



Erfarenheter av GPS i riksskogstaxeringen 1996-2002



Härje Bååth

Arbetsrapport 174 2007

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET
Institutionen för skoglig resurshushållning
S-901 83 UMEÅ
Tfn: 018-671000



ISSN 1401-1204
ISRN SLU-SRG--AR—174-SE

Erfarenheter av GPS i riksskogstaxeringen 1996-2002

Härje Bååth

Sammanfattning

GPS har använts i den svenska riksskogstaxeringen sedan 1996. I rapporten redovisas erfarenheterna från 1996-2002. Under 1996-2000 utnyttjades GPS enbart för att bestämma koordinaterna för Riksskogstaxeringens provytor. Från och med 2001 användes GPS även för navigering till provytorna.

Anledningen till att GPS används är att Riksskogstaxeringens fältdata utnyttjas i många sammanhang tillsammans med satellitdata. Dessutom underlättar det utläggning av provytor och återinventering av permanenta provytor som lägesbestämts tidigare.

Från 1996 till 2002 användes en 6-kanalig mottagare för bestämning av provytornas koordinater. För att uppnå acceptabel noggrannhet korrigerades dessa i efterhand med basdata från SWEPOS. Vid navigering begagnas en billig 12 kanalgig GPS. Dessförinnan användes kompass och mätlina.

Ca 80 % av provytorna erhöll data som var möjliga att korrigera. Orsaken till bortfallet var bl a för få tillgängliga satelliter och för högt PDOP, under 1996-1999. Noggrannheten beräknades som det horisontella avståndet mellan teoretisk och GPS-bestämd koordinat för varje provyta. Jämförelse görs för data från tillfälliga provytor från 1996-1999, då kompass användes för bestämning av ytcentrum och för data från 2001-2002 då GPS användes.

Noggrannheten var i genomsnitt 45 m respektive 7 m. Ökat antal positioner för medelvärdesberäkning av provytornas koordinater innebar högre noggrannhet. Störst var förbättringen vid GPS-navigering, här ökade noggrannheten, från 9,2 m vid 20 positioner till 6,5 m vid >160. Andelen provytor inom 10 m från teoretiskt ytcentrum var 83 % vid GPS-navigering och 11 % vid användning av kompass.

Vid GPS-navigering ökade noggrannheten med minskad beståndsmedelhöjd, grundyta och volym. För t ex medelhöjden ökade noggrannheten från 11,3 m vid höjden >25 m till 6,2 m vid 0 m medelhöjd. Förhållandet var det motsatta för navigering med kompass. För tallskog, björkskog och contortaskog var skillnaderna små medan noggrannheten för granskog var ca 1,5 m sämre än övriga skogstyper.

Den genomsnittliga skillnaden i noggrannhet mellan korrigerade och okorrigerade värden från den dyrare mottagaren och okorrigerade data från den billigare var mycket små. Vid samtliga mätmetoder förbättrades noggrannheten vid minskad medelhöjd, grundyta och volym. Den genomsnittliga differentiella korrektionen var 2,8 m. Nivån var oberoende av om provytorna låg på öppen mark eller i tät skog.

De år SA var påslagen var korrektionen i genomsnitt ca 30 m. Antalet positioner hade stor betydelse för korrektionen. Den varierade från ca 40 m vid 20 positioner till ca 21 m vid >180 positioner. Utan SA var korrektionen i medeltal 2,8 m. Noggrannheten ökade med ökat antal positioner. Korrektionen var ganska oberoende av skogliga variabler som beståndsmedelhöjd, grundyta / ha och volym.

Resultatet av jämförelsen av korrigerade GPS-data från den dyrare 6-kanals mottagaren med okorrigerade data från den billigare 12 kanals mottagaren visade att skillnaderna var mycket små. Det resulterade i att fr.o.m. 2003 används den billigare mottagaren både för navigation och bestämning av provytornas koordinater i Riksskogstaxeringen.

Abstract

GPS has been used in the Swedish National Forest Inventory (NFI) since 1996. During 1996-2000 GPS was used only to determine the coordinates of the sample plots. However, since 2001 (after the SA was stopped) the GPS was utilized even for navigation.

The reason why GPS is used is that field data from the Swedish NFI are used together with satellite data. Furthermore it makes it easier to establish the plots and to find the permanent plots with GPS coordinates.

From 1996-2002 a receiver with 6 channels was used to determine the coordinates of the plots. To get acceptable accuracy post processing was used with base data from SWEPOS. For navigation to the plots a cheap consumer GPS was adopted. Prior to the introduction of GPS a compass and measure tape was used.

About 80 % of the plots had data that was possible to correct. The reason that not all of the data was available was due to, among other things, too few satellites available and too high PDOP, under 1996-1999. The positional accuracy of each location was calculated as the horizontal distance between the satellite-acquired position and the theoretical reference position. Comparison was carried out for data from temporary plots from 1996-1999, when a compass was used for navigation to the plots, and for data from 2001-20002, when GPS was used. The resulting accuracy was 45 m and 7 m respectively. Increasing the number of positions for averaging the mean for the coordinates of the plots resulted in increased accuracy. The greatest improvement was with GPS navigation, where the accuracy improved from 9,2 m for 20 positions to 6,5 m for >180 positions. The proportion of plots within 10 m from the theoretical plot centre was 83 % and 11 % respectively.

The accuracy increased with decreasing density, expressed by tree height, basal area or volume, with GPS navigation. For tree height the accuracy ranged from 6,2 m to 11,3 m with tree height ranging from 0 m to >25 m. When navigating with compass the results were the opposite. Among the species, *pinus sylvestris*, *bearch* and *pinus contorta* the differences in accuracy was small, while for *picea abies* the accuracy was reduced by 1,5 m compared to the other species.

With GPS navigation the average difference in accuracy between differentially corrected and uncorrected data from the 6 channel receiver and uncorrected data from the cheaper 12 channel receiver was very small. In all methods the accuracy increased with decreasing tree height, basal area and volume.

The averaged differential correction was 2,8 m. The level was independent of if the sample plots were in an open area or in dense forest .

When SA was applied the differentially correction was in average about 30 m. The number of positions had a great effect on the correction. It varied from about 40 m with 20 positions to 21 m with >180 positions. When SA not was applied the differentially correction was 2,8 m. The accuracy increased with increasing number of positions. The differentially correction was rather independent of variables like tree height, basal area and volume.

The results from the comparison of differentially corrected data from the 6 channel receiver and data from the cheaper 12 channel receiver showed that the differences were very small. That resulted in the use of the later since 2003 for both navigation and for determining the coordinates of the sample plots in the Swedish NFI.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	2
Abstract	3
1 Inledning.....	6
2 Satellitsystem	7
2.1 GPS.....	7
2.1.1 Rymdsegmentet.....	7
2.1.2 Kontrollsegmentet	8
3 Metoder för bestämning av position.....	9
3.1 Satellitsignalen	9
3.2 Kodmätning.....	9
3.3 Bärvägsmätning.....	10
3.4 Absolut positionsbestämning	11
3.5 Relativ positionsbestämning	11
3.6 RTK, Real Time Kinematik	11
3.7 Statisk mätning.....	12
3.8 Fasta referensstationer.....	12
3.8.1 SWEPOS	12
3.8.2 EPOS	12
3.8.3 Sjöfartsverkets DGPS-system	12
3.9 Internationella referenssystem.....	12
3.9.1 EGNOS.....	12
3.9.2 WAAS	13
3.9.3 OmniSTAR.....	13
3.9.4 IGS och EUREF	13
4 Faktorer som påverkar noggrannheten vid GPS-mätning.....	14
4.1 Atmosfärsfel.....	14
4.2 Satellitgeometri	14
4.3 Signalbrus.....	14
4.4 Antal satelliter	14
4.5 Flervägsfel (Multipath-effekt).....	15
4.6 Transformationsfel	15
4.7 GLONASS	15
4.8 Galileo	15
5 Användning av GPS	16
5.1 Riksskogstaxeringen.....	16
5.2 Fjärranalys.....	17
5.3 Koordinatbestämning av riksskogstaxeringens provytor	17
5.4 Navigering till provytan	18
6 Erfarenheter	20
6.1 Insamlade GPS-data	20
6.2 Saknade GPS-data	21
6.3 Jämförelse kompass och GPS	21
6.3.1 Genomsnittlig avvikelse för samtliga provytor.....	21
6.3.2 Andel provytor fördelade på olika avstånd från teoretiskt ytcentrum.....	22
6.3.3 Betydelsen av antalet registrerade positioner.....	23
6.3.4 Olika skogliga variablers inverkan på noggrannheten i navigeringen till riksskogstaxeringens provytor.....	24
6.3.5 Grundyta.....	24

6.3.6	Dominerande trädslags inverkan på noggrannheten	25
6.3.7	<i>Genomsnittligt trädslagsvis PDOP</i>	26
6.4	Jämförelse TrimbleGeoExplorer och Garmin	26
6.4.1	Skogliga variablers inverkan på noggrannheten.	27
6.4.2	Beståndsmedelhöjd.....	28
6.4.3	Grundyta.....	28
6.4.4	Volym.....	29
6.4.5	Dominerande trädslags inverkan på noggrannheten	29
6.4.6	Andel provytor fördelade på olika avstånd från teoretiskt ytcentrum.....	30
6.5	Korrektion	31
6.5.1	Noggrannheten uttryckt som provytornas läge före och efter korrektion.	31
6.5.2	Andel provytor fördelade på olika ”korrektionsklasser”	31
6.5.3	Medelvärdesbildningens effekt på noggrannheten.....	32
7	Diskussion	34
7.1	Jämförelse av olika mottagare och mätmetoder	36
7.2	Korrektion	37
7.3	Slutsatser	37
7.4	Framtida användning av satellitnavigeringssystem.....	38
	Litteraturlista	39
	Internet	40
	Bilaga 1	41
	Bilaga 2	43

1 Inledning

Användning av satellitdata i skogliga sammanhang kräver ofta lägesbestämda referensdata. Detta var en av anledningarna till att GPS började användas i Riksskogstaxeringen. Den andra var att det skulle underlätta etablering och återinventering av permanenta provytor.

Under åren 1996-2000 användes en GPS-mottagare med möjlighet till differentiell korrektion. Det var nödvändigt för att uppnå en acceptabel noggrannhet fram till år 2000 då störningen av GPS-signalerna, SA, togs bort.

I och med att störningen försvann blev det också möjligt att utnyttja GPS för navigering till Riksskogstaxeringens provytor. Detta inleddes 2001 med en billig mottagare.

I denna rapport redovisas erfarenheterna av användning av GPS i Riksskogstaxeringen 1996-2002.

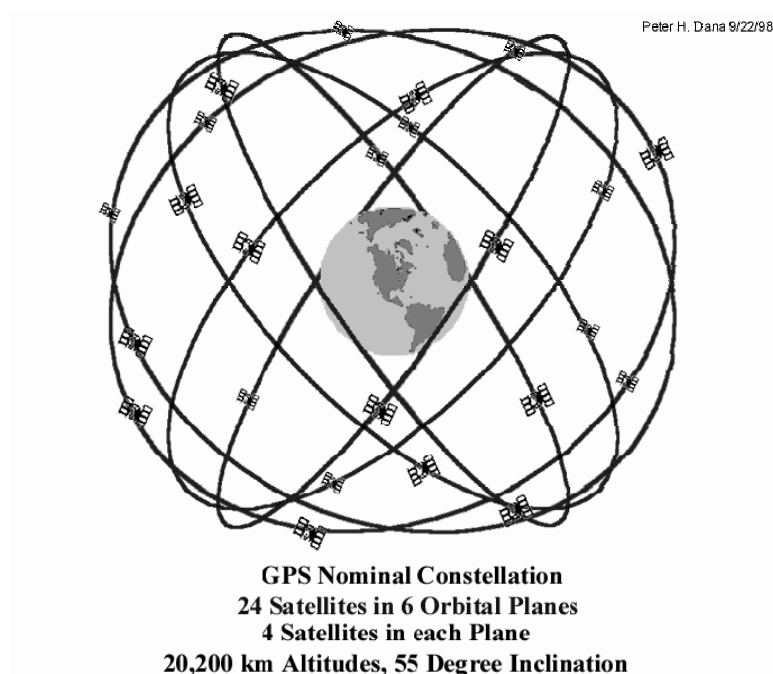
2 Satellitsystem

2.1 GPS

NavStar GPS (Navigation Satellite Time and Ranging Global Positioning System) är ett amerikanskt satellitbaserat navigerings- och positionsbestämningssystem utvecklat av det amerikanska försvaret. Det var i första hand avsett för militärt bruk men är även tillgängligt för civil användning utan avgifter. Systemets uppbyggnad påbörjades 1973 och blev operationellt 1993.

Systemet består av tre segment: rymd-, kontroll- och användarsegmentet.

2.1.1 Rymdsegmentet



Figur 1. GPS-systemet (http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html)

GPS bygger på ett system av minst 24 satelliter som kontinuerligt sänder ut signaler. Satelliterna kretsar runt jorden i sex banplan på ca 20 200 km höjd (fig.1). De är anpassade så att var man än befinner sig på jorden och oavsett tidpunkt, skall ha möjlighet att ta emot signaler från minst fyra satelliter samtidigt med en elevationsvinkel på fem grader under 99,9 % av tiden (Engfeldt et al 2000, Sjöberg et al 1994, Sundberg 1995). Satelliterna har en omloppstid på knappt 12 timmar. Deras livslängd är ca 10 år och ersätts kontinuerligt. I varje satellit finns flera atomklockor med extremt noggrann tidsangivelse vilket är en förutsättning för positionsbestämning med hög noggrannhet. Satellitsignalerna som sänds innehåller tidsinformation samt parametrar med vilka satellitbanorna mm kan beräknas.

2.1.2 Kontrollsegmentet

Peter H. Dana 5/27/95



Global Positioning System (GPS) Master Control and Monitor Station Network

Figur 2. GPS kontrollsegment

(http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html).

Systemet styrs från en driftledningscentral i Colorado Springs, USA. Dessutom finns fem spårstationer längs ekvatorn för övervakning av satelliterna. Spårstationerna registrerar kontinuerligt signaler från de satelliter som befinner sig ovanför respektive spårstations horisont (fig.2). Data vidarebefordras till driftledningscentralen där satelliternas banparametrar och korrektionsparametrar för satelliternas atomur beräknas och predikteras för framtiden. Dessa sänds vidare från någon av spårstationerna till satelliterna för korrektion av atomur och banor. Driftledningscentralen ansvarar även för ersättning av satelliter som slutat fungera.

2.1.3 Användarsegmentet

Användarsegmentet består av alla användare som utnyttjar GPS-systemet på land, till sjöss eller i luften för stationära och mobila tillämpningar. GPS-systemet får användas utan kostnader, det enda som krävs är en mottagare (rover). Mottagarna skiljer mycket i funktion och prestanda. Priset varierar från ca 1000 kronor till flera hundra tusen kronor.

3 Metoder för bestämning av position

3.1 Satellitsignalen

Satelliterna sänder ut signaler på två olika frekvenser, L1 (1575,42 MHz) och L2 (1227,60 MHz). På L1-frekvensen sänds både s.k. P-kod (Precision) och C/A-kod (Coarse / Acquisition), medan L2 endast innehåller P-kod. P-koden som sänds med våglängden 30 m, är endast tillgänglig för det amerikanska försvaret och dess allierade. C/A-koden är tillgänglig för civil användning och sänds med våglängden 300 m. Dessutom sänds satellitmeddelanden som banddata, satellitklockparametrar, satellithälsa mm vilka kan användas för att beräkna satellitens position och satellitklockans korrekationer.

Från 1991 till 2000-05-01 fanns en avsiktlig störning av satellitklockorna, kallad SA (Selective Availability), införd av det amerikanska försvarsdepartementet. Borttagandet av störningen innebar en förbättring av noggrannheten från specificerade ca 100 m (95% konfidensintervall) i horisontalled och ca 150 m i höjddled till ca 15 m respektive 20 m vid s.k. absolut mätning. I praktiken verkar noggrannheten vara högre. Före SA togs bort var noggrannheten ca 50 m horisontellt på 95%-nivån (Engfeldt et al 2000).

Grundprincipen för positionsbestämning med GPS är, att avståndet från satelliterna och mottagaren bestäms genom att mäta tiden det tar för signalen att gå från satellit till mottagare. Avståndet till satelliterna kan bestämmas med två olika metoder.

3.2 Kodmätning

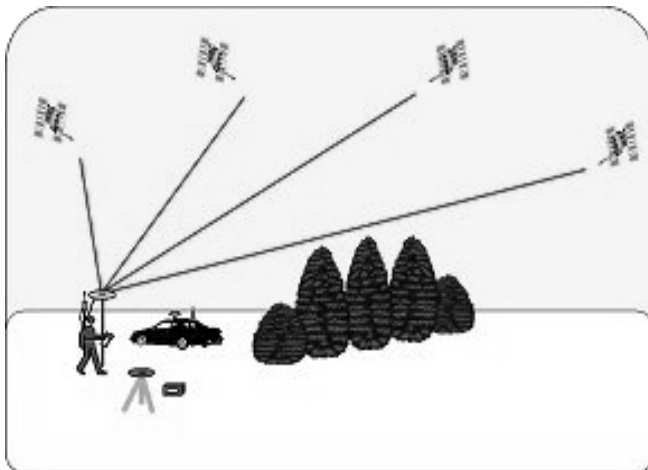


Fig 3. Principen för absolut kodmätning
(http://www.lantmateriet.se/templates/LMV_Page.aspx?id=4860)

Vid kodmätning eller pseudoavståndsmätning, skapas en exakt kopia av satellitsignalens kod i GPS-mottagaren genom att satellitklockorna är synkroniserade med klockorna i mottagaren. Mottagaren jämför signalen från satelliten med den i mottagaren genererade koden genom att ge akt på vissa bestämda tidsmärken. Fördröjningen mellan de två koderna är ett mått på hur lång tid det tar för signalen från satelliten att nå mottagaren. Det ungefärliga avståndet mellan de enskilda satelliterna och GPS-mottagaren beräknas genom att multiplicera tiden med ljusets hastighet. Detta avstånd kallas pseudoavstånd och den noggrannhet som uppnås är ca 15 m (95 % konfidensintervall).

3.3 Bär vågsmätning

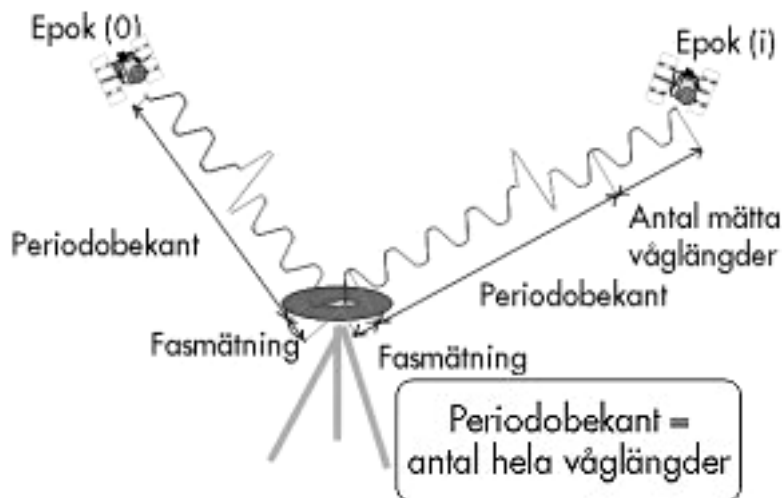


Fig 4. Bär vågsmätning. (http://www.lantmateriet.se/templates/LMV_Page.aspx?id=4860)

Bär vågsmätning innebär att mätningen görs på satellitsignalens bär våg. I GPS-mottagaren skapas en signal som har samma frekvens som den från satelliten utsända signalen. Den jämförs med den i mottagaren genererade signalen och färförskjutningen kan bestämmas med stor noggrannhet (fig. 4). Avståndet mellan satellit och mottagare motsvaras av antalet hela våglängder plus färförskjutningen (del av våglängd).

Bär vågsunderstödd kodmätning

För att förbättra noggrannheten vid kodmätning kan s.k. bär vågsunderstödd kodmätning utnyttjas. Ur bär vågsmätningarna beräknas förändringen i avstånd mellan satellit och GPS-mottagarens antenn mellan två epoker. I GPS-sammanhang motsvarar en epoklängd ca 15 sekunder. Kodmätningen filtreras därefter med denna avståndsmätning över ett antal epoker. Denna metod kräver sammanhängande mätning under någon / några minuter.

Jämförelse mellan kod – och bär vågsmätning

Det finns ganska stora skillnader mellan kodmätning och bär vågsmätning. Vid kodmätning är observationstiden mycket kort. På delar av en sekund kan en position bestämmas. Det gör det möjligt att bestämma positionen i realtid. Mätning kan genomföras med kort utbildning och små förberedelser med enkla och billiga mottagare.

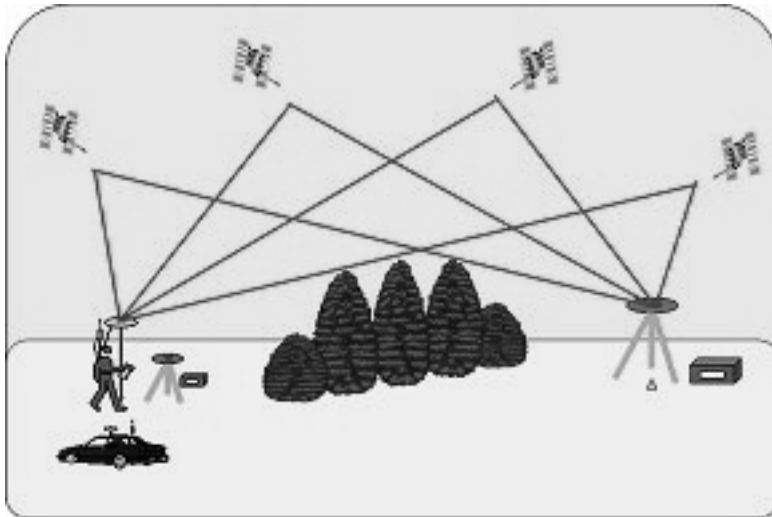
Bär vågsmätning kräver en mer avancerad utrustning och att mätningen sker under längre tid, från några minuter till timmar. Metoden ger mycket hög noggrannhet, några mm, både i realtid och med efterbearbetning (postprocessing). Bär vågsmätning är känslig för signalavbrott varför det är nödvändigt att planera mättillfället för att säkerställa att satellitkonstellationen är tillfredsställande under hela den planerade mätningen.

Teoretiskt skulle mottagarens tredimensionella position kunna beräknas med uppgifter från tre satelliter. På grund av att mottagarens klocka normalt inte är lika noggrann i tidsangivelsen som satelliternas atomur krävs en satellit för att synkronisera klockan i mottagaren. Det medför att för att beräkna en tredimensionell position krävs att man får avståndet från fyra satelliter, medan tre satelliter ger en tvådimensionell position.

3.4 Absolut positionsbestämning

Enklaste sättet att bestämma en position är s.k. absolut positionsbestämning. Den utförs med en mottagare och mätningen sker oftast med kodmätning.

3.5 Relativ positionsbestämning



Figur 5. Relativ kodmätning

(http://www.lantmateriet.se/templates/LMV_Page.aspx?id=4860)

Om det krävs större noggrannhet används relativ positionsbestämning. Det innebär att mottagarens position bestäms relativt en känd referenspunkt (fig. 5). Då felen inom ett visst avstånd från referensstationen är korrelerade kan de flesta felkällorna som försämrar mätnoggrannheten elimineras genom att överföra beräknade korrektioner på den rörliga mottagaren. Relativ mätning kräver minst två stationer där mätningarna görs samtidigt mot minst 4 gemensamma satelliter.

De vanligaste formerna av relativ mätning är DGPS, RTK och statisk mätning. DGPS kan användas vid kodmätning eller bärvågsunderstödd kodmätning. Korrektioner till pseudoavstånden till satelliterna beräknas med hjälp av en mottagare med känd position (referensstation). Korrektionerna kan sändas t ex via en datalänk till GPS-mottagaren för beräkning av positionen i realtid. Det finns också möjlighet att göra korrektionen i efterhand, s. k. postprocessing. Då krävs data från en referensstation för samma tidsperiod som fältmätningarna gjordes. Noggrannheten bestäms av vilken upplösning kodmätningen har eller om bärvågsunderstödd kodmätning används. I det senare fallet är medelfelet ca 0,5 m horisontellt och ca 1 m i höjd. Ren kodmätning ger ett medelfel på ca 4-5 m horisontellt och 6-10 m i höjdd.

3.6 RTK, Real Time Kinematik

RTK-mätning utförs som bärvågsmätning i realtid. Metoden är anpassad för korta avstånd, upp till 10-15 km mellan GPS-mottagare och referensstation (Wiklund 2001). Försämringen vid längre avstånd beror på de olika jonosfärs- och troposfärsförhållanden som gäller för referensstationen och rovern. Vid nätverks-RTK-mätning används flera stationer som referenser istället för en. Bl.a har projekt genomförts i Skåne, Mälardalen och i Västsverige där både befintliga SWEPOS-stationer och nya referensstationer har etablerats i nätverk. Nätverks-RTK innebär att avståndet mellan de fasta referensstationerna kan utökas från

dagens ca 20 km till 60-80 km med bibehållen noggrannhet. Noggrannheten vid RTK-mätning ligger på centimeternivå.

3.7 Statisk mätning

Statisk mätning är den noggrannaste positionsbestämningsmetoden med ett medelfel på 5-20 mm. Metoden bygger på att en förändrad satellitgeometri utnyttjas vilket innebär att observationstiden blir ganska lång, från 20 min till flera dygn. Positionen erhålls genom efterberäkning.

3.8 Fasta referensstationer

Ganska tidigt insågs att det skulle vara praktiskt med landsomfattande nät av fasta referensstationer vilka kan utnyttjas av alla som kräver hög mätnoggrannhet. Vid postprocessing krävs då endast en mottagare. Om man vill mäta i realtid tillkommer abonnemang och en radiomottagare.

3.8.1 SWEPOS

SWEPOS består av 25 fasta referensstationer jämt fördelade över hela landet. Det har byggts upp i samarbete mellan Lantmäteriverket, Onsala rymdobservatorium, projektet "GPS-resurser i Norrbotten" och Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut. Vidareutveckling och drift sköts av Lantmäteriverket. Data för efterberäkning kan köpas från Lantmäteriverket och finns tillgängligt i RINEX via FTP-server. Observationsdata för en timme eller helt dygn med tidsintervallen 1 sek och 15 sek kan erhållas.

3.8.2 EPOS

EPOS är en DGPS-tjänst för realtidskorrektion som drivs av Cartesia (tidigare av Teracom). DGPS-korrektionerna kommer från SWEPOS-stationer och sänds ut via RDS-kanalen på P3 och P4. Tjänsten har en noggrannhet av 1-2 m och är avgiftsbelagd.

3.8.3 Sjöfartsverkets DGPS-system

Sjöfartsverkets DGPS-tjänst är avsedd för navigation i svenska farvatten. Det består av ett antal fasta referensstationer längs Sveriges kuster och en sändare i Vänern. Data sänds via befintliga radiofyrar (långvåg) med en noggrannhet av ca 1 m. Tjänsten är avgiftsfri men kräver en speciell radiomottagare. Viss täckning finns även några km in på land i närheten av kusterna.

3.9 Internationella referenssystem

Det finns även internationella referenssystem. Många av dessa använder geostationära satelliter vid utsändningen av korrektionsdata. Då dessa satelliter kretsar vid ekvatorn blir elevationsvinkeln mindre än 15 grader norr om polcirkeln varför de inte går att använda i norra Sverige.

3.9.1 EGNOS

EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System) är ett europeiskt referenssystem som sänder GPS-signal och korrektionsdata från markstationer via

geostationära satelliter. EGNOS beräknas vara operationellt f o m juli 2006. Noggrannheten uppges till ca 5 m. Tjänsten finns inbyggd i många av dagens mottagare. Tjänsten är kostnadsfri.

3.9.2 WAAS

WAAS (Wide Area Augumentation Service) är den amerikanska motsvarigheten till EGNOS. Systemet består av ca 25 referensstationer som sänder korrektionsdata via två geostationära satelliter. Noggrannheten uppges till ca 3 m.

3.9.3 OmniSTAR

Omnistar är en internationell DGPS-tjänst som bl.a. utnyttjar SWEPOS referensstationer. Noggrannheten är 1-2,5 m.

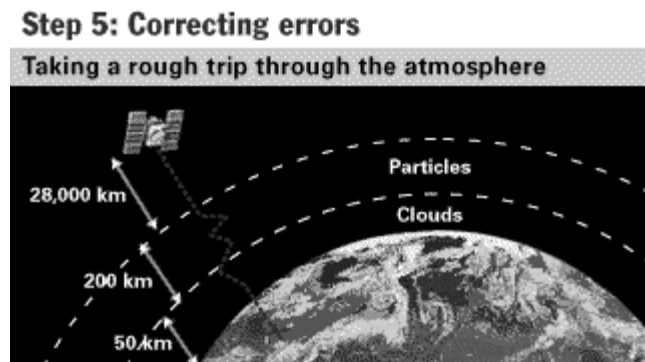
3.9.4 IGS och EUREF

IGS (International GPS Service) och permanenta EUREF (EUROpean REference Frame) är referenssystem för efterbearbetning av GPS-data. IGS omfattar ca 200 referensstationer fördelade över hela världen. Permanenta EUREF kan betraktas som en förtätning av IGS. I de båda systemen ingår sammanlagt fem SWEPOS-stationer och tjänsten är gratis. (Engfeldt och Jivall 2000).

4 Faktorer som påverkar noggrannheten vid GPS-mätning

Det finns många faktorer som påverkar resultatet vid GPS-mätning bl a atmosfären, signalkvaliteten, satellitens höjd över horisonten, antalet satelliter och satellitgeometrin m fl.

4.1 Atmosfärsfel



Figur 6. GPS-signalens färd genom atmosfären.

GPS-signalens utbredningshastighet minskar när den passerar atmosfären (fig. 6). Orsaken är bl a laddade partiklar, vattenånga, lufttryck, humiditet och temperaturförändringar (Dana 1995). Det brytningsfel som då uppstår ökar med minskande infallsvinkel. Därför används vanligen en elevationsmask som innebär att satelliter som befinner sig lägre än 15 grader över horisonten inte ingår i beräkningen av mottagarens position.

4.2 Satellitgeometri

Satelliternas vinklar i förhållande till varandra och till mottagaren har stor betydelse för positionsbestämningen. Ju större spridningen är mellan satelliterna desto säkrare blir bestämningen av en position. Ett mått på satellitgeometrin är DOP-tal (Dilution Of Precision). Dessa skall vara så låga som möjligt. Det vanligaste, PDOP-värdet, relateras till en tredimensionell position. Många mottagare har ett PDOP-filter som gör det möjligt att utesluta positioner där PDOP överstiger ett bestämt gränsvärde.

4.3 Signalbrus

Fel i satelliternas eller mottagarnas atomur eller elektriska störningar av de svaga signaler som sänds från satelliterna kan medföra att signalstyrkan, SNR-värdet (Signal to Noise Ratio) försämras så att noggrannheten i positionsbestämningen minskar. I många mottagare finns möjlighet att filtrera bort signaler med för lågt SNR-värde.

4.4 Antal satelliter

Teoretiskt räcker det med tre satelliter för att bestämma en position i x och y led medan det krävs minst fyra satelliter för att erhålla en tredimensionell position.. Men ju fler satelliter som är tillgängliga desto bättre är det då t.ex. byggnader, terräng eller tät skog kan blockera satellitsignalerna eller förorsaka interferensproblem vilket påverkar noggrannheten. Det går att kontrollera satellittillgängligheten som antal satelliter eller DOP-värden för aktuellt

område vid en bestämd tidsperiod. Därigenom finns det möjlighet att utföra mätningarna under bästa möjliga förhållanden.

4.5 Flervägsfel (Multipath-effekt)

Om satellitsignalen träffar t ex en vattenyta, ett träd eller en byggnad reflekteras den och får en längre väg till mottagaren vilket medför en felaktig positionsbestämning. Denna effekt kallad, multipath eller flervägsfel, kan medföra fel på mer än 10 m. Flera tillverkare av mottagare har olika program för att upptäcka och utesluta dessa felaktiga signaler. Användning av antenner av hög kvalitet kan ytterligare reducera multipath-effekten.

4.6 Transformationsfel

GPS-positionerna beräknas i referenssystemet WGS84 (World Geodetic System 1984), vilket är ett globalt tredimensionellt referenssystem. Koordinaterna anges i latitud och longitud och höjden som höjd över ellipsoiden. Detta system lämpar sig väl för navigering till havs och i luften i internationella farvatten och luftrum. På land är det vanligt att använda ett nationellt system. I Sverige används oftast det plana koordinatsystemet RT90 i kombination med höjdsystemet RH70 och geoidmodellen RN92. Beroende på olika definition av de två geodetiska systemen är skillnaden mellan de horisontella koordinaterna i WGS84 och RT90 i Sverige mellan 175 och 225 m.

För att överföra en position från WGS84 till RT90 eller något annat nationellt koordinatsystem krävs en transformation. Den vanligast använda är en s.k. 7-parameterstransformation i tre dimensioner.

I många enklare GPS-mottagare för privat bruk finns möjlighet att välja nationella geodetiska datum. Transformationen mellan WGS84 och dessa är ofta inte tillräckligt noggranna. Om RT90 väljs kan stora systematiska fel, ända upp till 30 m, uppstå i vissa delar av Sverige. Störst är mätfelet i Norrbottens inland, Västkusten och Södra Sverige.

I en del GPS-mottagare går det att kompensera för detta genom att göra inställningar i GPS:ens meny. Koordinaterna erhålls då i RT90 2,5 gon väst och inte i latitud/longitud.

4.7 GLONASS

Glönass är ett ryskt militärt satellitpositioneringssystem. Det startades 1982 och skulle innehålla 24 satelliter vilket uppnåddes 1996. Sedan har antalet på grund av ekonomiska problem minskat. Under de senaste åren pågår en återuppbyggnad av systemet och det fanns i november 2006 12 aktiva satelliter. Det finns mottagare som kan ta emot signaler både från GLONASS och GPS.

4.8 Galileo

EU har ett eget program för satellitnavigering som heter Galileo. Det är ett helt civilt projekt vars syfte är att bygga upp ett globalt satellitnavigeringssystem för att öka dess tillförlitlighet och tillgänglighet. Ett annat mål är att minska beroendet av det amerikanska GPS-systemet. Galileo kommer att ge en bättre satellitmottagning i norra Europa jämfört med GPS. Den första Galileo-satelliten sköts upp vid årsskiftet 2005/2006. Fullt utbyggt, vilket väntas ske år 2011, kommer det att bestå av 30 satelliter i 3 banplan.

5 Användning av GPS

5.1 Riksskogstaxeringen

Riksskogstaxeringen är en årlig stickprovsinventering av hela landet (Anon 2003). Den omfattar alla markslag, utom fjäll och odlad mark, med tyngdpunkt på skogsmark, naturbetesmark och skogliga impediment. Det främsta syftet med riksskogstaxeringen är att beskriva tillstånd och förändringar i landets skogar vad gäller både skogsproduktion och miljöförhållanden. Riksskogstaxeringen är en del av Sveriges officiella statistik med SLU som statistikansvarig myndighet. Den utförs av Institutionen för skoglig resurshushållning vid SLU. Riksskogstaxeringen (RT) och Markinventeringen (MI), samlas från och med 2003 under paraplybegreppet Riksinventeringen av skog (RIS).

Riksskogstaxeringen har pågått sedan 1923. Stickprovet utgörs av provytor placerade utefter sidorna på kvadrater eller rektanglar s.k. taxeringstrakter (fig. 7). Fr.o.m. år 1983 består stickprovet av både tillfälliga och permanenta provytor. Radien är 10 m för de permanenta ytorna och 7 m för de tillfälliga. De permanenta provytorna återinventeras med 5-10 års intervall. Årligen inventeras ca 12 000 provytor varav drygt hälften ligger på skogsmark. Kombinationen av tillfälliga och permanenta provytor ger ökad precision i skattningen av tillstånd och förändringar. Då inventeringen är gles presenteras normalt resultat med acceptabel noggrannhet endast på läns-, landsdels och riksnivå.

På de permanenta provytorna utförs dessutom Markinventeringen, en noggrann beskrivning av markförhållandena. Ansvarig för denna är Institutionen för skoglig marklära, SLU Uppsala. Resultaten redovisas bl.a. i Markinfo på Internet under adressen : www.markinfo.slu.se.

Riksskogstaxeringens uppgifter används för utformning och uppföljning av skogs- och miljöpolitiken, av skogsföretag och branschorganisationer, samt inom forskningen. Resultat redovisas i Skogsdata, på institutionens hemsida, (där många uppgifter även kan hämtas digitalt), institutionsrapporter, Skogsstatistisk årsbok (Anon, 2006), Miljötillståndet i skogen (Anon, 1999), artiklar i fackpress, mm.



Figur 7. Taxeringstrakt med provytor (Mats Gerentz/SLU)

5.2 Fjärranalys

Då det i de flesta sammanhang där fjärranalysdata används, krävs fältdata av något slag har GPS-tekniken blivit mycket betydelsefull.

Institutionens fjärranalysavdelning har t. ex. utnyttjat provytedata tillsammans med satellitdata i flera projekt. Hagner et al (2007), Nilsson et al (2007), Reese et al (2002 & 2002). GPS utnyttjas även av andra fältinventeringar som utförs vid institutionen. Billiga mottagare används vid t.ex. Skogsskadeinventeringen och NILS (Nationell Inventering av Landskapet i Sverige). Avancerad och därmed dyrare utrustning utnyttjas vid insamling av fältdata för projekt med laser och radar.

5.3 Koordinatbestämning av riksskogstaxeringens provytor

En förutsättning för att utnyttja fältdata från riksskogstaxeringens provytor tillsammans med annan lägesbunden information är att provytornas läge är bestämt med hög noggrannhet. Tidigare var endast det teoretiska läget känt förutom att de permanenta ytornas lägen var markerade på fältarbetskartor från tidigare inventeringar. Dessa lägen var ofta ganska osäkra då det i många fall är svårt att med hjälp av karta och flygbild exakt bestämma var man befinner sig. Dessutom krävs ett omfattande arbete att överföra dessa i digital form. En smidig lösning på detta problem är att utnyttja GPS.

Andra viktiga skäl till att utnyttja GPS i riksskogstaxeringen är att det underlättar att lägga ut provytorna och att senare vid återinventering hitta igen läget för de permanenta ytorna.



Figur 8. Trimble GeoExplorer II.

Sedan 1996 bestäms koordinaterna för riksskogstaxeringens provytor med hjälp av GPS. Den utrustning som användes fram till och med år 2002 var av märket Trimble GeoExplorer II (fig. 8). Det är en 6 kanalgig mottagare med inbyggd antenn och möjlighet att ansluta en yttre GPS-antenn. Den har ett ¼ megabyte internminne för lagring av punkt-, linje- och arealobjekt. Fram till den första maj 2000 med SA-effekten aktiverad var den specificerade noggrannheten ca 100 m CEP (Circular Error Probable). Det innebar att minst 50 % av alla positioner befann sig inom en radie av 100 meter. GeoExplorer II ger möjlighet att differentiellt korrigera insamlade positioner både i realtid och i efterhand. Noggrannheten vid differentiell korrigering i efterhand uppges till 2-5 m (95 % konfidensintervall) vid goda mottagningsförhållanden.

Vid mätningarna i riksskogstaxeringen användes följande av Trimble rekommenderade standardinställningar: SNR 4, PDOP <6, elevationsvinkel (satellitens höjd över horisonten) 15 grader, lagringsintervall 5 s och tredimensionell mätning (3D Mode) (Bååth 1996).

GPS-mottagaren placerades i provytans centrum och en loggfil öppnades. Fram till år 2000 fick mottagaren ligga kvar tills minst 40 positioner hade lagrats. Åren 2001 och 2002

utökades antalet till 100. Insamlingen av GPS-data avslutades innan 40 respektive 100 positioner insamlats när det övriga arbetet på provytan var avslutat.

I de fall GPS-mottagaren inte startat loggningen av data efter ca 5-10 minuter var instruktionen att mottagaren flyttades till en öppen plats i närheten av ytcentrum för att därmed förbättra möjligheterna att ta emot GPS-signaler. Om mottagaren flyttats registrerades dess avstånd och riktning från ytcentrum för att göra det möjligt att efter differentiell korrektion relatera koordinaten till ytcentrum.

Korrektionsprogram

För att uppnå en acceptabel noggrannhet på koordinaterna för riksskogstaxeringens provytor utnyttjades DGPS. Valet stod mellan att använda realtidskorrektion via EPOS eller att korrigera i efterhand. Den senare tekniken valdes då det inte skulle vara möjligt att i alla lägen erhålla korrektionssignaler via P3 eller P4-nätet då provytorna, på grund av terränghinder, ofta hamnar i radioskugga.

Insamlade GPS-koordinater överfördes till diskett som varje vecka sändes till kontoret. Dessa lagrades till fältarbetssäsongens slut för att korrigeras. Korrektionen utfördes med Trimble Pathfinder Office software. Basdata från 21 av SWEPOS referensstationer från hela landet hämtades via Internet en gång/månad. Basdata lagrades var 15 sekund. Varje ytas enskilda mätvärden korrigerades mot data från de tre närmaste basstationerna. Efter medelvärdesbildning valdes resultatet från den basstation som vid korrektionen gav den minsta standardavvikelsen.

5.4 Navigering till provytan

Riksskogstaxeringens trakter är utmärkta på kartor. För att söka upp provytorna användes tidigare kompass och en 50 m lång mätlina. Taxeringslagen utgick från en känd punkt på kartan som gick att identifiera i terrängen.



Figur 9. Garmin 12 (Ola Borin/SLU).

Efter att USA:s dåvarande president Clinton beordrade att den s k SA-effekten skulle tas bort den andra maj 2000 blev det möjligt att använda GPS-mottagare för att uppsöka provytorna. I riksskogstaxeringen testades samma år en enkel GPS-mottagare av märket Garmin 12, i ett av fältarbetslagen för att navigera till provytorna (fig. 9). Försöket var mycket lyckat och fr.o.m. 2001 används GPS i all fältverksamhet vid institutionen. Garmin 12 är en 12 kanalgig parallellmottagare med noggrannheten 15 m RMS. I dess minne lagras koordinaterna för provytornas teoretiska läge som waypoints. För att minska risken för subjektivt val av provytcentrum, stannar fältarbetslaget när det återstår 20 m, läser av riktningen till provytan på GPS-en och mäter sträckan fram till ytcentrum med måttband. Mottagaren får ligga på

marken vid provytans centrum under några minuter och därefter beräknas dess koordinater som medelvärde av insamlade positioner.

Användning av GPS har väsentligt underlättat gången mellan provytorna då laget nu har möjlighet att välja den enklaste vägen och inte behöver följa traktlinjen. På detta sätt kan man runda hinder som blöta myrar, sjöar, vattendrag och andra besvärliga terrängavsnitt utan besvärliga och tidskrävande vinklingar.

6 Erfarenheter

Erfarenheterna av användning av GPS i Riksskogstaxeringen redovisas som en jämförelse mellan två olika sätt att navigera till provytorna, användning av kompass och mätlina respektive GPS. Noggrannheten beskrivs som skillnaden mellan provytornas teoretiska koordinater och korrigerade GPS-koordinater. Som mått på spridningen används dubbla standardavvikelsen.

Vidare jämförs hur den differentiella korrektionen påverkade resultatet med och utan SA. I detta fall används skillnaden mellan positionerna före och efter korrektionen som mått på noggrannheten.

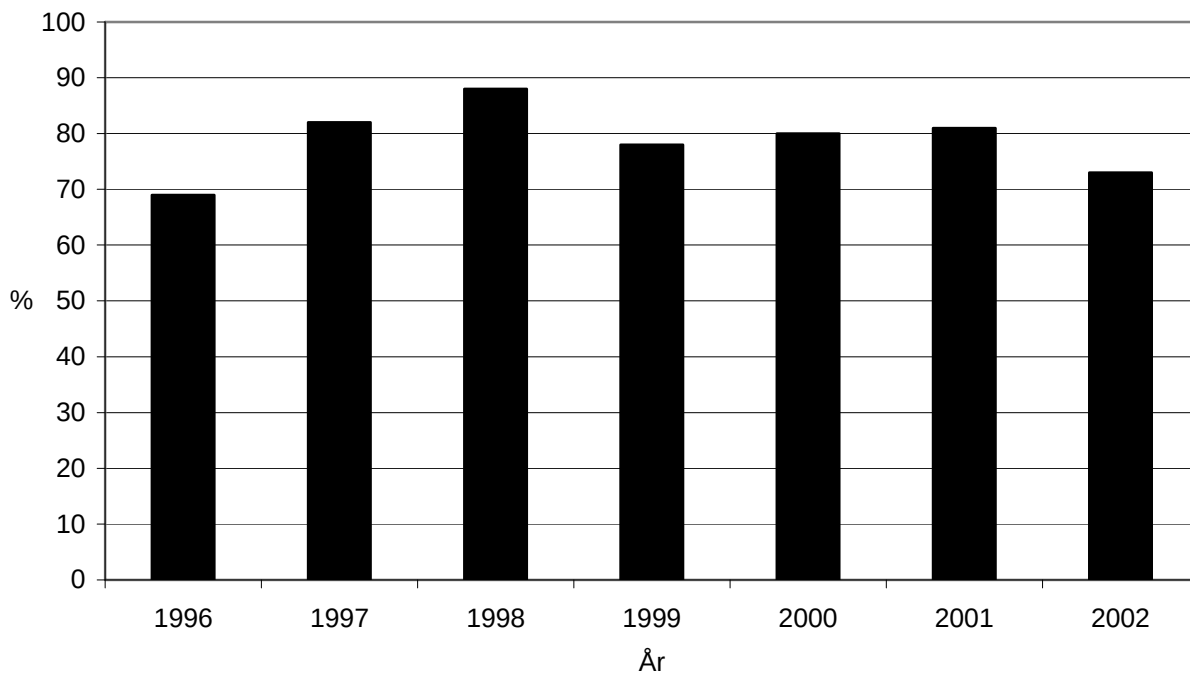
I båda fallen har samband beräknats mellan noggrannheten i provytornas läge och olika variabler som kan tänkas påverka noggrannheten: antal registrerade positioner, PDOP, grundyta, medelhöjd, volym och dominerande trädslag.

Jämförelse görs mellan data från provytor 1996-1999 respektive 2001-2002. Endast uppgifter från de tillfälliga provytorna används då permanenta ytor från 2001-2002 var utlagda med kompass på samma sätt som 1996-1999 års material. Data från 2000 uteslöts helt då ytorna lades ut med kompass och SA var borttagen.

Dessutom finns en jämförelse av koordinater bestämda med två mottagare GeoExplorer II (två mätmetoder, okorrigerade och korrigerade GeoExplorer II – koordinater) och Garmin 12.

6.1 Insamlade GPS-data

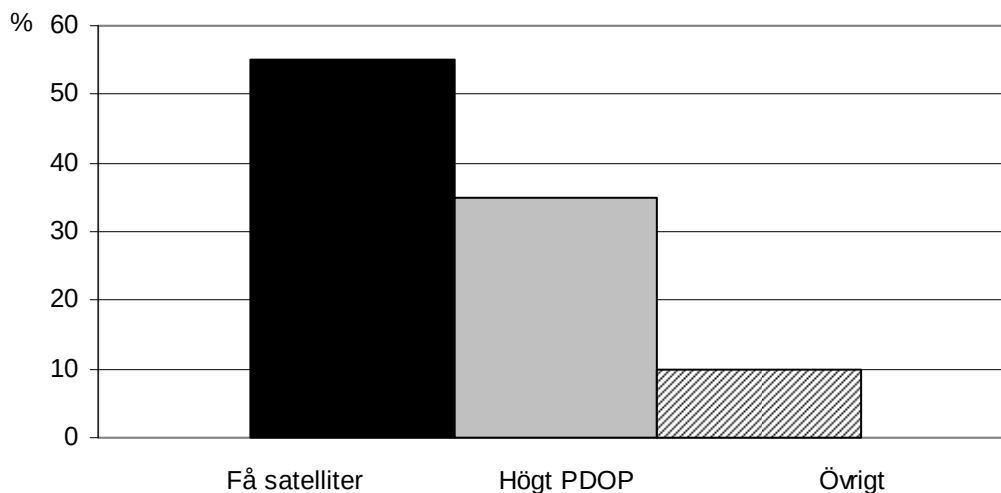
Under åren 1996-2002 erhöles GPS-koordinater, som var möjliga att korrigera, från ca 80 % av de fältinventerade provytorna, inklusive de permanenta provytorna (fig. 10).



Figur 10. Korrigerade GPS-koordinater. Andel av totalt antal fältinventerade provytor.

6.2 Saknade GPS-data

För de ca 1500 provytor som årligen inte fick några GPS-positioner registrerades orsaken under åren 1996-1999. Största anledningen var att mottagaren inte hade kontakt med tillräckligt många satelliter (minst fyra) för att erhålla koordinater (fig. 11). En annan viktig orsak var för höga PDOP-värden.



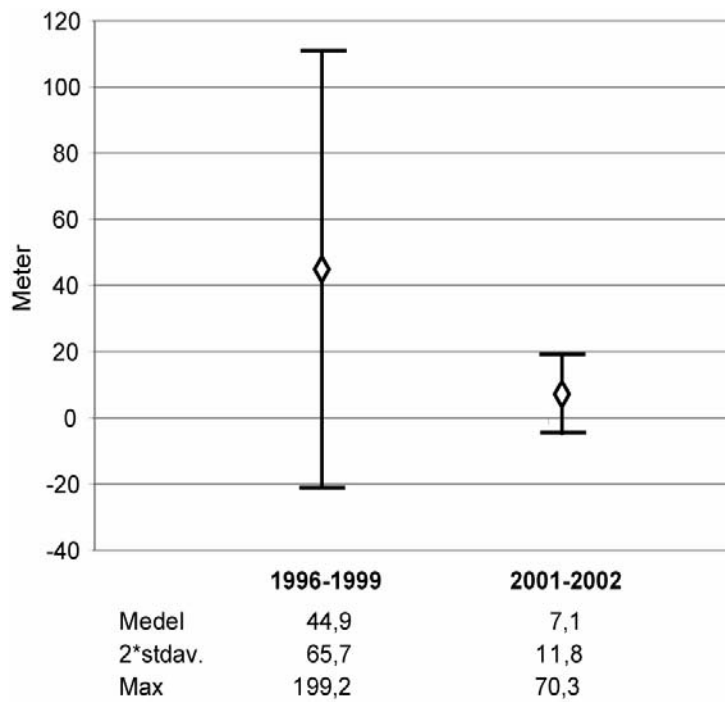
Figur 11. Orsaker till att GPS-data saknas.

6.3 Jämförelse kompass och GPS

Jämförelse mellan användning av kompass och mätlina respektive GPS för navigering till riksskogstaxeringens provytor

6.3.1 Genomsnittlig avvikelse för samtliga provytor

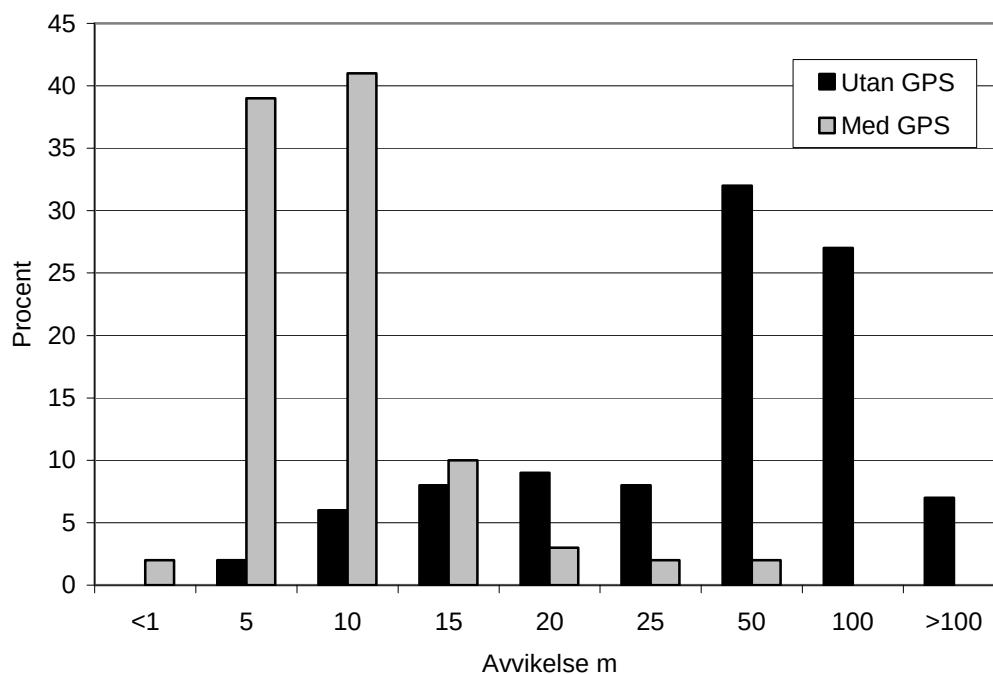
Genom att använda GPS för navigering ökade noggrannheten i utläggningen av provytorna från i genomsnitt ca 45 meter till ca 7 meter (fig. 12).



Figur 12. Genomsnittlig noggrannhet, med och utan GPS-navigering.

6.3.2 Andel provtytor fördelade på olika avstånd från teoretiskt ytcentrum

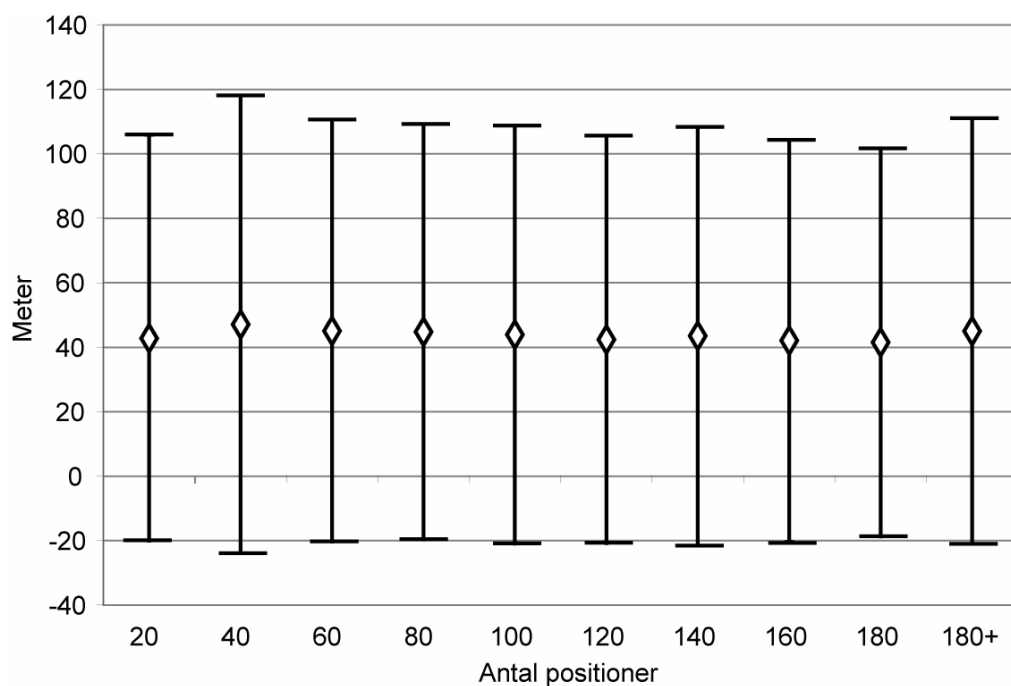
Med användning av GPS vid navigering till provtytorna låg 82 procent av ytorna inom 10 meter från teoretiskt ytcentrum. Motsvarande siffra utan GPS var 11 procent (fig. 13).



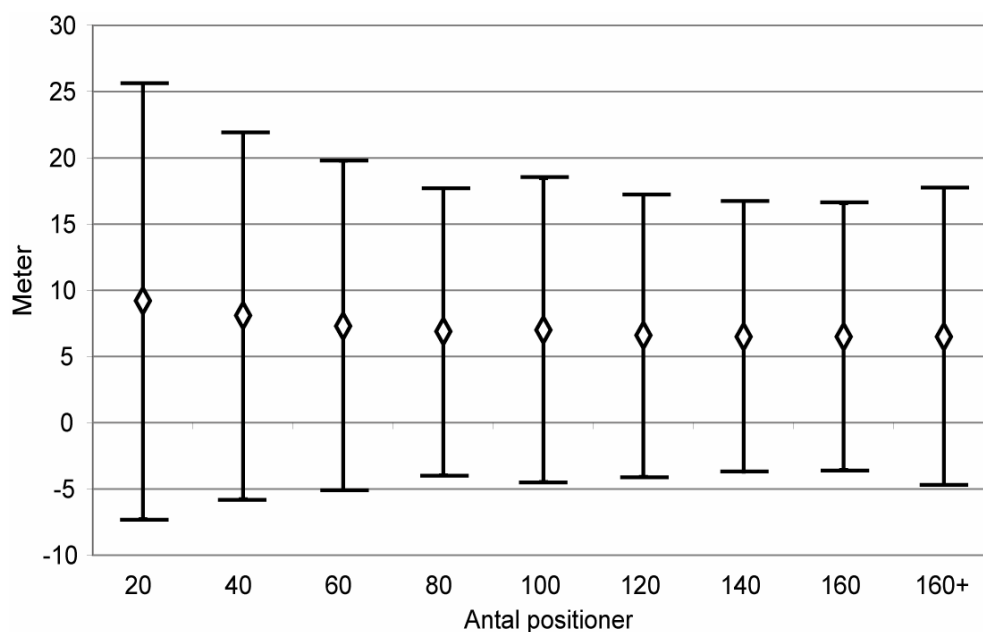
Figur 13. Andel provtytor inom olika avstånd från ytornas teoretiska läge.

6.3.3 Betydelsen av antalet registrerade positioner

Noggrannheten ökar med ökat antal positioner som används för att bestämma medelvärdet av provvyrtornas läge. Förbättringen är störst vid användning av GPS (fig.14 och 15).



Figur 14. Samband mellan antal positioner och noggrannhet med kompass och mätlina.

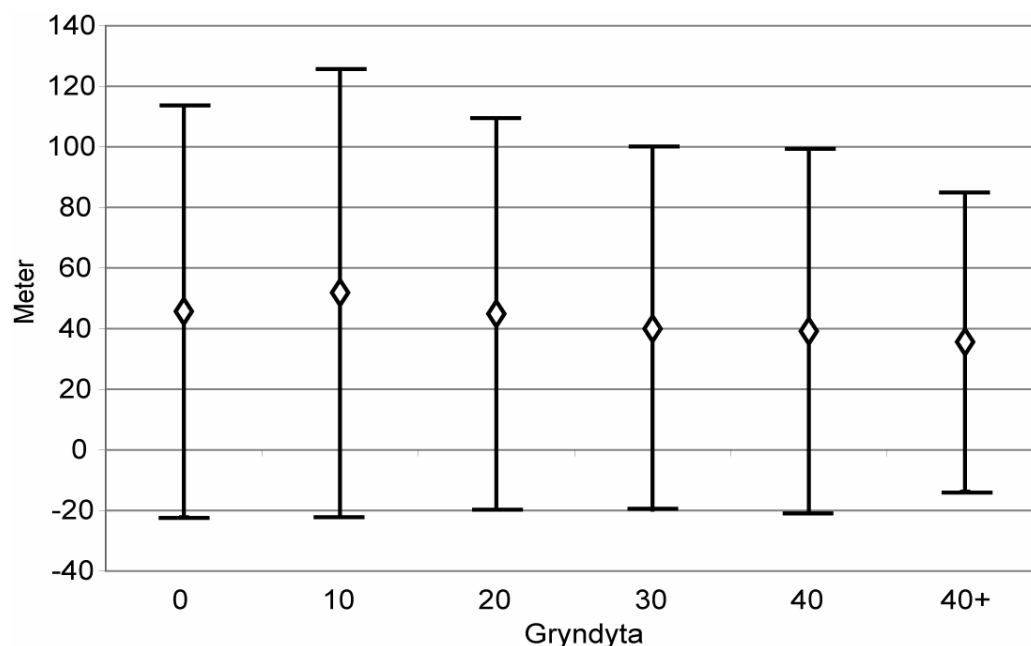


Figur 15. Samband mellan antal positioner och noggrannhet med GPS-navigering.

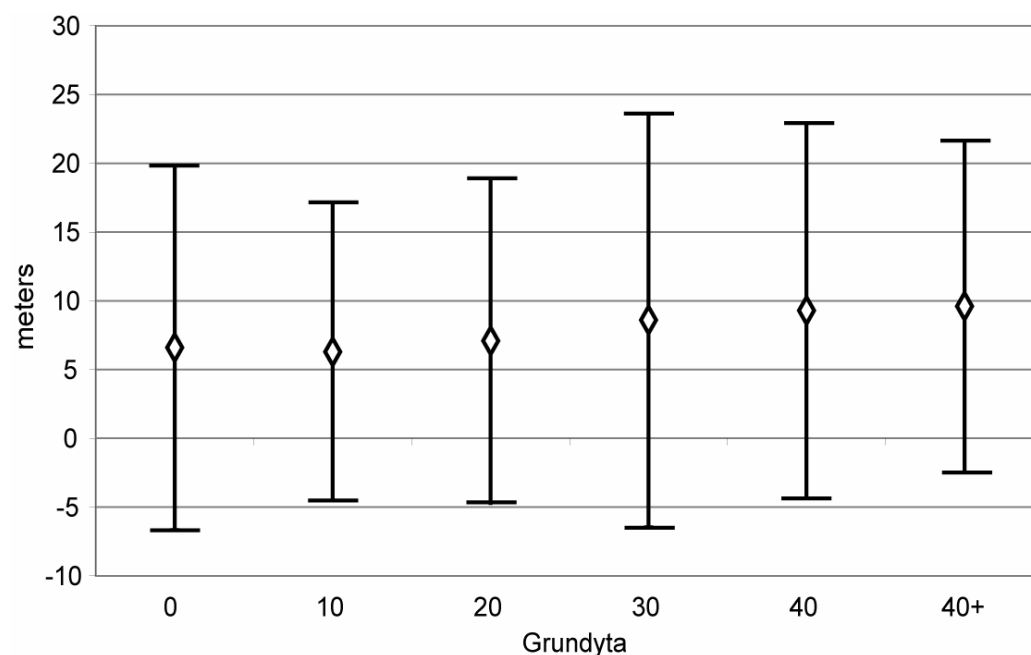
6.3.4 Olika skogliga variablers inverkan på noggrannheten i navigeringen till riksskogstaxeringens provtytor

Vid jämförelse av hur olika skogliga variabler som: beståndsmedelhöjd, grundyta och volym påverkar noggrannheten är tendenserna tydliga. Utan GPS-navigering minskar avståndet mellan teoretisk koordinat och korrigerad med ökande medelhöjd, grundyta och volym. Med GPS-navigering är förhållandet det motsatta, dvs. avståndet ökar (fig. 16-17 och bilaga 1).

6.3.5 Grundyta



Figur 16. Grundytans betydelse för noggrannheten med kompass och mätlina.

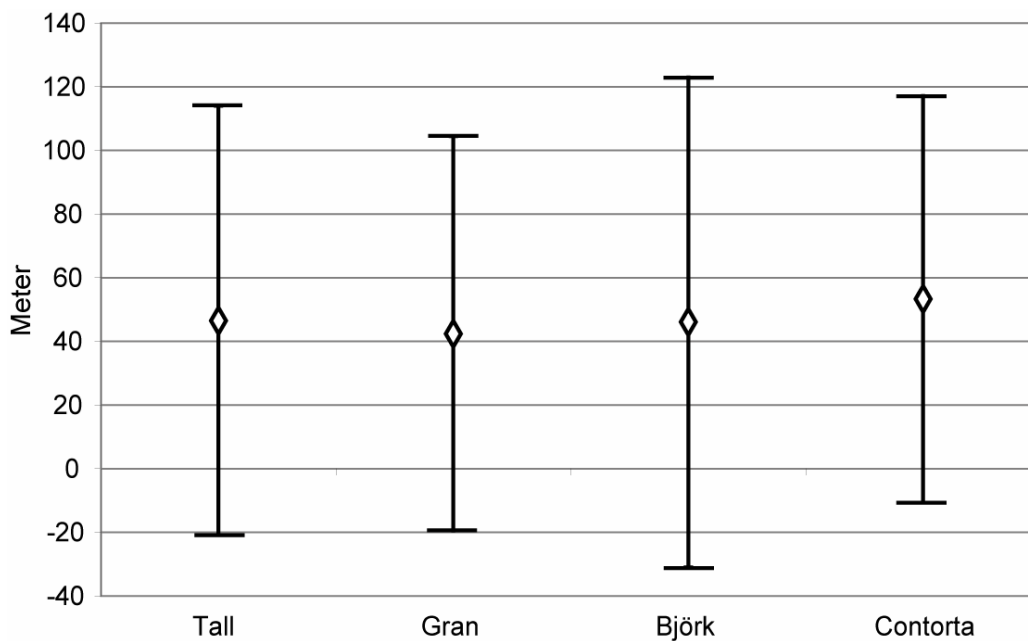


Figur 17. Grundytans betydelse för noggrannheten med GPS-navigering.

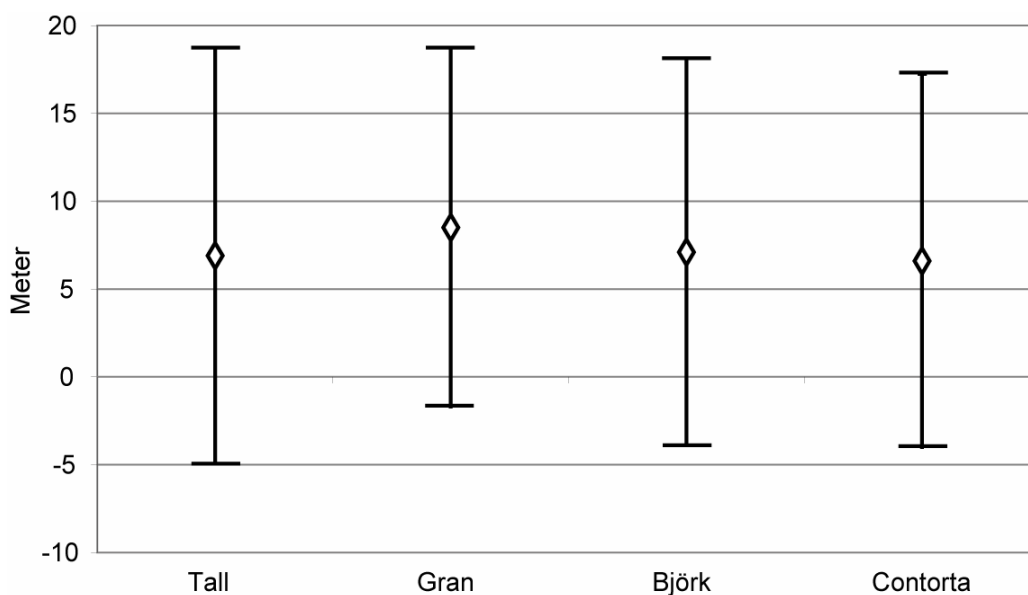
6.3.6 Dominerande trädslags inverkan på noggrannheten

Definitionen på dominerande trädslag är att de till minst 8/10 består av tall, gran respektive björk och att medelhöjden är minst 5 m.

Utan GPS är skillnaden mellan teoretisk och korrigerad koordinat minst för gran och störst för contorta. Med GPS är avvikelsen störst för gran och minst i contorta (fig. 18-19). Största delen av provytorna med björk har inventerats med löven kvar.



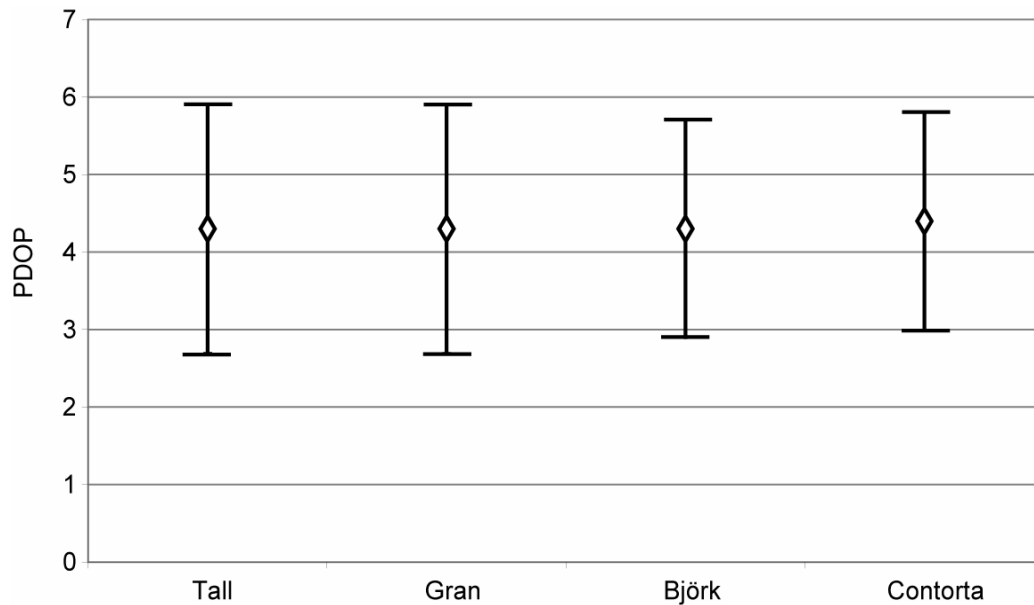
Figur 18. Noggrannhet för dominerande trädslag med kompass och mätlina.



Figur 19. Noggrannhet för dominerande trädslag med GPS-navigation.

6.3.7 Genomsnittligt trädslagsvis PDOP

Det genomsnittliga PDOP-värdet är 4,3 för tall, gran och björk och 4,4 för contorta (fig. 20).

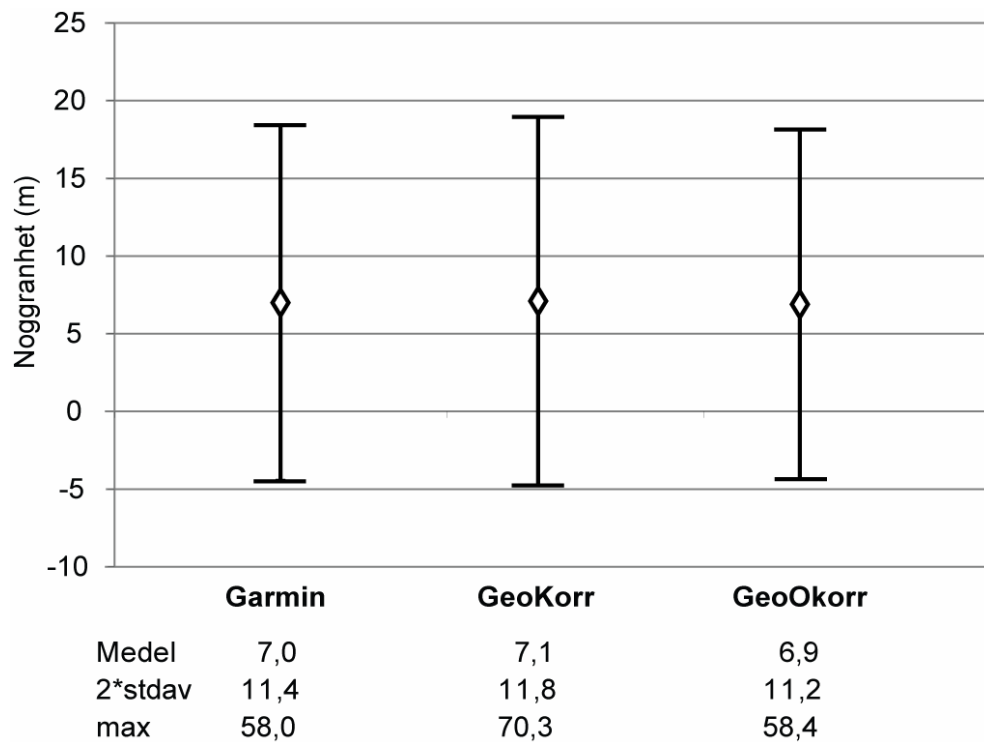


Figur20. Genomsnittligt PDOP för olika dominerande trädslag, med GPS-navigering.

6.4 Jämförelse TrimbleGeoExplorer och Garmin

Jämförelse mellan Trimble GeoExplorer II, korrigerade och okorrigerade värden och Garmin 12 med GPS-navigering.

Jämförelse av olika GPS-mottagare och mätmetoder visar att skillnaderna för den genomsnittliga noggrannheten för samtliga provtyper är mycket små. Högst är noggrannheten för okorrigerade GeoExplorer (fig. 21).

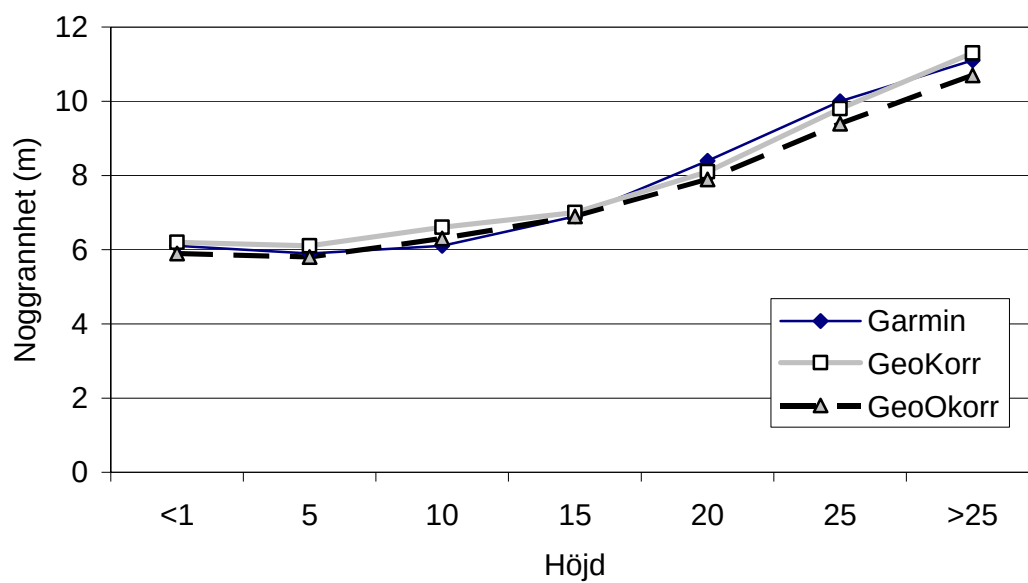


Figur 21. Genomsnittlig noggrannhet för olika GPS-mottagare och mätmetoder.

6.4.1 Skogliga variablers inverkan på noggrannheten.

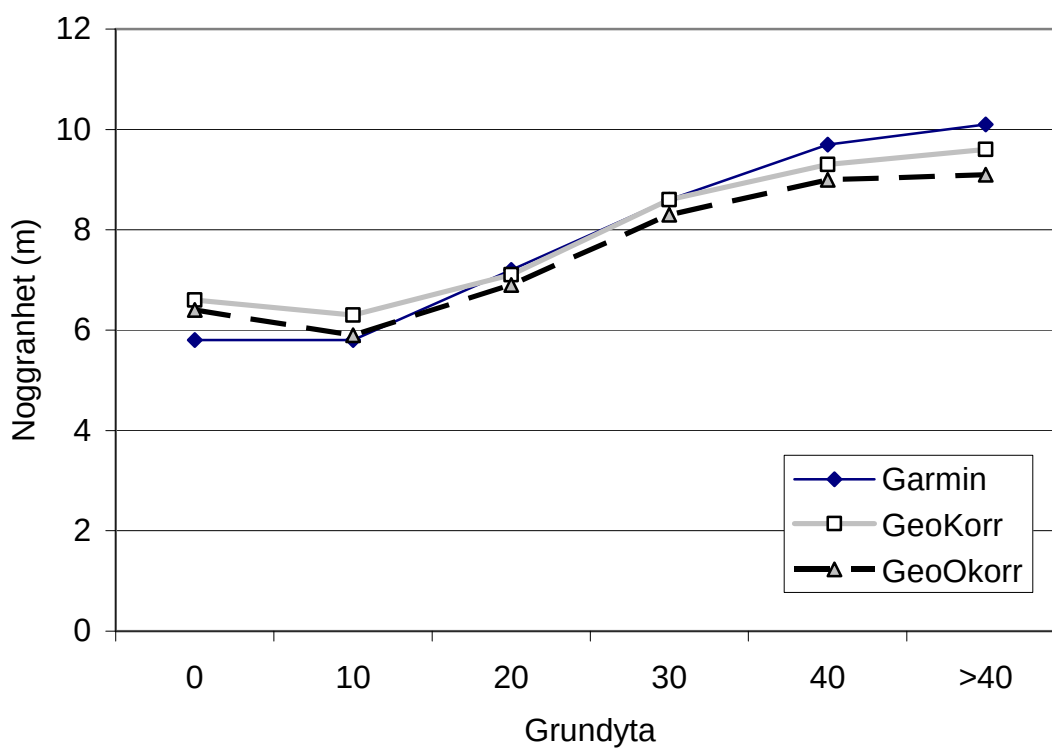
Jämförelse mellan olika GPS-mottagare och mätmetoder visar att noggrannheten avtar med ökande medelhöjd, grundyta /ha och volym. Skillnaderna är ganska små, men okorrigerade GeoExplorer II gav högst noggrannhet (fig. 22-24).

6.4.2 Beståndsmedelhöjd



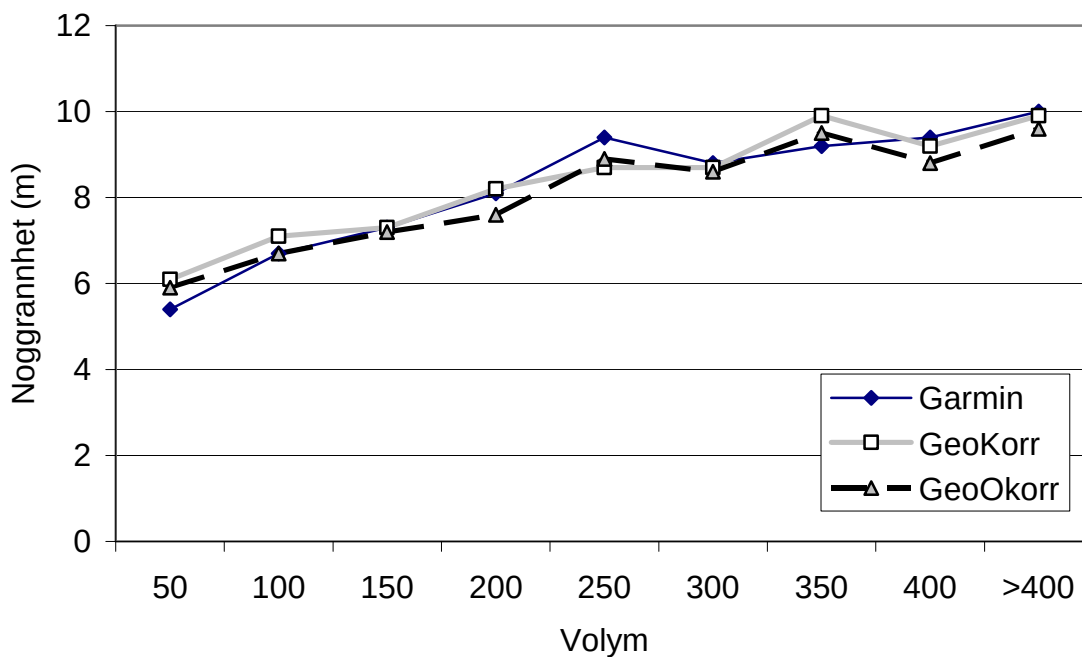
Figur 22. Noggrannhet vid olika medelhöjd.

6.4.3 Grundyta



Figur 23. Avvikelse vid olika grundyta / ha.

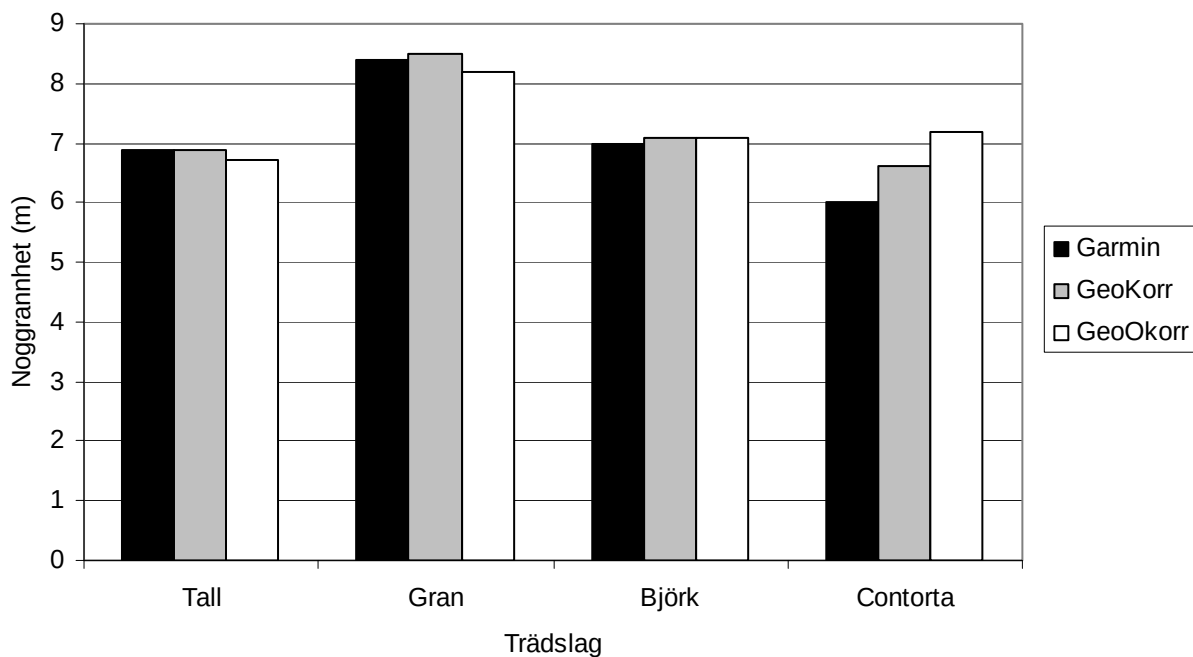
6.4.4 Volym



Figur 24. Noggrannhet vid olika medelvolym.

6.4.5 Dominerande trädslags inverkan på noggrannheten

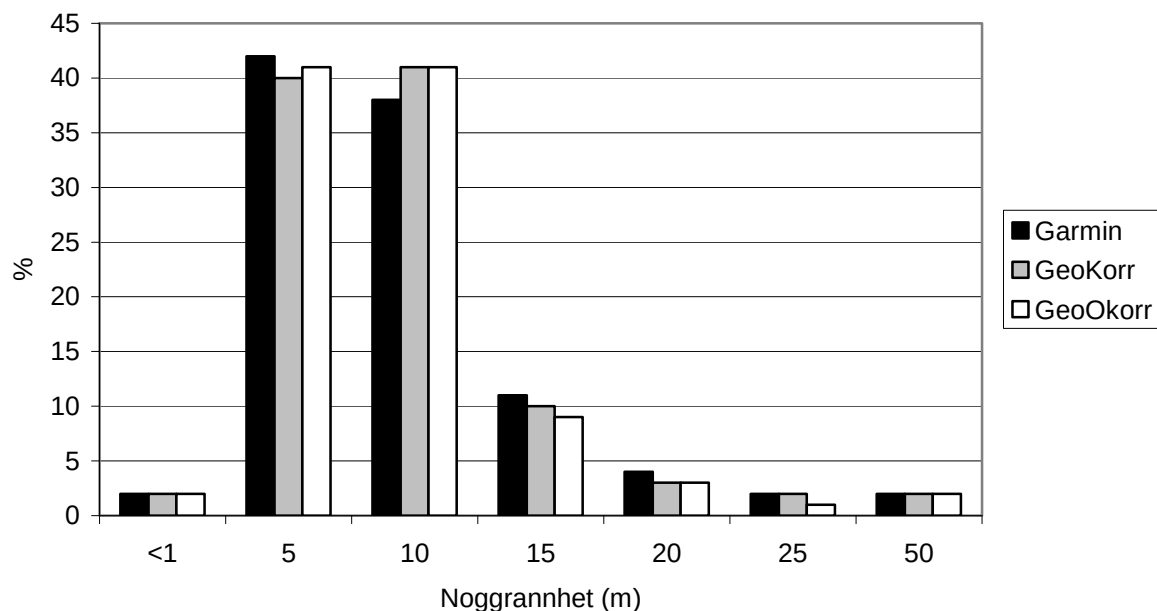
Skillnaderna mellan de tre mätresultaten är ganska små utom för contorta, där avvikelsen mellan Garmin 12 och okorrigerade värden med GeoExplorer II är drygt 2 m. Noggrannheten är minst i granskog och störst i contorta (fig. 25).



Figur 25. Noggrannhet för olika dominerande trädslag.

6.4.6 Andel provytor fördelade på olika avstånd från teoretiskt ytcentrum.

Av totala antalet provytor ligger 82 % av ytorna registrerade med Garmin inom 10 m från teoretisk koordinat. Motsvarande siffror är 83 % för korrigerade GeoExplorer-koordinater och 84 % för okorrigerade GeoExplorer-koordinater (fig. 26).

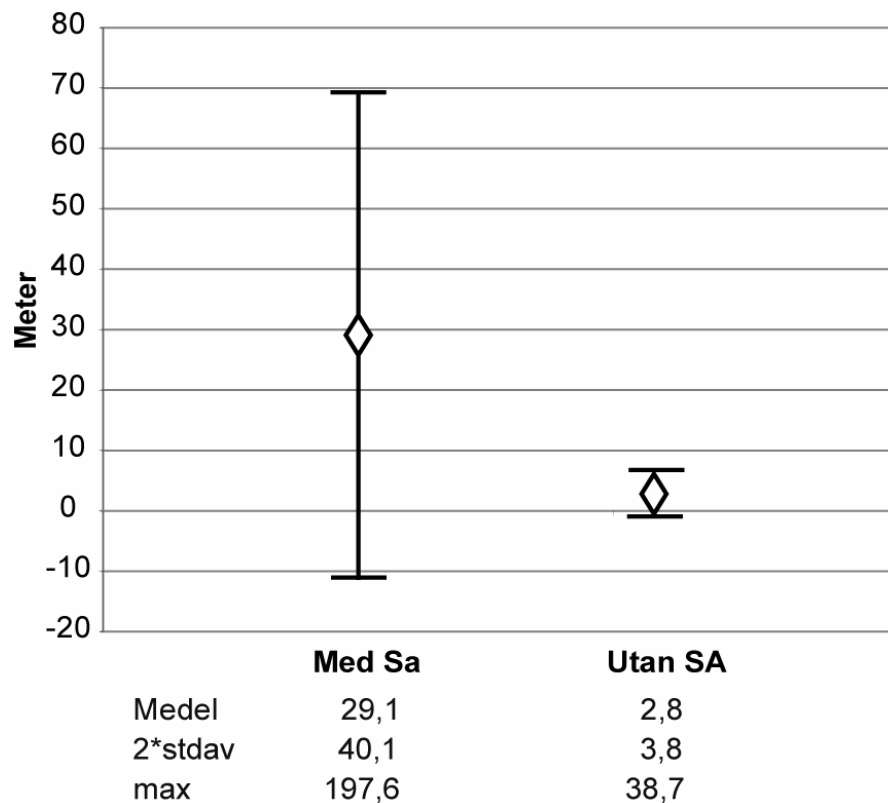


Figur 26. Andelen provytor inom olika avstånd från ytornas teoretiska läge.

6.5 Korrektion

6.5.1 Noggrannheten uttryckt som provytornas läge före och efter korrektion.

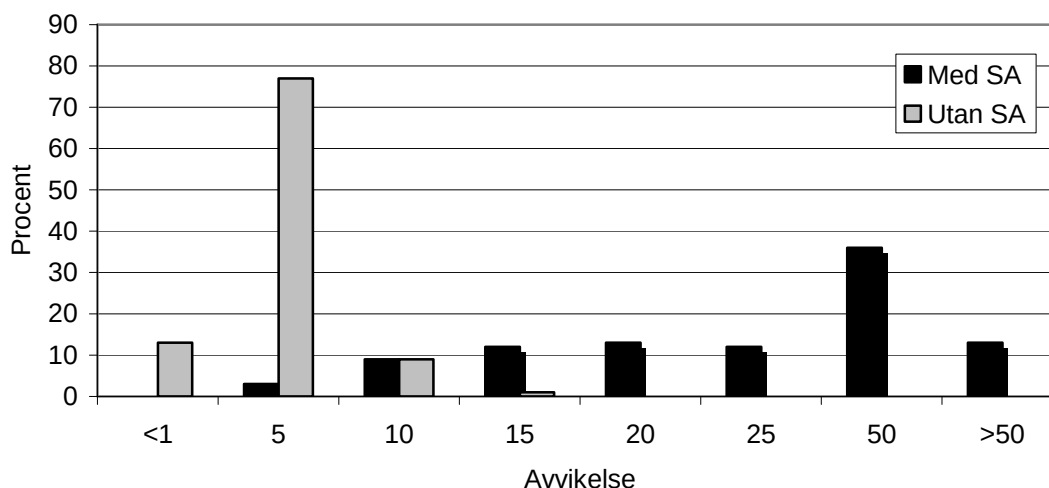
Vid jämförelse av resultaten för provytornas läge före och efter borttagandet av SA-effekten används skillnaden mellan positionen före och efter korrektionen som mått på noggrannheten (Fig. 27).



Figur 27. Skillnad i noggrannhet före och efter differentiell korrektion med och utan SA.

6.5.2 Andel provytor fördelade på olika ”korrektionsklasser”

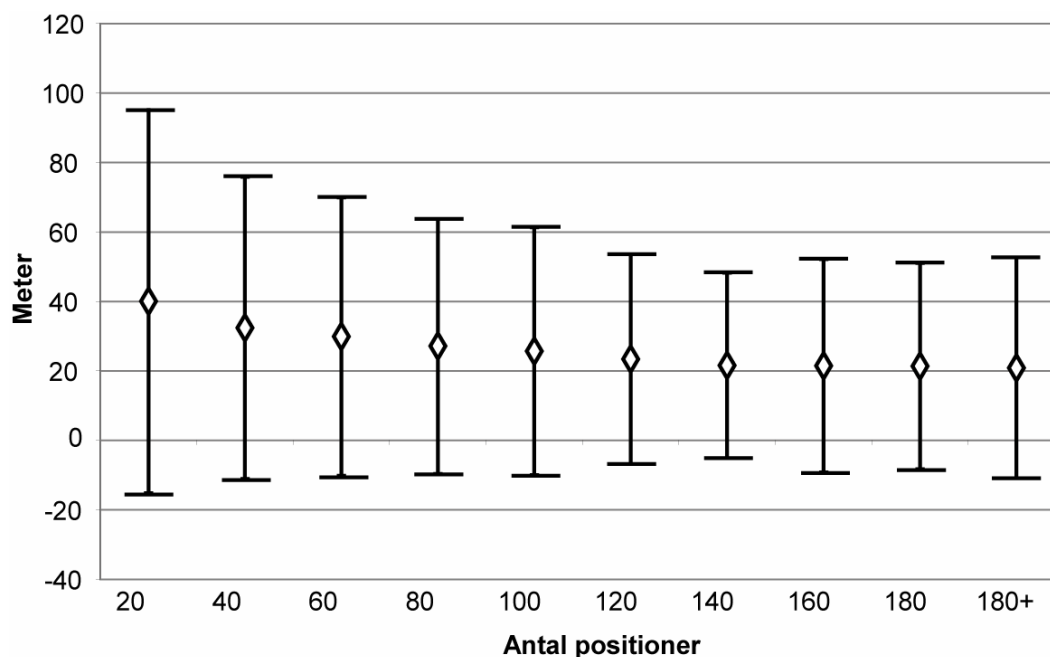
I figur 28 redovisas andelen provytor fördelat på olika ”korrektionsklasser” med och utan SA. Förutom att noggrannheten är mindre med SA påslagen så är också spridningen betydligt större.



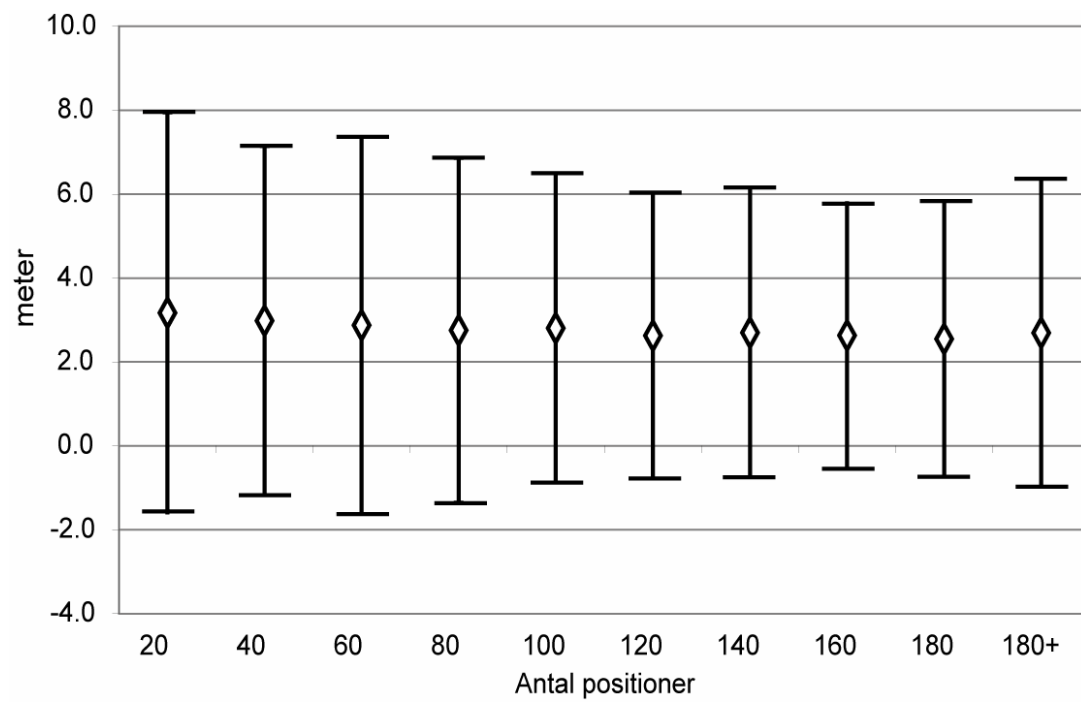
Figur 28. Andelen provtyor inom olika korrektionsklasser.

6.5.3 Medelvärdesbildningens effekt på noggrannheten

Med ökat antal positioner som används vid medelvärdesbildningen så ökade både noggrannheten och precisionen uttryckt som standardavvikelse. Störst betydelse för noggrannheten har antalet registrerade mätningar med SA påslagen. Här halveras skillnaden från ca 40 meter till ca 20 meter. Utan SA planar betydelsen av antalet positioner ut tidigare (Fig. 28 och Fig. 29).



Figur 28. Samband mellan antal positioner och noggrannhet med SA.



Figur 29. Samband mellan antal positioner och noggrannhet utan SA.

7 Diskussion

Under åren 1996-2002, då DGPS användes i riksskogstaxeringen för att bestämma provytornas geografiska lägen, erhöles korrigerbara koordinater från ca 80 % av provytorna. Det var ingen skillnad före och efter SA. Uteblivna koordinater berodde till ca 55 % på för få tillgängliga satelliter och till ca 35 % på för höga PDOP-värden.

Användning av GPS vid navigering till riksskogstaxeringens provytor innebar att de i genomsnitt hamnade 7,1 m från teoretiskt läge jämfört med ca 45 m vid användning av kompass och mätlina (fig.12). Med GPS ligger 83 % av ytorna inom 10 m medan motsvarande siffra för navigering med kompass är endast 11 %. Vid navigeringsförsök med tre olika modeller av Trimble Pro-XR före och efter SA var noggrannheten 34,5 m respektive 4,0 m, (73,3 m och 8,3 m med 95 % sannolikhet) Liu (2002).

Ökat antal positioner för medelvärdesberäkning av provytornas koordinater förbättrade noggrannheten vid båda metoderna. Störst var förbättringen vid GPS-navigering, 31,5 % jämfört med 12 % vid användning av kompass.

Utan SA, åren 2001-2002, ökade noggrannheten från 9,2 m vid 20 positioner till 6,5 m vid >160 positioner (fig. 15). Ökningen är stor fram till 80 positioner medan det från 120 positioner inte sker någon förbättring. Deckert och Bolstad (1996) redovisar förbättring av noggrannheten från 5,9 m för 60 positioner till 3,1 m för 500 positioner i lövskog och från 6,6 m för 60 positioner till 4,4 m för 500 positioner i barrskog. För öppet fält ökade noggrannheten från 3,9 m för 60 positioner till 2,2 m för 500 positioner. I en undersökning, där mottagare av två olika fabrikat användes, fann Naesset (1999) en ökad noggrannhet från 3,7 m till 1,88 m respektive 2,93 m till 1,17 m för observationstiderna 2,5-30 minuter. Samma författare Naesset (2000) redovisade en förbättring av noggrannheten från 0,62 m till 0,2 m för provytor med grundytan <15 m²/ha och från 5,72 m till 1,24 m för ytor med grundytan >25 m²/ha där tiden för registrering av positionerna var 2,5 min och 30 min. Den mätmetod som användes var korrektion i efterhand som en kombinerad bärvågs- och kodmätning. Ännu högre noggrannhet uppnåddes när data användes från både GPS och GLONASS. Sigrist et al (1999) visade i en undersökning att noggrannheten ökade med ökat antal positioner som ingår i medelvärdesberäkningen. Text ökade noggrannheten uttryckt som RMSE, från 5,06 m till 2,94 m för 1 position jämfört med 180 för white pine med kronslutenheten 97 %. Förbättringen var liten för öppen mark. Berglund (2001) redovisar en förbättring av medelfelet med 14 % i öppen terräng efter medelvärdesbildning i 90 sekunder jämfört med enskilt mätvärde. Vid medelvärdesbildning längre än 90 sekunder var förbättringen marginell. I tät skog ökar noggrannheten mellan 20 % och 45 % vid 90 sekunder för tre olika mottagare. Förbättringen fortsätter med ökad tid men i en lägre takt. Samtliga studier visade att förbättringen i noggrannhet är störst i skog med hög slutenhet och minst för öppen mark ju fler positioner som insamlades.

Vid användning av kompass är noggrannheten bättre ju större medelhöjden, grundytan och volymen är (fig. 16 och bilaga 1). Om man jämför noggrannheten för olika dominerande trädslag så är den störst i granskog och lägst i contorta (fig. 19). Förklaringen är troligen att vid orientering med kompass i öppen terräng eller i gles skog tar man sikte på en punkt längre fram i gångriktningen än vid gång i tätare skog där sikten är begränsad. Med någon eller några graders felgång så ökar avvikelserna med avståndet. Att avvikelserna är större i contortaskog kan bero på att den ofta är tät och svårforcerad.

Medelhöjd			Grundyta			Volym		
Medelhöjd (m)	Noggrannhet (m)	Antal Positioner	Grundyta	Noggrannhet (m)	Antal positioner	Volym	Noggrannhet (m)	Antal positioner
< 1	6,2	100	0	6,6	59	50	6	101
5	6	101	10	6,2	86	100	7	95
10	6,6	95	20	7,1	94	150	7,3	91
15	7	90	30	8,6	82	200	8,3	85
20	8,1	84	40	9,3	76	250	8,7	83
25	9,8	86	40+	9,6	83	300	8,7	78
25+	11,3	78				350	9,9	79
						400	9,1	78
						400+	9,9	81

Tabell 1. Antal positioner vid olika medelhöjd, grundyta/ha och volym.

Vid utläggning av provytorna med GPS minskar noggrannheten med ökad medelhöjd, grundyta / ha och volym (fig. 17 och bilaga 2). För medelhöjden minskar noggrannheten från 6,2 m vid höjden 0 m till 11,3 m vid > 25 m höjd. Motsvarande resultat för grundytan är 6,6 m avvikelse vid 0 m²/ha respektive 9,6 m vid grundyta >40 m²/ha. Noggrannheten var 6,1 m och 9,9 m vid volymen 50 m³/ha respektive 400 m³/ha. Av tabell1 framgår att antalet positioner visserligen minskade med ökad medelhöjd, grundyta och volym, men antalet ligger inom ett intervall där antalet positioners betydelse för noggrannheten har planat ut. Evans et al (1992) redovisade i ett navigeringsförsök till nio provytor med kända koordinater och med varierande slutenhet en genomsnittlig avvikelse på 6,6 m (utan SA). Deckert och Bolstad (1996) rapporterade en noggrannhet på 3,5 m på en öppen yta och 5,7 m på ytor med en genomsnittlig grundyta på ca 27 m²/ha. Antalet positioner var 100. Naasset (1999) testade flera GPS-mottagare på 38 provytor där grundytan varierade mellan 1 - 42 m²/ha. Noggrannheten för Trimble GeoExplorer II var i genomsnitt 7,3 m för de 18 provytor som erhöll registreringar. Det fanns ett klart samband mellan minskad noggrannhet och ökad slutenhet. I ett försök i samma område Naasset (2000) var noggrannheten 5,72 m för provytor med grundytan >25 m²/ha, vid en observationstid av 2,5 min. Vid användning av en kombination av GPS och Glonass var noggrannheten 2,85 m. Sigrist et al (1999) genomförde ett försök på 5 provytor med olika kronslutenhet och olika trädslag. Mätningar gjordes vid två årstider med och utan löv på lövträden. Noggrannheten, uttryckt som horisontell RMSE, varierade från 0,5 m på öppet fält till 5,1 m i tät tallskog. I ett försök där tre GPS-mottagare av olika märken testades fann Tucek och Ligos (2002) att noggrannheten försämrades med stigande beståndsålder.

Trädslag	Medelhöjd (m)	Std (m)	Volym (m ³ / ha)	Std (m ³ / ha)
Tall	12,9	5,1	117,3	95,2
Gran	16,7	5,7	205,4	144,7
Björk	11,6	4,8	88,7	79,6
Contorta	7,1	1,9	56,1	38,8

Tabell 2. Dominerande trädslags medelhöjd och medelvolym för tillfälliga provytor 2001-2002.

Jämförelse av olika dominerande trädslags påverkan på noggrannheten (fig.19) visar att det är ganska små skillnader mellan tall, björk och contorta medan noggrannheten är betydligt sämre

för gran. Däremot är precisionen, uttryckt som standardavvikelse, bättre för gran. Skillnaderna kan förklaras med att medelhöjd och volym på granskogsyttorna är högre än för övriga trädslag (Tab. 2). Naesset (1999) rapporterade en högre noggrannhet för barrskog än för lövskog med hänsyn tagen till densiteten uttryckt som grundyta/ha. Deckert och Bolstad (1996) redovisar i ett försök en genomsnittlig noggrannhet på 6,6 m – 5,4 m för barrskog respektive lövskog för 60 – 100 positioner/ provyta. I ett försök av Sigrist et al (1999) var noggrannheten, uttryckt som RMSE, 2,5 m för lövträd utan löv (krontäckning 23 %), 4 m med löv (krontäckning 94 %), tall på vintern 2,7 m (krontäckning 93 %), tall under hösten 5,1 m (krontäckning 97 %) och öppet fält 0,5 m.

Medelhöjd (m)	Medelhöjd PDOP	Andel PDOP>4 (%)	Grundyta	Grundyta PDOP	Andel PDOP>4 (%)	Volym	Volym PDOP	Andel PDOP>4 (%)
0	3,7	49	0	3,8	34	50	4	48
5	4	43	10	4	49	100	4,3	66
10	4,2	60	20	4,3	67	150	4,4	70
15	4,3	68	30	4,5	74	200	4,4	73
20	4,4	71	40	4,4	75	250	4,4	71
25	4,4	74	40+	4,4	70	300	4,5	76
25+	4,4	71				350	4,5	74
						400	4,5	72
						400+	4,4	73

Tabell 3. Samband mellan PDOP och medelhöjd, grundyta samt volym för tillfälliga provytor åren 2001-2002.

Genomsnittligt PDOP är lika stort för samtliga trädslag (fig.20). Av tabell 3 framgår att med ökande medelhöjd, grundyta och volym så ökar PDOP-värdet liksom andelen provytor med PDOP > 4. Deckert och Bolstad (1996) visade att i lövskog var PDOP högre än i barrskog och högre i skog med hög slutenhet. Naesset (1999) fann en låg korrelation mellan PDOP och noggrannheten i positionsbestämning i tät skog. Naesset (1999) och Sigrist et al (1999) menar att den samvariation som finns mellan PDOP, slutenhet och antal synliga satelliter innebär att PDOP inte behöver vara en bra indikator på noggrannheten i tät skog.

7.1 Jämförelse av olika mottagare och mätmetoder

Skillnaderna mellan olika GPS-mottagare och olika mätmetoder är mycket små, både vad gäller noggrannheten och standardavvikelsen för samtliga provytor (fig. 21). I genomsnitt är noggrannheten 7 m och 95 % av provytorna ligger inom 7m och 11,5 m (2 RDMS). Med ökad medelhöjd, grundyta och volym minskar noggrannheten för samtliga mätmetoder (fig. 22-24). Som framgår av diagrammen är samstämmigheten stor oberoende av slutenhet. Störst är skillnaden, 1 m, mellan Garmin och GeoOkorr för grundytan > 40 m²/ha.

Bolstad et al (2005) jämförde två billiga GPS-mottagare, under 2000 kr, med tre dyrare mottagare för mer än 20 000 kr. Försöket utfördes på tre öppna ytor och tre i tät skog. Jämförelse gjordes mellan okorrigerade mätningar, korrigerade i realtid (WAAS) och korrigerade i efterhand. De fann skillnader mellan typ av mottagare i skog men inte på öppna ytor. Det var ingen skillnad mellan korrigerade och okorrigerade data för de dyrare mottagarna. Noggrannheten var ca 2,5 – 4,8 m medan den var 6,5–7,1 m för de enklare mottagarna som också hade högre frekvens av stora fel. Medelfelet för en av de dyrare

mottagarna var i genomsnitt 1,6 m och det maximala felet var 8,4 m. Motsvarande värden för en av de billiga mottagarna var 9,8 m respektive 44,2 m. Då det var liten skillnad mellan okorrigerade, WAAS korrigerade och data korrigerade i efterhand för en av de dyrare mottagarna drar man slutsatsen att det innebär att de flesta felen för den mottagaren och de två enkla mottagarna beror på andra fel än de som kan tas bort med differentiell korrektion. Skillnaden i noggrannhet i skog mellan de dyrare och billigare mottagarna kan bero på skillnader i möjligheten att utesluta multipath- mätningar eller bortfall av data och på de beräkningsalgoritmer som finns inbyggda i varje mottagare.

Detta ger stöd åt de erfarenheter som erhållits i denna undersökning, där den genomsnittliga differentiella korrektionen är 2,8 m utan SA (bilaga 2). Där framgår också att nivån på korrektionen är oberoende av om provytorna ligger på öppen mark eller i tät skog. Skillnaderna för de olika mätmetoderna för olika trädslag är små utom för contorta (fig. 25). Här är skillnaden drygt 2 m mellan Garmin 12 och okorrigerade värden med GeoExplorer II till Garmins fördel.

I de flesta refererade undersökningar har mer avancerade GPS-mottagare används jämfört med GeoExplorerII och Garmin 12.

7.2 Korrektion

Korrektionen var ca 30 m för de år SA var påslagen. För antalet positioner minskade den från ca 40 m vid 20 positioner till ca 21 m vid >180 positioner. Utan SA var korrektionen i medeltal 2,8 m. Noggrannheten ökade med ökat antal positioner. Den var ganska oberoende av skogliga variabler som beståndsmedelhöjd, grundyta / ha och volym.

7.3 Slutsatser

Användning av differentiell korrektion av GPS-data var nödvändigt under år 1996-1999 då SA fanns kvar. Den genomsnittliga korrektionen var 30 m med dubbla standardavvikelsen 40 m.

Med användning av GPS för navigering till provytorna ökade noggrannheten i ytornas läge från ca 45 m till ca 7 m. Samtidigt underlättades gången fram till provytorna.

Jämförelse av korrigerade koordinater och Garminkoordinater från 2001 och 2002 visade att skillnaderna i noggrannhet var mycket små. Därför bestämdes att från 2003 så skulle Garmin 12 användas både för navigation och bestämning av provytornas koordinater i riksskogstaxeringen.

GPS utnyttjas även av andra fältinventeringar som utförs vid institutionen. Billiga mottagare används vid t. ex Skogsskadeinventeringen och NILS (Nationell Inventering av Landskapet i Sverige). Mer avancerad och därmed dyrare utrustning utnyttjas vid insamling av fältdata för projekt där högre noggrannhet krävs t. ex vid användning av laser- eller radardata.

7.4 Framtida användning av satellitnavigeringssystem

Det finns all anledning att tro att möjligheterna är stora, att med enkla GPS-mottagare uppnå ännu högre noggrannhet än i dag då flera projekt med det syftet pågår, både i Europa och USA.

GPS-systemet kompletteras f n med åtta satelliter av en ny generation. De har större antenner och fler kanaler vilket ger större noggrannhet i positioneringen för civila användare. Den första i serien sköts upp den 17 november 2006. Redan om två år kommer ännu bättre satelliter från ytterligare en ny generation att skickas upp. Sammanlagt ska tolv sådana satelliter sändas upp vilket kommer att ge ännu bättre noggrannhet.

Det europeiska navigationssystemet Galileo, som beräknas vara fullt utbyggt 2011, kommer att vara kompatibelt med GPS och ge högre noggrannhet än det nuvarande GPS-systemet.

Det ryska systemet GLONASS håller på att återuppbyggas och har för närvarande 12 satelliter.

Det tidigare beskrivna EGNOS beräknas vara operationellt under 2007.

Litteraturlista

- Anon. 1999. Miljötillståndet i skogen. Naturvårdsverket, Stockholm.
- Anon. 2003. RIS. Riksinventeringen av skog. SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning och geomatik. Umeå. Institutionen för skoglig marklära. Uppsala
- Anon. 2005. Skogsstatistisk årsbok. Skogsstyrelsen Jönköping.
- Anon. 2006. Skogsdata 2006 – Aktuella uppgifter om de svenska skogarna från Riksskogstaxeringen. Tema : Skyddade skogar i Sverige. SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning och geomatik. Umeå.
- Berglund, G. 2001. Jämförande studie: GPS-mätningar i skog. SkogForsk. Arbetsrapport nr 482. Uppsala.
- Bolstad, P., Jenks, A., Berkin, J., Berkin, J. & Horne, K. 2005. A Comparisation of Autonomous, WAAS, Real-Time, and Post-Processed Global Positioning Systems (GPS) Accuracies in Northern Forests. Northern Journal of Applied Forestry, 22(1).
- Bååth, H. 1996. Fältinstruktion för GPS i riksskogstaxeringen 1996. SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning och geomatik. Umeå.
- Cedervind, J. 1997. GPS under kröntak i skog. SLU, Institutionen för skoglig resurshushållning och geomatik. Arbetsrapport 20. Umeå.
- Dana, P.H. 1995. Global Positioning System Overview. Department of Geography, University of Texas at Austin.
- Deckert, C. & Bolstad, V. 1999. Forest Canopy, Terrain, and Distance Effect on Global Positioning System Point Accuracy. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 62(3):317-321.
- Evans, D. L., Carraway, R.W. Simmons, G.T. 1992. Use of Global Positioning System (GPS) For Forest Plot Location. Southern Journal of Applied Forestry, 16(2):67-70.
- Engfeldt, A. & Jivall, L. 2000. Kort introduktion till GNSS. Lantmäteriet, Geodesi och Geografiska Informationssystem: Rapport 2000:2. Gävle.
- Gotthardsson, N. Utvärdering av precision och noggrannhet hos GPS-mottagare i skördarmiljö. Evaluation Studentuppsatser nr 61. 2003. SLU, Avd f skogsteknologi. Umeå.
- Hall, O., Alm, G., Ene, S & Jansson, U. 2003. Introduktion till Kartografi och geografisk information. Studentlitteratur. Lund.
- Holmström, H. 2001. Data acquisition for forestry planning by remote sensing based sample

Plot imputation. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Resource Management and Geomatics. Silvestria 201. Umeå.

Liu, C., J. 2002. Effects of Selective Availability on GPS Positioning Accuracy. Southern Journal of Applied Forestry, 26(3):140-145.

Naesset, E., Bjerke, T., Övstedal, O., & Ryan, L. H. 2000. Contributions of Differential GPS and GLONASS Observations to Point Accuracy under Forest Canopies. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 66(4): 403-407.

Naesset, E. 1999. Point accuracy of combined pseudorange and carrier phase differential GPS under forest canopy, Canadian Journal of Forest Research, 29(5):547-553.

Sigrist, P., Coppin, p, & Hermy, M. 1999. Impact of forest canopy on quality and accuracy of GPS measurements. International Journal of Remote Sensing, 20(18):3595-3610.

Sjöberg, L., Jonsson, B & Hedling, G. 1994. Presentation av DGPS via RDS. Teracom Svensk Rundradio AB, Luleå, Lantmäteriet, Gävle.

Tucek, T. & Ligos, J. 2002. Forest canopy influence on the precision of location with GPS Receivers. Journal of Forest Science, 48(9):399-407.

Sundberg, S. 1995. GPS-Teori och Praktik. TERACOM Svensk Rundradio AB, Luleå.

Wiklund, P. 2001. Slutrapport för projekt "Position Stockholm-Mälaren-1". En förstudie över möjligheterna med Nätverks-RTK för positionering med centimeternoggrannhet (detaljmätning). Gävle.

Internet

http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html)

http://www.lantmateriet.se/templates/LMV_Page.aspx?id=4860

<http://www.gpseducationresource.com/GeoExp.htm>

http://www.esa.int/esaCP/SEM86SMTWE_Sweden_0.html

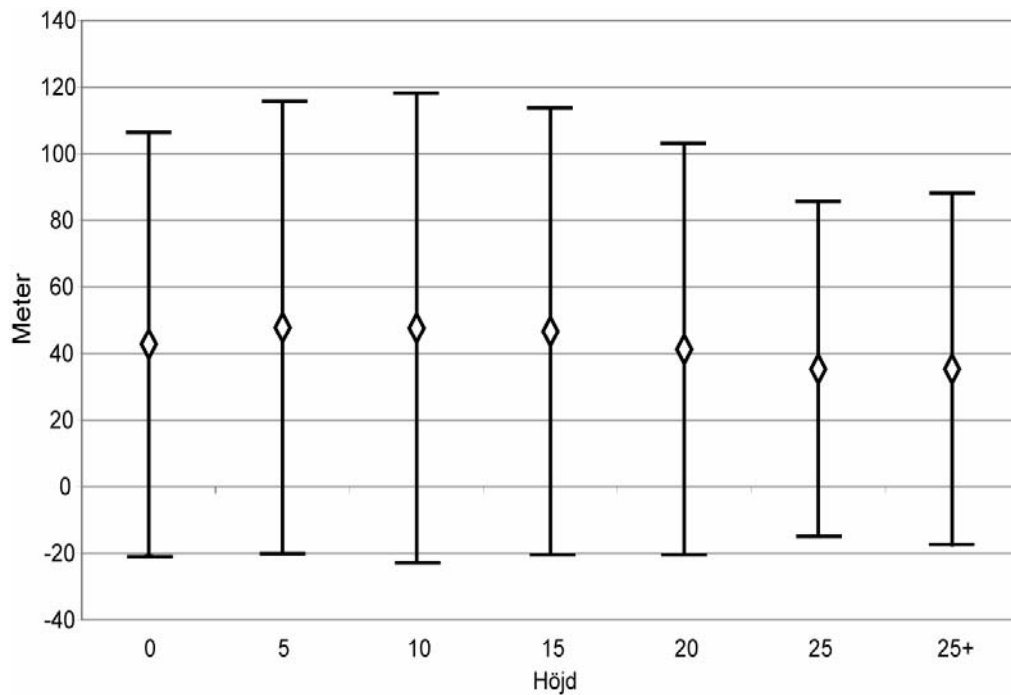
http://www.eu-upplysningen.se/templates/EUU/standardRightMenuTemplate____3155.aspx

<http://www.nyteknik.se/art/42476>

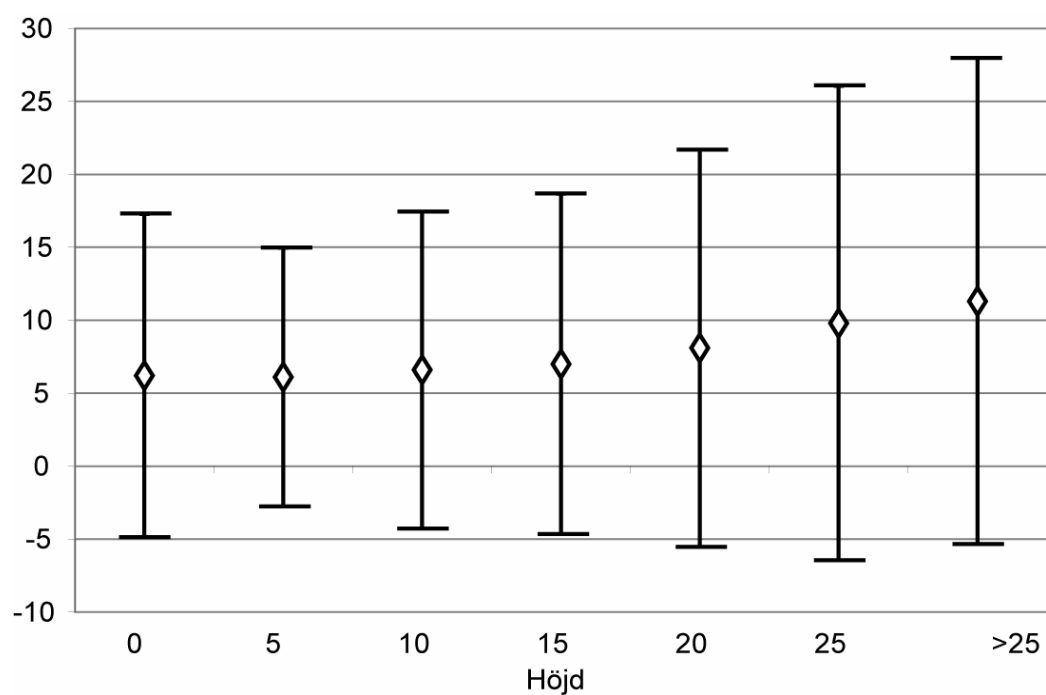
Bilaga 1

Skogliga variablers inverkan på noggrannheten vid navigering till riksskogstaxeringens provtytor.

Medelhöjd

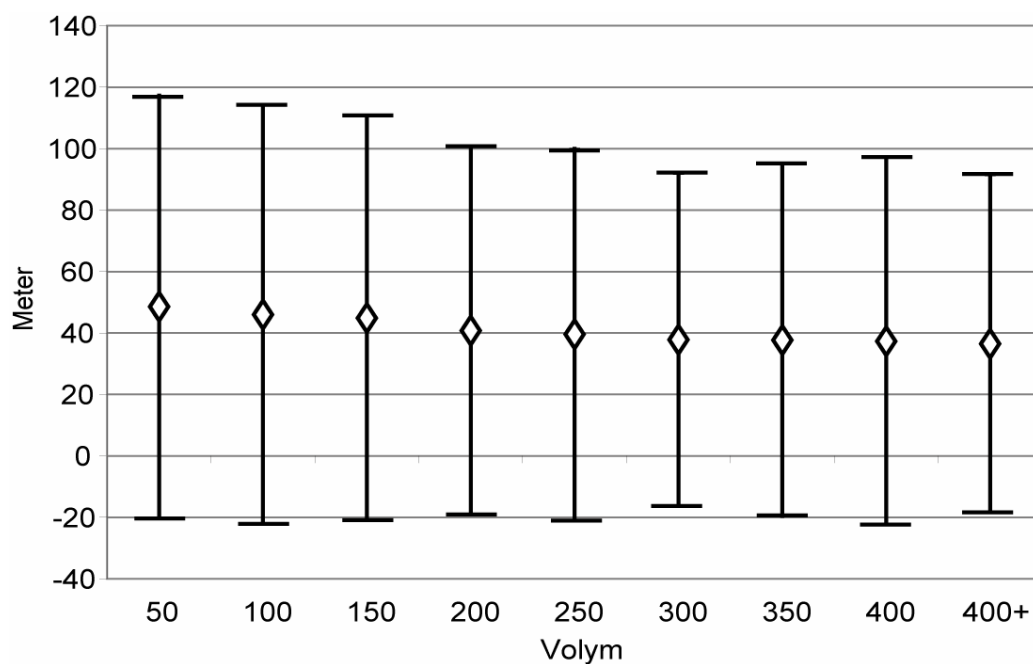


Figur B1.1 Medelhöjdens betydelse för noggrannheten med kompass och mätlina

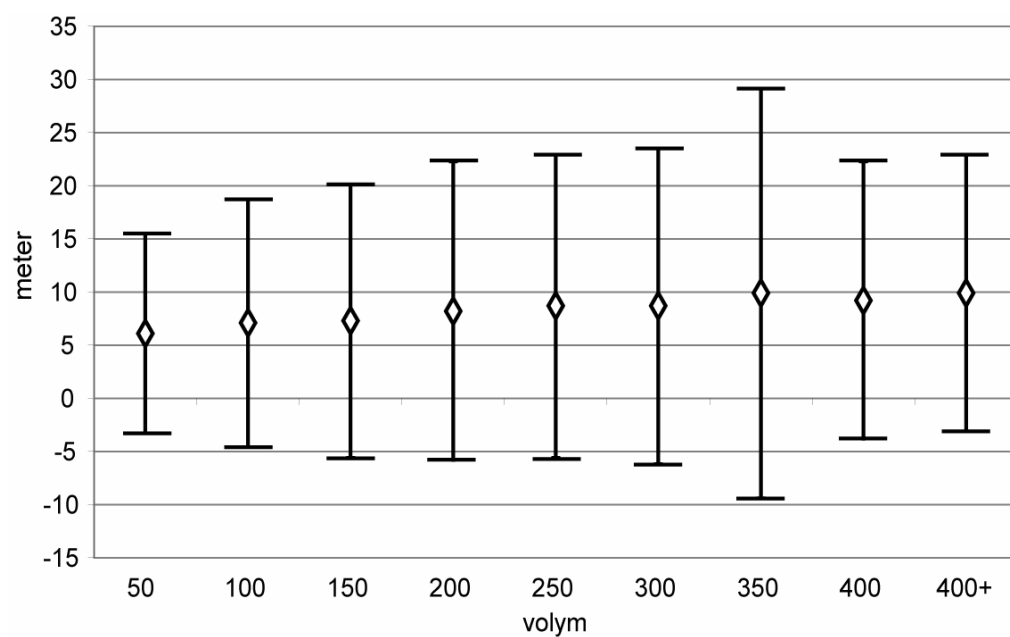


Figur B1.2 Medelhöjdens betydelse för noggrannheten med GPS-navigering.

Volym



Figur B1.3 Volymens betydelse för noggrannheten med kompass och mätlinja



Figur B1.4 Volymens betydelse för noggrannheten med GPS-navigering.

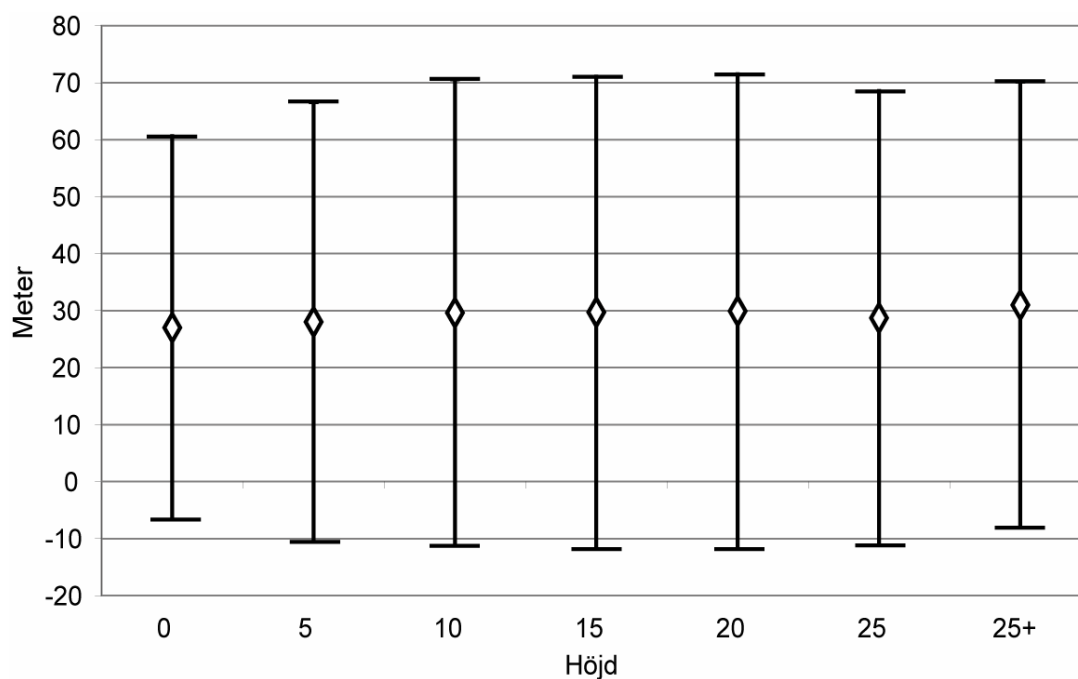
Bilaga 2

Noggrannheten uttryckt som provytornas läge före och efter korrektion.

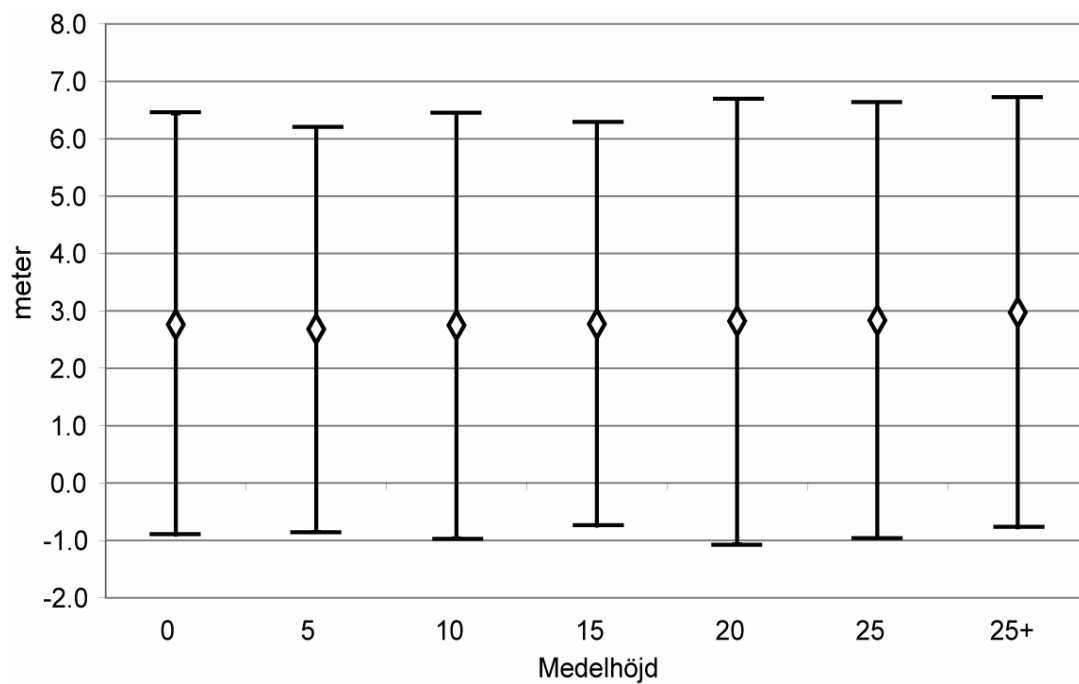
Skogliga variablers inverkan på noggrannheten före och efter SA

Noggrannheten minskade något med ökande beståndsmedelhöjd och volym oavsett om SA var påslagen eller inte. För grundytan fanns ingen tydlig tendens.

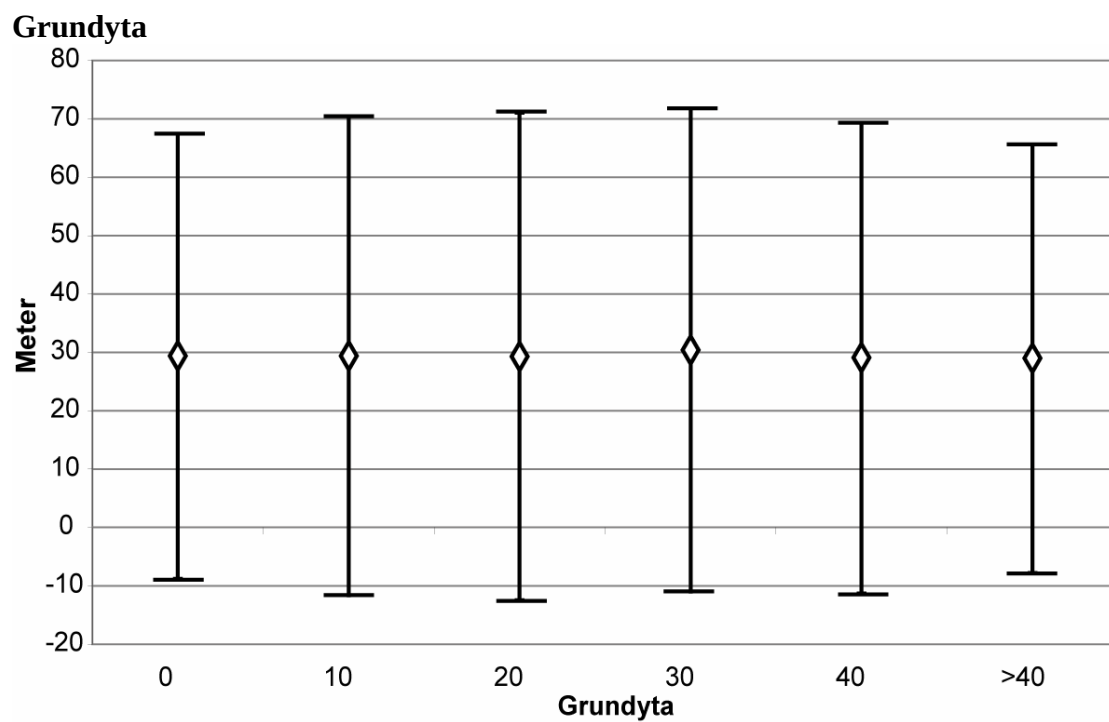
Beståndsmedelhöjd



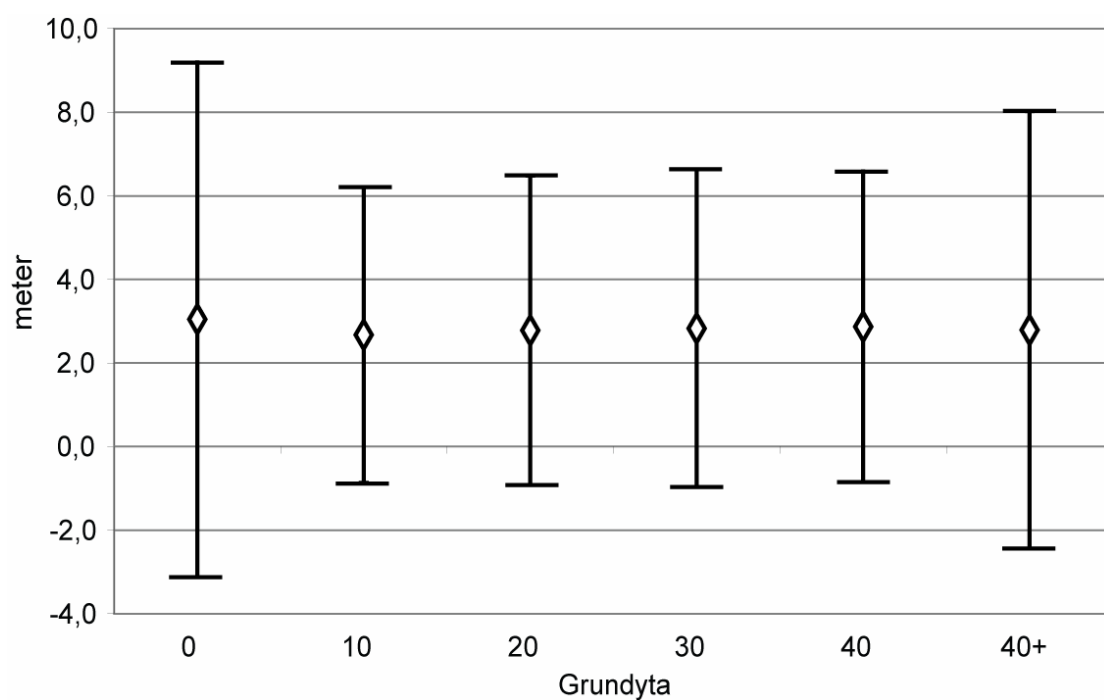
Figur B.2.1 Samband mellan beståndsmedelhöjd och noggrannhet, med SA .



Figur B.2.2 Samband mellan beståndsmedelhöjd och noggrannhet, utan SA.

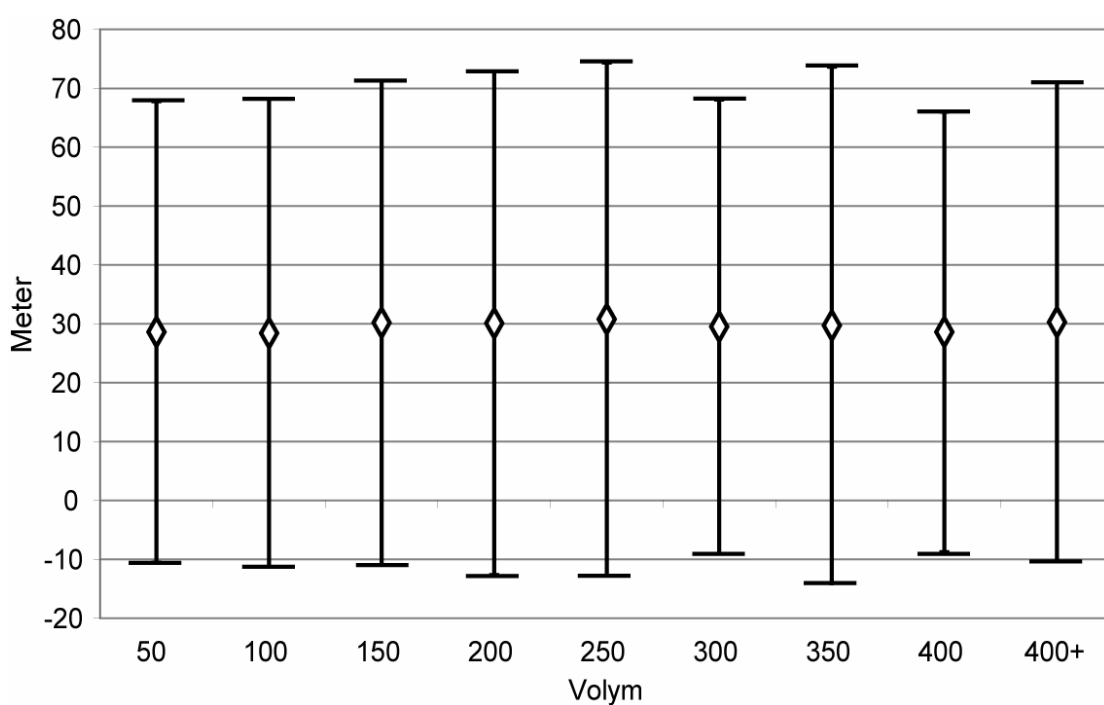


Figur B.2.3 Samband mellan grundyta och noggrannhet, med SA.

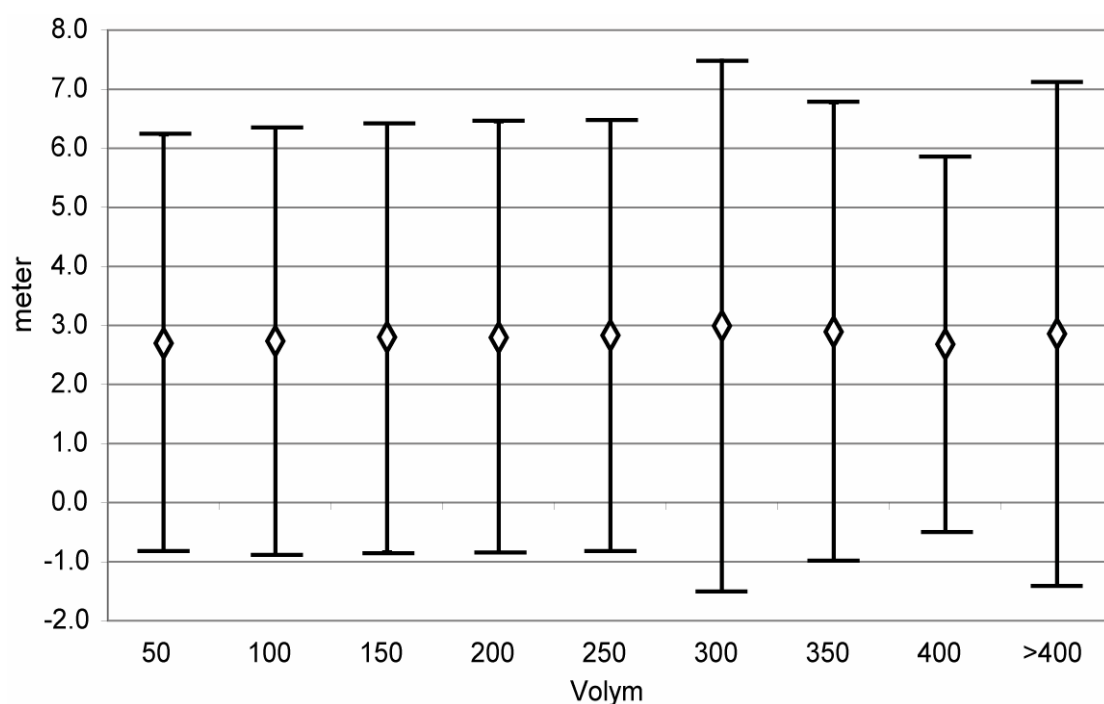


Figur B.2.4 Samband mellan grundyt/ha och noggrannhet, utan SA.

Volym



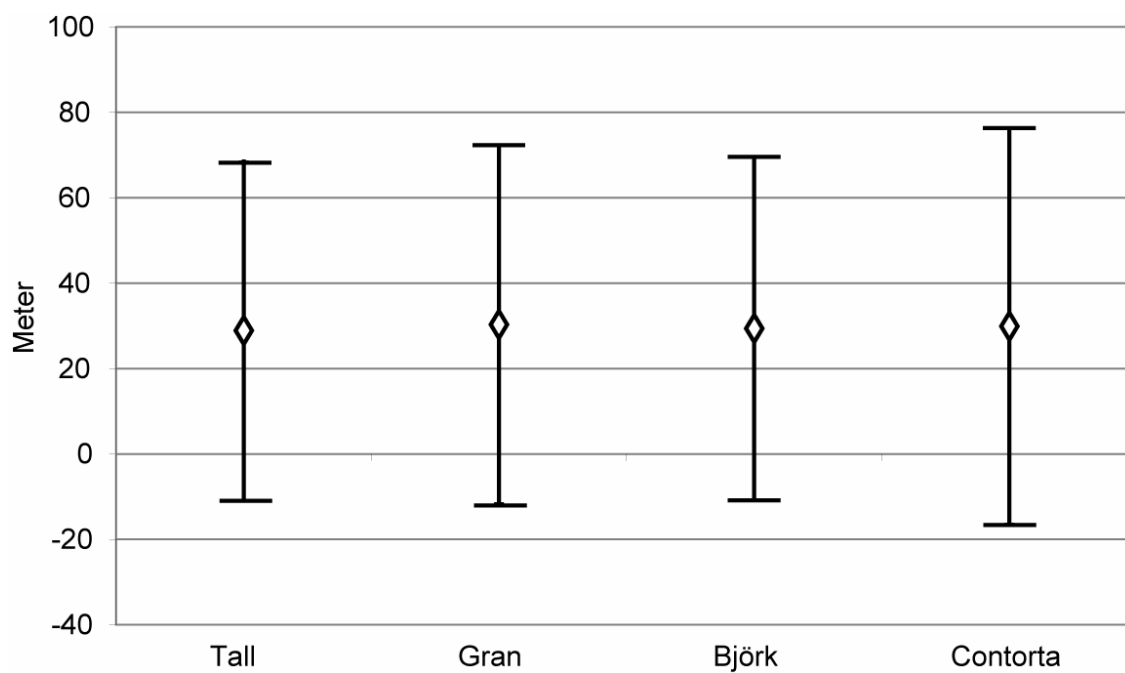
Figur B.2.5 Samband mellan volym och noggrannhet, med SA.



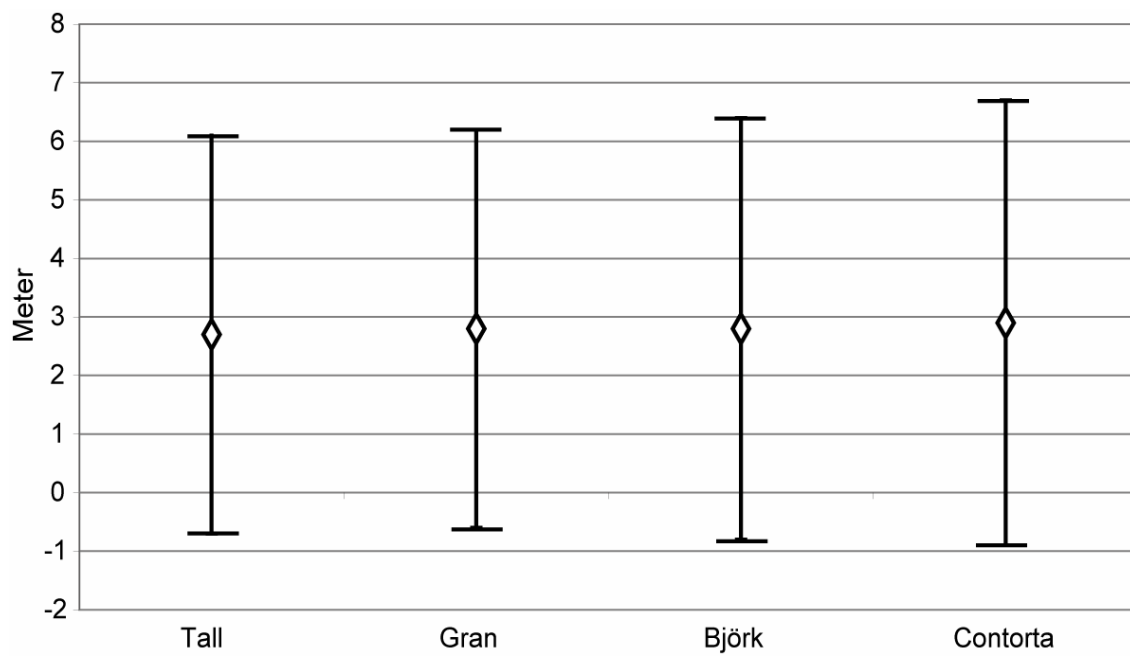
Figur B.2.6 Samband mellan noggrannhet och volym, utan SA.

Dominerande trädslags inverkan på noggrannheten

Med SA påslagen är avvikelsen störst för granskog, ca 1,5 m större än för tallskog. Utan SA är skillnaden störst i contorta.



Figur B.2.7 Dominerande trädslags betydelse med SA



Figur B.2.8 Dominerande trädslags betydelse utan SA