k. relativ kodmätning (se figur 5 jfr. figur 3). Genom att etablera en referensstation på en välkänd punkt kan man kontinuerligt registrera avvikelser från de korrekta koordinaterna. Om man antar att felen är korrelerade inom ett visst område kring referensmottagaren kan man applicera beräknade korrekationer på den rörliga mottagaren.

Korrektionerna sänds via standardformatet RTCM. Korrektionsmeddelandet innehåller avståndsförbättringar för de satelliter som är tillgängliga för referensstationen. Det är möjligt att etablera en egen referensstation och sända korrekationer via ett radiomodem, eller utnyttja någon nationell/internationell tjänst för korrekationer. Korrektionerna sänds i det senare fallet på RDS-kanalen med FM nätet, eller i ett par fall via geostationära satelliter. Kvaliteten på korrektionerna antas vara bättre ju kortare baslinje mellan referensstation och mottagare man har.

I Sverige finns ett etablerat nätverk av referensstationer kallat SWEPOS som drivs av lantmäteriverket. I SWEPOS ingår 21+10 fasta stationer (figur 6) utspridda över Sverige. Den nordligaste finns i Kiruna och den sydligaste i Malmö (se figur 7). Stationerna realiserar det nationella referenssystemet SWEREF 93 (ersätts snart av SWEREF 99) som i sin tur approximativt överensstämmer med det globala referenssystemet WGS84. Avvikelsen mellan systemen uppgår som mest till någon/några decimeter.



Figur 6.
Referensstation
(http://swepos.lmv.lm.se/index_swep.htm)
(Acc. 01-06-04).



Figur 7.
SWEPOS-stationer.
(http://swepos.lmv.lm.se/index_swep.htm). (Acc. 01-06-04).

DGPS-tjänster

I dagsläget finns det för relativ kodmätning i realtid tre tjänster knutna till SWEPOS:

EPOS. Ägs av Teracom och använder 12 SWEPOS-stationer. Korrektionerna sänds på RDS kanalen, P3/P4-nätet. Abonnemanget ger enligt Teracom en noggrannhet på 2 m (95 %) med Premium-abonnemanget. Tjänsten är avgiftsbelagd.

Mobipos. Ägs av Generic Mobile och använder fyra SWEPOS stationer. Korrektionerna sänds på DARC-kanalen (DataRadioChannel), P3-nätet. Ger en noggrannhet på 0,5 m – 2 m. Tjänsten är avgiftsbelagd.

FugroOmnistar. Internationell tjänst som använder en SWEPOS-station, har totalt ca 80 referensstationer över världen. Sänder korrektioner via geo-stationära satelliter. Tjänsten är avgiftsbelagd.

Utöver dessa tjänster har Sjöfartsverket en korrektionstjänst som är utvecklad för sjöfarten. Referensstationerna är i huvudsak placerade längs kusten och sänder korrektionerna över befintliga radiofyrrar (långvåg). Det finns inte någon garanterad täckning på land. Tjänsten är dock avgiftsfri och kan användas i närhet till kust samt på Väneren, som har en egen sändare.

Mottagning av korrektioner

Radiovågor passerar generellt genom de flesta material, det finns dock flera faktorer som påverkar mottagningsförhållandena av korrektionssignalen vid GPS-mätning. Radiovågorna reflekteras av bl.a. jord, vatten och atmosfären och påverkas när de passerar eller reflekteras mot dessa media. Det finns flera faktorer som påverkar t.ex.:

- Sändningsfrekvensen (dämpningen av signalen vid passering av olika media blir generellt större med högre frekvens).
- Tidpunkt på dygnet.
- Ljus och mörkerförhållanden.
- Årstid.
- Solaktivitet.
- Markens elektriska egenskaper.
- Atmosfäriska förhållanden på olika höjder.

Förutom att signalerna kan dämpas då de passerar olika media kan de också reflekteras. Detta resulterar i flervägsfel som innebär att mottagaren har svårt att tolka signalen eller misstolkar den. I sådana fall kan det räcka att förflytta antennen en liten bit.

Utöver den sökta signalen finns ett stort antal andra signaler på olika frekvenser. Om radiomottagaren även tar emot dessa signaler kan det ge upphov till s.k. interferensstörningar. Kvaliteten på signalen brukar beskrivas med ett SNR-värde (Signal to Noise Ratio). Detta värde anger i decibel hur stor skillnaden i signalstyrka är mellan den mottagna signalen och det bakgrundsbrus som t.ex. övrig radiotrafik utgör. Detta värde bör således vara högt.

Antenner

Olika typer av antenner påverkar mottagningen av korrektionssignalen. Det finns principiellt två typer av antenner; aktiv och passiv.

Passiva antenner är den vanligast förekommande typen. Dessa är generellt bättre ju längre de är. Sprötanten kortare än 75 cm rekommenderas ej. En kort antenn klarar inte av att leverera samma signalstyrka som en lång antenn. Utöver längden på antennen är även höjd över marken av betydelse för mottagningen.

Om avståndet mellan antennen och mottagaren är stort kan mottagarens signalförstärkare flyttas till antennen. På detta sätt kan en kort antenn få samma känslighet som en sprötantenn av full längd. Dessa antenner kallas aktiva antenner och kräver strömmatning. En fördel med aktiva antenner är att de ofta är relativt små. En nackdel är att de inte bara förstärker signalen utan även brus, vilket kan försämra prestandan (Teracom,1999).

Bärvågsmätning

Koden i satellitsignalen ligger modulerad på en bärvåg. I stället för att utnyttja kodens tidsmarkeringar kan man utnyttja bärvågen på L1, L2 eller båda för att bestämma distansen. Upplösningen i bärvågsmätningen kan uppskattas till några mm. Bärvågen innehåller inga tidsmarkeringar och positioner kan därför ej beräknas direkt.

I mottagaren genereras en signal med samma frekvens som utsänd satellit-signal. När satellitsignalen tas emot jämförs genererad och utsänd signal och en fasförskjutning kan bestämmas mycket noggrant. För att beräkna distansen mellan satellit och mottagare krävs även att man bestämmer antal hela våglängder mellan mottagare och satellit. Distanen kan alltså uttryckas som ett antal hela våglängder plus uppmätt del av våglängd (fasförskjutning). Antal hela våglängder kallas antal periodobekanta och tiden under vilken dessa löses kallas initialisering. Vid bibehållen lösning på satelliterna räknas enbart förändring av antal hela våglängder, relaterat till den tidpunkt då mätningen började.

Bärvågsunderstödd kodmätning

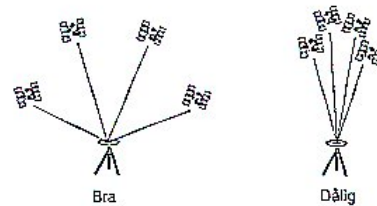
För att förbättra upplösningen vid kodmätning kan man utnyttja s.k. bärvågsunderstödd kodmätning. Med hjälp av den högre upplösningen vid bärvågsmätning beräknas förändringen i avstånd mellan satellit och mottagare (antenn) mellan två epoker. Data som ingår i de beräkningarna som jämförs samlas in under en tidrymd som kallas epok. Vanligt i GPS-sammanhang är en epoklängd på ca 15 sekunder. Kodmätningen filtreras sedan med denna avståndsförändring över ett antal epoker. Med denna metod löser man ej periodobekanta utan bärvågsmätningen används enbart för att bestämma förändringen i avstånd. Eftersom mätningen filtreras över ett antal epoker krävs sammanhängande mätning under någon/några minuter för att dra nytta av stödet.

Felkällor

Det finns många faktorer som försämrar prestandan vid kodmätning. Några av dem är:

Antal satelliter. Det är fördelaktigt med ett stort antal tillgängliga satelliter vid GPS-mätningar. Genom att utnyttja predikterade satellitbanor kan man för aktuellt område beräkna satellittillgängligheten samt DOP-tal (se nedan) under en tidsperiod. Därigenom går det att se till att mätningen sker under bra förhållanden. (Banddata beräknas bl.a. av IGS – International GPS Service for Geodynamics). Lantmäteriet tillhandahåller en kostnadsfri tjänst för planering på Internet.

Figur 8.
Satellitgeometri.
(Engfeldt, A. & Jivall, L.
Kort introduktion till GNSS).



Satellitgeometri. För en bra positionsbestämning bör satelliterna vid mätning vara så spridda över horisonten som möjligt. Om de satelliter som finns tillgängliga befinner sig tätt intill varandra blir positionsbestämningen sämre (se figur 8). DOP-tal (Dilution Of Precision) är ett mått på hur bra satellitgeometrin är. Dessa tal är teoretiska kvalitetstal som multiplicerade med mottagarens mätmedelfel ger aktuellt medelfel i mätningarna. DOP-talen skall alltså vara så låga som möjligt.

Det finns olika typer av DOP-värden:

- PDOP (PositionalDOP) relateras till en tredimensionell position,
- HDOP (HorisontalDOP) till positionen i plan,
- VDOP (VerticalDOP) till positionen i höjd,
- TDOP (TimeDOP) till klockfel och
- GDOP (GeometricalDOP) till en tredimensionell position med inverkan av klockfel (är störst av DOP-värdena).

I mottagarna finns ofta möjlighet att använda ett PDOP-filter. Ett PDOP-filter utesluter positioner där PDOP överstiger ett av användaren definierat gränsvärde.

Jonosfärsfel (övre delen av atmosfären). Jonosfärsfel ger upphov till skalfel och bryter GPS-signalen i stigande grad med minskande infallsvinkel. På grund av detta brukar man använda en elevationsmask som normalt sätts till ca 15 grader. Satelliter som befinner sig lägre än 15 grader över horisonten maskas (filtreras) alltså bort och ingår ej i positionsbestämningen.

Troposfärsfel (lägre delen av atmosfären). Troposfärsfel ger upphov till skalfel samt ett relativt höjdfel. Inverkan av troposfärsfel reduceras med en standard-troposfärsmodell.

Fel i banddata. Utsända banddata (Broadcast Ephemeris) har ett medelfel på ca 3–5 m. Efterberäknade banddata (Precise Ephemeris) finns med medelfelet 10–50 cm.

Flervägsfel. Om GPS-signalen ej går raka vägen från satellit till mottagare blir avståndsbestämningen till denna satellit ej korrekt, med en felaktig position som följd. Flervägsfel uppkommer när signalen studsar (reflekteras) mot t.ex. vattenytter, plåttak eller träd. Tillverkarna har olika mjukvarumodeller för att utesluta dessa felaktiga signaler. Genom använda antenner av hög kvalitet kan man ytterligare reducera inverkan av dessa fel.

Signalbrus (Se Mottagning av korrektioner, sid. 9). I mottagarna finns, liksom för DOP-värden, ofta en möjlighet att filtrera bort signaler med för lågt SNR-värde.

Transformationsfel. GPS-positioner beräknas i referenssystemet WGS84, detta referenssystem används dock sällan på nationell nivå. I Sverige används oftast det plana koordinatsystemet RT90 i kombination med höjdsystemet RH70 och geoidhöjdsystemet RN92.

För att överföra en position från WGS84 till något nationellt eller lokalt koordinatsystem krävs således en transformation. Den vanligast använda är en 7-parameters Helmerttransformation som tar hänsyn till tre translationer, tre vridningar samt skala mellan systemen. För att få en korrekt position i höjd krävs även en geoidmodell.

I enkla mottagare finns ofta enklare samband mellan systemen definierade, ibland beroende på minnes/processor-kapacitet. Ofullständiga (dåliga) samband mellan koordinatsystemen kan resultera i att man inför fel som i olyckliga fall ligger på meternivå.

Av noggrannhetsskäl är det därför fördelaktigt att i mottagaren lagra positionerna i WGS84 för att sedan, med för ändamålet avsett program, transformera koordinaterna till önskat system.

GPS i skog

GPS-mätning i skog inför ytterligare faktorer som kan skapa problem och som man därför måste ta hänsyn till vid mätning och planering.

Sikthinder (till satelliterna) innebär problem vid alla typer av GPS-mätningar. Detta problem är dock extra påtagligt i skog. Inverkan samt typ av påverkan varierar med skogstyp. Satellitsignalerna har generellt sätt lättare att tränga igenom barrskog än lövskog. Detta får som följd att det oftast går att få kontakt med fler satelliter i barrskog, men signalkvaliteten blir lidande. Med tillräckligt många tillgängliga satelliter erhålls ofta en bättre positionsbestämning i lövskog till följd av att signalerna som kommer fram är ”renare” (Engfeldt, A. & Jivall, L. 2000).

Vid planeringen bör hänsyn tas till att det troligtvis ej går att få kontakt med samtliga tillgängliga satelliter. För att gardera sig bör man utföra mätningarna när det finns ett stort antal tillgängliga satelliter.

Om DGPS-teknik nyttjas varierar mottagningsförhållandena för korrektions-signalen. I tät skog kan mottagning av korrektionssignalen ej garanteras.

Vid mätning under dagar med regn eller hög luftfuktighet försvåras mottagningen av GPS-signalerna i och med att krontaket (barren/löven) blir mer svårgenomträngliga. Även snö kan bilda ett svårgenomträngligt tak.

Genomförande

Utrustning

De olika utrustningarna som användes i försöket var

- en enkel handhållen mottagare (Garmin 12XL) för absolut kodmätning,
- en mer avancerad handhållen mottagare (GeoExplorer3, Trimble) för absolut kodmätning,
- en enkel DGPS-mottagare (Lassen SK-II, Trimble) för relativ mätning, samt
- en mer avancerad DGPS-mottagare med ”multipath”-filter och bärvågs-understöd (Pro XRS, Trimble), för relativ mätning.

DGPS-mottagarna användes med korrekationer från EPOS.

Den enkla DGPS-mottagaren (Lassen SK-II) testades även utan mottagning av korrekationer, d.v.s. som absolut kodmätare.

Vanliga mått på noggrannhet i produktblad och liknande är RMS (RootMeanSquare) och i vissa fall CEP (CircularErrorProbable). RMS motsvarar noggrannheten och är generellt, om inget annat anges, med 68 procents konfidensintervall. CEP motsvarar radien för den cirkel som innehåller 50 procent av mätvärdena och är alltså till skillnad från RMS inget statistiskt värde. Tyvärr specificeras ej alltid, i t.ex. produktblad, med vilket konfidensintervall RMS-värdet är angivet och man kan ej säkert utgå från att det då är angivet med 68 procents konfidensintervall.

Garmin, GPS 12XL

- Pris ca 3 500 – 4 000 kr.
- RMS, ca 15 m.
(<http://www.garmin.com/products/gps12xl/>)



Figur 9.
Garmin 12 XL
(<http://www.garmin.com/products/gps12xl/>)
(Acc 01-06-04).



Trimble, GeoExplorer3

- Pris ca 40 000 kr.
- Möjlighet till efterkorrigering.
- Hanterar bärvågsdata.
- Grafisk display med kartfunktioner.
- Funktioner för lagring av punkt-, linje- och areaobjekt.
- RMS ca 10 m.
(Mowic AB)

Figur 10.
GeoExplorer3.



Lassen SK-II)

- DGPS-mottagare.
- Ca pris 70 000 kr
(GPS-box + antenner 20 000 kr
(Rolab, Uppsala), Sunscreen 35 000 kr,
Dator 15 000 kr).
- CEP (50 %), 25 m.
- CEP (50 %) DGPS, 2 m.
- (<http://www.trimble.com/products/catalog/oem/lassen2.htm>)

Figur 11.
Lassen SK-II.



Trimble, Pathfinder Pro XRS

- DGPS-mottagare.
- Ca pris 100 000 kr.
- Bärvågsunderstöd.
- Hanterar bärvågsdata.
- EVEREST multipathfilter.
- Integrerade mottagare för korrektioner via långväg eller geostationära satelliter.
- RMS <1 m.
(http://www.trimble.com/products/catalog/gis/pro_xrs.htm)

Figur 12.
ProXRS.

Skillnader hos mottagarna

Några principiella skillnader mellan mottagarna är:

- Garmin-mottagaren samt Lassen SK-II lagrar i detta försök koordinater i RT90 medan GeoExplorer3 och ProXRS lagrar rådata (d.v.s. PRN-koden). Dock visar mottagarna från GeoExplorer3 och ProXRS koordinater i RT90. Principiellt medför detta att den egentliga transformationen från WGS84 till RT90 med Trimble-mottagarna sker först sedan positionerna överförs till programmet Pathfinder Office.
- De handhållna mottagarna har inbyggd GPS-antenn av typen flat patch, DGPS-mottagarna har externa antenner.
- Radioantennen skiljer de båda DGPS-utrustningarna åt. ProXRS har i detta försök haft en passiv sprötantenn till skillnad från uppsättningen med Lassen SK-II som har haft en aktiv radioantenn (UFOII).
- ProXRS använder till skillnad från de andra bärvågsunderstöd, och ett multipathfilter (Everest) utvecklat av Trimble.

Inställningar på mottagare

Tyvärr fanns inga möjligheter att få reda på eller att ändra inställningarna på Garmin 12XL. Enligt uppgift från Garmin Technical Support (Europa) används filtrering av något slag, de var dock ovilliga att lämna ut uppgifter om vilken, eller vilka typer av filtrering som används.

På GeoExplorer3, ProXRS samt LASSEN SK-II användes följande inställningar:

- PDOP-filtret sattes till 50 för att få med samtliga positioner och därigenom få den ”riktiga” noggrannheten,
- SNR-filtret ställdes på 2 av samma anledning som PDOP-filtret och
- Elevations-masken (filtret) sattes till 15 grader.
- Åldersgräns för DGPS-mottagarnas korrektioner sattes till 20 sekunder.

Punktval

Försökspunkterna som användes är belägna i Korpoström, ca 3,5 mil sydost om Uppsala (se figur 13). Dessa punkter var sedan tidigare, på uppdrag av SkogForsk, inmätta av Håkansson, A. (Geocode AB). Punkterna skall hålla en horisontell noggrannhet på ± 2 dm, och är markerade med nerslagna järnrör.



Figur 13.
Försöksområde; markerat
med GPS.

Av dessa sammanlagt 24 kända punkter, som är uppdelade i två områden med 12 punkter i varje område valdes 5 st försökspunkter. Punkterna valdes i en ungefärlig skala som sträckte sig från öppen terräng med endast enstaka träd, till tätare skog med relativt hög kronslutenhet (se punktbeskrivningar, bilaga 2).

Generell punktbeskrivning:

- Punkt 7 Gles ungskog, gran.
- Punkt 12 Öppen avverkad yta med enstaka större tallar.
- Punkt 103 Tät medelålders granskog.
- Punkt 105 Tät medelålders tallskog.
- Punkt 109 Tät medelålders granskog.

Utöver dessa fem punkter valdes en punkt strax utanför Uppsala, Hällby observatorium, som med avseende på sikthinder har så gott som optimala förhållanden. Syftet med denna punkt var att testa vad mottagarna kunde prestera ifråga om noggrannhet, precision och riktighet vid bra förhållanden. Punkten är identisk med LMV punkt 10070.

Mätstrategi

Inledande försök Hällby

För att kontrollera mottagarnas noggrannhet utfördes mätningar vid referenspunkt 10070, Hällby observatorium. Observationstiden per mottagare var vid denna punkt 30 minuter, d.v.s. ca 900 lagrade positioner med minst sex satelliter, PDOP under 3 och HDOP under 1,5. Dessa mätningar utfördes ej samtidigt för att kunna hålla ett centeringsfel på max 5 cm.

Försök Korpoström

För att säkert kunna hävda att mottagarna har likvärdiga förutsättningar för en bra positionsbestämning, bör mätningarna utföras samtidigt vid varje punkt. I detta försök var det ej praktiskt genomförbart då försöket omfattar fyra stycken mottagare, varav en mottagare testades både med och utan korrekationer.

Samtidig mätning med så många mottagare skulle även innebära ett centeringsfel på en till två meter. Relativt ett närstående sikthinder, t.ex. ett träd motsvarar ett sådant centeringsfel en avsevärd förflyttning av satelliterna. Ytterligare en nackdel med samtidig mätning är att mottagarna sannolikt skulle

skymma varandra. Att samtidigt påbörja och avsluta mätningarna skulle även det innebära ett praktiskt problem.

Den sammanlagda observationstiden för mottagarna vid varje punkt bör vara så kort som möjligt för att satellitkonstellationen ej skall hinna ändra sig för mycket och därigenom orsaka skillnader i förutsättningar för mottagarna. Samtidigt eftersträvas en lång serie mätvärden (positioner) per mottagare och punkt för att kunna dra säkra slutsatser. Om observationstiden är kort är risken stor att mätvärdena är korrelerade. Observationstiden bör vara minst ett par minuter för att minimera risken att få allt för korrelerade mätvärden. (Jivall, L. & Engfeldt, A. figur 5, sid. 8). Det krävs även, för att få ett hållbart statistiskt underlag, ett antal upprepningar av observationerna. För att undvika systematiska fel planerades mätningarna så att besöken vid varje punkt var förlagda till olika dagar samt vid olika tidpunkter på dagen.

För att inte systematiska fel orsakade av satellitkonstellation skall uppkomma bör man undvika att mäta under samma tid på dygnet vid återbesöken. Val av olika dagar minimerar risken att införa fel orsakade av yttre faktorer såsom t.ex. väder och utsändningen av korrekationer.

Arbetsmetod

Som mätstrategi valdes att utföra mätningarna i direkt följd efter varandra d.v.s. sekventiellt. Positioner loggades med ett tidsintervall på två sekunder under fem minuter. Detta innebär en sammanlagd tid från första till sista mottagare på 25 minuter plus en tidsåtgång mellan observationerna för att byta mottagare. I praktiken blev alltså den sammanlagda observationstiden vid varje punkt ca 30 minuter under vilken förhållandena skulle vara likvärdiga. Detta förfarande utfördes fem gånger vid varje punkt.

Sammanlagt blev alltså observationstiden per mottagare och punkt 25 minuter. Med mottagarna inställda på att lagra en position varannan sekund innebär det sammanlagt ca 750 positioner per mottagare och punkt.

För att de handhållna mottagarna skulle få samma instrumenthöjd som DGPS-mottagarna användes ett stativ med en påmonterad platta, på vilken mottagarna kunde placeras (se figur 14). DGPS-mottagarna placerades direkt på marken intill markeringsrören.



*Figur 14.
Montering av handhållen mottagare.*

Eftersom förbättringen med bärvågsunderstöd är relativ tiden under vilken låsning funnits på satelliterna (Jivall & Engfeldt, 2000), bröts kontakten med samtliga satelliter innan mätningarna påbörjades med ProXRS.

Försökspunkternas specificerade fel på max 2 dm sammantaget med ett uppskattat centreringsfel på maximalt 1 dm ger tillsammans ett maximalt fel på 3 dm.

Planering av mättillfällen

För att säkerställa att mottagarna teoretiskt fick samma förutsättningar vid försökspunkterna valdes mättillfällen då de predikterade HDOP-värdena var stabila under en halvtimme. Variationen låg inom 0,5 enheter. HDOP valdes för att det primära i försöket var att utreda noggrannheten i horisontalplanet. Mätningarna planerades så att det fanns

- minst sex tillgängliga satelliter över 15 grader,
- PDOP aldrig översteg 3 samt
- HDOP aldrig översteg 1,5.

För denna planering användes programmet QuickPlan tillsammans med dagsaktuella banddata som laddades ned från Trimbles ftp-server. Vid planeringen användes en elevationsmask på 15 grader. Denna mask användes även på alla mottagare utom Garmin, som ej tillåter inställning av elevationsmask.

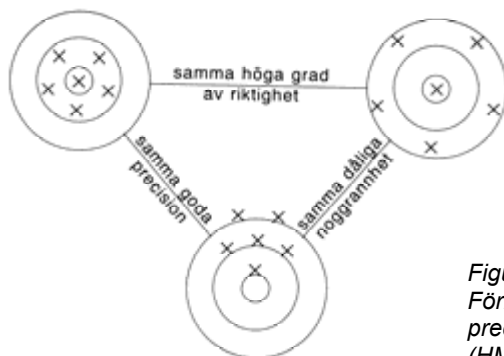
Resultat

På grund av mjuk- eller hårdvarufel nyttjade Lassen SK-II-uppsättningen den differentiella korrektionssändningen trots att den stängts av i programvaran. Mätserien med Lassen SKII utan korrektioner måste därför strykas.

Obs. Resultaten från Garmin 12XL kan ej jämföras med resultat från övriga mottagare då uppgifter saknas om vilken typ av filtrering som använts. Då dessa uppgifter saknas kan Garmin-mottagaren ej anses ha samma inställningar eller likvärdiga beräkningsalgoritmer vilket är en förutsättning för en jämförelse av resultaten. Resultaten från Garmin 12 XL redovisas därför ej med övriga resultat nedan.

I bilaga A redovisas Garmins resultat. Dessa skall ses som fristående resultat och kan därför ej jämföras med resultat från övriga mottagare. Av ovan nämnda anledning görs inga kommentarer angående Garmins resultat.

Samtliga beräkningar har utförts med programmet Excel. De fem filerna per mottagare och punkt lades ihop till en fil som alltså innehöll positioner lagrade under 25 minuter (5*5min), sedan utfördes beräkningarna på de sammanslagna serierna. För att beskriva mottagarnas prestanda används följande mått:



Figur 15.
Förhållande mellan noggrannhet,
precision och riktighet.
(HMK-Ge:D, fig1.1).

Noggrannhet. Noggrannheten beskriver de registrerade positionernas avvikelse från kända koordinater. En hög noggrannhet implicerar hög precision samt en hög riktighet.

$$\text{Noggrannhet} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{(x_i - x_{true})^2 + (y_i - y_{true})^2}}{n}}$$

Precision. Detta mått beskriver spridningen kring medelvärdet av de registrerade positionerna d.v.s. ett spridningsmått. En hög precision behöver varken innebära hög noggrannhet eller hög riktighet. Hög precision och låg noggrannhet eller riktighet tyder på ett systematiskt fel.

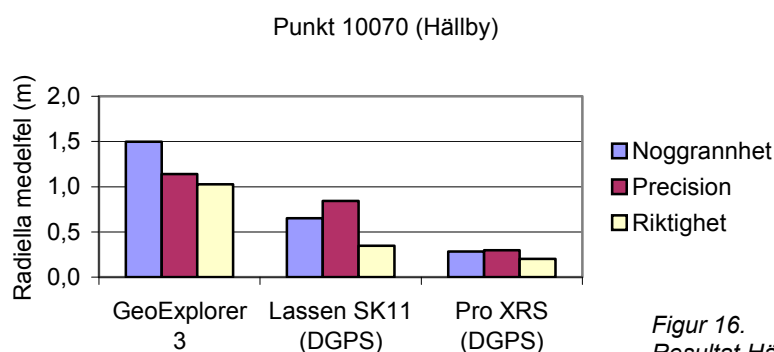
$$\text{Precision} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{(x_i - x_{mean})^2 + (y_i - y_{mean})^2}}{n-1}}$$

Riktighet. Riktigheten beskriver medelpositionens avvikelse från kända koordinater. En hög riktighet kan uppnås trots låg precision och noggrannhet.

$$\text{Riktighet} = \sqrt{\left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} - x_{true}\right)^2 + \left(\frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} - y_{true}\right)^2}$$

Resultat: mätningar Hällby

Samtliga mottagare presterade under dessa gynnsamma förhållanden mycket bra resultat (se figur 16). Noggrannheten hos DGPS-mottagarna är bättre än en meter där ProXRS har ett anmärkningsvärt bra resultat på endast 0,3 m. Som absolut kodmätare uppvisar GeoExplorer 3 en hög noggrannhet på 1,5 m (Se även bilaga 1).

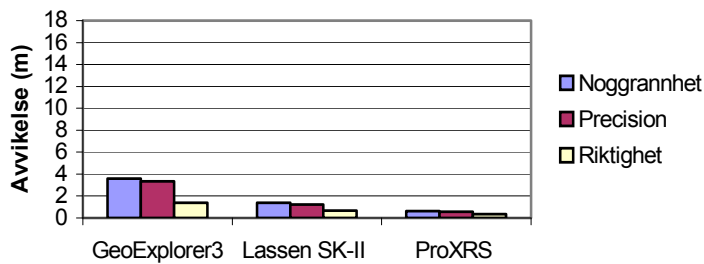


Figur 16.
Resultat Hällby observatorium.
Mätningar 9 maj.

Resultat: mätningar i Korpoström

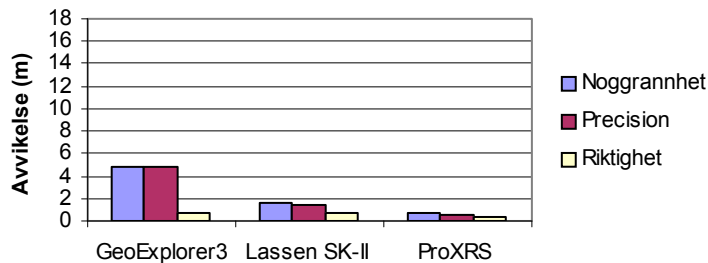
(Se tabell bilaga 1)

Punkt 7



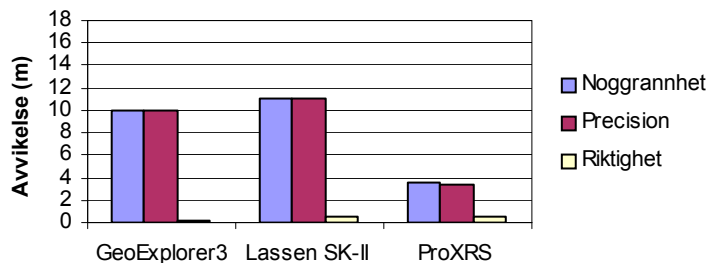
Figur 17.
Resultat vid punkt 7, Korpoström.
Mätningarna utfördes den 4 maj
(regn) samt 6–9 maj.

Punkt 12



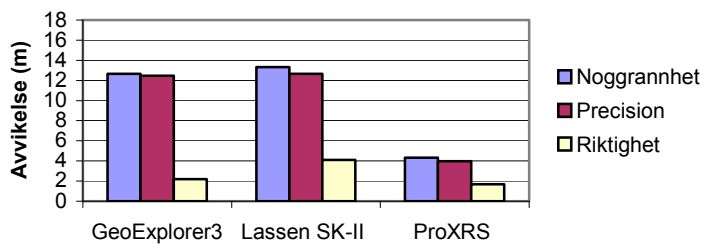
Figur 18.
Resultat vid punkt 12, Korpoström.
Mätningarna utfördes den 4 maj
(regn) samt 6–9 maj.

Punkt 103



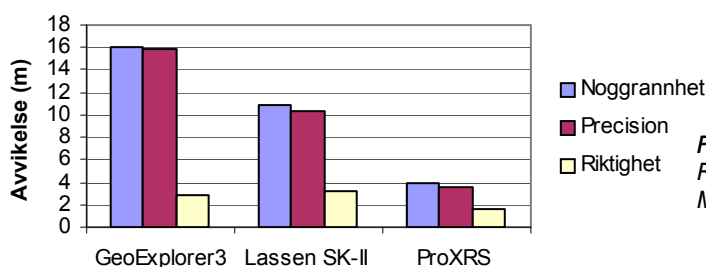
Figur 19.
Resultat vid punkt 103, Korpoström.
Mätningar: 4 maj (regn) samt 6–9 maj.

Punkt 105



Figur 20.
Resultat vid punkt 105, Korpoström.
Mätningar: 4 maj (regn) samt 6–9 maj.

Punkt 109



Figur 21.
Resultat vid punkt 109, Korpoström.
Mätningar: 4 maj (regn) samt 6–9 maj.

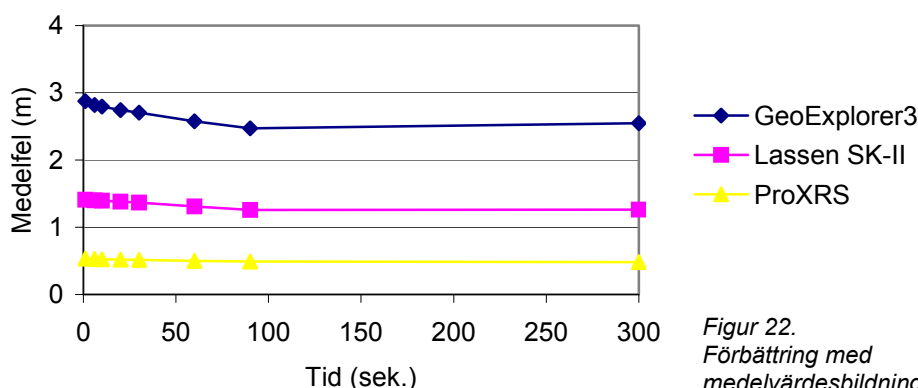
GeoExplorer3: Vid punkterna 7 och 12 som båda är öppna var noggrannheten mellan 3,5 och 5 m (se figurerna 17 och 18). Vid punkterna 103, 105 samt 109 som samtliga är belägna i betydligt tätare skog var noggrannheten mellan 10 och 16 m (se figurerna 19–21).

Lassen SK-II (DGPS): Vid de öppna punkterna var noggrannheten ca 1,5 – 2 m och vid de övriga punkterna låg noggrannheten mellan 10 och 13,5 m.

ProXRS: Vid punkterna 7 och 12 var noggrannheten ca 0,5 m kontra noggrannheten vid punkterna 103, 105 och 109 där noggrannheten var mellan 3,5 och 4,5 m.

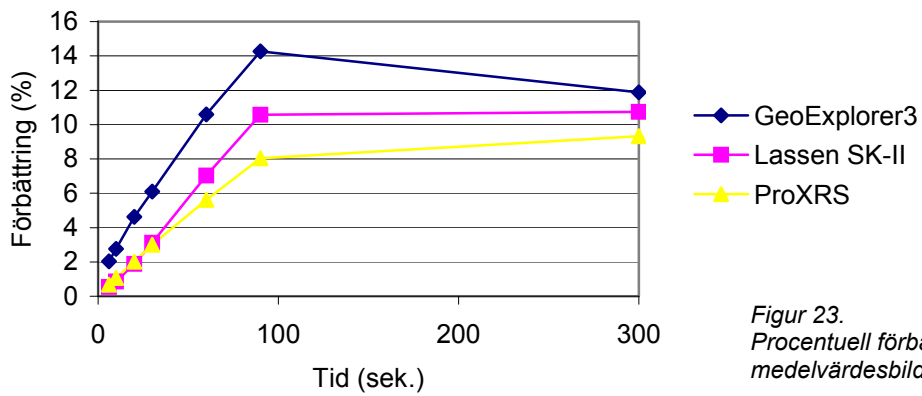
Medelfelet beräknades för medelvärdesbildning i 1 (momentant), 6, 10, 20, 30, 60 samt 90 sekunder för att studera vinsterna med medelvärdesbildning. Medelvärdena beräknades glidande över serierna för varje mottagare och punkt. Punkterna 7 och 12 klassades som relativt öppen terräng och punkterna 103, 105 och 109 som tätare skog. För att visa tendens efter det huvudsakliga studieintervallet på 90 sek. visas även medelfel efter 300 sek. Denna motsvarar den genomsnittliga riktigheten av femminutersobservationerna och baseras alltså på fem medelvärden. Redovisade värden är medeltal för punkterna i respektive klass (se figurerna 22–25).

7 och 12



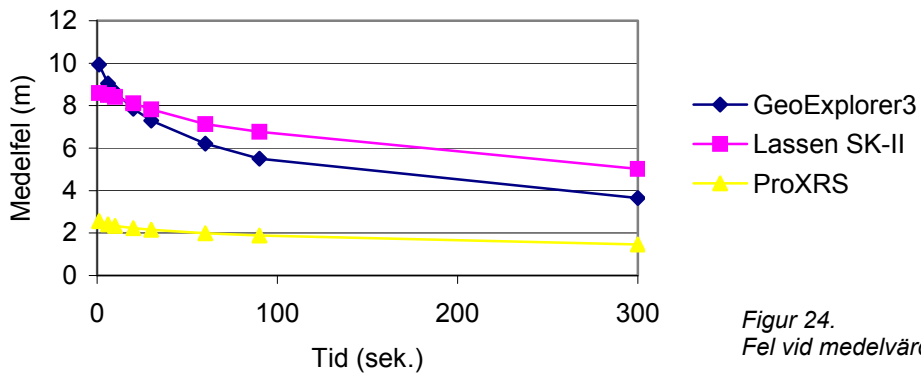
Figur 22.
Förbättring med
medelvärdesbildning.

7 och 12



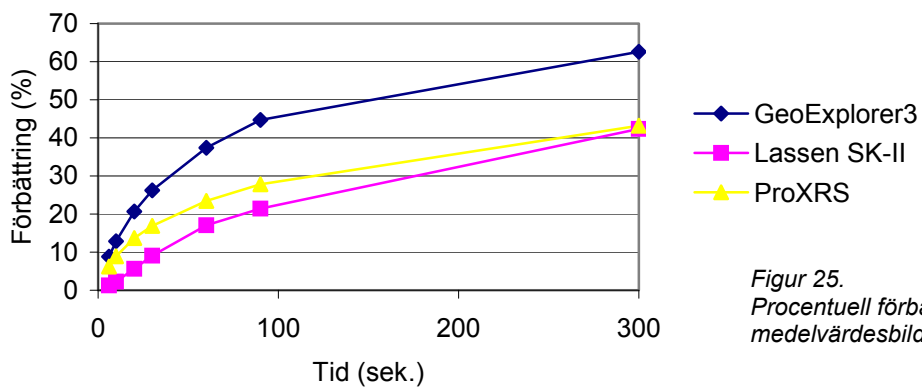
Figur 23.
Procentuell förbättring med medelvärdesbildning.

103, 105 och 109



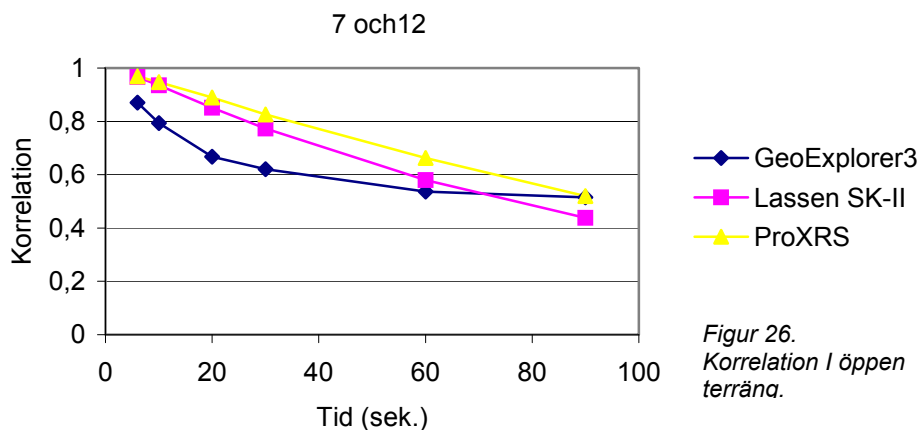
Figur 24.
Fel vid medelvärdesbildning.

103, 105 och 109

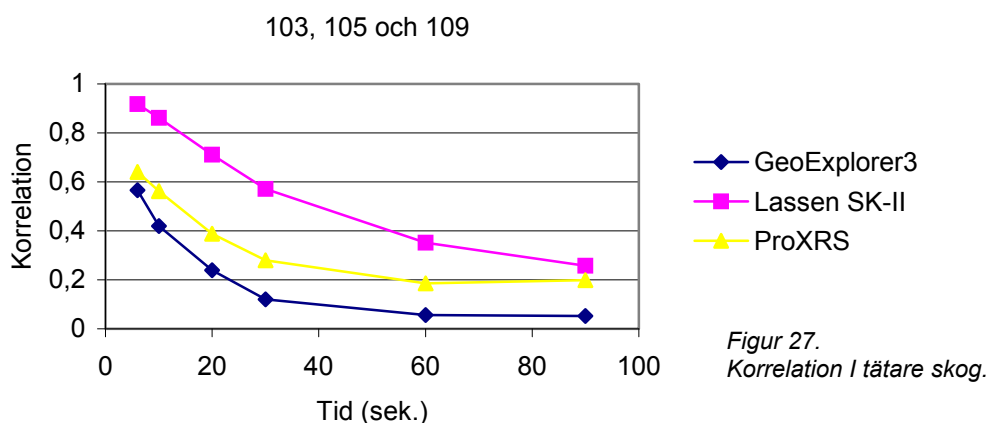


Figur 25.
Procentuell förbättring vid medelvärdesbildning.

Den seriella korrelationen för positionsfelet beräknades för intervallen 6, 10, 20, 30, och 90 sekunder. Punkterna 7 och 12 klassades som relativt öppen terräng och 103, 105 och 109 som tätare skog. Värdena är medeltal för punkterna i respektive klass (se figurerna 26 och 27).



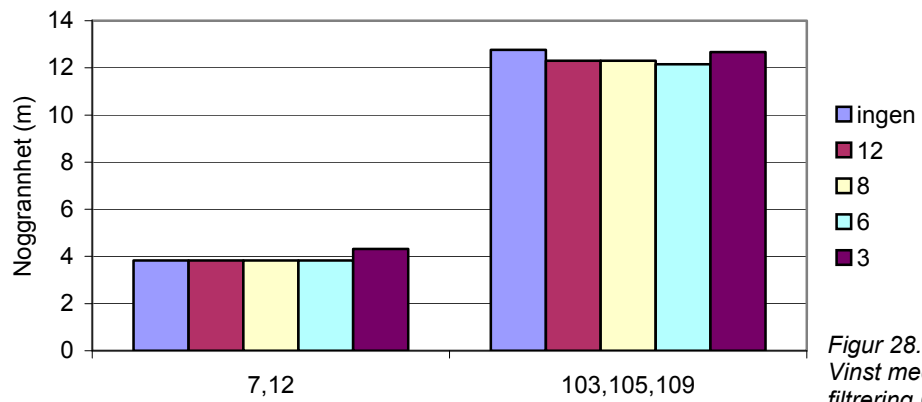
Figur 26.
Korrelation i öppen terräng.



Figur 27.
Korrelation i tätare skog.

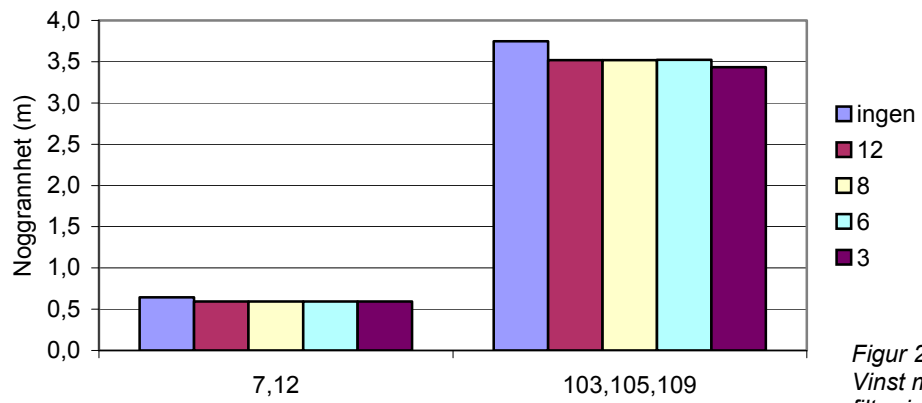
För att se vilken effekt en PDOP-filtrering har beräknades noggrannheten för PDOP-filtreringar på 3, 6, 8 och 12. Punkterna 7 och 12 klassades som relativt öppen terräng och 103, 105 och 109 som tätare skog. Värdena är medeltal för punkterna i respektive klass. Denna beräkning utfördes endast för GeoExplorer3 samt ProXRS (se figurerna 28 och 29).

GeoExplorer3



Figur 28.
Vinst med PDOP-
filtrering GeoExplorer3.

ProXRS



Figur 29.
Vinst med PDOP-
filtrering ProXRS.

Diskussion

Resultat

Vid öppna observationsplatser (7 och 12) där den okorrigerade positionen även för enkla mottagare är relativt bra har Lassen SK-II en högre noggrannhet än GeoExplorer3. I tätare skog (103, 105, 109) är däremot skillnaderna mindre. Vid punkterna 103 och 105 är noggrannheten något bättre för GeoExplorer3 relativt Lassen SK-II, medan riktigheten är likvärdig och vid punkt 109 är noggrannheten fem meter sämre för GeoExplorer 3 fast riktigheten är bättre. I samtliga fall borde Lassen SK-II i egenskap av att vara en DGPS-utrustning uppvisa bättre resultat relativt GeoExplorer3. Noggrannheten vid punkt 109 är visserligen sämre för GeoExplorer 3 men den höga riktigheten visar på en ”korrekt” spridning av positionerna. Att resultaten vid punkterna 103 och 105 är så pass lika trots att Lassen SK-II utnyttjar korrektioner beror troligtvis på att Lassen SK-II som absolut kodmätare har sämre prestanda än GeoExplorer3.

Korrektionsmeddelandet innehåller absoluta förbättringar till satellitavstånden, vilket medför att förbättringen ej kan sägas vara relativ felet i utgångspositionen om inte mottagaren har samma förutsättningar (optimala) som referensstationen. Fel som uppkommer genom påverkan av lokala förhållanden i t.ex. skog kan ej referensstationerna beräkna korrektioner för. Däremot i miljöer där de huvudsakliga felet kommer av fel i GPS-systemet och atmosfären bör förbättringen vara relativ felet i utgångspositionen. Detta innebär att noggrannheten hos DGPS-mottagare i tätare skog till stor del beror på mottagarens prestanda som absolut kodmätare. En mottagare med bättre prestanda (GeoExplorer 3) som absolut kodmätare kan alltså i vissa fall (103 och 105) under svårare förhållanden vara noggrannhetsmässigt likvärdig med en sämre mottagare som utnyttjar korrektioner (Lassen SK-II). Därmed kan även det motsatta gälla, en sämre mottagare kan ge likvärdig noggrannhet som en bättre genom att utnyttja korrektioner.

Vid de tre punkterna med tätare skog är Lassen SK-II vad avser noggrannheten, när den inte är bättre, åtminstone likvärdig GeoExplorer 3. Vid momentan registrering i varierande skogsmiljö är Lassen SK-II det bättre alternativet enligt resultaten från detta försök. Om däremot mätning skall utföras i tätare skog och mätstrategin är medelvärdesberäkning kan GeoExplorer 3 vara det bättre alternativet.

Vid tre mättillfällen kunde ej korrektioner tas emot med Lassen SK-II. Däremot tog ProXRS emot korrektioner vid samtliga tillfällen. Att mottagning av korrektionssignalen ej kunde fås vid dessa tillfällen kan bero på att en aktiv antenntyp, i dessa fall kan vara för känslig då den även förstärker bruset (Teracom, *Antenner och mottagning*). Vid flera tillfällen noterades att mottagning av korrektionssignalen påverkades av så lite som en meters förflyttning. Detta fenomen tyder på att signalen reflekteras i skogen (multipath) och därigenom skapar interferensstörningar som i sin tur bidrar till att bruset ökar.

En trend kan ses hos DGPS-mottagarna vid punkt 105 där båda uppvisar sämre resultat än vid punkterna 103 och 109. Detta är intressant i och med att punkt 105 är tallskog, medan de två andra är granskog. En hypotes är att multipath-effekten för korrektionssignalen är större i tallskog än i granskog.

Detta är dock bara en misstanke till vilken det saknas tillräckligt antal mätningar för att säkert kunna uttala sig om.

Fördelen med medelvärdesbildning beror helt på hur mottagaren sprider positionerna. Resultaten visar att vinsten med medelvärdesbildning i öppen terräng (7 och 12) är marginell (figurerna 22 och 23). Den största procentuella förbättringen var 14 procent efter medelvärdesbildning i 90 sekunder (GeoExplorer3). Vid medelvärdesbildning längre än 90 sek. sker en mycket marginell förbättring.

I tätare skog är vinsten betydligt större, förbättringen av medelfelet för GeoExplorer3 blev ca 45 % (90 sek.), för Lassen SK-II ca 20 % och för ProXRS ca 30 % (se figur 25). Utan medelvärdesbildning är felet större för GeoExplorer3 relativt Lassen SK-II men efter 15–20 sekunders medelvärdesbildning blir dock resultatet det omvända och GeoExplorer3 får ett lägre medelfel. Förbättringen ökar efter 90 sekunder, dock med en lägre hastighet. Vid samtliga punkter var vinsten med medelvärdesbildning störst för GeoExplorer3.

Undersökningen av korrelationen bekräftar ovanstående resultat och visar att felet i öppen terräng är starkt korrelerade under lång tid. Korrelationen mellan två positioner med ett intervall på 60 sekunder var 0,6 och 0,5 med 90 sekunders intervall.

Korrelationen i tätare skog avtar betydligt snabbare. Den är försumbar efter 90 sek. för Lassen SK-II, 30 sek. för ProXRS och 20 sek. för GeoExplorer3. Även i tät skog är korrelationen initialt hög. För samtliga mottagare är korrelationen betydande i ca 10 sek., därefter avtar korrelationen relativt snabbt, speciellt för GeoExplorer3. För Lassen SK-II finns däremot en betydande korrelation kvar fram till ca 50 sek. Motsvarande nivå nås efter 10 sek. respektive 20 sek. för GeoExplorer3 och ProXRS. Resultaten får till följd att vinsterna med medelvärdesbildning är störst i tätare skog samt att Lassen SK-II har lägst och GeoExplorer3 störst vinst med medelvärdesbildning. ProXRS placerar sig någonstans mellan Lassen SK-II och GeoExplorer3.

Trots att korrelationen efter 90s i tät skog är obetydlig verkar det finnas en mer långtgående korrelation. Om riktigheten vid punkt 103 beräknas för de fem serierna (25 min) sammanslagna, såsom den redovisas tillsammans med noggrannheten och precisionen, erhålls för Lassen SK-II och GeoExplorer3 en riktighet på endast någon decimeter. Om riktigheten i stället beräknas för de fem serierna separat erhålls en riktighet på flera meter. En sådan stor skillnad tyder på att hela serierna är något korrelerade men tillsammans kompletterar varandra. Detta är mest påtagligt vid punkt 103 men skillnaderna är stora även vid de övriga punkterna.

Genom att filtrera bort positioner med höga PDOP-värden går det teoretiskt sett att utesluta de positioner som bör vara sämst, baserat på antal satelliter samt satellitgeometri. I skog verkar närmiljön ha större påverkan än antal satelliter och satellitgeometri. Detta medför att förbättringen av dessa filtreringar blir marginell (se figurerna 28 och 29). I vissa gynnsamma fall kan resultaten förbättras något, men en för hård filtrering kan även försämra

resultaten (se figur 29). Vid försöken förbättrade en PDOP-filtrering på 6–12 resultaten marginellt.

ProXRS visar resultat som är klart bättre än de övrigas vid samtliga punkter. Mottagaren nyttjar, till skillnad från de andra och till sin fördel, både bärvågsunderstöd och ett multipath-filter. I vilken grad respektive teknik bidrar till de goda resultaten kan dock ej sägas.

Resultaten från mätningarna i Hällby visar att mottagarna med god marginal uppfyller de noggrannheter som tillverkare/återförsäljare uppgivit.

Mätstrategi

Att som i detta försök planera efter DOP-värden kan diskuteras då skogen i sig troligen påverkar resultaten i sådan grad att satellitgeometrin är av underordnad betydelse. DOP-talen gäller under förutsättning att kontakt fås med samtliga i beräkningen av DOP-talen ingående satelliter. Detta kan naturligtvis ej garanteras i skog. För att mätningarna skall vara jämförbara är det viktigt att på alla möjliga sätt se till att förutsättningarna är teoretiskt likvärdiga.

I och med att mottagarna vid punkterna ej mäter samtidigt utan i sekvens finns risken att någon eller några satelliter förflyttar sig så att de för efterföljande mottagare hamnar bakom ett sikthinder. Genom att mätningarna är upprepade 5 gånger vid olika dagar och olika tidpunkter, bör sådana skillnader i förutsättningar ha jämnat ut sig.

En motsättning föreligger vid val av längd på observationerna. En reducering av observationstiden skulle innebära en kortare tid under vilken förhållandena skall vara likvärdiga. Samtidigt är längre sammanhängande mätserier att föredra för det statistiska underlaget. En observationstid på 5 minuter bedömdes vara en lämplig kompromiss då detta gav ca 150 loggade positioner för varje mottagare och punktbesök. Detta innebär som tidigare nämnts en sammanlagd tid på ca 30 minuter, vilket ansågs rimligt för att relativt säkert hävda att förutsättningarna ej förändras nämnvärt. Detta gäller givetvis under förutsättning att mättillfällena är noggrant planerade och ej förlagda i en brytpunkt då t.ex. flera satelliter försvinner. Kortare observationstider medför dock att sannolikheten för att hela mätserien är korrelerad ökar och därmed skulle det vara nödvändigt med ett betydligt större antal upprepningar. Någon satellit kan givetvis under en halvtimme försvinna bakom elevationsmasken. Om mättillfällena planeras under en period med endast 4 tillgängliga satelliter blir mätningarna oerhört känsliga för bortfall av någon satellit. Av denna anledning är mättillfällena förlagda då minst 6 satelliter fanns tillgängliga. En konsekvens av detta blir att resultaten från detta försök gäller under bra förhållanden. Resultaten kan alltså försämrats om man utför sina mätningar med färre antal satelliter eller med sämre satellitgeometri.

Inställningar mottagare

Vanligtvis används PDOP- och SNR-filtrer. Detta kan förbättra noggrannheten. Vid beräkningen av resultaten noterades dock att extrempositionerna ingalunda behöver ha sämre DOP-tal än övriga positioner som har en mindre avvikelse till kända koordinater.

För att förbättra mottagning av korrektionssignalen kan mottagaren låsas på frekvensen till den sändare som ligger närmast och därför har högst signalstyrka. Detta medför att söktiden vid förlorad korrektionssignal förkortas.

Slutsatser

De testade utrustningarna har uppfyllt de prestanda som anges i produktbeskrivningarna. Det bör poängteras att dessa gäller under näroptimala förhållanden. För DGPS-mottagarna försämras noggrannheten i genomsnitt med en faktor på ca 6–7 och för GeoExplorer med en faktor på ca 3 i svår skogsmiljö. Vidare har det visat sig att det i svårare miljöer är mer utslagsgivande vilken typ av mottagare samt vilka prestanda mottagaren har.

Lassen SK-II försämrar i genomsnitt sin noggrannhet från ca 2 m i relativt öppen terräng till ca 12 m i tätare skog. Motsvarande resultat för ProXRS är en försämring från 0,5 m till 4 m och för GeoExplorer3 från 4 m till 13 m. Att försämringen är så pass mycket större för DGPS-mottagarna beror på att korrektioner ej kan beräknas för lokala störningar i t.ex. skog. I öppen terräng bör däremot störningarna vara likvärdiga de för referensstationen och korrektionerna får därigenom större genomslagskraft.

För vissa praktiska mätningar i skogsbruket är det viktigt att kunna ange ett kvalitetsmått på en position. Det kan t.ex. vara vid positionering av olika punktojekt som skall skyddas. Noggrannheten (RMS) anges normalt med 68 % konfidensintervall, vilket ej kan anses tillräckligt säkert. Intressant för praktiskt bruk är noggrannheten med 95 % konfidensintervall d.v.s. vad man vid momentan registrering bör förvänta sig för noggrannhet. Den genomsnittliga noggrannheten för de tre punkterna med tätare skog (103, 105 och 109) är för mottagarna:

ProXRS, ca 8 m
Lassen SK-II, ca 24 m
GeoExplorer3, ca 26 m

Motsvarande resultat i öppen terräng är:

ProXRS, ca 1 m
Lassen SK-II, ca 4 m
GeoExplorer3, ca 8 m

Vinsterna med medelvärdesbildning i öppen terräng är små och bör, för att ge en betydande förbättring, pågå i över 90 sekunder. Förbättringen av medelfelen var då 4 dm för GeoExplorer3, 1,5 dm för Lassen SK-II och 0,5 dm för ProXRS. Medelvärdesbildning i upp till 30 sekunder var i princip verkningslös.

I tätare skog är vinsterna större men även mer mottagarberoende. Efter ca 6 sekunder har medelfelet för GeoExplorer3 förbättrats med ca 10 %. Motsvarande relativa förbättring kräver medelvärdesbildning i 10 respektive 30 sekunder för ProXRS och Lassen SK-II. Dessa förbättringar i absoluta värden motsvarar i samma ordning ca: 1 m, 1 m och 0,2 m. Trots större vinster i tät skog bör medelvärdesbildningen pågå i upp emot 60 sekunder för att erhålla betydande förbättringar.

Den marginella förbättringen är avtagande både för de öppna ytorna och den täta skogen. För den täta skogen fortgår förbättringen hela intervallet (6–300 sek.) men för den öppna ytan avklingar den nästan helt efter 90 sekunder.

Trots att medelvärdesbildning i 6–10 sekunder ej ger några större vinster och att felen är korrelerade, medför momentan registrering en risk att extremvärden erhålls (se bilaga 3). Enda sättet att minimera den risken är att registrera flera positioner vilket rekommenderas.

Initalt har Lassen SK-II en högre noggrannhet än GeoExplorer3 men efter en medelvärdesbildning i 15–20 sekunder uppnås, i tät skog, ett bättre resultat med GeoExplorer3. Detta p.g.a. Lassen SK-II:s höga korrelation. PDOP-filtrering medför marginella förbättringar i tät skog. En PDOP-filtrering på 6–12 kan ge en förbättring på någon dm. En filtrering på 3 gav i vissa fall en förbättring, men kunde även innebära en försämring av resultaten och kan därför ej rekommenderas.

GPS i skogsbruk

Generellt kan konstateras att en GPS-mottagare för absolut kodmätning har tillräcklig prestanda för generell orientering eller positionering av objekt med låga precisionskrav. Detsamma gäller för utrustningen baserad på Lassen SK-II. Den har den fördelen att den momentant ger en position med relativt litet fel. GeoExplorer3 har en så pass god prestanda att den kan nyttjas för mer avancerad positionering vid inventering m.m. Är noggrannhetskravet mycket högt som t.ex. vid punktobjekt som skall skyddas är dock medelvärdesbildning att rekommendera. Hur länge beror på precisionskravet.

ProXRS uppvisar en så god prestanda att momentana positioner torde kunna nyttjas till de flesta tänkbara användningsområdena för skogsbruket.

Det bör även påpekas att även de enklare modellerna torde vara användbara i ett fältGIS med ortofoton.

Slutord SkogForsk

GIS och GPS har börjat sprida sig allt mer inom svenskt skogsbruk. Nya användningsområden där dessa teknologier effektiviserar arbetet identifieras fortlöpande. GPS-utrustning har framför allt använts vid generell orientering vid t.ex. beståndsinventering eller traktplanering. Exempel på nya användningsområden kan vara positionering av avverkningsdata, vilket kan fylla flera olika funktioner. Det kan nyttjas vid uppföljning, skotning, markberedning, plantering o.s.v. Det torde även kunna nyttjas för kalibrering vid fjärranalys.

Ett annat användningsområde som ställer höga krav på prestanda är positionering av punktobjekt som kräver hänsyn eller skall skyddas helt.

Om en organisation planerar att investera i dylik utrustning är det viktigt att först identifiera till vad och hur utrustningen skall användas. Detta definierar vilka krav som bör ställas på utrustningen. Detta kan tyckas som en självklarhet, och borde vara det.

Denna studie skall inte ses som en total inventering av marknaden. Målsättningen har dock varit att testa olika utrustningar som är representativa för olika produktkategorier.

Frågeställningar för fortsatt arbete

- Hur påverkas noggrannheten i skog av väder och årtid t.ex. regn?
- Hur påverkas DGPS-noggrannheten av skogstyp, exempelvis granskog kontra tallskog?
- Hur bra fungerar långvågskorrekationer i skog? Hur väl lämpar sig de olika DGPS-tjänsterna för mätning i skogsmiljö?
- Vilken eller vilka typer av antenner är att föredra i skogsmiljö (aktiv, passiv, dipol etc.)?
- Förbättras noggrannheten i skog med hårdare PDOP-filtrering? Kan den försämrats? Bör man ta hänsyn till DOP-tal vid planering?
- Vilken mätstrategi bör tillämpas för att på bästa sätt registrera linje- och ytoobjekt?
- Förbättras noggrannheten i skog med bärvågsunderstöd – lönar sig en investering i denna teknik?
- Hur påverkas noggrannheten av multipathfilter?
- Vilka fördelar/nackdelar finns med etablering av egen referensstation?

Referenslista

- Arvidsson, P.-Å. Eriksson, P. Eriksson, I. Rönnqvist, M. Westerlund, A. & Igeklint, P. 1999. Smartare vägval i skotningen – bra för både ekonomi och miljö. Resultat nr 22, 1999. SkogForsk.
- Bergström, J. & Silverholm, J. 1996. GIS på Hargs Godsförvaltning AB. Resultat nr 14, 1996. SkogForsk.
- Ekman, M. 1998. Jordellipsoider, geoider, koordinatsystem, höjdsystem och tyngdkraftssystem i Sverige genom tiderna, Geodesi och Geografiska informationssystem, LMV-rapport 1998:4.
- Engfeldt, A. & Jivall, L. 2000. Kort introduktion till GNSS, Geodesi och Geografiska informationssystem, LMV-rapport 2000:2.
- Eriksson, I. & Holmgren, P. 1997. PC, GPS och GIS för inventering och planering i fält. Resultat nr 8, 1997. SkogForsk.
- Gunnarsson, P. & Hellström, C. 1992. Satelliterna hjälper skogen hålla positionen. Resultat nr 8, 1992. SkogForsk.
- Hellström, C. 1996. IT åt skogen. Resultat nr 23, 1996. SkogForsk.
- Hoffman-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. & Collins, J. 1994. GPS-Theory and Practice. Springer-Verlag.
- Johansson, S. & Eriksson, I. 1995. Det ljusnar för GPS i skogen. Resultat nr 11, 1995. SkogForsk.
- Johansson, S. 1997. Operativ styrning av virkesflödet år 2000+. Resultat nr 12, 1997. SkogForsk.
- LMV 1996. Handbok till Mätningkungörelsen Geodesi, Detaljmätning. Gävle: Lantmäteriverket.
- LMV 1996. Handbok till Mätningkungörelsen Geodesi, GPS. Gävle: Lantmäteriverket.
- Svanberg, P. 2000. Fordonsdatorer är lönsamma. Resultat nr 11, 2000. SkogForsk.
- Teracom 1999. Antenner och mottagning. <http://www.teracom.se/epos/> Acc. 01-06-05.

Internetsidor

Garmin 12XL

<http://www.garmin.com/products/gps12xl/> (Acc. 01-06-05).

GeoExplorer3

<http://www.trimble.com/products/catalog/gis/geoexplore.htm> (Acc. 01-06-05).

Lassen SKII

<http://www.trimble.com/products/catalog/oem/lassen2.htm> (Acc. 01-06-05).

ProXRS

http://www.trimble.com/products/catalog/gis/pro_xrs.htm (Acc. 01-06-05).

Bilaga 1

Resultat

Resultat Hällby

Punkt 10070
Observationstid
30 min

	<i>Garmin 12 XL</i>	GeoExplorer 3	Lassen SK-II	Pro XRS
Noggrannhet	2,1	1,5	0,7	0,3
Precision	1,4	1,1	0,8	0,3
Riktighet	1,3	1,0	0,3	0,2

Resultat Korpoström

Punkt 7

	<i>Garmin 12XL</i>	GeoExplorer3	Lassen SK-II	ProXRS
Noggrannhet	4,0	3,2	1,6	0,6
Precision	3,3	3,1	1,5	0,5
Riktighet	2,2	1,0	0,5	0,4

Punkt 12

	<i>Garmin 12XL</i>	GeoExplorer3	Lassen SK-II	ProXRS
Noggrannhet	4,1	4,4	1,9	0,6
Precision	2,9	4,4	1,8	0,5
Riktighet	2,8	0,5	0,7	0,3

Punkt 103

	<i>Garmin 12XL</i>	GeoExplorer3	Lassen SK-II	ProXRS
Noggrannhet	10,9	9,6	10,4	3,3
Precision	10,4	9,6	10,4	3,2
Riktighet	3,1	0,2	0,2	0,5

Punkt 105

	<i>Garmin 12XL</i>	GeoExplorer3	Lassen SK-II	ProXRS
Noggrannhet	8,5	13,2	14,0	4,4
Precision	8,4	12,8	13,7	4,2
Riktighet	0,9	3,2	2,5	1,4

Punkt 109

	<i>Garmin 12XL</i>	GeoExplorer3	Lassen SK-II	ProXRS
Noggrannhet	7,4	15,4	10,5	3,5
Precision	5,9	15,2	10,1	3,3
Riktighet	4,4	2,2	3,0	1,3

Punktbeskrivningar

Punkt 7

GPS-studie, Skoglig beskrivning av mätpunkter

Punkt nr	ÖH	GY	Mdiam	TGL	Volym
7	6,5	4	5	0100	10
12	17	5	35	811	60
103	21	23	24	280	190
105	24	27	25	1000	240
109	20	26	23	0100	210

ÖH – Övre höjd [m]

GY – Grundyta [m²/ hektar]

Mdiam – Medeldiameter

TGL – Trädslagsblandning i tiondelar, Tall, Gran och Löv

Volym – skattad [m³sk /hektar]

(28 mm)



(Fisheye)



Punkt 12

GPS-studie, Skoglig beskrivning av mätpunkter

Punkt nr	ÖH	GY	Mdiam	TGL	Volym
7	6,5	4	5	0100	10
12	17	5	35	811	60
103	21	23	24	280	190
105	24	27	25	1000	240
109	20	26	23	0100	210

ÖH – Övre höjd [m]

GY – Grundyta [m²/ hektar]

Mdiam – Medeldiameter

TGL – Trädslagsblandning i tiondelar, Tall, Gran och Löv

Volym – skattad [m³sk /hektar]

(28 mm)



(Fisheye)



Punkt 103

GPS-studie, Skoglig beskrivning av mätpunkter

Punkt nr	ÖH	GY	Mdiam	TGL	Volym
7	6,5	4	5	0100	10
12	17	5	35	811	60
103	21	23	24	280	190
105	24	27	25	1000	240
109	20	26	23	0100	210

ÖH – Övre höjd [m]

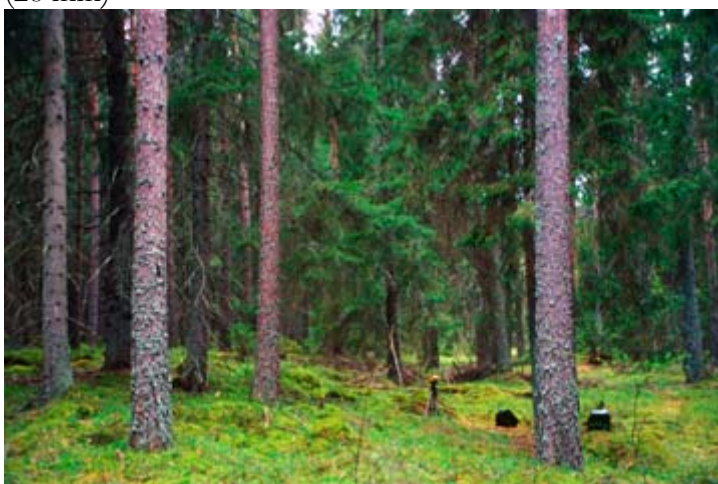
GY – Grundyta [m²/hektar]

Mdiam – Medeldiameter

TGL – Trädslagsblandning i tiondelar, Tall, Gran och Löv

Volym – skattad [m³sk /hektar]

(28 mm)



(Fisheye)



Punkt 105

GPS-studie, Skoglig beskrivning av mätpunkter

Punkt nr	ÖH	GY	Mdiam	TGL	Volym
7	6,5	4	5	0100	10
12	17	5	35	811	60
103	21	23	24	280	190
105	24	27	25	1000	240
109	20	26	23	0100	210

ÖH – Övre höjd [m]

GY – Grundyta [m²/ hektar]

Mdiam – Medeldiameter

TGL – Trädslagsblandning i tiondelar, Tall, Gran och Löv

Volym – skattad [m³sk /hektar]

(28 mm)



(Fisheye)



Punkt 109

GPS-studie, Skoglig beskrivning av mätpunkter

Punkt nr	ÖH	GY	Mdiam	TGL	Volym
7	6,5	4	5	0100	10
12	17	5	35	811	60
103	21	23	24	280	190
105	24	27	25	1000	240
109	20	26	23	0100	210

ÖH – Övre höjd [m]

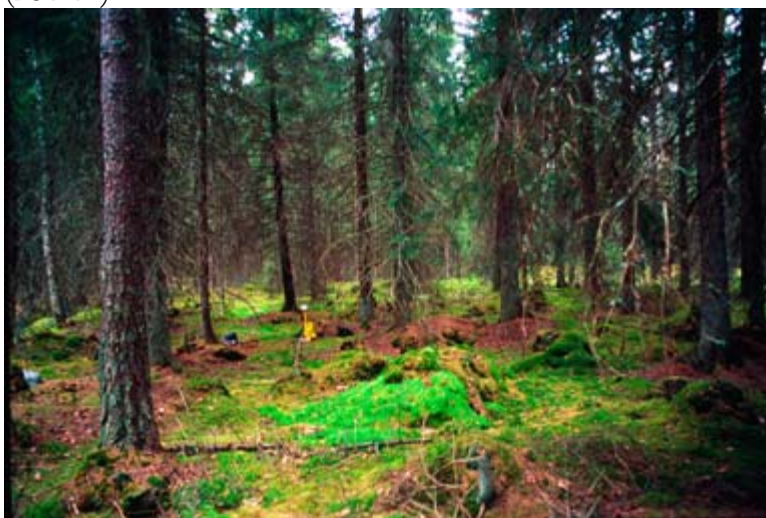
GY – Grundyta [m²/ hektar]

Mdiam – Medeldiameter

TGL – Trädslagsblandning i tiondelar, Tall, Gran och Löv

Volym – skattad [m³sk /hektar]

(28 mm)



(Fisheye)

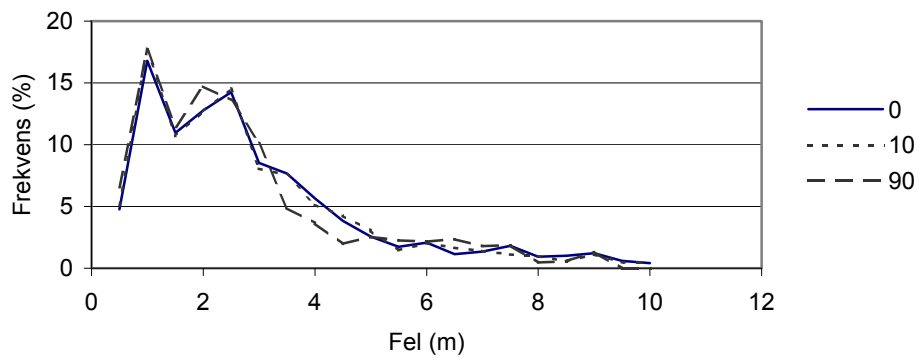


Frekvensfördelning

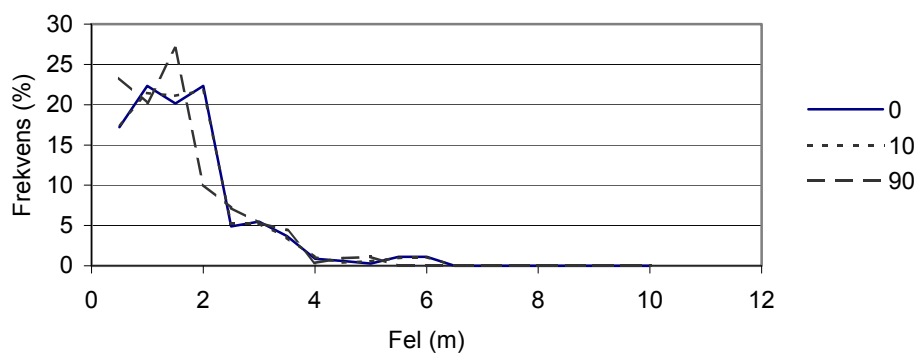
Punkterna 7 och 12

Diagrammen visar frekvensfördelning av felen efter medelvärdesbildning i 10 respektive 90 sekunder samt fördelning utan medelvärdesbildning.

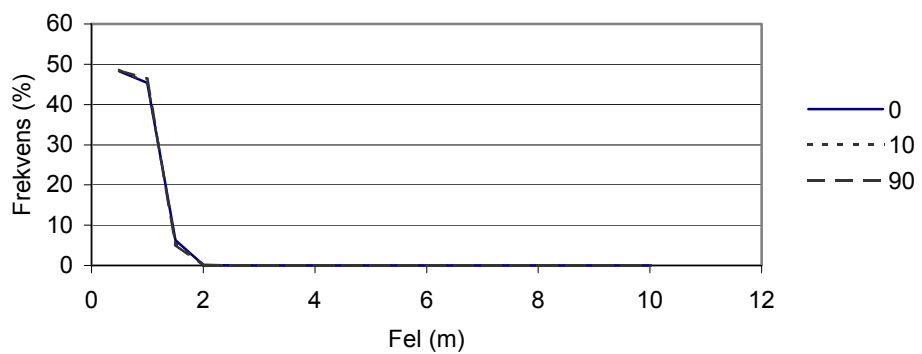
GeoExporer3



Lassen SK-II



ProXRS



Punkterna 103, 105 och 109

Diagrammen visar frekvensfördelning av felen efter medelvärdesbildning i 10 respektive 90 sekunder samt fördelning utan medelvärdesbildning.

