



Differentiell GPS-mätning av punkter i skog

Point-accuracy for differential GPS under a forest canopy

Tobias Jonsson

Arbetsrapport 67 2000

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET
Institutionen för skoglig resurshushållning
och geomatik
S-901 83 UMEÅ
Tfn: 090-16 58 25 Fax: 090-14 19 15, 77 81 16

ISSN 1401-1204
ISRN SLU-SRG-AR--67--SE



Differentiell GPS-mätning av punkter i skog

Point-accuracy for differential GPS under a forest canopy

Tobias Jonsson

Arbetsrapport 67 2000

Examensarbete i skoglig planering, inriktning fjärranalys

Handledare: Erik Næsset, NLH, Norge

Examinator: Håkan Olsson, SLU

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET
Institutionen för skoglig resurshushållning
och geomatik
S-901 83 UMEÅ
Tfn: 090-16 58 25 Fax: 090-14 19 15, 77 81 16

ISSN 1401-1204
ISRN SLU-SRG-AR--67--SE

FÖRORD

Detta arbete utfördes under sommaren och höstterminen 1999 som ett examensarbete inom ämnet skoglig planering av Tobias Jonsson, Jägmästarstuderande i kurs 95/00 vid Sveriges lantbruksuniversitet. Arbetet har utförts vid Institutt for skogfag (Norges landbrukshøgskole, Ås) med Erik Næsset (NLH) som handledare och Håkan Olsson (SLU) som examinator.

Härliga dagar till skogs har blandats med mindre sköna dagar framför data-skärmen, men arbetet med detta projekt har dock under alla dagar upplevts som lärorikt och intressant. Utan vissa outhärliga personer hade detta arbete aldrig kommit ända i mål, så mitt hjärtliga tack går därför till Erik Næsset för ett mycket gott handledarskap.

Fylkesskogmeister Per Aas Moen och Fylkesskogkontoret i Hordaland för visat intresse, stöd och inriktning av arbetet.

Skogscheferna Tormod Jacobsen och Nils Kålås för lokalkännedom vid val av försöksområden.

Svein Linga och Ronald Kvamme vid Bergen kommuns tekniska kontor samt lantmätare Hege Fjærestad för upprättandet av referens-koordinater.

Helge Nyseter, Petter Nåkkve Säterdal och Arve Leiknes vid Høgskolen i Bergen för GPS- och kartkunskaps-support.

Härje Bååth och Hampus Holmström vid institutionen för resurshushållning och geomatik, SLU, för stöd vid "slutputsningen" av rapporten.

ABSTRACT

Forestry in western Norway is in great need for more rational methods and tools for road- and forestry planning. GPS is a navigation system that is expected to be a useful tool in the future for these activities.

This study investigated what factors affect positional accuracy with post-processed differential GPS. The study also aimed to find what factors that could be used to predict the accuracy before and during measurements and to evaluate the accuracy after the post-processing. The analysis was aimed primarily at the X- and Y- coordinate components (northing-easting), but also to a limited degree at the Z-component (height above sea level). Forty-two control points with known coordinates were used as a basis for the analysis. These points represented different combinations of such key forestry measures as basal area, average height and stem density. Two other measures were also examined. These were called: 1) *obstruction factor* and 2) *obstruction factor south*. These factors expressed how much of the total view area that was shadowed by the nearest trees in eight (N-NW-W-SW-S-SE-E-NE) respective five sectors (W-SW-S-SE-E).

The GPS receiver used in the test was a relatively simple and low-cost (Magellan Pro Mark X-CP, SEK 30 000). The receiver had options for Pseudorange-, Carrierphase- and combination-solutions, so called sub-meter solutions. The receiver displayed *creditmarks* during all measurements, which are an indicator of the measurement accuracy.

The results showed that the point-accuracy was mainly depending on what kind of solution the receiver was able to calculate. The type of solution calculated depended on length of observation period, basal area, number of creditmarks and degree of view obstruction (according to the obstruction factor south). The strongest indicators of accuracy were the type of solution and the a priori standard deviation of the solution (calculated by the post-processing software).

The average absolute distance from the reference coordinate for the GPS-data was 2.5 meters in X/Y directions and 4.0 meters in Z direction. These values has ranges of 0-24 and 0-38 meters, respectively. The statistical analysis implied that the observation period and basal area where the best predictors for accuracy before the measurements had been made. During the measurements the best predictors were the number of creditmarks and the degree of view obstruction (obstruction factor south) together with length of observation period and basal area. At the office, when the post-processing had been done, the a priori standard deviation, type of solution, basal area and PDOP were found to be the strongest indicators for accuracy

The study showed that GPS-accuracy is affected by many factors, and that there are no guaranteed methods to estimate the accuracy. Planning with consideration to satellite-configuration and PDOP, a long observation period (>10-15min), avoiding areas with high levels of basal area and view obstruction (obstruction factor south) and always doing measurements with at least 500 creditmarks are ways to improve the accuracy.

SAMMANFATTNING

Skogsbruket på det norska Västlandet har behov av nya och mer rationella metoder och hjälpmedel för bland annat vägbyggnad och planläggning. GPS är ett satellitbaserat navigationssystem som förväntas ha goda förutsättningar för att underlätta dessa verksamheter. Då GPS-signalerna påverkas av hindrande topografi och vegetation är förhållandena på Västlandet, med stor höjdvariation och tät skog, mycket svåra. Följdaktligen är det angeläget att få en uppfattning om vilka faktorer som påverkar resultatet, hur tillförlitlig en beräknad GPS-koordinat kan förväntas vara, samt vilka möjligheter som finns för att bedöma denna tillförlitlighet.

I denna studie undersöktes vilka möjligheter som finns för att (1) på förhand, (2) i fält och (3) i efterhand kunna bedöma tillförlitligheten till en beräknad GPS-koordinat. Undersökningen omfattade även att undersöka vilka faktorer som påverkar noggrannheten vid positionsbestämmande av punkter i skog med differentiell GPS. Analysen utfördes huvudsakligen av koordinaterna i markplan, men även höjdkomponenten undersöktes. Försöket baserades på 42 försökspunkter med kända koordinater. Dessa försökspunkter representerade olika kombinationer av skogliga faktorer med avseende på grundyta, medelhöjd, stamantal och de egenkonstruerade variablerna "hinderfaktor" och "hinderfaktor-syd". Dessa hinderfaktorer uttryckte hur stor del av synfältet som skymms av de närmaste träden i åtta respektive fem riktningar, där "hinderfaktor" avser hela synfältet medan "hinderfaktor-syd" avser den sydvända delen av synfältet.

GPS-utrustningen i testet var en relativt billig (ca 30 000 kr) och enkel handhållen GPS-mottagare av typen Magellan Pro MarkX-CM. Denna mottagare är en en-frekvent, tio-kanals kod- och bärvåg-mottagare med processeringsoption för kombinationslösningar av kod- och bärvåg-lösningar. Utrustningen ger under tiden för mätningen via displayen sk. creditmarks som är en indikator på hur tillförlitlig en beräknad koordinat kan förväntas vara. GPS-koordinater beräknades i varje försökspunkt för 2-, 5-, 10- och 20-minuters observationsperioder.

Resultatet av undersökningen visade att GPS-koordinaternas noggrannhet främst påverkades av vilken typ av lösning (kod- eller kombinations-lösning) som uppnåts, vilket i sin tur påverkades av observationstid, grundyta, antal "creditmarks" och andelen skymd sikt enligt "Hinderfaktor-syd"-definitionen. De starkaste indikatorerna på en lösnings tillförlitlighet var lösningstypen samt a priori standardavvikelsen för lösningen. A priori standardavvikelsen är den standardavvikelse programmet (Magellan Mstar) beräknar vid efterkorrigeringen. Den genomsnittliga avvikelsen från referenskoordinat var över alla observationer i markplan 2.5 m och i höjd 4 m. Spännvidden för den absoluta avvikelsen var i markplan 0.0-24.3 m och i höjd 0.0-38.6 m. Alla observationer med mer än 643 creditmarks hade en avvikelse från referens mindre än 5 m och den tydligaste gränsen för en koordinats tillförlitlighet gick vid ca 500 creditmarks då avvikelsen sjönk från 3.5 m till ca. 1 m. De statistiska analyserna i detta arbete visar att observationstid och grundyta hade störst påverkan på förhandsbedömningen av tillförlitligheten. I fält var "hinderfaktor-syd", antal creditmarks, observationstid och grundyta de variabler som gav starkast indikation på hur tillförlitlig en GPS-mätning kan förväntas vara. I den slutgiltiga modellen för slutbedömning av beräknade koordinaters tillförlitlighet inkluderades lösningstypen, standardavvikelse (GPS-koordinatens a priori standardavvikelse, beräknad av programmet vid efterprocesseringen), grundyta och PDOP. Förklaringsgraden (R^2) för denna fulla modell var 0.55. Lösningstypen och a priori standardavvikelsen var de enskilda variabler som var de i särklass starkaste indikatorerna på en GPS-koordinats tillförlitlighet.

Studien visar att noggrannheten vid GPS-mätningar i skog påverkas av många faktorer och att det inte finns några helt säkra metoder att bedöma tillförlitligheten. Tidsplanering utifrån

satellitkonstellation, förlängning av observationsperioden, att undvika mätningar i punkter med hög grundyta och stor "hinderfaktor-syd", samt att alltid utföra mätningar till dess minst 500 creditmarks erhållits är dock åtgärder som kan höja tillförlitligheten väsentligt. Dessutom kan man i efterhand då koordinaterna processerats se på lösningstypen och standardavvikelsen (a priori) för att göra en slutgiltig bedömning av noggrannheten. Avslutningsvis konstateras att med kunskap om de påverkande faktorerna samt praktisk erfarenhet av arbete med GPS kan detta system bli ett värdefullt hjälpmedel i den skogliga planeringen.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

INLEDNING	2
VÄGBYGGNADSBEHOVET.....	2
GLOBAL POSITIONING SYSTEM	2
GPS I SKOGLIG PLANERING.....	4
PÅVERKANDE FAKTORER VID GPS-MÄTNING.....	5
SYFTE	6
MATERIAL OCH METOD	7
FÖRSÖKSOMRÅDEN	7
FÖRSÖKSPUNKTER.....	7
GPS-DATA	8
SKOGLIGA DATA.....	10
ANALYS AV INSAMLAT DATA	15
MODELLVAL	15
<i>På förhand</i>	15
<i>I fält</i>	16
<i>I efterhand</i>	16
RESULTAT	17
KORRELATIONSANALYS.....	17
MODELLER.....	17
<i>På förhand</i>	17
<i>I fält</i>	17
<i>I efterhand</i>	17
REGRESSION AV ENSKILDA VARIABLER	18
ANALYS AV ENSKILDA VARIABLER.....	19
<i>Lösningstyp</i>	19
<i>Grundyta</i>	20
<i>Observationstid</i>	21
<i>Creditmarks</i>	22
<i>Standardavvikelse i XY och Z</i>	23
<i>Hinderfaktor-syd</i>	25
<i>PDOP</i>	26
DISKUSSION	27
ISOLERING OCH KONTROLL AV PÅVERKANDE FAKTORER	27
VAL AV AVGRÄNSNINGAR.....	28
BEDÖMNING AV EN LÖSNINGS TILLFÖRLITLIGHET	29
<i>På förhand</i>	29
<i>I fält</i>	30
<i>I efterhand</i>	31
SLUTSATS	31
REFERENSER	33
BILAGOR	34

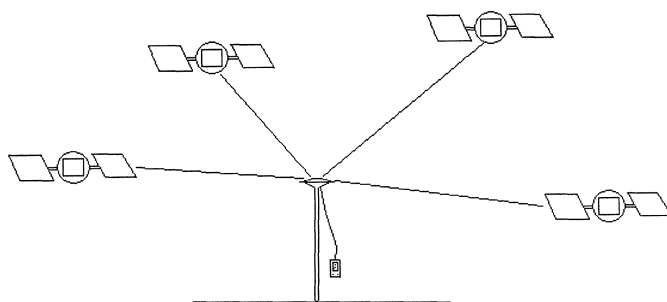
INLEDNING

Vägbyggnadsbehovet

Skogsbruket på det norska Västlandet står inför en stor utmaning då det gäller utbyggnad av vägnätet för virkestransporter. Snabb virkestillväxt kombinerat med låg avverkningsnivå har lett till att det finns stora virkesvärden att hämta i skogen, men en förutsättning för lönsam avverkning är att det finns vägar att transportera maskiner, utrustning och virke på. Kustområdena på Västlandet hör till områdena med lägst vägtäthet i hela Norge, i vissa regioner har bilvägstätheten ännu inte nått upp till 10 meter per hektar. Detta resulterar i långa terrängtransport-avstånd med försämrade ekonomi och stora markskador som följd. Då terrängen på Västlandet är bland den mest extrema som finns i Norge blir utmaningen för skogsbrukaren ännu större. Tätt skog i kombination med mycket brant och svårframkomlig terräng försvårar planeringsarbetet betydligt. Orientering försvåras och handritade kartskisser blir ofta utförda med låg noggrannhet. Ett alternativ till de traditionella metoderna vid planeringsarbete och bestämning av positioner kan vara GPS.

Global Positioning System

GPS (Global Positioning System) är ett satellitbaserat positionerings- och navigerings-system ägt och opererat av USA:s försvar. Systemet består av tre enheter: markstationer, satelliter och mottagare. Markstationernas uppgift är att förhandsbestämma och övervaka satellitbanorna och atomuren ombord på dessa samt att uppdatera satelliternas navigationsdata. Satellitdelen av systemet består som mest av 27 satelliter i bestämda omloppsbanor runt jorden. Antalet användbara satelliter varierar något över tiden då vissa satelliter ibland är ute ur sin omlopps bana (se <ftp://tycho.usno.navy.mil/pub/gps> för antal per dato). Satelliternas banhöjd är ca 20200 km över jordytan. Satelliterna sänder ständigt ut signaler mot jorden som anger dess position mm. Mottagaren tar emot dessa signaler och använder dem till att beräkna avståndet till satelliterna och därav bestämma sin egen position. Tiden det tar för satellitsignalen att nå mottagaren på marken mäts och avståndet beräknas genom att tiden multipliceras med ljushastigheten. För att kunna mäta tidsåtgången för signalen är det nödvändigt att ha en uppfattning om hur stort fel satelliternas atomur och klockan i GPS-mottagaren har. I satelliternas atom-ur uppstår alltså ibland fel, men dessa fel är kontrollerade och ges uppgift om via signalen från varje satellit. En större felkälla är mottagarens klocka. Detta fel är dock lika i förhållande till alla satelliter, vilket medför att om mottagaren har samtidig kontakt med fyra satelliter eller fler kan mottagaren beräkna sitt eget klockfel. Om det ej funnits något klockfel hade det varit tillräckligt med tre satelliter för att kunna beräkna en tredimensionell position på jorden, men för att även kunna beräkna klockfelet blir alltså fyra satelliter minsta kravet på antal (figur 1).



Figur 1. En GPS-mottagare mäter avståndet till minst fyra satelliter och beräknar utifrån detta sin position på jorden.

Noggrannheten av en GPS-mätning påverkas av en mängd faktorer, däribland satellitkonstellationen. En större vinkel från GPS-antennen och mellan de använda satelliterna medför bättre förutsättningar för att kunna beräkna en position med hög noggrannhet. För att kunna sätta ett värde på hur goda förutsättningarna är med avseende på satellitkonstellation har begreppet DOP uppfunnits. DOP som är en förkortning av det engelska "Dilution Of Precision" är ett värde framräknat utifrån storleken på den tänkta luftvolym som ligger inom sträckorna från GPS-antennen och mellan de använda satelliterna. Utifrån detta DOP-värde har bland annat PDOP-värdet definierats. "PDOP" är ett värde som är omvänt proportionellt mot volymen mellan satelliterna, det vill säga ett lågt PDOP-värde innebär en utspridd satellitkonstellation och goda förutsättningar för en beräknad position med hög noggrannhet.

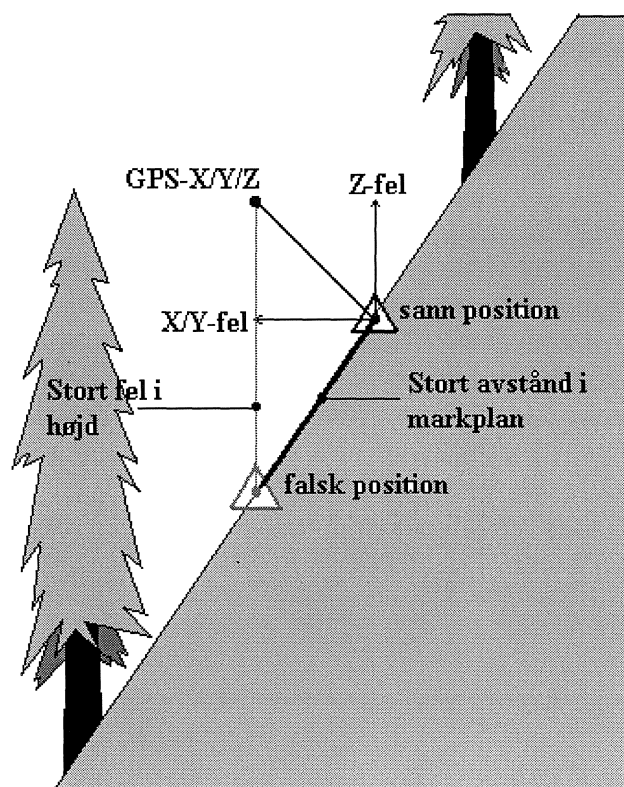
Förutom yttre betingelser som exempelvis satellitkonstellation är det avgörande för resultatet vilken förmåga en mottagare har att tolka informationen i satellitsignalerna. Med avseende på detta kan man skilja mellan två grupper av utrustningar; kod- och kod/bärvåg-mottagare. En kodmottagare beräknar avståndet utifrån kod-korreleringen i antalet hela kodsekvenser mellan mottagare och satellit medan de mer sofistikerade och oftast betydligt dyrare kod/bärvåg-mottagarna har möjligheten att med hjälp av signalens bärvåg bestämma var i kodsekvensen signalen befinner sig. Dessa kod/bärvåg-mottagare är den typ av utrustning som lantmätare använder för mätningar med krav intill millimeterprecision. Till skillnad från kodmätarna som endast kräver några få sekunders kontakt med satelliterna kräver ett bärvågmätningresultat en förhållandevis lång tids oavbruten kontakt med satelliterna, något som försvåras i tät skog. Det har utvecklats mottagare som trots för kort tid för en fullständig bärvåglösning kan utnyttja "bärvågmätning-försöket" till att förbättra kodlösningen.

En bärvågmottagare i sig själv är dock ej tillräckligt för att erhålla ett resultat med hög noggrannhet. För att skydda sina egna intressen har USA:s försvar lagt in en kodad störning på satellitsignalerna. Denna störning kan endast USA:s försvar filtrera bort vilket medför att noggrannheten vid civilt bruk ligger runt 100 meter i markplan. För eliminera denna störning kan civila brukare använda sig av differentiell GPS (DGPS). Vid DGPS används två GPS-utrustningar, den ena placerad som bas i en känd punkt för registrerande av korrigeringsdata och den andra som datafångare (rover) i den punkt som skall positionsbestämmas. Basutrustningen registrerar avvikelsen från den kända positionen under tidsperioden för datafångsten. Denna information används antingen direkt via radioöverföring (realtidskorrigering) eller i program för efterbearbetning för att korrigera roverobservationerna. Vid DGPS elimineras de felkällor som är gemensamma för de två mottagarna (till exempel signalstörningen). Vid stort avstånd mellan rover och bas kan dock andra felkällor som till exempel atmosfäriska störningar försämra resultatet.

I dag används GPS bland annat av sjöfarten vid det norska Västlandets kust. Elektroniska sjökort tillsammans med GPS gör bland annat så att Hurtigruten kan navigera helt på egen hand hela vägen från Bergen till Ålesund med mindre än en meters felmarginal. Även på land har GPS-systemet många användningsområden. Lantmätare kan på öppna ytor mäta in egendomsgränser med millimeter-noggrannhet och friluftsidkare kan med enkla GPS-mottagare utan korrigering orientera i fjällen med ca 100 meters noggrannhet. Detta system tros ha goda möjligheter för att rationalisera och förbättra planeringsarbetet även inom skogsbruket.

GPS i skoglig planering

De förväntade fördelarna vid bruk av GPS vid skogligt planeringsarbete är många. I Sverige använder flera skogsbolag sig av GPS-utrustning vid planerings- och avverkningsarbete. Beståndsgränser, planerade och nybyggda vägar, hyggen och hänsynsområden ritas med hjälp av GPS-observationer in på digitala kartor. Dessa kartor används senare t ex tillsammans med GPS-utrustning monterade i avverkningsmaskiner för att se var på kartan man är och var hänsynsområden med mera finns. Beräknade positioner lämpar sig mycket väl till att läsas in på digitala kartor i de så kallade Geografiska Informations System (GIS) som börjar bli allt mer vanliga inom skoglig planering i Norge. I ett GIS kopplas den digitala kartan till beståndsregister, vägdata-baser och dylik information för bland annat urvals- och analys-operationer. De tänkta användningsområdena för GPS-utrustning avser i regel var i markplanet en punkt befinner sig, det vill säga för punktens X- och Y-koordinater. Vid vissa användningsområden t ex linbanedrifter kan även Z-komponenten, dvs höjden i en viss punkt vara av intresse, detta för att kunna undvika att virke släpas efter marken i vissa kritiska höjdlägen efter bansträckningen. Dessa linbanedrifter utförs alltid i mycket brant terräng där kraven på precision och noggrannhet hos en GPS-lösning är större än i andra sammanhang. Detta beror på att en liten avvikelse i XY-led tillsammans med en avvikelse i höjd kan i kombination med brant lutning medföra att resultatet hamnar långt ifrån det sanna läget (figur 2). Felaktigheterna i markplan och höjd ger i kombination med lutningen upphov till en "falsk position" där felet i höjd och i markplan blir stort i förhållande till GPS-lösningen. För att komma ifrån detta problem kan ett alternativ vara att utföra avståndsmätningarna mellan de kritiska punkterna längs sluttningen med måttband, medan höjden i dessa lägen mäts med GPS. Denna metod gör det även mycket lättare att i en undersökning analysera och värdera felet hos en GPS-lösning då det är mycket svårt att analysera ett fel vars inverkan beror inte enbart på dess storlek utan även av dess riktning (ett fel ut från sluttningen ger större inverkan än ett fel längs med).



Figur 2. Små fel i X/Y/Z-led ger i branta sluttningar stora avvikelser från det sanna läget.

Förutom denna ”lutningsproblematik” är ett problem med GPS-bruk på Västlandet att den sanntidskorrigerig för DGPS som kan sändas ut via radio endast går att använda på några få begränsade områden, detta på grund av radioskugga från omgivande berg. Bruk av differentiell GPS på Västlandet begränsas därför med nuvarande teknologi nästan uteslutande till observationer med krav på efterkorrigerig. De befarade nackdelarna vid bruk av GPS är bland annat dyr utrustning, krav på personalutbildning och i vissa fall lång tidsåtgång för att koordinatbestämna en plats med gott resultat. Då det ute i terrängen aldrig finns någon referens att jämföra resultatet med finns det på förhand, under mätningarna i fält och i efterhand en osäkerhet över tillförlitligheten till resultatet. Frånvaron av säkra indikatorer på en lösnings tillförlitlighet är därför en ytterligare nackdel med GPS.

Påverkande faktorer vid GPS-mätning

Möjligheterna att erhålla väl koordinatsbestämda punkter i terrängen beror enligt tidigare undersökningar (Deckert och Bolstad 1996, Hellström och Johansson 1993, Næsset 1999) på främst följande faktorer: topografin (möjlig öppningsvinkel mot satelliterna), antalet tillgängliga satelliter och deras inbördes konstellation (PDOP) vid en viss tidpunkt, baslinjen (avståndet mellan bas och rover, vid DGPS), observationsperiodens längd, påverkan från omgivande vegetation och mottagarens kvalitet vilken oftast är proportionell mot dess pris.

Då länderna i vår nordliga del av världen är mindre intressanta för USA:s försvarsmakt har satelliterna banor som ger de bästa konfigurationerna på sydligare breddgrader i jämnhöjd med till exempel Irak. Detta innebär för användare i norr att de flesta satelliterna under dagen återfinns i sydlig riktning och att det mycket sällan finns satelliter rakt i norr. Vid GPS-mätningar längs en brant nordriktad sluttning kan det i den nedre delen vara så att nästan samtliga satelliter är skymda av berg. Då topografins, baslinjens och satellit-konfigurationens påverkan på resultatet går att uppskatta före ett GPS-arbetspass genom de planeringsverktyg som medföljer utrustningen, är de minst kända faktorerna i sammanhanget observationstidens och vegetationens påverkan på resultatet. Topografin på Västlandet domineras av höga fjäll och djupa dalar vilket tillsammans med de på vissa ställen extrema virkesförråden ger begränsade förutsättningar för GPS-positionering. För att kunna bedöma möjligheterna för bruk av GPS på Västlandet är det av yttersta vikt att få en uppfattning om vilken noggrannhet givet en viss observationstid som är att förvänta under olika förhållanden. Detta arbete har därför inriktats på att undersöka och analysera de påverkande faktorerna.

SYFTE

Syftet med denna studie är att undersöka på vilka möjligheter som finns för att (1) på förhand, (2) i fält under datainsamling och (3) i efterhand under processeringsarbetet kunna bedöma tillförlitligheten och noggrannheten av en GPS-position. Ytterligare ett syfte är även att undersöka vilka faktorer som påverkar noggrannheten vid positionsbestämmande av punkter i skog med DGPS. Faktorer som ska undersökas är främst de skogliga förhållandena med avseende på grundyta, medelhöjd, stamtäthet och hur stor del av det totala och den sydvända hälften av synfältet som är skymd av de närmaste träden, men även observationstid och beräkningssätt är av intresse. Noggrannheten kommer att undersökas huvudsakligen i markplan men även till viss del i höjd. GPS-mottagaren i testen är vald från en prisklass relevant för skogsbruket.

MATERIAL OCH METOD

Försöksområden

Tre försöksområden valdes ut för undersökningen, område 1 i anslutning till Stend jordbruksskole i Bergen kommun (UTM-Zon32; X=6687000, Y=296000), område 2 vid Våge i Lindås kommun (UTM-Zon32; X=6737000, Y=293000) och område 3 utanför Manger i Radøy kommun (UTM-Zon32; X=6731000, Y=281000). Skogen på område 2 och 3 bestod av planterad sitka-gran (*Abies sitchensis*) och på område 1 av planterad norsk rödgran (*Picea abies*). Försöksområdena var så plana att horisontvinkeln från försökspunkterna i ingen punkt översteg den i testet använda maskvinkeln 15 grader.

Försökspunkter

På varje försöksområde valdes så enhetliga och jämna bestånd som möjligt ut. 42 punkter placerades slumpvis ut inom valda områden med en strävan efter att inte placera någon punkt närmare beståndsgräns än ett avstånd motsvarande beståndets medelhöjd. Vid utplaceringen av punkterna eftersträvades att få dem att representera olika täthet, medelhöjd mm. Från beståndskant siktröjdes stråk från skymmande grenar in till försökspunkterna i beståndet. Detta för att i nästa steg kunna sikta in i beståndet med en totalstation och koordinatbestämma punkterna. Varje försökspunkt markerades med en tre decimeter lång gul-målad träpinne nerlagen i marken med ca en decimeter synlig. Försökspunktens ID-nummer noterades på pinnen och på en översiktskarta över försöksområdet. Försökspunktens ID-nummer angavs med två eller tre siffror varav den första siffran var försöksområdets ID (1, 2 eller 3) och de efterföljande löpnummer på försöksområdet (t.ex ID-nummer 113 är punkt nr 13 på område 1). Därefter koordinatbestämde försökspunkterna.

Första steget vid upprättande av referens-koordinater för försökspunkterna var att tillse att det i anslutning till varje försöksområde fanns minst två väldokumenterade kända punkter. Dessa punkter användes som utgångspunkter för att med totalstation och prismor koordinatbestämma försökspunkterna inne i bestånden. De erforderliga antalet utgångspunkter upprättades på öppna ytor inom försöksområdena i samarbete med en lantmätare från Bergens kommun via DGPS med två stycken Ashtec Dimension 12-kanals en-frekvent kod/bärvåg-mottagare. Detta utfördes på försöksområde 2 och 3. Noggrannheten av dessa punkter var enligt beräkningsdokumentationen ca en centimeter. Denna dokumentation är enligt lantmätarens tidigare erfarenheter mycket väl överensstämmande med verkligheten. Område 1 vid Stend jordbruksskole har under många år varit försöksområde för lantmäteri-utbildningen vid Höghskolen i Bergen och var därför välförsett med väldokumenterade polygonpunkter användbara för undersökningen.

För att som nästa steg upprätta referens-koordinater för försökspunkterna i skogen ställdes en Sokkia Set BII elektronisk totalstation i en av de två kända punkterna (figur 3). Därefter siktades kikaren mot prismor placerade i den andra kända punkten och i försökspunkterna inne i skogen.

De nödvändiga vinklarna och avstånden från de kända punkterna noterades och användes senare i programmet Vesla-Geonor/Land (Anon 1996) för beräkning av koordinater för punkterna inne i skog. Denna del av arbetet utfördes till en början av en utbildad lantmätare för att efter en tids samarbete avklaras på egen hand.

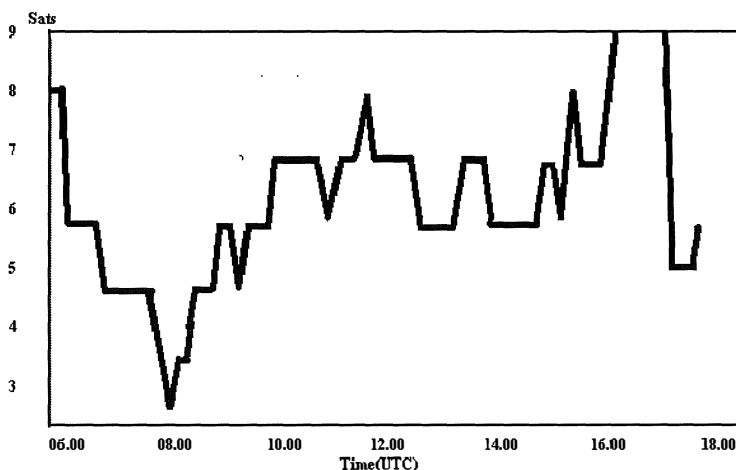
För att kontrollera att arbetet på egen hand gav tillräcklig noggrannhet mättes ett antal punkter inmätta av lantmätaren in en andra gång för att kunna jämföra resultatet från lantmätarens mätningar och resultatet från mätningarna utförda på egen hand. Det visade sig att avvikelser mellan de två mätningarna i ingen punkt översteg 3 cm i X-, Y- eller Z-led, vilket bedömdes som fullt godtagbart för ändamålet (bilaga 1). De uppmätta koordinaterna transformerades i programmet Vesla/Geonor/Trans v. 1.1 från NGO48 Aktse 1 till Euref 89, detta för att underlätta jämförelser mellan referens- och GPS-koordinater. I denna transformation kan teoretiskt fel uppstå, men enligt manualen till programmet Vesla/Geonor/Trans v 1.1 (Anon. 1998) är felet mycket sällan mer än 1-2 dm. Sammantaget med standardavvikelse runt centimetern för utgångspunkterna, standardavvikelse på 2-3 cm för totalstations-delen och 1-2 decimeters standardavvikelse för transformationen bör referenspunkterna ha koordinater inom ca 2 dm från det "sanna" värdet. De framräknade referenskoordinaterna lagrades därefter i en Excel-arbetsbok (bilaga 2).

GPS-data

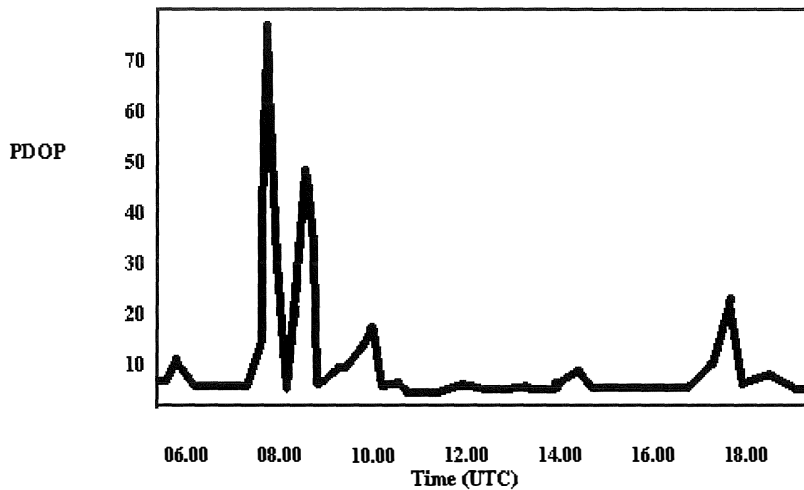
I testen undersöktes mottagaren Magellan Pro Mark X-CM (figur 4). Två utrustningar användes, den ena som bas och den andra som rover. Denna utrustning är en enfrekvent, 10-kanals kod- och bärvågmatör.

Utrustningen har möjligheter för tre typer av lösningar; kod-, bärvåg- och kombinationslösningar (Ps=Pseudorange-kod, Cm=Centimeter-bärvåg och Sb=Submeter-kombination). Speciellt för denna utrustning är att den under observationstiden fortlöpande visar så kallade creditmarks på displayen. Dessa creditmarks är en indikator på hur god den beräknade lösningen kan väntas vara och de beräknas bland annat utifrån vilket modus mätningarna utförs (Ps-, Sb- eller Cm-mode), PDOP vid tidpunkten för mätningen och observationsperiodens längd.

Datainsamlingen utfördes under perioden 2:a till 14:e augusti 1999. Väderförhållandena vid insamlandet av GPS-observationerna var goda med solsken och få eller inga synliga moln. Före varje arbetsdag laddades en ny datum-fil ner på GPS-enheterna. Varje dag planlades med hjälp av planeringsverktyget "MStar/Sessionplanning" som finns i programmet Magellan Mstar v. 2.06 (Anon 1997). Vid planläggandet av en arbetsdag efterstävades att undvika de kraftigaste nedgångarna i antalet satelliter (figur 5) och de högsta pikarna med avseende på PDOP (figur 6). Detta innebar i praktiken att ej utföra mätningar före klockan 09.00 eller efter klockan 16.00, samt under vissa dagar ha en timmes uppehåll mitt på dagen. PDOP på rover-enheten hade ett medel på 2.49 och en spännvidd från 1.33 till 5.70.

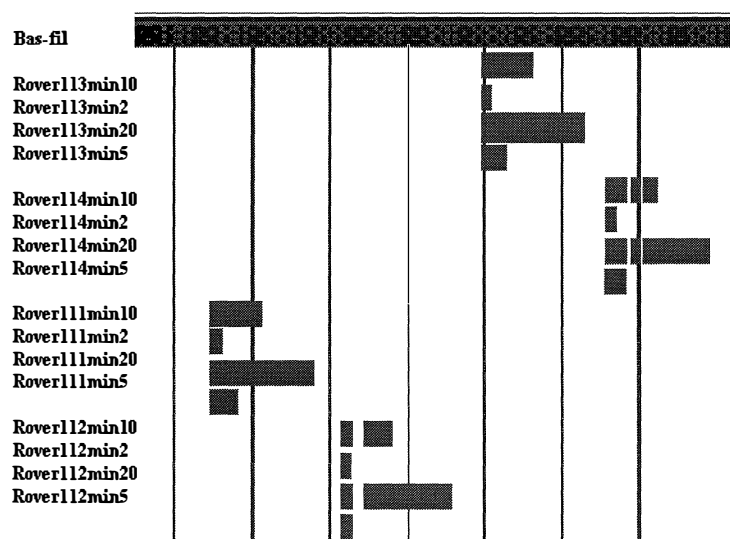


Figur 5. Planlägningsprogrammet visar antalet tillgängliga satelliter över försöksområdet under dagen.



Figur 6. Planeringsprogrammet visar PDOP under dagen.

Efter att ha planerat dagens mätningstidpunkter placerades den ena utrustningen som basstation i en känd punkt på en öppen yta i anslutning till det för dagen utsedda försöksområdet. Basstationen var vid samtliga GPS-sessioner inom 500 meter från det undersökta punkterna (baslinje < 500 m). Efter att ha noterat basfilens ID, starttid, punkt-ID och antennhöjd placerades rover-utrustningen i en försökspunkt inne i skogen. GPS-antennen placerades på en teleskopstav fäst vid ett tre-fots-stativ. Med hjälp av ett inbyggt vattenpass orienterades teleskopstaven lodrätt över försökspunkten. Antennhöjden varierade från brösthöjd till manshöjd ($\approx 1.4 - 1.8$ m). Både på bas- och rover-utrustningen användes 3D-mode (XYZ) och standardinställningar förutom i maskningsvinkel och loggningsintervall där en maskningsvinkel på 15 grader och ett intervall på 2 sekunder användes (tabell 1). Efter att ha startat roverfilen noterades punkt-ID och antennhöjd på fältblanketten (bilaga 5). Därefter noterades de "Sb-creditmarks" (creditmarks for Submeter-solution) som visades på displayen efter 2, 5, 10 och 20 min. Efter 20 min. avbröts mätningarna och utrustningen placerades i en ny punkt. Efter insamlandet överfördes filerna från GPS-enheterna till en PC. För att kunna analysera resultatet med avseende på mätningstid lästes roverfilerna in i programmet Notepad där de delades upp och sparades som 2, 5, 10 och 20 minuters-versioner (figur 7).



Figur 7. Bild från "MStar/File-times", fil-tider för basfilen samt roverfilerna från punkt 111, 112, 113 och 114 editerade till 2-, 5-, 10- och 20-minutersversioner. Lägg märke till tidsavbrotten i filerna orsakade av signalblockering.

Tabell 1. Förutsättningar vid insamling av GPS-data

Maskvinkel, Bas och Rover:	15 grader
Logging-rate, Bas och Rover:	2 sek.
Antennhöjd, Bas och Rover:	1.4-1.8 m.
Baslinje:	<500 m.
Observationstid per punkt, Rover:	20 min.

Därefter processades filerna i det till utrustningen medföljande programmet Magellan Mstar v 2.06 (Anon. 1997). Roverfilerna korrigerades med filen från basstationen. I programmet finns tre optioner med avseende på processerings-modus; Pseudorange-(Ps), Submeter-(Sb) och Centimeter-mode(Cm). Samtliga filer processades först med Submeter-optionen. De GPS-observationer där programmet ej lyckats uppnå en Sb-lösning processerades på nytt med Ps-option. Resultatet av korrektionen skrevs till en dif-fil (bilaga 6). GPS-datat lagrades därefter i en Excel-arbetsbok (bilaga 3).

Skogliga data

De 42 försökspunkterna representerade olika kombinationer av grundyta, trädhöjd, stamtäthet och hur stor del av det totala och den sydvända hälften av synfältet som är skyddad av de närmaste träden (dvs. avstånd från antenn till närmaste träd inom hela synfältet resp. syd-sektorn). De uppmätta variablerna registrerades på följande sätt: grundyta mättes med relaskop med ytcentrum i försökspunkten, räknefaktor ett. Två mätningar per punkt utfördes, en medsols och en motsols och medelvärde noterades. Därefter valdes tre provträd för höjd ut genom att dividera den uppmätta grundytan med tre och erhålla talet X med hjälp av relaskopet togs var X:te träd ut. Grundytevägd medelhöjd beräknades som det aritmetiska medelvärdet av de uppmätta höjderna. Höjdmätningen utfördes med en Suunto höjdmätare. Stamtätheten uppskattades i stammar per ar och beräknades genom att räkna antalet stammar som fanns inom en cirkelyta med radien 5,64 meter från provpunkten.

Tidigare erarenheter (Lindström 1999) har antytt att man bör eftersträva ett så fritt synfält som möjligt mot söder vid mätningar med GPS. Denna rekommendation grundar sig på det faktum att de satelliter som används för beräkningarna på våra nordliga breddgrader sällan står i norr utan oftast i sektorn från öst via syd till väst. För att få ett mått på graden av skyddat synfält i denna sektor konstruerades variabeln "hinderfaktor-syd" (HFS). Förutom den syd-riktade hinderfaktorn beräknades även en total "hinderfaktor" (HF), det vill säga hur stor del av siktfältet som är skyddat av de närmaste träden i åtta riktningar. Dessa variabler beräknades utifrån avståndet till det närmaste trädet i de fem respektive åtta riktningarna O, SO, S, SV, V samt N, NO, O, SO, S, SV, V och NV. Avståndet mättes med måttband från ytcentrum till trädcentrum och avrundades till närmaste hela meter. Syftet med hinderfaktorerna var att undersöka om placeringen av punkten i förhållande till de närmaste träden påverkade noggrannheten hos GPS-resultatet och då främst de träd som låg inom den sydvända sektorn av synfältet. Variablerna HF och HFS konstruerades så att de uttryckte hur stor del av den totala synfälts-sfären runt en försökspunkt och som över maskvinkeln var täckt av den projicerade skuggan från de omgivande träden. En mätpunkt placerad helt intill grova och höga träd får en högre faktor än punkter ett stycke ifrån klenare och kortare träd.

Hinderfaktorerna beräknades endast utifrån trädstammarna, dvs utan grenar och barr. Anledningen till detta var att grenmängden antogs vara proportionell mot stamvolymen.

Denna kvot mellan trädens sammanlagda projicerade skuggfält och den totala synfälts-sfären över maskvinkeln beräknades med hjälp av sfärisk trigonometri enligt formeln;

$$HF \text{ och } HFS = \left(\sum_{i=1}^n \alpha_i + 2\beta_i - \Pi \right) / (4 \sin^2(\delta / 2))$$

där n (antal träd) = 5 för HFS och n=8 för HF.

För beräkning av arean av ett träds projicerade skuggfält användes formeln;

$$\text{Area}_{\text{skuggfält}} = \alpha_i + \beta_i + \lambda_i - \Pi \text{ (Råde och Westergren, 1998).}$$

$$\text{Då } \beta_i = \lambda_i \text{ skrevs formeln om till; } \text{Area}_{\text{skuggfält}} = \alpha_i + 2\beta_i - \Pi$$

För arean av hela siktsegmentet användes formeln för ett segment av en sfär;

$$\text{Area}_{\text{segment}} = 4 \sin^2(\delta / 2) \text{ (Råde och Westergren, 1998).}$$

Samtliga beräkningar utfördes i radianer.

Definitioner (Figur 8 och 9):

α_i = vinkeln högst upp i skuggtriangeln på den sfäriska halvgloben.

β_i = De två lika stora vinklarna i den nedre delen av den projicerade triangeln på halvgloben.

δ = vinkeln från antenncentrum mellan maskvinkelplanet och zenit på halvgloben uttryckt i radianer.

För beräkning av de ovanstående vinklarna användes följande vinklar och avstånd (Figur 8 och 9);

a_i = vinkeln mellan de två vinkelben som från centrum av antennen tangerar ytterkanten på trädet 15 grader upp från antennplanet.

b_i = vinkeln från maskvinkelplanet och upp till toppen av trädet.

l_i = avståndet från antenncentrum till trädcentrum längs maskvinkelplanet.

r_i = trädets radie 15 grader upp från antennplanet.

v = maskvinkeln uttryckt i radianer, $(15 / 180 * \Pi)$.

hk = Korrigerad trädhöjd, trädets totalhöjd minus brösthöjd (= antennerhöjd, 1.3 meter).

R_i = trädens medelradie i antennplanet, beräknad utifrån försökspunktens grundyta och stamantal per hektar.

L_i = avstånd från antenncentrum till trädcentrum i antennplanet.

För beräkning av de använda vinklarna och avstånden användes följande formler;

Vinkeln a_i beräknades utifrån trädradien i antennplanet (R_i) och avståndet från antenncentrum till trädcentrum i antennplanet (L_i) enligt formeln;

$$a_i = 2 \arctan (R_i / L_i).$$

Vinkeln b_i beräknades utifrån den korrigerade trädhöjden (hk), avståndet från antenncentrum till trädcentrum i antennplanet (L_i) och maskvinkeln på 15 grader (v) i formeln;

$$b_i = \arctan ((hk / L_i) - (v)).$$

För beräkning av vinkeln α_i (alfa) användes vinklarna b_i och a_i i formeln;

$$\alpha_i = \arccos (\cos a_i - \cos^2 b_i) / \sin^2 b_i.$$

För beräkning av vinkeln β_i (beta) användes vinklarna b_i , a_i och den uträknade vinkeln α_i i formeln;

$$\beta_i = \arcsin (\sin \alpha_i * (\sin b_i / \sin a_i)) a_i = 2 \arcsin (r_i / l_i).$$

För beräkning av vinkeln δ (delta) användes maskvinkeln 15 grader (radianer) i formeln;

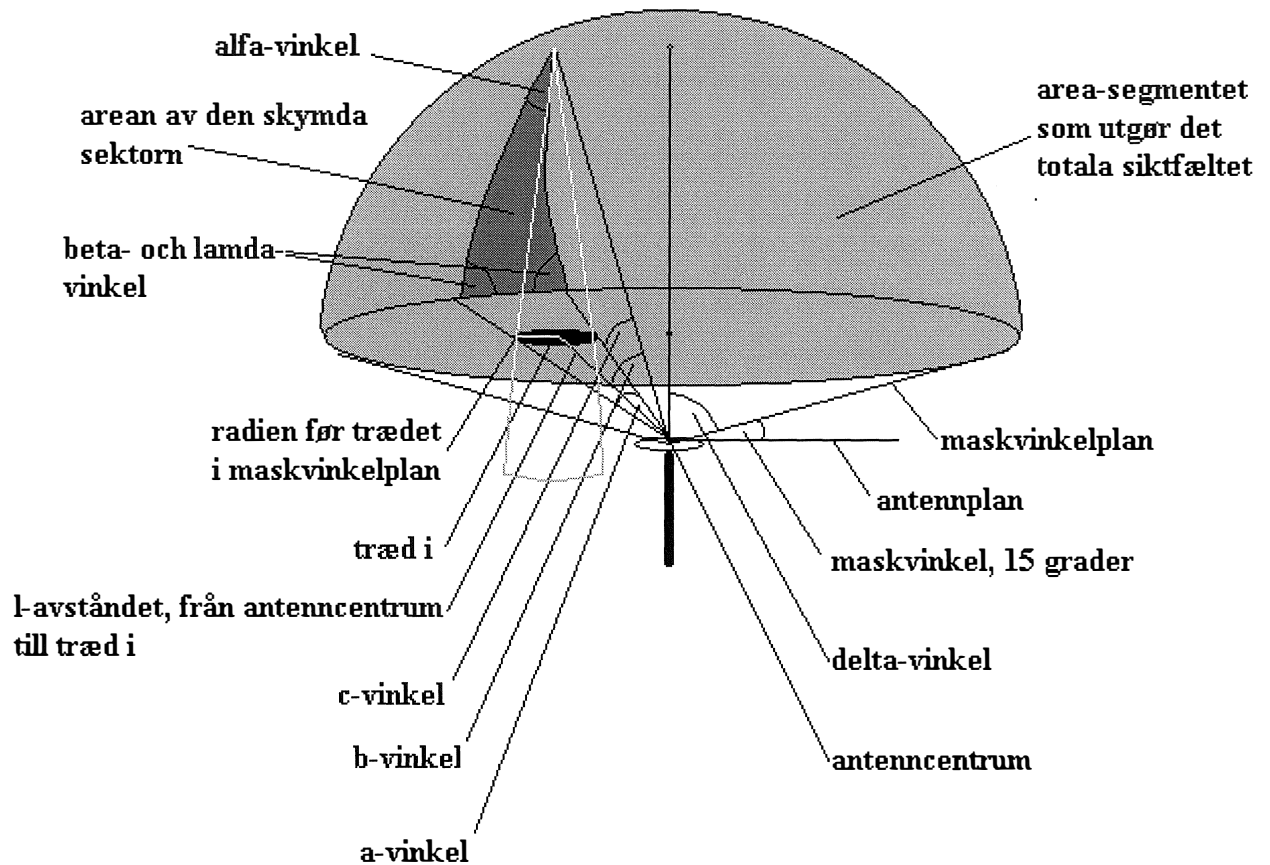
$$\delta = (90 - 15 / 180 * \Pi).$$

Avståndet från antenncentrum till trädcentrum i maskvinkelplanet (l_i) beräknades utifrån motsvarande avstånd i antennplanet (L_i) och maskvinkeln (v) enligt formeln;

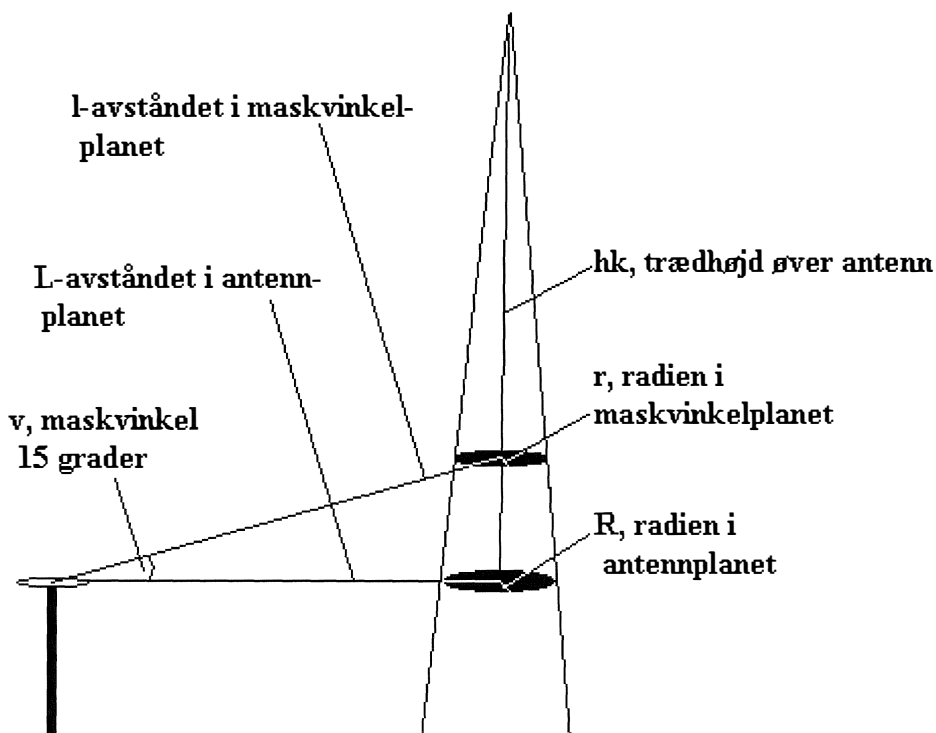
$$l_i = L_i / \cos (v).$$

Radien i maskvinkelplanet (r_i) beräknades utifrån korrigerad höjd (hk), radien i antennplanet (R_i), avståndet mellan antenncentrum och trädcentrum i antennplanet (L_i) och maskvinkeln (v) enligt formeln;

$$r_i = (R_i - (R_i / hk) * \tan (v) * L_i)$$

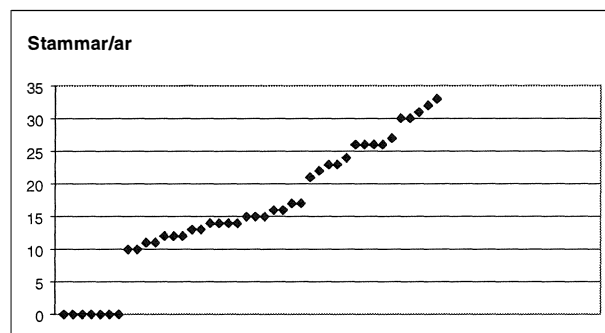


Figur 8 . Översikt av de för hinderfaktorn använda variablerna.

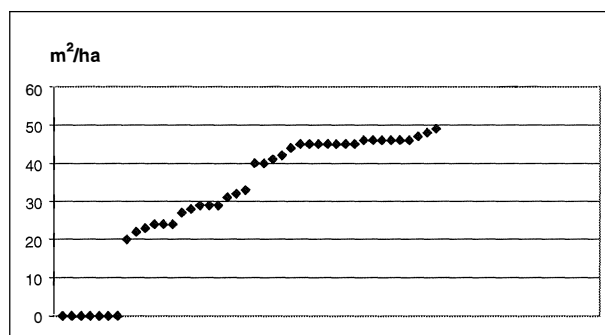


Figur 9 . Översikt av de för hinderfaktorn använda variablerna.

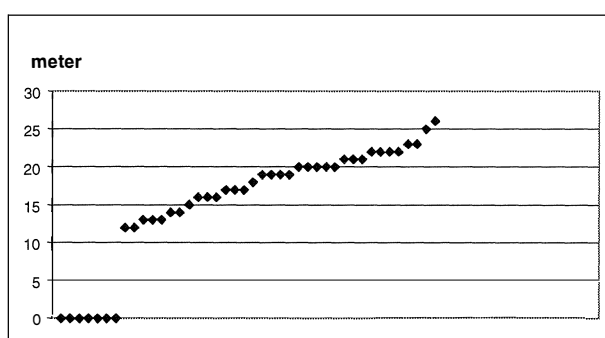
På de 42 punkterna i skog eller på öppen yta var grundytan från 0-49.0 m²/ha med ett medel på 31.4 m²/ha. Antalet stammar per ar varierade från 0-33 med ett medel på 16 och höjden varierade från 0-26 meter med ett medel på 15.4. "Hinderfaktor" hade en spännvidd från 0 till 12.2% med ett medel på 8.2% medan motsvarande siffror för "hinderfaktor-syd" var 0 till 9.2% och ett medel på 5.6%. De skogliga faktorerna stamtäthet, grundyta, höjd, "hinderfaktor" och "hinderfaktor-syd" framgår av figur 10, 11 och 12 samt tabell 2.



Figur 10. Försökspunkternas fördelning sorterat efter stammar per ar.



Figur 11. Försökspunkternas fördelning sorterat efter grundyta per hektar.



Figur 12. Försökspunkternas fördelning sorterat efter grundytavägd medelhöjd.

Tabell 2. Skogliga faktorer på försökspunkterna

Variabel	Min/Max	Medel
Grundyta (m ² /ha)	0-49	31.4
Stamtäthet (st/ar)	0-33	6.0
Grundytavägd medelhöjd(m)	0-26	15.4
Hinderfaktor, HF (%)	0-12.2	8.2
Hinderfaktor-syd, HFS (%)	0-9.2	5.6

*0 indikerar öppen yta och frånvaro av skog.

Analys av insamlat data

Referenskoordinaterna för försökspunkterna, GPS-resultaten och de skogliga datana i Excel-arbetsboken konverterades till ASCII-filer och sammanfogades i statistik-programmet Statistical Analysis Systems v 6.12 (SAS Institute inc.1989). Hela analysen av datamaterialet utfördes i SAS, vilket innefattade variabelkonstruktion (av till exempel "hinderfaktor"), logaritmering av variabler, beskrivande statistik, klassificering, regressionsanalys, korrelationsanalys samt modellutformning av de i försöket ingående variablerna (se bilaga 7 för översikt av den använda program-algoritmen).

Modellval

Det som i denna undersökning benämns som "GPS-lösningens fel i XY" eller "FEL-XY" är avståndet i markplan mellan punktens referens-koordinater och GPS-koordinater. Denna variabel är beräknad utifrån differensen i X-koordinat och differensen i Y-koordinat mellan referens- och GPS-koordinater $FEL-XY = \sqrt{(FEL-X^2 + FEL-Y^2)}$. Vidare så är "GPS-lösningens fel i Z" samt "FEL-Z" skillnaden mellan referenshöjden och GPS-höjden (över havet). Det är de påverkande faktorernas betydelse för dessa "fel" undersökningen har analyserat.

Tidigare undersökningar (Hellström och Johansson 1993, Næset 1999) har visat att relationen mellan GPS-lösningens fel och till exempel observations-periodens längd ej är linjär. Därför kan till exempel en logaritmisk transformation vara relevant (Næset 1999). På grund av detta valdes i de tre fallen (före, under tiden och efter) multiplikativa modeller som ej förutsätter linjära samband mellan de undersökta variablerna och felet. De multipla modellerna transformerades till logaritmerad form och linjär multipel regressionsanalys utfördes enligt "Minsta kvadrat"-metoden.

Modellerna omfattade i utgångspunkten många oberoende variabler. För val av modeller med bäst regressionsresultat användes i "SAS/Proc Reg" två optioner för modell-konstruktion vid namn "reg/selection/stepwise" och "reg/selection/cp" (SAS Institute inc.1989). Dessa procedurer rangordnar utifrån de givna variablerna de "bästa" modellerna enligt metoderna stegvis regression (/stepwise) och lägsta C(p)-värde (/cp). Då tonvikten i denna undersökning ligger på undersökande av faktorernas påverkan på FEL-XY undersöktes endast de modeller som var "bäst" utifrån förklaring av fel i markplan och ej utifrån fel i höjd. Dock undersöktes både hur FEL-XY och FEL-Z påverkades av de registrerade faktorerna.

Då försöket bland annat syftar till att se på möjligheterna att bedöma en positions noggrannhet före, under tiden och efter en mätning utfördes utformades modeller utifrån de variabler som finns tillgängliga i de olika situationerna.

På förhand

På förhand är de möjliga indikatorerna på beräknade positioners noggrannhet de av planerings-programmet förväntade PDOP-värdena ($\ln PDOP$) vid den tid och plats som är planerad för mätningarna, planerad längd på observationsperioden ($\ln TID$) samt eventuell förhandskunskap om de skogliga förhållandena grundyta ($\ln G$), stammar/ar ($\ln ST_A$) och medelhöjd i det aktuella området ($\ln H$). Idealt i sammanhanget vore att undersöka de PDOP-värden planeringsprogrammet ger, det vill säga PDOP under bar himmel och fri horisont, men på grund av att de enda registrerade PDOP-värdena i detta försök är de värden som är uppmätta på Rover-enheten i skog användes de. För konstruktion av modellen (före) användes korrelationsanalys samt funktionerna för stegvis regression och rangering efter C(p)-värde på variablerna;

Modell(före); $\ln FEL-XY = \beta_0 + \beta_1 \ln PDOP + \beta_2 \ln G + \beta_3 \ln H + \beta_4 \ln ST_A + \beta_5 \ln TID$

I fält

I fält, under tiden för mätningen är de förväntade prediktorerna PDOP (lnPDOP) i skogen vid tidpunkten för mätningen (visas på displayen), grundyta (lnG), stammar per ar (lnST_A), medelhöjd (lnH), antal uppnådda creditmarks (lnCMARKS, visas på displayen), de båda hinderfaktorerna (lnHF och lnHFS) och observations-periodens längd (lnTID). För konstruktion av modellen (i fält) användes korrelationsanalys samt funktionerna för stegvis regression och rangering efter C(p)-värde på variablerna;

Modell(i fält); $\text{LnFEL-XY} = \beta_0 + \beta_1 \ln \text{PDOP} + \beta_2 \ln G + \beta_3 \ln H + \beta_4 \ln \text{ST_A} + \beta_5 \ln \text{TID} + \beta_6 \ln \text{CMARKS} + \beta_7 \ln \text{HF} + \beta_8 \ln \text{HFS}$

I efterhand

I efterhand då GPS-observationerna processerats och positionen beräknats har man i tillägg till fältvariablerna även lösningstyp (SOL = 0 för Ps, SOL = 1 för Sb) och resultatets a priori standardavvikelse (lnSTDXY). A priori standardavvikelsen är den standardavvikelse programmet (Magellan Mstar) beräknar för GPS-koordinaten vid efterkorrigeringen. För konstruktion av modellen (slutbedömning) användes korrelationsanalys samt funktionerna för stegvis regression och rangering efter C(p)-värde på variablerna;

Modell(slutbedömning); $\text{LnFEL-XY} = \beta_0 + \beta_1 \ln \text{PDOP} + \beta_2 \ln G + \beta_3 \ln H + \beta_4 \ln \text{ST_A} + \beta_5 \ln \text{TID} + \beta_6 \ln \text{CMARKS} + \beta_7 \ln \text{HF} + \beta_8 \ln \text{HFS} + \beta_9 \text{SOL} + \beta_{10} \ln \text{STDXY}$

RESULTAT

Korrelationsanalys

Korrelationsanalys av det skogliga datat visar på stark korrelation mellan stammar/ar (ST_A), medelhöjd (H) och grundyta/ha (G), samt mellan ”hinderfaktor” (HF) och ”hinderfaktor-syd” (HFS) (tabell 3 och 4).

Tabell 3. Pearson korrelationskoefficienter för HF och HFS

Variabel	HF	HFS
HF	1.00	0.78
HFS	0.78	1.00

Tabell 4. Pearson korrelationskoefficienter för stammar/ar, grundyta och medelhöjd

Variabel	ST_A	G	H
ST_A	1.00	0.86	0.69
G	0.86	1.00	0.91
H	0.69	0.91	1.00

Modeller

Resultatet av modellvalsprocedureerna proc reg/stepwise och proc reg/cp framgår i tabell 5. En ökning av en variabel med en negativ riktningskoefficient medför en minskning av felet i XY, till exempel en ökning av variabeln observationstid (negativ riktningskoefficient) medför en minskning i FEL-XY.

På förhand

Med förhandsvariablerna PDOP, TID, ST_A, G, och H resulterade stegvis regression samt rangordning av modeller utifrån C(p)-värde i modellen;

Modell(före); $\ln\text{FEL-XY} = \beta_0 + \beta_1 \ln\text{TID} + \beta_2 \ln\text{G}$

Modellen(före) hade ett R^2 på 0.32 och hade samtliga variabler signifikanta på 5%-nivån.

I fält

Med variablerna tillgängliga i fält, PDOP, G, H, ST_A, TID, CMARKS, HF och HFS blev konstruktionen av den ”bästa” fält-modellen enligt båda procedurerna modellen;

Modell(i fält); $\ln\text{FEL-XY} = \beta_0 + \beta_1 \ln\text{HFS} + \beta_2 \ln\text{CMARKS} + \beta_3 \ln\text{TID} + \beta_4 \ln\text{G}$

Modellen(i fält) hade ett R^2 på 0.35 och alla variabler utom $\ln\text{CMARKS}$ (antal creditmarks) och $\ln\text{TID}$ (observationstid) signifikanta på 5%-nivån

I efterhand

Med de variabler som finns tillgängliga i efterhand, PDOP, G, H, ST_A, TID, CMARKS, HF, HFS, SOL, och STDXY gav de två procedurerna lite olika resultat;

Modell(/stepwise); $\ln\text{FEL-XY} = \beta_0 + \beta_1 \text{SOL} + \beta_2 \ln\text{STDXY} + \beta_3 \ln\text{G} + \beta_4 \ln\text{PDOP}$

Modell(/cp); $\ln\text{FEL-XY} = \beta_0 + \beta_1 \text{SOL} + \beta_2 \ln\text{STDXY} + \beta_3 \ln\text{G} + \beta_4 \ln\text{PDOP} + \beta_5 \ln\text{HF} + \beta_6 \ln\text{HFS}$

Då båda procedurerna hade valt ut variablerna SOL, lnSTDXY, lnG och lnPDOP inkluderades de i slutbedömnings-modellen. Modellen för slutbedömning utformades enligt följande;

Modell(slutbedömning); $\ln\text{FEL-XY} = \beta_0 + \beta_1\text{SOL} + \beta_2\ln\text{STDXY} + \beta_4\ln\text{PDOP} + \beta_5\ln\text{G}$

Modellen(slutbedömning) hade ett R^2 på 0.55 och alla variabler utom PDOP signifikanta på 5%-nivån.

Tabell 5. Regressions-resultatet av de använda FEL-XY-modellerna och deras variabler

Modell(före)

$R^2 = 0.32$

Variabel	Riktning	Riktningskoefficient	Standardavvikelse	Prob > ITI
β_0		-3.70	1.12	0.0012
lnG	1.48	0.30		0.0001
lnTID		-0.60	0.11	0.0001

Modell(i fält)

$R^2 = 0.36$

Variabel	Riktning	Riktningskoefficient	Standardavvikelse	Prob > ITI
β_0		-3.72	1.20	0.0025
lnHFS		0.58	0.29	0.0456
lnCMARKS		-0.14	0.09	0.1350
lnTID		-0.33	0.20	0.1049
lnG	1.27	0.31		0.0001

Modell(slutbedömning)

$R^2 = 0.55$

Variabel	Riktning	Riktningskoefficient	Standardavvikelse	Prob > ITI
β_0		-2.06	0.96	0.0334
SOL		-0.97	0.15	0.0001
lnSTDXY		0.61	0.11	0.0001
lnPDOP		0.34	0.22	0.1217
lnG	0.74	0.26		0.0054

Regression av enskilda variabler

På grund av att variablerna stammar/ar, medelhöjd och den totala hinderfaktorn ej inkluderats i någon av de tre valda modellerna, samt att korrelationsanalys visade på stark korrelation mellan de skogliga faktorerna (tabell 3 och 4) uteslöts stammar/ar, medelhöjd och "HF" från vidare analys. För att få en uppfattning om hur mycket de enskilda variablerna i modellerna påverkar resultatet utfördes separata regressioner av de utvalda variablerna mot FEL-XY och FEL-Z på formen;

$$\ln\text{FEL-XY/Z} = \beta_0 + \beta_1\ln\text{VARIABEL}$$

Resultatet av regressionerna mot FEL-XY visade att samtliga variabler utom PDOP i skog var signifikanta på 5%-nivån (tabell 6). Vid regression av variablerna mot FEL-Z var samtliga variabler utom lnPDOP och lnHFS signifikanta på 1%-nivån.

Tabell 6. Enskilda variabelers riktningskoefficient, signifikans och förklaringsgrad vid regression mot lnFEL-XY och lnFEL-Z

Regression mot FEL-XY

Variabel	Riktningskoefficient	Prob > TI	R ²
lnG	1.48	0.0001	0.130
lnTID	-0.60	0.0001	0.180
lnSTDXY	0.93	0.0001	0.350
lnCMARKS	-0.29	0.0001	0.210
lnPDOP	0.22	0.4800	0.004
SOL	-1.35	0.0001	0.350
lnHFS	0.87	0.0110	0.050

Regression mot FEL-Z

Variabel	Riktningskoefficient	Prob > TI	R ²
lnG	2.70	0.0001	0.200
lnTID	-0.68	0.0003	0.100
lnSTDZ	1.13	0.0001	0.430
lnCMARKS	-0.43	0.0001	0.200
lnPDOP	-0.17	0.7224	0.001
SOL	-2.23	0.0001	0.420
lnHFS	0.47	0.3613	0.007

Analys av enskilda variabler

Genomsnittligt FEL-XY var över alla observationer 2.5 m, medan motsvarande värde för FEL-Z var 4 m. Felen påverkades olika av de undersökta variablerna och följande resultat erhöles från analysen av de enskilda variablerna.

Lösningstyp

Av de 168 observationerna för de 42 punkterna lyckades 105 uppnå en Submeter-lösning, samtliga av de resterande 63 observationerna uppnådde en Pseudorange-lösning. Genomsnittligt FEL-XY var för Ps-observationerna 4.78 meter medan motsvarande siffra för Sb-observationerna var 1.13 meter. Detta stämmer väl överens med de negativa riktningskoefficienter som SOL-variabeln erhåller i modellen (slutbedömning) samt vid enskild regression mot FEL-XY (tabell 5 och 6). Ett högre SOL-värde medför ett mindre FEL-XY, det vill säga ett SOL-värde större än 0 medför att ett Sb-resultat uppnåtts vilket är en av de starkaste indikatorerna på att en observation har god noggrannhet (enligt $R^2 = 0.35$, tabell 6). Resultatets spännvidd var 0.23-24.3 meter för Ps-observationerna och 0.02-6.49 meter för Sb-observationerna (figur 13 och tabell 7). I höjd var genomsnittligt FEL-Y för Pseudorange-observationerna 8.8 m, medan motsvarande siffra för observationerna av Submeter-typ var 1.4 m. Resultatets spännvidd var för Ps-observationerna 0.03-38.5 m och för Sb-observationerna 0.00-36.0 m (tabell 7).

I regressionsanalysen av de enskilda variablerna mot FEL-Z var lösningstypen med ett R^2 på 0.42 (Tabell 6) en stark indikator på resultatets tillförlitlighet. En negativ riktningskoefficient för SOL-variabeln stämmer väl överens med det lägre medel-FEL-Z-värdet för Submeter-observationer (SOL=1). Den minsta tidsåtgången för att uppnå ett Submeter-resultat var i försöket mindre än 2 minuter och den genomsnittliga tidsåtgången var 12 minuter. Inget Pseudorange-resultat hade mer än 643 creditmarks medan Submeter-observationerna hade från 0-1665 creditmarks. Medel-PDOP i skog var för båda lösningstyperna 2.5.

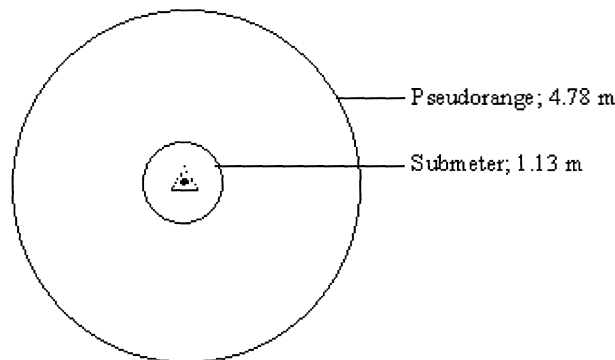
Tabell 7. Lösningstyperna och FEL-XY (m) samt FEL-Z (m)

FEL-XY

Lösningstyp	Antal obs	Min.FEL-XY	Max.FEL-XY	Medel FEL-XY
Pseudorange	63	0.23	24.30	4.78
Submeter 105	0.02	6.49	1.13	

FEL-Z

Lösningstyp	Antal obs	Min.FEL-Z	Max.FEL-Z	Medel FEL-Z
Pseudorange	63	0.03	38.57	8.82
Submeter 105	0.00	36.05	1.42	



Figur 13. Lösningstyperna och medel- FEL-XY.

Grundyta

Enligt de positiva riktningskoefficienterna för grundyta (tabell 5 och 6) ökade genomsnittligt FEL-XY och FEL-Z med ökande grundyta. Datamaterialet indelades i klasserna 1-4 med avseende på grundyta, 0-20, 20-30, 30-45 och över 45 m^2/ha . Genomsnittligt FEL-XY ökade från 0.65 via 1.78 och 3.00 till 3.55 m i de fyra klasserna (figur 14 och tabell 8). I höjd varierade genomsnittligt FEL-Z från 0.3 m för punkter på öppen mark till 6.8 meter för observationer i skog med en grundyta högre än 45 m^2/ha (tabell 8). Medel-PDOP ökade med ökad grundyta. Klass 1 (i praktiken öppen mark) hade ett medel-PDOP på 2, medan klasserna 2-4 hade medelvärdena 2.5, 2.6 och 2.6.

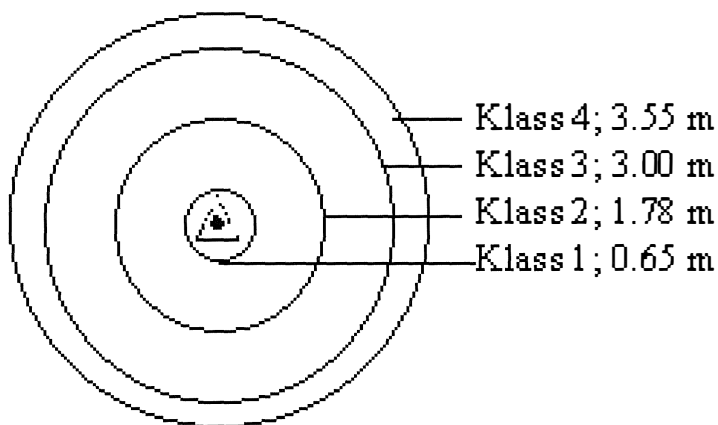
Tabell 8. Grundyteklasserna och FEL-XY (m) samt FEL-Z (m)

FEL-XY

Grundyta	Min.FEL-XY	Max.FEL-XY	Medel FEL-XY
0-20 m ² /ha	0.02	3.99	0.65
20-30 m ² /ha	0.09	7.67	1.78
30-45 m ² /ha	0.28	10.72	3.00
>45 m ² /ha	0.15	24.30	3.55

FEL-Z

Grundyta	Min.FEL-Z	Max.FEL-Z	Medel FEL-Z
0-20 m ² /ha	0.00	2.13	0.32
20-30 m ² /ha	0.04	9.57	1.46
30-45 m ² /ha	0.18	8.48	2.29
>45 m ² /ha	0.01	38.57	6.77



Figur 14. Genomsnittligt FEL-XY för de fyra grundyteklasserna.

Observationstid

De negativa riktningskoefficienterna för lnTID (tabell 5 och 6) visar att genomsnittligt FEL-XY och FEL-Z minskar med ökande observationstid. För 2-, 5-, 10- och 20-minuters observationstid minskade FEL-XY från ett genomsnitt på 4.35 meter via 2.68 och 1.85 meter till att för 20-minuters observationstid vara nere i 1.11 meter (figur 15 och tabell 9). I höjd varierade avvikelserna från referens mellan 1.7 m för 20 min och 6.5 m för 2 min observationstid.

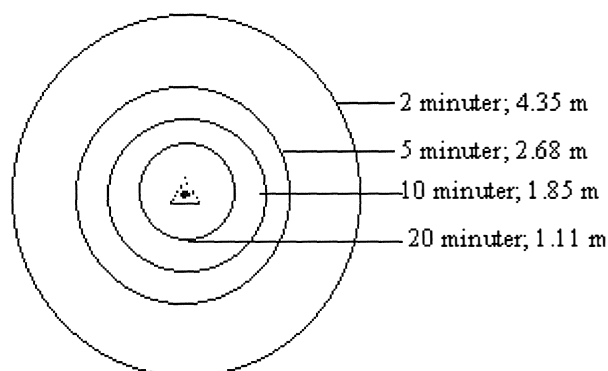
Tabell 9. Observationstid (min) och FEL-XY (m) samt FEL-Z (m)

FEL-XY

Observationstid	Min. FEL-XY	Max. FEL-XY	Medel FEL-XY
2	0.47	24.30	4.35
5	0.02	11.01	2.68
10	0.03	13,00	1.85
20	0.05	9.98	1.11

FEL-Z

Observationstid	Min. FEL-Z	Max. FEL-Z	Medel FEL-Z
2	0.03	38.57	6.50
5	0.01	22.30	4.77
10	0.00	17.28	3.06
20	0.00	10.18	1.66



Figur 15. Genomsnittligt FEL-XY för 2-, 5-, 10- och 20-minuters observationstid.

Creditmarks

I tabell 5 och 6 framgår av de negativa riktningskoefficienterna för variabeln lnCMARKS att ett ökat antal creditmarks medför ett mindre FEL-XY och FEL-Z. Resultatet visar att filer med mer än 500 creditmarks vid observationsperiodens slut uppnår betydligt bättre resultat än de med färre. Indelat i grupperna <500, 500-1000, 1000-1200, 1200-1400, 1400-1600 och >1600 creditmarks sker den största skillnaden i noggrannhet mellan <500 och 500-1000 creditmarks då den genomsnittliga avvikelsen från referens sjunker från 3.5 till 1.4 meter i FEL-XY och från 5.8 m till 1.8 m i FEL-Z. I klasserna med över 1000 creditmarks varierar FEL-XY och FEL-Z runt ca 1 m. (figur 16 och tabell 10). Samtliga observationer med mer än 643 creditmarks uppnådde ett Submeter-resultat. Alla observationer över 643 creditmarks hade ett FEL-XY mindre än 5 m. Mellan 643 och 1500 creditmarks var 82 % av GPS-koordinaterna inom 2 m från referens-koordinaterna i markplan (övriga 18 % inom 5 m) och över 1500 creditmarks hade samtliga observationer en genomsnittlig avvikelse på 0.2 m och en största avvikelse på 0.5 m avvikelse från referens i markplan.

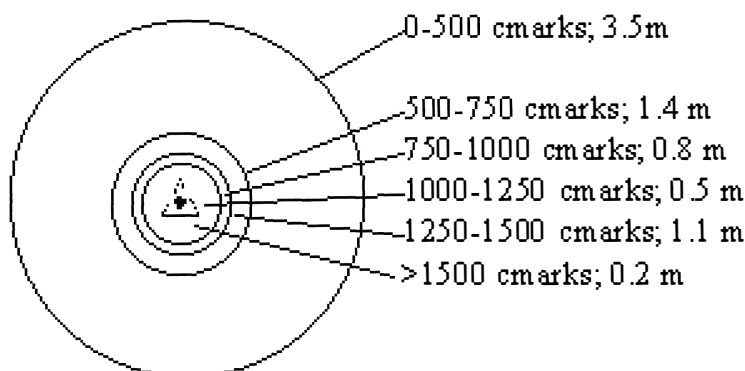
Tabell 10. Antalet creditmarks och FEL-XY (m) samt FEL-Z (m)

FEL-XY

Creditmarks	Min.FEL-XY	Max.FEL-XY	Medel FEL-XY
<500	0.02	24.30	3.52
500-1000 0.03	5.29	1.41	
1000-1200	0.06	2.28	0.83
1200-1400	0.28	1.20	0.50
1400-1600	0.06	3.60	1.13
>1600	0.05	0.50	0.19

FEL-Y

Creditmarks	Min.FEL-Z	Max.FEL-Z	Medel FEL-Z
<500	0.01	38.57	5.76
500-1000 0.00	15.14	1.84	
1000-1200	0.15	0.73	0.37
1200-1400	0.01	8.19	1.22
1400-1600	0.03	1.78	0.45
>1600	0.00	0.69	0.26



Figur 16. Antal creditmarks och genomsnittligt FEL-XY.

Standardavvikelse i XY och Z

Vid regression av den logaritmerade a priori standardavvikelserna i XY- och Z-led mot logaritmerade värden av FEL-XY och FEL-Z erhöles R^2 -värden på 0.35 respektive 0.43 (tabell 6). Detta innebär att a priori standardavvikelsen för GPS-resultatet i detta test har den högsta förklaringsgraden för en enskild variabel. I tabell 11 och figur 17 framgår att vid gruppering av datamaterialet efter a priori standardavvikelse i XY ökar medel-FEL-XY från 0.3 m för observationer med mindre än 0.5 meters a priori standardavvikelse till 4.3 meters medel-FEL-XY för observationer med mer än 2 meters standardavvikelse. Motsvarande värden i höjd är att genomsnittligt FEL-Z för a priori standardavvikelse i Z mindre än 0.5 meter är 0.4 m, medan felet för observationer med mer än 2 m i a priori standardavvikelse är 8.1 m.

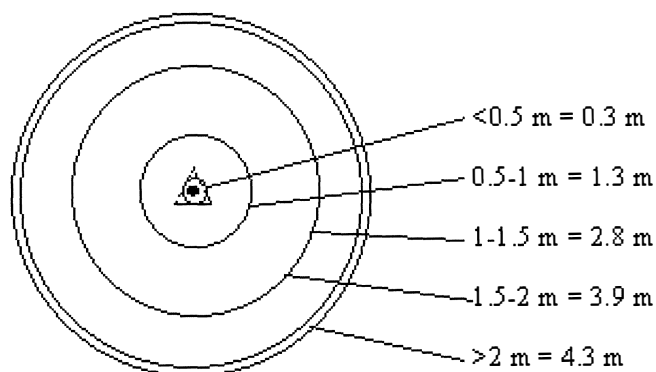
Tabell 11. A priori standardavvikelse i XYZ (m) och FEL-XYZ (m)

FEL-XY

STDXY	Min.FEL-XY	Max.FEL-XY	Medel FEL-XY
<0.5	0.02	2.38	0.35
0.5-1	0.15	4.16	1.29
1-1.5	0.17	10.72	2.85
1.5-2	0.43	12.00	3.88
>2	0.62	24.30	4.27

FEL-Y

STDZ	Min.FEL-Z	Max.FEL-Z	Medel FEL-Z
<0.5	0.00	1.78	0.38
0.5-1	0.01	10.18	1.94
1-1.5	0.38	12.15	3.58
1.5-2	0.10	15.14	7.28



>2 0.03 38.57 8.14

Figur 17. A priori standardavvikelse i XY och genomsnittligt FEL-XY.

Hinderfaktor-syd

De positiva riktningskoefficienterna för lnHFS (tabell 5 och 6) anger att FEL-XY och FEL-Z ökar vid en större procent skymd sikt enligt "hinderfaktor-syd"-definitionen. Indelat i klasser utifrån hur många procent av den sydriktade sektorn som var skymd av de närmaste träden i de fem riktningarna steg medelvärdet för "FEL-XY" från 1.3 till 9.5 meter och för FEL-Z från 2.1 m till 16.9 m från den lägsta klassen till den högsta (figur 18 och tabell 12).

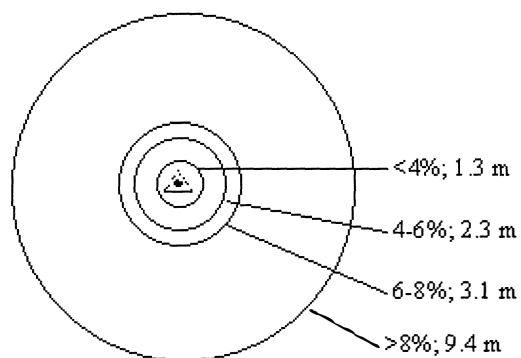
Tabell 12. "hinderfaktor-syd" (%) och FEL-XY (m) samt FEL-Z (m)

FEL-XY

Hinderfaktor-syd	Min.FEL-XY	Max.FEL-XY	Medel FEL-XY
<4	0.02	10.36	1.34
4-6	0.09	10.72	2.34
6-8	0.22	13.00	3.14
>8	2.03	24.30	9.49

FEL-Z

Hinderfaktor-syd	Min.FEL-Z	Max.FEL-Z	Medel FEL-Z
<4	0.00	22.40	2.08
4-6	0.04	20.03	4.61
6-8	0.01	22.30	3.81
>8	0.65	38.57	16.85



Figur 18. "Hinderfaktor-syd" och genomsnittligt FEL-XY.

PDOP

På grund av dålig signifikans för variabeln $\ln PDOP$, både i slutbedömningsmodellen och i den enskilda regressionen, samt det faktum att variabeln har olika tecken på riktningskoefficienterna vid regression mot $\ln FEL-XY$ och mot $\ln FEL-Z$ (positiv koefficient mot $\ln FEL-XY$, negativ mot $\ln FEL-Z$, tabell 6) är det svårt att dra några slutsatser angående "PDOP i skogs" påverkan på $FEL-XY$ och $FEL-Z$. Inget direkt samband kunde påvisas mellan $\ln PDOP$ och $FEL-XY/FEL-Z$, dock kunde ett samband mellan $PDOP$ och grundytan anas då samtliga observationer med $PDOP$ överstigande 3 låg inne i skog med mer än 20 m^2/ha och då punkterna på öppen mark (grundyteklass 1) hade ett medel- $PDOP$ på 2, medan grundyteklasserna 2-4 hade medelvärdena 2.5, 2.6 och 2.6.

DISKUSSION

Isolering och kontroll av påverkande faktorer

Resultaten visar att skogens beskaffenhet påverkar resultatet av GPS-mätningarna. I denna undersökning är den mest avgörande faktorn för resultatets noggrannhet möjligheten att uppnå en Submeterlösning eller ej. Om de påverkade faktorerna förhindrar möjligheten för denna typ av resultat blir noggrannheten betydligt sämre. Denna undersöknings sifferuppgifter är därför starkt systemspecifika och gäller därför troligen endast för denna utrustning. Dock kan tendenserna antas vara liknande för andra mottagare. Bland de största problemen med denna typ av undersökning är att upprätta tillförlitliga och noggranna referens-koordinater samt att ”renodla” och kontrollera de påverkande faktorerna.

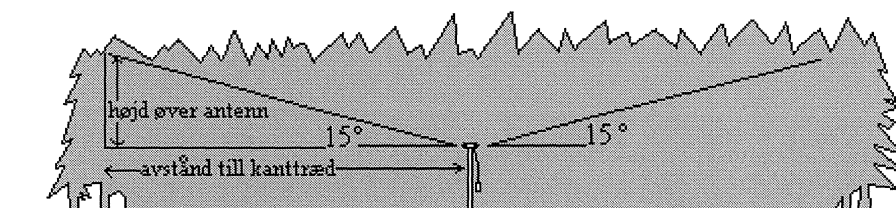
Enligt tidigare resonemang bör referens-koordinaterna i denna undersökning ligga inom ca 2 dm från det ”sanna” värdet. För detta talar det faktum att i stort sett alla GPS-lösningar på öppen yta efter 20 minuters observationstid hade mindre än 15 cm avvikelse i XY-plan från referens-koordinaterna. Då avvikelsen från referens i denna undersökning varierade från ca 0 - 24 m i markplan och felet i höjd varierade från 0 – 39 m är en felaktighet i referens-koordinaterna på 2 dm relativt litet i sammanhanget. I tillägg till detta är den noggrannhet som är intressant för de tänkta användarna endast ”under metern” vilket bör medföra att referens-koordinaternas tillförlitlighet på runt ett par dm är tillräcklig.

För att isolera de skogliga faktorerna hölls i största möjliga mån topografin, avståndet mellan bas och rover och PDOP konstant. Topografin hölls konstant genom att försöket lades ut på områden med plan topografi där inga topografiska formationer i någon punkt skymde horisonten över den använda maskningsvinkeln på 15 grader. PDOP kontrollerades genom förhandsplanering och undvikande av tidpunkter med extremt dålig satellit-konfiguration. För att fullständigt undvika påverkan av PDOP vore det ideala att utföra mätningar på samma punkt så många gånger att alla tänkbara satellitkonfigurationer och PDOP-värden fanns representerade i materialet, vilket ej var praktiskt genomförbart i den aktuella undersökningen. Tidigare undersökningar har dock använt denna metodik för att minska påverkan av satellit-konfiguration (Deckert och Bolstad 1996) men antalet mätningar begränsades då till 10 repetitioner. Då resultaten av tidigare undersökningar (Deckert och Bolstad 1996) samt denna undersökning pekar mot att PDOP i skogen har relativt liten inverkan på GPS-resultatet förutsatt förhandsplanering och undvikande av dåliga tidsperioder, är denna faktor av mindre intresse.

Baslinjen, det vill säga avståndet mellan bas- och rover-utrustningen, påverkar resultatets precision. Ett stort avstånd ger på grund av bland annat atmosfäriska skillnader mellan de två platserna upphov till fel i avståndsberäkningarna och korrektionen vid DGPS. Genom att samtliga punkter i testet hade mindre än 500 meter i avstånd till bas-utrustningen kan påverkan från denna faktor uteslutas.

För att kunna kontrollera de isolerade skogliga faktorerna var det viktigt att försöket lades ut i så enhetliga och sammanhängande bestånd som möjligt. På grund av detta krav utfördes hela försöket i renodlade monokulturer planterade i jämna förband. Homogena och jämna bestånd är dock ej tillräckligt för att kontrollera de skogliga faktorerna. Bestånden bör också vara tillräckligt stora för att inte intilliggande bestånd eller öppningar ska påverka resultatet. En svaghet i denna undersökning är att avståndet till beståndskant i flera punkter har varit för litet för att kunna utesluta påverkan på resultatet. Den optimala situationen hade varit att försökspunkten låg så långt inne i den enhetliga skogen att maskvinkeln på 15 grader skulle tänga trädhöjden inom beståndet (figur 19). Som exempel skulle en försökspunkt inne i ett

bestånd med en medelhöjd på 20 meter, 15 graders maskvinkel och två meters antennhöjd behöva ett avstånd till beståndskant på minst 67 meter för att kunna utesluta påverkan.



Figur 19. Det önskvärda avståndet till beståndskant.

Detta optimala förhållande visade sig helt omöjligt att uppfylla på grund av två orsaker. Den ena orsaken var frånvaron av så stora och enhetliga bestånd på plan skogsmark i området kring Bergen. Den andra orsaken var svårigheten med att med totalstation mäta sig så långt in i skogen utan att förlora tillförlitlighet hos referenskoordinaterna då många upprepade uppställningar av totalstation orsakade av korta siktgator i skogen ger upphov till ökande grad av osäkerhet. Kravet sattes då till att varje punkt skulle ha ett minsta avstånd till kant motsvarande medelhöjden i beståndet. Det faktum att "Hinderfaktor-syd" hade en signifikant inverkan på FEL-XY kan tyda på att de närmaste träden har störst inverkan på resultatet av en GPS-observation, vilket i sin tur skulle medföra att denna "avstånd-till-kant"-problematik är av mindre betydelse för undersökningens resultat.

En anmärkning angående datamaterialets inbördes beroende är befogad då varje 2-, 5- och 10-minutersfil har sitt upphov i 20-minutersfilen för försökspunkten. Det finns således ett beroende mellan de fyra observationerna då de har helt identiska förhållanden. Det ideala i sammanhanget hade varit att starta GPS-mottagaren, logga i 2 minuter, stoppa mätningen, börja på nytt, stoppa efter 5 minuter, stoppa och börja på nytt och så vidare tills de fyra observationerna var insamlade på punkten. Detta skulle ha gett upphov till en fördubbling av tidsåtgången för insamlandet av GPS-datat vilket medförde att tidsåtgången prioriterades före observationernas inbördes beroende.

Val av avgränsningar

Tidigare undersökningar (Næsset 1999) visar att trädslaget påverkar resultatet. På grund av att furuskogen i det aktuella kustområdet i huvudsak är av dålig kvalitet och av mindre intresse ur ekonomisk synpunkt avgränsades undersökningen helt till att omfatta granskog och då främst de snabbväxande sitka-granområden som är vanligt förekommande på Västlandet.

Undersökningen avgränsades även till att omfatta endast en typ av utrustning. Tidigare undersökningar (Næsset 1999) visar att noggrannheten hos GPS-koordinater varierar mellan olika fabrikat och mottagartyper. Næsset (1999) visade bl.a att dyrare mottagare gav bättre noggrannhet än billigare, samt att stora noggrannhets-vinster erhöles genom att använda kod/bärvåg-optionen istället för den rena kod-mätningsoptionen. Valet av den i försöket använda utrustningen baserade sig på ett flertal faktorer. Magellans Pro Mark X-CM med ett pris på ca 30 000 kr per mottagare är en av de billigaste kod/bärvåg-mottagarna på marknaden. Då priset är en avgörande faktor för de tänkta användarna (skogeierlag och Fylkesman) valdes en utrustning som till lägsta pris gav möjligheter till "under-meters-precision". En annan starkt bidragande orsak till valet av utrustning var att lantmäteriafdelningen vid Högskolan i Bergen erbjöd kostnadsfri utlåning av de två GPS-

utrustningar de använder för undervisning. Möjligheten att från högskolan få teknisk support, råd och synpunkter från personer med erfarenhet av just denna utrustning var ytterligare en faktor som påverkade valet. Valet att avgränsa undersökningen till att enbart omfatta Pseudorange- och Submeter-mode för utrustningen baserades på Högskolan i Bergens erfarenhet av att rena bärvågmätningar (Centimeter-mode) är i stort sett omöjliga att uppnå i skog. Ytterligare en orsak är att användningsområdena inom skoglig planläggning sällan kräver större noggrannhet och precision än Submeter-lösningar. Att observationstiden begränsades till 20 minuter berodde på tidigare undersökningars (Næsset, 1999) erfarenheter av att resultatet i mycket liten grad förbättras av observationstid utöver 20 minuter. Motivet till att endast undersöka utrustningens resultat i så kallad Dif-2-mode, dvs. statisk mätning med efterkorrigering, var att försöka se hur noggranna resultat som var möjligt att uppnå under de givna förutsättningarna. Mobila eller okorrigerade mätningar ger lägre precision och bedömdes trots sina fördelar (t.ex kort tidsåtgång och liten arbetsinsats för ett resultat) som ointressanta i sammanshanget.

Orsaken till att analysen av Z-komponenten av en GPS-koordinat i jämförelse med XY-planet var något mindre omfattande var förutom den begränsade tiden till förfogande för undersökningen även det faktum att de flesta användningsområdena för GPS endast använder sig av koordinater i markplan. Då det befintliga resultatet av analyserna i markplan och höjd (Tabell 3-9) pekar mot ungefär samma slutsatser skulle en lika omfattande analys av höjd-komponenten troligen leda till att man i stor utsträckning kommer fram till samma sak. Som förväntat är i denna undersökning felet i höjd ca två gånger så stort som felet i markplan.

Bedömning av en lösnings tillförlitlighet

Vid praktiskt arbete med GPS är det av stor vikt att kunna bedöma vilken tillförlitlighet GPS-beräknade koordinater kan förväntas ha. Det är därför viktigt att känna till vilka faktorer som påverkar GPS-resultatet samt hur starkt dessa faktorer påverkar noggrannheten. Resultatet av denna undersökning har visat på ett antal användbara indikatorer till exempel creditmarks (systemspezifisk), resultatets (a priori) standardavvikelse och grundytan i området för mätningarna. Önskvärt vore att en kunskap om hur noggrannheten påverkas av de skogliga förhållandena på platsen skulle kunna medföra möjligheter att under tiden för den praktiska GPS-mätningen kunna avgöra huruvida resultatet är godtagbart eller om man bör förflytta sig till en plats med bättre förutsättningar. Vilka parametrar och hjälpmedel som går att använda för detta ändamål beror på vilken bärvåg av arbetet man befinner sig i, det vill säga om det är före en mätning utförs, under tiden för fältarbetet eller i efterhand när GPS-filerna är korrigerade.

På förhand

Före en mätning utförs är de enda befintliga ”prognosmedlen” det planeringsverktyg som medföljer utrustningen, förhandsinformation om skogsområdet (grundyta med mera) samt tid till förfogande för mätningen (observationsperiodens längd). Genom att planera arbetsdagen och välja en tidpunkt för mätningen som ger så goda satellit-förutsättningar som möjligt ökar tillförlitligheten hos resultatet. Trots att det i denna undersökning ej framkom något samband mellan PDOP i skog och avvikelse från referens-koordinat är det en teknisk självklarhet att satellit-tillgängligheten och configurationen (PDOP) hos de tillgängliga satelliterna påverkar resultatet. Tidigare undersökningar (Deckert och Bolstad 1996) har även visat att PDOP påverkar noggrannheten av GPS-koordinater. En bidragande orsak till att det ej upptäcktes något samband mellan PDOP i skog och noggrannhet kan vara det planeringsarbete som utfördes för att undvika dåliga mätningstidpunkter. Från undersökningens resultat kunde inget samband upptäckas mellan PDOP och resultatets noggrannhet i PDOP-intervallet 1.33-5.7.

Genom att tidsplanera arbetet kan alltså kraftiga försämringar av resultatet orsakat av höga PDOP eller lågt antal tillgängliga satelliter till viss del undvikas.

I överensstämmelse med tidigare undersökningar (Næsset 1999) visade resultatet från regressionsanalysen på signifikans och en positiv riktningskoefficient för variabeln grundyta/ha (tabell 6). Resultatet visade att FEL-XY minskade från 3.55 till 0.65 meter och standardavvikelsen från 3.8 till 1.0 meter om grundytan på mätpunkten minskade från över 45 m²/ha till 0-20 m²/ha (tabell 8). Om mätningar är planerade att utföras i en punkt med hög grundyta kan det övervägas att uppsöka en närliggande öppning och utföra mätningen där, för att sedan med måttband och kompass mäta sig in i den täta skogen. För att öka tillförlitligheten hos resultatet kan observationstiden förlängas. Även resultatet för observationstiden (antalet "position-fixes") var i överensstämmelse med tidigare undersökningar (Deckert och Bolstad 1996) då en negativ och signifikant riktningskoefficient erhöles för variabeln lnTID (tabell 6). En förlängning av observationstiden från 2-20 minuter gav i försöket en minskning av avvikelsen från referens från 4.4 m till 1.1 m och en minskning av den standardavvikelsen för genomsnittsfelen från 4.0 m till 1.7 m (tabell 9). Största minskningen i FEL-XY skedde då observationstiden ökades från 2 till 10 minuter, men då den genomsnittliga tidsåtgången för att uppnå en Submeter-lösning var 12 minuter kan det vid gott om tid vara fördelaktigt med en ytterligare förlängning av observationstiden. Information om resultatets förbättring vid observationstider längre än 20 minuter framgår ej av denna undersökning, men tidigare undersökningar visar att endast små vinster uppnås genom att förlänga observationstiden till mer än 20 minuter (Næsset 1999).

Hur eventuell förhandskunskap om stammar per ar och medelhöjd påverkar FEL-XY har utelämnats ur analysen då stor korrelation mellan dessa två variabler och grundyta framgick av korrelationsanalysen (tabell 5). Resultatet i tabell 5 visade att modellen(före) hade med ett R² på 0.32 vilket var den lägsta förklaringsgraden för de tre testade modellerna, vilket förefaller naturligt då man i förhand har tillgång till det minsta antalet variabler. Utfallet av modellvals-procedurerna med lnTID och lnG som signifikanta variabler på 1%-nivån pekar mot att det på förhand är observationstid och grundyta som har störst påverkan på noggrannheten.

I fält

I fält, under tiden för registreringen av GPS-filer kan kunskap om "Hinderfaktor-syd", grundytan på området, observationstiden, antalet tillgängliga satelliter och antalet creditmarks användas som indikatorer på hur bra ett resultat är och för att förbättra resultatet. Manualen till Magellan Pro Mark X-CM innehåller några tumregler för vilka krav som bör uppfyllas för att på öppen yta och med fri sikt-horisont uppnå en bärvåg-lösning (Centimeter-mode) med centimeter-precision;

- 5 satelliter över 15 ° under 25 minuter + 3 minuter/ km baslinje
- 6 satelliter över 15 ° under 22 minuter + 2.5 minuter/ km baslinje
- 7 satelliter över 15 ° under 20 minuter + 2 minuter/ km baslinje
- 1500 Cm-creditmarks + 180 Cm-creditmarks/ km baslinje

Dessa tumregler går ej att uppfylla vid mätning i skog då träd och topografiska hinder gör det omöjligt för mottagaren att hålla oavbruten kontakt med minst 5 satelliter under så lång tid som 20 minuter. Problem med tumregler uppbyggda utifrån antal satelliter och observationstid är att de kräver konstant övervakning av displayen under mätningens perioden för att kontrollera antal satelliter. Då är tumregler utifrån creditmarks att föredra (förutsatt att de stämmer!) då de förväntas ta hänsyn till både observationsperiodens längd och antalet satelliter och ge ett fortlöpande uppdaterat värde på lösningens kvalitet i realtid. Tyvärr finns

inga tumregler i manualen angående minsta antal Sb-creditmarks för att i skog uppnå undermeter-precision. En erfarenhet från denna undersökning är att samtliga observationer med mer än 643 "Sb-creditmarks" uppnådde en Submeter-lösning.

Att resultatet uppnått en Sb-lösning var tillsammans med variabeln lnSTDXY den starkaste indikatorn på god kvalitet hos lösningen ($R^2=0.35$, tabell 6). Resultatet av undersökningen visar även att medel-FEL-XY för observationer med mindre än 500 "Sb-creditmarks" (creditmarks for Submeter-solution) är 3.52 m, medan motsvarande siffra för observationer med högre antal creditmarks är runt 1 m (tabell 10). Alla observationer över 643 creditmarks hade ett medel-FEL-XY mindre än 5 m. Mellan 643 och 1500 creditmarks var 82 % av GPS-koordinaterna inom 2 m från referens-koordinater i markplan (övriga 18 % inom 5 m) och över 1500 creditmarks hade samtliga lösningar en genomsnittlig avvikelse på 0.2 m och en största avvikelse på 0.5 m avvikelse från referenspunkt i markplan. Modellen (i fält) hade en förklaringsgrad (R^2) på 0.36. De negativa riktningkoefficienterna för lnCMARKS och lnTID anger i överensstämmande med det övriga resultatet att en ökning av dessa variabler medför en minskning av FEL-XY. Resultatet av regressionsanalysen visade även på ett positivt samband mellan grundyta, "hinderfaktor-syd" och FEL-XY (tabell 6). Enligt dessa resultat finns det alltså möjlighet att direkt när mätningen utförs bland annat via antalet creditmarks bedöma hur bra resultatet är och eventuellt få en indikation på att man bör förflytta sig till en plats med bättre förutsättningar.

I efterhand

I efterhand, då GPS-filerna korrigerats, finns, förutom fältparametrarna även tillgång till lösningens (a priori) standardavvikelse och lösningstyp. Dessa variabler är de som starkast förklarar avvikelsen från referensen (tabell 6). Resultatet visar att medel- och max- avvikelsen för ett uppnått Submeter-resultat var 1.1 och 6.5 m medan motsvarande värden för Pseudorange-resultaten var 4.8 och 24.3 m (tabell 7). Om resultatet av en mätning ger ett Submeter-resultat kan betydligt större tilltro sättas till resultatet än om endast ett Pseudorange-resultat uppnåtts. Förutom lösningstypen kan man i efterhand även se på resultatets a priori standardavvikelse för att styrka sin uppfattning om dess noggrannhet. Värt att notera är att variabeln lnPDOP blev inkluderad av de två modellvalsprocedurerna med en signifikans på 10%-nivån och en positiv riktning-koefficient. Detta antyder i överensstämmande med tidigare resonemang att ett högt PDOP ger sämre lösningar.

Slutsats

Slutsatsen för denna undersökning är att mätningens tillförlitlighet påverkas av många faktorer och att det inte finns någon helt säker metod att uppskatta felet. Undersökningen visar dock på ett antal möjligheter för att höja tillförlitligheten till en lösning. Att förlänga observationstiden från ett par minuter till uppemot en kvart kan vara väl investerad tid om extra höga krav ställs till tillförlitligheten. Undvik om möjligt att mäta i skog med mycket hög grundyta, om möjligt kan mätningen utföras i en öppning i närheten och därifrån mäta sig in till punkten. Undvik även att ha närliggande och grova träd i synfältet mot söder, placera hellre antennen med så fri sikt som möjligt mot de tillgängliga satelliterna. Genom att se på grundytan och den planerade observationsperiodens längd kan man på förhand få en indikation på hur tillförlitligt ett resultat kan väntas bli. I fält är det grundytan, "hinderfaktor-syd", observationsperiodens längd och antalet creditmarks som visar starkast på resultatets tillförlitlighet. Specifikt för denna utrustning (Magellan Pro Mark X-CM) kan sägas att mätningar bör utföras tills dess minst 500 Sb-creditmarks uppnåtts. I efterhand är lösningstypen och observationens standardavvikelse i XY och Z mycket starka indikatorer på noggrannheten.

För att (fritt översatt) citera Ronald Kvamme, lantmätaren som hjälpte till med upprättandet av utgångspunkter för denna undersöknings referens-koordinater, en man med mångårig erfarenhet av praktiskt arbete med GPS inom lantmäteriet; "Att jobba med GPS - det handlar om känsla och erfarenhet!". Troligtvis gäller det samma inom den skogliga planläggningen, att genom känsla och kunskap om skogliga och andra påverkande faktorer samt praktisk erfarenhet kan mycket goda resultat uppnås och göra GPS till ett mycket värdefullt och tillförlitligt hjälpmedel i den skogliga planeringen.

REFERENSER

Anon. 1996. Vesla/Geonor/Land, Brukerveiledning, Basis. Norkart as, Sandvika, Norge.

Anon. 1997. MStar Professional GPS Software, User's Guide 164pp, Magellan Systems Corp, San Dimas, California, U.S.A..

Anon. 1998. Vesla/Geonor/Trans, Brukerveiledning, Norkart as, Sandvika, Norge.

Deckert och Bolstad 1996. Forest Canopy, Terrain, and Distance Effects on Global Positioning System Point Accuracy. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 62, No.3, 1996.

Hellström och Johansson 1993. Exakta positioner och arealer med GPS. Skogforsk nr 13, 1993, Sverige.

Lindström 1999. Kartrekognocering med stöd av GPS, Kartbladet nr.3 1999, Kartografiska sällskapet c/o Lantmäteriverket, Gävle, Sverige.

Næsset 1999. Point accuracy of combined pseudorange and carrier phase differential GPS under forest canopy. Can. J. For.res, vol. 29:547-553.

Råde och Westergren 1998. Mathematics Handbook for Science and Engineering, Beta, Studentlitteratur, Lund, Sverige.

SAS institute inc. 1989. SAS/STAT users guide, version 6. 4:e utgåvan, vol.2. SAS Institute Inc., Cary, N.C, U.S.A.

BILAGOR

Bilaga 1. Jämförelse mellan koordinater inmätta av lantmätare och koordinater inmätta på egen hand (koordinatsystemet NGO48 Aktse 1).

ID = Försökspunktens identitetsnummer

Ref(X/Y/Z) = Koordinater inmätta av lantmätare

Test(X/Y/Z) = Koordinater inmätta på egen hand

Diff(X/Y/Z) = Differens mellan koordinater inmätta på egen hand och av lantmätare (m).

ID	Ref(X)	Ref(Y)	Ref(Z)	Test(X)	Test(Y)	Test(Z)	Diff(X)	Diff(Y)	Diff(Z)
14	253639,627	-40695,325	58,01	253639,625	-40695,332	58,015	0,00	0,01	0,01
15	253624,322	-40696,169	58,674	253624,31	-40696,186	58,678	0,01	0,02	0,00
16	253611,298	-40702,470	58,153	253611,305	-40702,483	58,158	0,01	0,01	0,01
18	253709,418	-40662,727	54,487	253709,41	-40662,744	54,518	0,01	0,02	0,03
19	253716,217	-40652,751	54,383	253716,212	-40652,764	54,365	0,01	0,01	0,02
110	253687,194	-40682,245	56,762	253687,208	-40682,243	56,773	0,01	0,00	0,01
111	253679,205	-40686,699	56,604	253679,214	-40686,694	56,624	0,01	0,01	0,02
115	253176,287	-40444,442	44,979	253176,274	-40444,448	45,007	0,01	0,01	0,03
116	253188,225	-40444,148	46,493	253188,22	-40444,159	46,517	0,01	0,01	0,02
117	253196,498	-40439,031	48,109	253196,492	-40439,048	48,139	0,01	0,02	0,03
118	253208,032	-40445,524	48,785	253208,024	-40445,547	48,817	0,01	0,02	0,03
119	253207,718	-40436,316	46,875	253207,715	-40436,341	46,902	0,00	0,03	0,03
120	253219,048	-40435,501	46,81	253219,05	-40435,530	46,839	0,00	0,03	0,03

Bilaga 2. Referens-koordinater för försökspunkterna.

NGO(X/Y/Z) = Koordinater i NGO48 Aktse 1.

UTM(X/Y/Z) = Koordinater i Euref89.

ID	NGO(X)	NGO(Y)	NGO(Z)	UTM(X)	UTM(Y)	UTM(Z)
11	253629.047	-40726.579	58.32	6687794.331	296283.868	58.320
12	253606.314	-40734.986	56.64	6687771.994	296274.454	56.640
13	253706.072	-40710.098	57.532	6687870.551	296303.774	57.532
14	253639.627	-40695.325	58.01	6687803.506	296315.567	58.010
15	253624.322	-40696.169	58.674	6687788.253	296314.041	58.674
16	253611.298	-40702.47	58.153	6687775.522	296307.164	58.153
17	253700.849	-40675.804	57.26	6687863.801	296337.804	57.260
18	253709.418	-40662.727	54.487	6687871.779	296351.253	54.487
19	253716.217	-40652.751	54.383	6687878.126	296361.523	54.383
110	253687.194	-40682.245	56.762	6687850.446	296330.759	56.762
111	253679.205	-40686.699	56.604	6687842.663	296325.953	56.604
112	253118.469	-40433.496	47.29	6687271.129	296553.896	47.290
113	253058.303	-40387.737	33.68	6687208.974	296596.928	33.680
114	253185.87	-40421.207	44.066	6687337.920	296569.183	44.066
115	253176.287	-40444.442	44.979	6687329.383	296545.541	44.979
116	253188.225	-40444.148	46.493	6687341.297	296546.368	46.493
117	253196.498	-40439.031	48.109	6687349.334	296551.850	48.109
118	253208.032	-40445.524	48.785	6687361.148	296545.877	48.785
119	253207.718	-40436.316	46.875	6687360.423	296555.063	46.875
120	253219.048	-40435.501	46.81	6687371.706	296556.383	46.810
21	303406.404	-45801.563	26.275	6737753.581	293440.492	26.275
22	303310.964	-45746.639	37.221	6737655.765	293491.086	37.221
23	303348.017	-45767.75	35.89	6737693.731	293471.656	35.890
24	303360.177	-45764.973	36.437	6737705.755	293474.976	36.437
25	303368.65	-45762.832	35.253	6737714.125	293477.495	35.253
26	303362.499	-45752.631	37.488	6737707.522	293487.411	37.488
27	303351.559	-45757.621	38.109	6737696.816	293481.934	38.109
28	303385.647	-45857.102	17.544	6737735.334	293384.072	17.544
29	303386.94	-45759.169	27.377	6737732.234	293481.974	27.377
210	303404.885	-45771.228	25.724	6737750.703	293470.731	25.724
211	303446.652	-45820.85	21.184	6737794.657	293423.027	21.184
212	303443.326	-45834.15	20.503	6737791.931	293409.590	20.503
213	303080.365	-45626.547	40.49	6737419.991	293600.728	40.490
214	303128.985	-45654.602	41.974	6737469.825	293574.879	41.974
215	303100.913	-45580.552	47.654	6737438.458	293647.603	47.654
216	303124.74	-45571.58	46.223	6737461.861	293657.635	46.223
217	303119.611	-45582.159	47.731	6737457.211	293646.836	47.731
218	303131.935	-45583.119	47.108	6737469.567	293646.430	47.108
219	303140.68	-45576.267	47.522	6737477.996	293653.668	47.522
220	303130.088	-45561.767	46.406	6737466.764	293667.679	46.406
221	303117.879	-45558.745	45.986	6737454.431	293670.151	45.986
31	296209.934	-57072.381	16.468	6731068.845	281857.180	16.468
32	296234.57	-56992.802	21.235	6731089.893	281937.795	21.235
33	296208.72	-57008.416	26.031	6731064.765	281921.035	26.030
34	296189.945	-57007.168	27.332	6731045.951	281921.440	27.332
35	296195.538	-57000.434	27.139	6731051.237	281928.419	27.139
36	296187.286	-56994.994	28.778	6731042.748	281933.485	28.778
37	296198.435	-56991.829	26.777	6731053.746	281937.147	26.777
38	296193.991	-56983.859	27.196	6731048.949	281944.911	27.196

Bilaga 3. GPS-data.

ID = Försökspunktens identitetsnummer.

Min = Observationsperiodens längd.

GPS(X/Y/Z) = Koordinater uppmätta med GPS.

S(X/Y/Z) = A priori standardavvikelse.

PDOP = PDOP i skog.

CMARKS = Antal creditmarks för observationen.

Sol = Lösningstypen (Ps=0. Sb=1).

ID	Min	GPS(X)	GPS(Y)	GPS(Z)	s(X)	s(Y)	s(Z)	PDOP	CMARKS	Sol
11	2	6687791.50	296283.47	59.46	1.09	1.15	3.01	1.8	0	0
11	5	6687791.73	296280.84	59.55	2.56	2.78	0.878	2.2	408	1
11	10	6687794.59	296283.85	58.23	0.22	0.326	0.28	2.2	814	1
11	20	6687794.61	296283.66	57.99	0.08	0.14	0.14	2.2	1479	1
14	2	6687803.36	296317.25	61.56	1.94	1.19	5.81	3.3	0	0
14	5	6687802.76	296315.37	58.35	0.51	0.86	0.59	2.6	392	1
14	10	6687803.08	296314.90	58.47	0.26	0.41	0.30	2.6	770	1
14	20	6687803.45	296315.64	58.06	0.12	0.19	0.13	2.6	1577	1
15	2	6687782.23	296310.95	59.56	2.13	1.06	4.48	2.6	8	0
15	5	6687788.01	296313.95	59.06	0.79	1.03	1.11	3.1	397	1
15	10	6687787.75	296314.11	59.66	0.33	0.52	0.47	3.1	782	1
15	20	6687787.81	296314.18	59.41	0.30	0.46	0.33	3.1	1197	1
16	2	6687781.28	296307.05	56.33	3.86	1.30	4.14	3.0	0	0
16	5	6687776.82	296306.28	56.41	0.55	0.74	0.78	3.9	346	1
16	10	6687776.01	296306.52	57.38	0.26	0.35	0.34	3.9	714	1
16	20	6687775.99	296306.34	57.70	0.24	0.37	0.36	3.9	1496	1
17	2	6687863.26	296331.34	58.35	1.11	1.24	2.87	1.7	0	0
17	5	6687864.58	296333.27	63.33	0.801	0.89	1.79	1.8	256	0
17	10	6687864.23	296336.07	59.67	0.70	0.78	1.45	1.8	449	0
17	20	6687863.99	296338.07	56.95	0.50	0.67	0.36	1.6	1212	1
18	2	6687870.64	296348.70	57.21	1.63	2.18	1.14	2.0	3	1
18	5	6687871.96	296351.28	54.89	0.64	0.93	0.69	2.0	395	1
18	10	6687871.57	296351.17	54.37	0.36	0.58	0.35	2.0	765	1
18	20	6687871.38	296351.41	54.73	0.23	0.36	0.27	2.0	1448	1
19	2	6687884.63	296365.59	53.97	2.04	1.09	4.23	2.5	45	0
19	5	6687884.40	296365.33	55.18	1.83	0.95	3.75	2.6	100	0
19	10	6687879.38	296363.16	56.75	1.21	0.57	2.48	2.9	418	0
19	20	6687878.33	296361.29	54.62	0.45	0.46	0.55	2.5	1191	1
110	2	6687853.85	296330.84	51.48	3.10	0.97	3.56	2.5	0	0
110	5	6687851.14	296330.31	56.62	0.40	0.63	0.49	2.7	402	1
110	10	6687850.46	296331.01	56.95	0.24	0.33	0.32	2.7	900	1
110	20	6687850.54	296330.93	56.95	0.13	0.27	0.30	2.7	1650	1
111	2	6687843.06	296324.08	60.13	0.74	3.66	2.34	2.1	0	1
111	5	6687842.82	296325.55	57.10	0.20	0.39	0.57	2.1	389	1
111	10	6687843.02	296325.50	57.20	0.19	0.35	0.49	2.1	519	1
111	20	6687842.87	296325.65	57.42	0.19	0.24	0.25	2.1	1310	1
112	2	6687271.57	296555.63	47.32	0.93	3.24	0.93	2.2	24	1
112	5	6687271.18	296553.73	47.39	0.30	1.08	0.30	2.2	373	1
112	10	6687271.21	296553.86	47.29	0.10	0.368	0.10	2.2	774	1
112	20	6687271.20	296553.82	47.29	0.03	0.12	0.03	2.2	1628	1

ID	Min	GPS(X)	GPS(Y)	GPS(Z)	s(X)	s(Y)	s(Z)	PDOP	CMARKS	Sol
113	5	6687209.11	296597.31	33.49	0.25	0.80	0.20	2.2	324	1
113	10	6687209.09	296597.23	33.56	0.09	0.30	0.08	2.2	648	1
113	20	6687209.03	296596.91	33.65	0.03	0.12	0.03	2.2	1405	1
115	2	6687327.87	296545.65	46.91	2.97	1.41	5.73	3.4	3	0
115	5	6687330.50	296545.13	45.04	1.30	0.80	2.47	2.4	299	0
115	10	6687329.07	296547.89	44.53	0.84	7.13	1.31	3.0	659	1
115	20	6687329.20	296543.90	45.46	0.18	1.39	0.36	3.0	1393	1
116	2	6687341.04	296545.60	48.61	0.57	2.40	1.42	2.1	5	1
116	5	6687341.08	296546.21	47.66	0.21	0.79	0.47	2.1	374	1
116	10	6687341.25	296546.15	46.94	0.08	0.49	0.23	2.1	693	1
116	20	6687341.38	296546.00	46.61	0.11	0.28	0.12	2.1	1217	1
117	2	6687354.19	296550.21	53.23	2.86	1.58	4.32	2.5	0	0
117	5	6683749.91	296553.53	57.68	1.81	0.92	2.69	2.6	294	0
117	10	6687349.41	296555.61	51.76	0.23	1.68	0.90	2.3	673	1
117	20	6687349.49	296552.55	49.36	0.22	1.00	0.46	2.3	990	1
118	2	6687364.19	296542.81	46.94	1.61	9.68	4.40	2.1	14	1
118	5	6687362.70	296543.76	47.76	0.67	1.78	0.66	2.1	361	1
118	10	6687362.24	296543.98	47.92	0.45	0.78	0.37	2.1	602	1
118	20	6687361.71	296545.53	47.72	0.29	0.37	0.25	2.1	1426	1
119	2	6687359.78	296553.74	48.72	2.04	1.23	5.48	3.1	4	0
119	5	6687360.22	296557.83	46.91	0.47	0.64	0.43	3.0	332	1
119	10	6687360.58	296555.43	47.16	0.29	0.48	0.31	3.0	695	1
119	20	6687360.52	296555.54	46.79	0.12	0.34	0.19	3.0	1362	1
120	2	6687367.55	296556.41	55.16	1.16	0.92	2.70	1.6	23	0
120	5	6687372.78	296554.81	55.29	0.74	0.63	1.69	1.6	370	0
120	10	6687372.29	296555.81	47.66	0.53	0.68	0.57	1.5	607	1
120	20	6687372.43	296556.39	46.99	0.43	0.44	0.21	1.5	1365	1
22	2	6737655.69	293491.55	37.32	0.49	0.97	0.60	2.1	30	1
22	5	6737655.76	293491.19	37.37	0.17	0.37	0.22	2.1	336	1
22	10	6737655.92	293491.05	73.27	0.07	0.14	0.09	2.1	713	1
22	20	6737655.91	293491.08	37.26	0.03	0.04	0.03	2.1	1469	1
23	2	6737694.36	293475.44	43.80	1.02	0.86	2.52	1.5	0	0
23	5	6737694.60	293472.32	38.33	3.44	3.23	1.67	1.3	346	1
23	10	6737694.55	293473.39	39.00	1.21	1.21	1.37	1.3	405	1
23	20	6737692.20	293470.37	41.24	0.69	0.63	0.66	1.3	877	1
24	2	6737703.24	293475.18	54.51	1.92	1.64	5.62	2.5	0	0
24	5	6737702.37	293478.39	58.74	1.00	0.85	3.01	2.5	23	0
24	10	6737704.08	293471.43	39.36	2.00	2.04	2.86	2.0	399	1
24	20	6737703.82	293473.76	39.71	0.94	1.33	0.76	2.0	989	1
25	2	6737716.06	293476.24	47.22	3.62	1.54	9.78	5.5	3	0
25	5	6737714.25	293477.69	50.79	1.28	0.78	3.11	2.8	335	0
25	10	6737716.52	293477.64	52.53	1.00	0.58	2.44	2.9	427	0
25	20	6737713.28	293479.52	38.59	0.35	0.44	0.77	5.7	900	1
26	2	6737714.88	293490.23	57.52	8.29	1.66	6.15	3.6	0	0
26	5	6737707.17	293486.54	46.74	2.57	0.74	2.68	2.7	238	0
26	10	6737709.53	293485.42	49.54	1.56	0.51	1.79	2.6	367	0
26	20	6737706.33	293487.58	39.19	0.44	0.59	0.71	4.1	1223	1
27	2	6737700.56	293486.06	45.67	1.99	0.96	2.93	1.9	5	0
27	5	6737697.67	293483.63	38.21	1.31	2.48	1.58	2.2	393	1
27	10	6737697.53	293482.26	39.47	1.45	1.22	0.93	2.2	802	1

ID	Min	GPS(X)	GPS(Y)	GPS(Z)	s(X)	s(Y)	s(Z)	PDOP	CMARKS	Sol
28	2	6737741.22	293389.81	13.52	3.15	1.97	7.40	4.3	7	0
28	5	6737745.11	293389.13	23.79	2.27	1.31	4.86	4.0	57	0
28	10	6737746.79	293390.21	15.49	1.75	0.94	3.53	3.9	100	0
28	20	6737744.53	293387.95	23.51	1.302	0.60	2.34	3.9	400	0
29	2	6737742.32	293484.34	45.91	3.33	1.05	3.95	2.8	0	0
29	5	6737737.28	293484.59	42.37	2.03	0.65	2.36	2.6	370	0
29	10	6737732.99	293482.67	33.77	0.43	0.62	1.69	4.1	600	1
29	20	6737732.38	293481.73	35.57	0.28	0.39	0.69	4.1	1230	1
210	2	6737749.49	293473.43	24.70	1.85	1.45	1.93	3.4	75	1
210	5	6737748.40	293472.38	27.42	0.88	0.80	1.27	3.4	306	1
210	10	6737749.45	293471.36	27.03	0.79	0.61	0.88	3.4	306	1
210	20	6737750.64	293471.23	25.58	0.34	0.41	0.52	3.4	1050	1
211	2	6737818.95	293422.15	59.75	3.60	1.48	5.03	2.5	0	0
211	5	6737800.26	293420.09	34.23	1.95	0.90	2.53	2.5	235	0
211	10	6737799.64	293421.25	36.32	1.16	0.57	1.61	2.3	643	0
211	20	6737793.84	293421.17	21.83	0.59	0.61	0.29	2.9	1253	1
212	2	6737793.69	293408.19	36.14	1.55	1.18	3.20	2.0	4	0
212	5	6737797.01	293405.55	20.49	1.25	1.56	0.57	1.9	388	1
212	10	6737793.02	293408.80	20.66	0.74	0.92	0.23	1.9	778	1
212	20	6737793.37	293408.20	20.49	0.66	0.77	0.19	1.9	1285	1
213	2	6737421.47	293601.77	39.34	1.11	1.18	2.53	1.6	0	0
213	5	6737420.14	293600.67	40.56	0.24	0.20	0.16	2.1	389	1
213	10	6737420.17	293600.70	40.52	0.09	0.08	0.06	2.1	744	1
213	20	6737420.11	293600.73	40.54	0.04	0.03	0.03	2.1	1519	1
214	2	6737467.29	293574.03	39.84	1.21	0.92	2.83	1.7	5	0
214	5	6737469.81	293574.87	42.00	0.12	0.28	0.16	1.8	396	1
214	10	6737469.88	293574.87	41.92	0.05	0.09	0.06	1.8	813	1
214	20	6737469.88	293574.86	41.91	0.02	0.03	0.02	1.8	1626	1
216	2	6737463.17	293663.85	46.25	1.41	1.25	3.76	2.2	0	0
216	5	6737462.33	293658.26	45.66	1.28	1.78	1.10	1.7	115	1
216	10	6737462.08	293657.60	46.89	0.72	1.15	0.87	1.7	170	1
216	20	6737461.75	293657.95	46.99	0.40	0.82	0.48	1.7	515	1
217	2	6737460.45	293651.84	70.13	1.95	1.23	4.28	2.5	4	0
217	5	6737457.04	293649.06	48.19	0.75	1.97	2.08	4.4	364	1
217	10	6737457.50	293648.46	48.24	0.40	0.97	1.03	4.4	744	1
217	20	6737456.70	293649.62	49.91	0.30	0.77	0.71	4.4	744	1
218	2	6737468.26	293641.42	49.85	2.87	1.10	3.60	2.5	56	0
218	5	6737464.00	293645.14	57.40	1.50	0.63	1.89	2.1	381	0
218	10	6737469.97	293646.60	47.48	1.55	1.18	0.84	2.3	646	1
218	20	6737469.95	293646.30	47.85	0.55	0.61	0.42	2.3	1513	1
219	2	6737482.69	293653.20	55.45	1.76	0.85	2.65	1.7	57	0
219	5	6737482.31	293653.86	55.70	1.20	0.59	1.73	1.8	418	0
219	10	6737477.72	293653.34	48.14	0.74	0.53	0.60	2.1	818	1
219	20	6737477.91	293653.55	47.90	0.46	0.33	0.22	2.1	1633	1
220	2	6737468.34	293667.47	54.33	4.47	2.71	3.20	3.2	0	0
220	5	6737469.13	293670.70	55.53	1.20	0.82	1.91	2.0	200	0
220	10	6737469.24	293669.18	51.79	0.78	0.54	1.31	1.9	553	0
220	20	6737469.32	293670.21	45.54	1.22	1.14	0.50	4.6	1284	1
221	2	6737454.35	293669.53	49.07	1.33	1.57	1.13	1.9	5	1
221	5	6737454.67	293670.74	48.89	0.97	1.13	0.78	1.9	142	1

ID	Min	GPS(X)	GPS(Y)	GPS(Z)	s(X)	s(Y)	s(Z)	PDOP	CMARKS	Sol
221	20	6737456.69	293670.90	47.76	0.33	0.24	0.33	1.9	1430	1
31	2	6731068.87	281857.65	16.25	0.35	0.95	0.35	1.7	0	1
31	5	6731068.87	281857.21	16.22	0.09	0.30	0.13	1.7	290	1
31	10	6732068.87	281857.17	16.29	0.03	0.10	0.05	1.7	681	1
31	20	6731068.88	281857.14	16.35	0.01	0.04	0.02	1.7	1540	1
34	2	6731053.08	281920.94	33.60	1.54	1.21	3.23	1.8	0	0
34	5	6731056.52	281919.71	39.74	0.91	0.73	2.02	1.7	25	0
34	10	6731050.01	281920.50	39.48	0.67	0.52	1.42	1.7	94	0
34	20	6731047.43	281921.59	37.51	0.47	0.37	0.95	1.7	160	0
35	2	6731051.24	281931.05	24.94	2.37	1.79	5.75	2.7	0	0
35	5	6731054.32	281929.46	33.84	0.95	0.85	2.51	2.1	121	0
35	10	6731054.45	281928.78	36.79	0.69	0.60	1.81	2.1	187	0
35	20	6731051.92	281927.80	33.21	0.46	0.40	1.22	2.1	578	0
36	2	6731045.23	281934.18	22.32	1.13	2.15	2.81	4.2	3	1
36	5	6731044.20	281935.85	24.07	0.87	1.39	1.70	4.2	103	1
36	10	6731043.53	281933.69	27.65	0.42	0.68	0.92	4.2	430	1
36	20	6731043.23	281933.20	28.58	0.20	0.21	0.29	4.2	983	1
37	2	6731049.36	281938.17	41.84	2.08	0.91	2.78	1.9	3	0
37	5	6731050.14	281397.77	43.10	1.59	0.65	2.07	2.0	65	0
37	10	6731053.34	281935.88	28.01	1.09	1.82	1.87	2.3	138	1
37	20	6731054.17	281936.43	27.54	0.30	0.42	0.35	2.3	738	1
38	2	6731046.42	281950.41	36.94	3.90	1.82	5.26	3.3	0	0
38	5	6731050.72	281945.02	37.51	1.87	0.95	2.62	2.6	57	0
38	10	6731056.50	281942.54	41.57	1.20	0.63	1.78	2.4	231	0
38	20	6731050.50	281944.92	36.70	0.62	0.41	1.11	2.1	480	0

Bilaga 4. Skogdata.

ID = försökspunktens idetifikationsnummer.

ST_A = Stammar per ar på punkten.

G = Grundyta på punkten (m²ha).

H = Grundytevägd medelhöjd på punkten (m).

X = Avstånd från antennen centrum till närmaste trädcentrum i riktningen X (m).

ID	ST_A	G	H	N	NO	O	SO	S	SV	V	NV	Övrigt
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Skog i öst, 7m, buske i SV, 1m.
14	11	20	14	4	3	2	2	1	4	2	4	
15	15	29	17	3	3	2	1	6	2	1	2	
16	14	32	17	2	2	3	6	1	3	2	3	
17	10	23	13	8	6	1	1	4	3	3	6	
18	12	24	12	8	1	6	2	1	6	2	4	
19	14	27	13	10	3	1	1	3	3	4	2	
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23	26	45	20	4	1	1	3	2	2	3	4	
24	23	49	19	1	2	2	2	3	1	2	2	
25	26	45	20	3	1	1	3	2	4	2	3	
26	22	47	19	1	1	2	2	4	3	2	3	Nära kant, SO
27	24	46	18	3	2	1	3	2	1	2	3	Nära kant, SO
28	16	45	26	1	4	3	6	2	1	3	4	Extremt grova träd i närheten
29	14	44	19	1	5	7	2	5	4	3	5	Sluttning med mycket himmel mot N
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
34	31	41	15	6	3	2	3	1	3	4	3	
35	30	42	16	2	4	1	3	1	3	1	3	
36	33	40	14	3	4	1	3	2	2	4	2	
37	30	45	16	2	5	1	3	1	2	1	3	
38	32	46	17	3	3	1	3	12	2	1	2	
110	12	24	13	5	3	5	4	4	1	3	4	
111	10	24	12	5	2	4	6	7	3	3	2	
112	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
113	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
115	13	22	16	4	2	2	6	1	4	7	5	
116	12	28	20	6	2	1	8	3	1	2	4	
117	13	29	21	3	5	1	2	6	3	3	3	
118	14	33	20	5	3	2	4	4	5	1	4	
119	16	29	19	7	4	1	3	4	6	3	4	
120	15	31	20	7	6	3	4	2	3	1	4	
210	15	45	25	2	3	3	1	5	3	2	2	
211	17	46	23	3	2	2	3	2	1	1	3	
212	17	45	23	4	3	1	5	1	5	3	4	
213	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
214	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
216	11	48	22	2	5	6	4	4	6	5	3	Öppning, ev. rötbrunn.
217	26	46	21	1	2	3	3	4	3	3	6	Nära kant i S
218	27	40	21	1	3	1	3	1	3	3	2	
219	26	45	22	5	1	3	3	2	4	2	3	
220	21	46	22	5	4	1	2	2	9	3	2	
221	23	46	22	6	5	3	2	3	2	1	3	

Bilaga 6. Dif-fil.

Submeter solution for remote file 110m10.car (control file bas113.car)
MODE 3D V3.0

TIME, LAT, LON, ALT
+3.8746475185E+05
+1.0520166594E+00
+9.2791150332E-02
+5.6952911685E+01
GPSWK
1021
PDOP
+2.73E+00

ECEF
3156837.7529
293770.2308
5515884.2733

PROJECTION: Universal Transverse Mercator
UTM_ZONE: 32
DATUM: World Geodetic System 1984
Northing: 6687850.46373 Meters
Easting: 296331.01313 Meters
ALT: 56.95291 Meters
EPOCHS
0301

STATISTICS: (Coordinate system Coord Sys 1 Datum World Geodetic System 1984
Projection Universal Transverse Mercator)
Control point Bas113 : 6687209.08928 296596.92504 33.68000
Control point in ECEF(WGS-84): 3157339.1726 294119.4627 5515553.9152
Control antenna offset (Point To Antenna): Range 0.0000 m; Bearing 0.0
deg; Height 1.410 m
Submeter Solution:
Corrected position: 6687850.46373 296331.01313 56.95291
Remote antenna offset (Point To Antenna): Range 0.0000 m; Bearing 0.0
deg; Height 1.710 m
Standard Deviation 3D; Horiz; Vert: 0.518; 0.404; 0.324 Meters
Standard Deviation Lat; Lon; Alt: 0.240; 0.325; 0.324 Meters
3D_Baseline: Northing 641.374 Meters; Easting -265.912 Meters; ALT
23.273 Meters
ECEF Straight Line 694.637 Meters; 3D_Length 694.703 Meters; 2D_Length
694.313 Meters
True Azimuth : 334 19 23.6 DDMSS; 5.835041 Rad; 5943.524 Mils
2D_Grid Azimuth (atan(Base East / Base North)): 337 28 52.5; 5.890159 Rad;
5999.667 Mils
Azimuth Standard Deviation : 120.0 Sec; 0.000582 Rad; 0.593 Mils
Slope: 3.3519 % ; Slope Standard Deviation: 0.0467 %
Sat prn: 01 07 14 15 16 25
Epochs: 299 298 300 300 300 287
END_STATISTICS

Bilaga 7. SAS program-algoritm.

```
***INLÄSNING OCH SAMMANSLAGNING AV RÅDATAFILER***;
data fasit;
  infile 'a:\sasbruk\radata\fasit.asc';
  input id ngox ngoy ngoz utmx utmy utmz;
  drop ngox ngoy ngoz;
proc sort;
  by id;
data gpsdata;
  infile 'a:\sasbruk\radata\gpsdata.asc';
  input id min x y z stdx stdy stdz pdop cmarks sol;
proc sort;
  by id;
data skogdata;
  infile 'a:\sasbruk\radata\skogdata.asc';
  input id st_a g h n no o so s sv v nv;
proc sort;
  by id;
data alle;
  merge fasit gpsdata skogdata;
  by id;
***DEFINIERING AV VARIABLER***;
if pdop=. then delete;
feilxy=((utm-x)**2+(utm-y)**2)**0.5;
feilz=(utm-z)**2;
feilz=feilz**0.5;
feilxyz=(feilxy**2+(utm-z)**2)**0.5;
stdxy=(stdx**2+stdy**2)**0.5;
stdxyz=(stdxy**2+stdz**2)**0.5;
***BERÄKNING AV HINDERFAKTOR-SYD***;
r=(g/(st_a*100)/3.14)**0.5;
hk=h-1.3;
mrn=-r/(hk)*tan(15/180*3.14)*n;
mro=-r/(hk)*tan(15/180*3.14)*no;
mrs=-r/(hk)*tan(15/180*3.14)*o;
mrv=-r/(hk)*tan(15/180*3.14)*v;
mn=n/cos(15/180*3.14);
mo=no/cos(15/180*3.14);
ms=s/cos(15/180*3.14);
mv=v/cos(15/180*3.14);
mnv=nv/cos(15/180*3.14);
an=2*asin(mrn/mn);
ano=2*asin(mro/mno);
ao=2*asin(mro/mo);
aso=2*asin(mrs/mso);
as=2*asin(mrs/ms);
asv=2*asin(mrv/msv);
av=2*asin(mrv/mv);
anv=2*asin(mrv/mnv);
bn=atan(hk/n)-(15/180*3.14);
bno=atan(hk/no)-(15/180*3.14);
bo=atan(hk/o)-(15/180*3.14);
bso=atan(hk/so)-(15/180*3.14);
bs=atan(hk/s)-(15/180*3.14);
bsv=atan(hk/sv)-(15/180*3.14);
bv=atan(hk/v)-(15/180*3.14);
bnv=atan(hk/nv)-(15/180*3.14);
alfan=arccos((cos(an)-(cos(bn))**2)/(sin(bn))**2);
alfano=arccos((cos(ano)-(cos(bno))**2)/(sin(bno))**2);
alfao=arccos((cos(ao)-(cos(bo))**2)/(sin(bo))**2);
alfaso=arccos((cos(aso)-(cos(bso))**2)/(sin(bso))**2);
alfas=arccos((cos(as)-(cos(bs))**2)/(sin(bs))**2);
alfasv=arccos((cos(asv)-(cos(bsv))**2)/(sin(bsv))**2);
alfav=arccos((cos(av)-(cos(bv))**2)/(sin(bv))**2);
alfanv=arccos((cos(anv)-(cos(bnv))**2)/(sin(bnv))**2);
betano=asin(sin(alfan)*sin(bn)/sin(an));
betano=asin(sin(alfano)*sin(bno)/sin(ano));
betao=asin(sin(alfao)*sin(bo)/sin(ao));
betaso=asin(sin(alfaso)*sin(bso)/sin(aso));
betas=asin(sin(alfas)*sin(bs)/sin(as));
betasv=asin(sin(alfasv)*sin(bsv)/sin(asv));
betav=asin(sin(alfav)*sin(bv)/sin(av));
betanv=asin(sin(alfanv)*sin(bnv)/sin(anv));
hfs=((alfao+2*betao-3.14)+(alfaso+2*betaso-3.14)+
(alfas+2*betas-3.14)+(alfasv+2*betasv-3.14)+
(alfav+2*betav-3.14))/(1.482*3.14)*100;
hf=((alfan+2*betan-3.14)+(alfano+2*betano-3.14)+
(alfao+2*betao-3.14)+(alfaso+2*betaso-3.14)+
(alfas+2*betas-3.14)+(alfasv+2*betasv-3.14)+
(alfav+2*betav-3.14)+(alfanv+2*betanv-3.14))/(1.482*3.14)*100;
***NATURLIG LOGARITMERING AV VARIABLER***;
Infeilxy=log(feilxy);
Instdxy=log(stdxy);
Inpdop=log(pdop);
Inmin=log(min);
Ing=log(g);
Incmarks=log(cmarks);
Inh=log(h);
Inst_a=log(st_a);
Inhf=log(hf);
```

```

Inhfs=log(hfs);
Infeilz=log(feilz);
***KLASSINDELNING AV DATA***;
if g lt 20 then gklasse=1;
if g ge 20 and g lt 30 then gklasse=2;
if g ge 30 and g lt 40 then gklasse=3;
if g ge 40 then gklasse=4;
if pdop lt 1.5 then pklasse=1;
if pdop ge 1.5 and pdop lt 1.75 then pklasse=2;
if pdop ge 1.75 and pdop lt 2 then pklasse=3;
if pdop ge 2 and pdop lt 2.25 then pklasse=4;
if pdop ge 2.25 then pklasse=5;
if cmarks lt 500 then cklasse=1;
if cmarks ge 500 and cmarks lt 1000 then cklasse=2;
if cmarks ge 1000 and cmarks lt 1200 then cklasse=3;
if cmarks ge 1200 and cmarks lt 1400 then cklasse=4;
if cmarks ge 1400 and cmarks lt 1600 then cklasse=5;
if cmarks ge 1600 then cklasse=6;
if Instdxy lt -1 then sklasse=1;
if Instdxy ge -1 and Instdxy lt 0 then sklasse=2;
if Instdxy ge 0 and Instdxy lt 1 then sklasse=3;
if Instdxy ge 1 and Instdxy lt 2 then sklasse=4;
if Instdxy ge 2 then sklasse=5;
if hfs lt 4 then hfskl=1;
if hfs ge 4 and hfs lt 6 then hfskl=2;
if hfs ge 6 and hfs lt 8 then hfskl=3;
if hfs ge 8 then hfskl=4;
if stdxy lt 2 then skl=1;
if stdxy ge 2 and stdxy lt 4 then skl=2;
if stdxy ge 4 and stdxy lt 6 then skl=3;
if stdxy ge 6 and stdxy lt 8 then skl=4;
if stdxy ge 8 then skl=5;
proc sort;
  by pklasse;

***DESKRIPTIV STATISTIK***;
proc means n min max mean std;
  var pdop feilxy;
  by pklasse;
***REGRESSION AV ENSKILDA VARIABLER***;
proc reg data=alle;
  model Infeilxy=Ing;
  model Infeilxy=Inh;
  model Infeilxy=Inst_a;
  model Infeilxy=Inmin;
  model Infeilxy=Instdxy;
  model Infeilxy=Incmarks;
  model Infeilxy=Inpdop;
  model Infeilxy=sol;
  model Infeilxy=Inhfs;
***MODELLVAL***;
*(FÖRE)*;
model Infeilxy=Inpdop Inmin Ing Inh Inst_a/selection=stepwise;
model Infeilxy=Inpdop Inmin Ing Inh Inst_a/selection=cp;
*(I FÄLT)*;
model Infeilxy=Inhfs Inhf Incm arks Inpdop Inmin Ing Inh Inst_a/selection=stepwise;
model Infeilxy=Inhfs Inhf Incmarks Inpdop Inmin Ing Inh Inst_a/selection=cp;
*(SLUTBEDÖMNING)*;
model Infeilxy=id sol Instdxy Inhf Inhfs Incmarks Inpdop Inmin Ing Inh Inst_a/selection=stepwise;
model Infeilxy=id sol Instdxy Inhf Inhfs Incmarks Inpdop Inmin Ing Inh Inst_a/selection=cp;
***REGRESSION AV VALDA MODELLER***;
*(FÖRE)*; model Infeilxy=Inmin Ing;
*(I FÄLT)*; model Infeilxy=Inhfs Incmarks Inmin Ing;
*(SLUTBEDÖMNING)*; model Infeilxy=sol Instdxy Inpdop Ing;
proc print;
run;

```

Serien Arbetsrapporter utges i första hand för institutionens eget behov av viss dokumentation. Rapporterna är indelade i följande grupper: Riksskogstaxeringen, Planering och inventering, Biometri, Fjärranalys, Kompendier och undervisningsmaterial, Examensarbeten samt internationellt. Författarna svarar själva för rapporternas vetenskapliga innehåll.

Riksskogstaxeringen:

- 1995 1 Kempe, G. Hjälpmedel för bestämning av slutenhet i plant- och ungskog. ISRN SLU-SRG-AR--1--SE
- 2 Riksskogstaxeringen och Ståndortskarteringen vid regional miljöövervakning. - metoder för att förbättra upplösningen vid inventering i skogliga avrinningsområden. ISRN SLU-SRG-AR--2--SE.
- 1997 23 Lundström, A., Nilsson, P. & Ståhl, G. Certifieringens konsekvenser för möjliga uttag av industri- och energived. - En pilotstudie. ISRN SLU-SRG-AR--23--SE.
- 24 Fridman, J. & Walheim, M. Död ved i Sverige. - Statistik från Riksskogstaxeringen. ISRN SLU-SRG-AR--24--SE.
- 1998 30 Fridman, J. & Kihlblom, D. & Söderberg, U. Förslag till miljöindexsystem för naturtypen skog. ISRN SLU-SRG-AR--30--SE.
- 34 Löfgren, P. Skogsmark, samt träd- och buskmark inom fjällområdet. En skattning av arealer enligt internationella ägoslagsdefinitioner. ISRN SLU-SRG-AR--34--SE.
- 37 Odell, G. & Ståhl, G. Vegetationsförändringar i svensk skogsmark mellan 1980- och 90-talet. -En studie grundad på Ståndortskarteringen. ISRN SLU-SRG-AR--37--SE.
- 38 Lind, T. Quantifying the area of edge zones in Swedish forest to assess the impact of nature conservation on timber yields. ISRN SLU-SRG-AR--38--SE.
- 1999 50 Ståhl, G., Walheim, M. & Löfgren, P. Fjällinventering. - En utredning av innehåll och design. ISRN SLU-SRG--AR--50--SE.
- 52 Riksskogstaxeringen inför 2000-talet. - Utredningar avseende innehåll och omfattning i en framtida Riksskogstaxering. Redaktörer: Jonas Fridman & Göran Ståhl. ISRN SLU-SRG-AR--52--SE.
- 54 Fridman, J. m.fl. Sveriges skogsmarksarealer enligt internationella ägoslagsdefinitioner. ISRN SLU-SRG-AR--54--SE.
- 56 Nilsson, P. & Gustafsson, K. Skogsskötseln vid 90-talets mitt - läge och trender. ISRN SLU-SRG-AR--56--SE.
- 57 Nilsson, P. & Söderberg, U. Trender i svensk skogsskötsel - en intervjuundersökning. ISRN SLU-SRG-AR--57--SE.

- 1999 61 Broman, N & Christoffersson, J. Mätfel i provträdsvariabler och dess inverkan på precision och noggrannhet i volymskattningar. ISRN SLU-SRG-AR--61--SE.
- 2000 65 Hallsby, G m.fl. Metodik för skattning av lokala skogsbränsleresurser. ISRN SLU-SRG-AR--65--SE.

Planering och inventering:

- 1995 3 Holmgren, P. & Thuresson, T. Skoglig planering på amerikanska västkusten - intryck från en studieresa till Oregon, Washington och British Columbia 1-14 augusti 1995. ISRN SLU-SRG-AR--3--SE.
- 4 Ståhl, G. The Transect Relascope - An Instrument for the Quantification of Coarse Woody Debris. ISRN SLU-SRG-AR--4--SE
- 1996 15 van Kerkvoorde, M. A sequential approach in mathematical programming to include spatial aspects of biodiversity in long range forest management planning. ISRN SLU-SRG-AR--15--SE.
- 1997 18 Christoffersson, P. & Jonsson, P. Avdelningsfri inventering - tillvägagångssätt och tidsåtgång. ISRN SLU-SRG-AR--18--SE.
- 19 Ståhl, G., Ringvall, A. & Lämås, T. Guided transect sampling - An outline of the principle. ISRN SLU-SRGL-AR--19--SE.
- 25 Lämås, T. & Ståhl, G. Skattning av tillstånd och förändringar genom inventerings-simulering - En handledning till programpaketet "NVSIM". ISRN SLU-SRG-AR--25--SE.
- 26 Lämås, T. & Ståhl, G. Om dektering av förändringar av populationer i begränsade områden. ISRN SLU-SRG-AR--26--SE.
- 1999 59 Petersson, H. Biomassafunktioner för trädfraktioner av tall, gran och björk i Sverige. ISRN SLU-SRG-AR--59--SE.
- 63 Fridman, J., Löfstrand, R. & Roos, S. Stickprovsvis landskapsövervakning - En förstudie. ISRN SLU-SRG-AR--63--SE.

Biometri:

- 1997 22 Ali, Abdul Aziz. Describing Tree Size Diversity. ISRN SLU-SEG-AR--22--SE.
- 1999 64 Berhe, L. Spatial continuity in tree diameter distribution. ISRN SLU-SRG-AR--64--SE

Fjärranalys:

- 1997 28 Hagner, O. Satellitfjärranalys för skogsföretag. ISRN SLU-SRG-AR--28--SE.
- 29 Hagner, O. Textur till flygbilder för skattning av beståndsegenskaper. ISRN SLU-SRG-AR--29--SE.
- 1998 32 Dahlberg, U., Bergstedt, J. & Pettersson, A. Fältinstruktion för och erfarenheter från vegetationsinventering i Abisko, sommaren 1997. ISRN SLU-SRG-AR--32--SE.
- 43 Wallerman, J. Brattåkerinventeringen. ISRN SLU-SRG-AR--28--SE.
- 1999 51 Holmgren, J., Wallerman, J. & Olsson, H. Plot - Level Stem Volume Estimation and Tree Species Discrimination with Casi Remote Sensing. ISRN SLU-SRG-AR--51--SE.
- 53 Reese, H. & Nilsson, M. Using Landsat TM and NFI data to estimate wood volume, tree biomass and stand age in Dalarna. ISRN SLU-SRG-AR--53--SE.
- 2000 66 Löfstrand, R., Reese, H. & Olsson, H. Remote Sensing aided Monitoring of Non-Timber Forest Resources - A literature survey. ISRN SLU-SRG-AR--66--SE.

Kompendier och undervisningsmaterial:

- 1996 14 Holm, S. & Thuresson, T. samt jägm.studenter kurs 92/96. En analys av skogstillståndet samt några alternativa avverkningsberäkningar för en del av Östads säteri. ISRN SLU-SRG-AR--14--SE.
- 21 Holm, S. & Thuresson, T. samt jägm.studenter kurs 93/97. En analys av skogstillståndet samt några alternativa avverkningsberäkningar för en stor del av Östads säteri. ISRN SLU-SRG-AR--21--SE.
- 1998 42 Holm, S. & Lämås, T. samt jägm.studenter kurs 93/97. An analysis of the state of the forest and of some management alternatives for the Östad estate. ISRN SLU-SRG-AR--42--SE.
- 1999 58 Holm, S. samt studenter vid Sveriges lantbruksuniversitet i samband med kurs i strategisk och taktisk skoglig planering år 1998. En analys av skogsstillståndet samt några alternativa avverknings beräkningar för Östads säteri. ISRN SLU-SRG-AR--58--SE.

Examensarbeten:

- 1995 5 Törnquist, K. Ekologisk landskapsplanering i svenskt skogsbruk - hur började det?. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--5--SE.
- 1996 6 Persson, S. & Segner, U. Aspekter kring datakvaliténs betydelse för den kortsiktiga planeringen. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--6--SE.

- 7 Henriksson, L. The thinning quotient - a relevant description of a thinning? Gallringskvot - en tillförlitlig beskrivning av en gallring? Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--7--SE.
- 8 Ranvald, C. Sortimentsinriktad avverkning. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--8--SE.
- 9 Olofsson, C. Mångbruk i ett landskapsperspektiv - En fallstudie på MoDo Skog AB, Örnköldsviks förvaltning. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--9--SE.
- 10 Andersson, H. Taper curve functions and quality estimation for Common Oak (Quercus Robur L.) in Sweden. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--10--SE.
- 11 Djurberg, H. Den skogliga informationens roll i ett kundanpassat virkesflöde. - En bakgrundsstudie samt simulering av inventeringsmetoders inverkan på noggrannhet i leveransprognoser till sågverk. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--11--SE.
- 12 Bredberg, J. Skattning av ålder och andra beståndsvariabler - en fallstudie baserad på MoDo:s indelningsrutiner. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--14--SE.
- 13 Gunnarsson, F. On the potential of Kriging for forest management planning. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--13--SE.
- 16 Tormalm, K. Implementering av FSC-certifiering av mindre enskilda markägares skogsbruk. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--16--SE.
- 1997 17 Engberg, M. Naturvärden i skog lämnad vid slutavverkning. - En inventering av upp till 35 år gamla föryngringsytor på Sundsvalls arbetsomsåde, SCA. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN-SLU-SRG-AR--17--SE.
- 20 Cedervind, J. GPS under krontak i skog. Examensarbete i ämnet skogsuppskattning och skogsindelning. ISRN SLU-SRG-AR--20--SE.
- 27 Karlsson, A. En studie av tre inventeringsmetoder i slutavverkningsbestånd. Examensarbete. ISRN SLU-SRG-AR--27--SE.
- 1998 31 Bendz, J. SÖDRAs gröna skogsbruksplaner. En uppföljning relaterad till SÖDRAs miljömål, FSC's kriterier och svensk skogspolitik. Examensarbete. ISRN SLU-SRG-AR--31--SE.
- 33 Jonsson, Ö. Trädskikt och ståndortsförhållanden i strandskog. - En studie av tre bäckar i Västerbotten. Examensarbete. ISRN SLU-SRG-AR--33--SE.

- 35 Claesson, S. Thinning response functions for single trees of Common oak (*Quercus Robur* L.) Examensarbete. ISRN SLU-SEG-AR--35--SE.
- 36 Lindskog, M. New legal minimum ages for final felling. Consequences and forest owner attitudes in the county of Västerbotten. Examensarbete. ISRN SLU-SRG-AR--36--SE.
- 40 Persson, M. Skogsmarksindelningen i gröna och blå kartan - en utvärdering med hjälp av riksskogstaxeringens provtytor. Examensarbete. ISRN SLU-SRG-AR--40--SE.
- 41 Eriksson, F. Markbaserade sensorer för insamling av skogliga data - en förstudie. Examensarbete. ISRN SLU-SRG-AR--41--SE.
- 45 Gessler, C. Impedimentens potentiella betydelse för biologisk mångfald. - En studie av myr- och bergimpediment i ett skogslandskap i Västerbotten. Examensarbete. ISRN SLU-SRG-AR--45--SE.
- 46 Gustafsson, K. Långsiktplanering med geografiska hänsyn - en studie på Bräcke arbetsområde, SCA Forest and Timber. Examensarbete. ISRN SLU-SRG-AR--46--SE.
- 47 Holmgren, J. Estimating Wood Volume and Basal Area in Forest Compartments by Combining Satellite Image Data with Field Data. Examensarbete i ämnet Fjärranalys. ISRN SLU-SRG-AR--47--SE.
- 49 Härdelin, S. Framtida förekomst och rumslig fördelning av gammal skog. - En fallstudie på ett landskap i Bräcke arbetsområde. Examensarbete SCA. ISRN SLU-SRG-AR--49--SE.
- 1999 55 Imamovic, D. Simuleringsstudie av produktionskonsekvenser med olika miljömål. Examensarbete för Skogsstyrelsen. ISRN SLU-SRG-AR--55--SE
- 2000 67 Jonsson, T. Differentiell GPS-mätning av punkter i skog. Point-accuracy for differential GPS under a forest canopy. ISRN SLU-SRG-AR--67--SE.

Internationellt:

- 1998 39 Sandewall, Ohlsson, B & Sandewall, R.K. People's options on forest land use - a research study of land use dynamics and socio-economic conditions in a historical perspective in the Upper Nam Nan Water Catchment Area, Lao PDR. ISRN SLU-SRG-AR--39--SE.
- 44 Sandewall, M., Ohlsson, B., Sandewall, R.K., Vo Chi Chung, Tran Thi Binh & Pham Quoc Hung. People's options on forest land use. Government plans and farmers intentions - a strategic dilemma. ISRN SLU-SRG-AR--44--SE.
- 48 Sengthong, B. Estimating Growing Stock and Allowable Cut in Lao PDR using Data from Land Use Maps and the National Forest Inventory (NFI). Master thesis. ISRN SLU-SRG-AR--48--SE.

1999 60 Inter-active and dynamic approaches on forest and land-use planning - proceedings from a training workshop in Vietnam and Lao PDR, April 12-30, 1999.
Edited by Mats Sandewall ISRN SLU-SRG-AR--60--SE.