



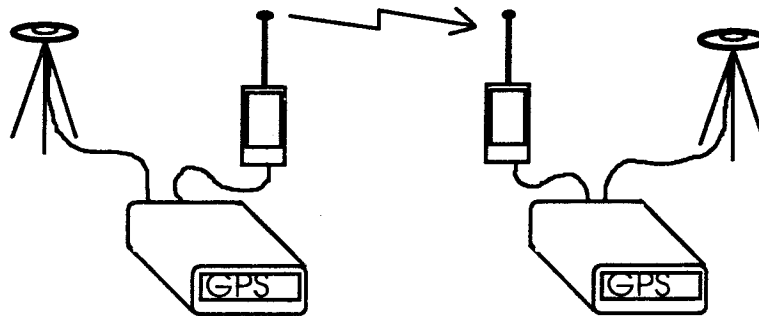
Lantmäteriet
Lantmäteriverket - National Land Survey
S - 801 82 GÄVLE · SWEDEN

Tekniska skrifter - Professional Papers

LMV-RAPPORT 1995:3

ISSN 0280-5731

Radiolänkar för överföring av GPS-data



Ett examensarbete av
Keijo Kurkinen

Luleå 1995

Lantmäteriverkets senaste Tekniska skrifter i geodesi

- 1991:1 Ekman M: Ellipsoider, geoider, koordinatsystem, höjdsystem och tyngdkraftssystem i Sverige.
- 1991:4 Jonsson B: Kort introduktion till GPS.
- 1991:7 Becker J-M & Andersson B: Utvärdering av NA 2000 - nytt digitalt avvägningsinstrument. (Engelsk version 1991:15.)
- 1991:8 Lithén T & Persson C-G: Planering av GPS-nät.
- 1991:17 Jivall L: Jämförande GPS-beräkningar med TRIMVEC-PLUS.
- 1991:18 Jivall L: GPS-beräkning för stomnät. (Engelsk version 1991:22.)
- 1992:10 Ekman M: Om lokala massors inverkan på geoiden. (On the Effect of Local Masses on the Geoid - Summary in English.)
- 1992:14 Hedling G, Jivall L, Jonsson B, Andreasson J: Some Swedish GPS Activities 1991 - Geodetic Control Surveying, Aerial Photography and a Swedish DGPS Network.
- 1992:16 Almgren, K, & Sandvik, L H: Alternativa metoder vid framställandet av orienteringskartor.
- 1992:21 Eurenus B & Norin D: GPS inom förrättningsmätning.
- 1993:1 Ekman M: Geoiden i Sverige och geoidhöjdssystemet RN 92.
- 1993:2 Ottoson C: Undersökning av Wild GPS-system 200 - GPS-mottagare samt tillhörande programvara.
- 1993:4 Jivall L & Ottoson C: Jämförelse mellan Leicas och Ashtechs GPS-System.
- 1993:5 Svensson R: Utvärdering av geodetiska nät-utjämningsprogram på PC.
-
- 1993:7 Hedling G & Jonsson B: PREF - a test of a Swedish network of reference stations for positioning.
- 1994:14 Johnson M: Regionalt studium av riksnäten med GPS - en homogenitets- och transformationsstudie.
- 1994:25 Persson K & Persson C-G: Datafångst för GIS med användning av GPS.
- 1994:28 Reit, B-G: SWEREF 93 - ett nytt svenskt referenssystem.

Titel

Radiolänkar för överföring av GPS-data
Examensarbete av Keijo Kurkinen, tekniska högskolan i Luleå

Huvudinnehåll

Examensarbetet avser undersökning av förutsättningarna för överföring av data mellan GPS-mottagare vid relativ bärvågsmätning i realtid. En marknadsöversikt över lämplig radioutrustning redovisas. Vidare har tester med radiomodem av typ Sateline 2ASx från Satel OY utförts.

Handledare för examensarbetet har varit:

Krister Engberg
Tekniska högskolan i Luleå

Bo Jonsson
Geodetiska utvecklingsenheten
Lantmäteriverket, Gävle

LDOK

Kg Satellitgeodesi

Beställs hos



Lantmäteriverket
Blankettförrådet
801 82 GÄVLE



Förord

På den datatekniska linjen (180 p) avslutas utbildningen med ett examensarbete. Detta arbete motsvarar 20 p och rapporten är ett resultat av examensarbetet som jag utfört åt Lantmäteriets geodetiska utvecklingsenhet, LMV-KG, i Gävle.

Ett stort tack riktas till Bo Jonsson, som varit en hjälpsam handledare, samt till Christina Ottoson som hjälpt mig vid testmätningarna. Jag vill också tacka min examinator Krister Engberg på tekniska högskolan i Luleå som har kommit med förslag och varit hjälpsam under arbetets gång.

Keijo Kurkinen

Sammanfattning

Lantmäteriet använder regelbundet det satellitbaserade positionsbestämningssystemet GPS för geodetisk mätning. Vid positionsbestämning på centimeternivå används GPS-mottagare som mäter på satelliternas bärvåg, s k *relativ bärvågsmätning*. För att utföra denna mätning i realtid krävs att mätdata skickas över en radioförbindelse av något slag från en GPS-mottagare på en känd position till den mobila mottagaren. För detta krävs ca 4800 bps i överföringshastighet samt en räckvidd på upp till ca 10 km. Bästa alternativet är att använda ett par radiomodem i UHF-bandet. Rapporten behandlar förutsättningar och de problem som kan uppstå vid etablerandet av denna förbindelse samt en marknadsöversikt över lämplig radioutrustning. Vid testmätningar med radiomodem av typ *Satellite 2ASx* från Satel OY uppnåddes en räckvidd av ca 3 km i öppen terräng och med sändareffekten 0.5 W, vilket ger vid handen att högre sändareffekter krävs för att nå önskad täckning. Lämplig utrustning finns idag att införskaffa på marknaden.

Abstract

The National Land Survey uses the satellite-based positioning system GPS for geodetic measurements. When performing real-time surveying at a centimeter level accuracy with carrier phase observations data needs to be transmitted from a GPS receiver at a known position to the mobile receiver. This requires a radio link for wireless data transmission with a data rate of about 4800 bps and it should also work at distances up to 10 kilometers. A pair of radio modems for the UHF band can achieve this. Problems that may occur are discussed, and an investigation of available radio equipment on the market has also been done. Finally, some tests have been made with *Satellite 2ASx* radio modems from Satel OY. The radio link reached a maximum range of about 3 km with a transmitting power of 0.5 watts. A higher system output power must therefore be utilized to gain the desired coverage. Suitable equipment can be found on the market.

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
2. Radioutrustning	4
2.1. Radiomodem.....	4
2.2. Antenner	6
2.3. Frekvenstillstånd	7
3. Mobiltelefoner	8
4. Specifikation av radiolänk	9
4.1. Trafikslag.....	9
4.2. Överföringshastighet	9
4.3. Räckvidd.....	9
4.4. Aktionstid	10
5. Marknadsöversikt	11
5.1. Radioutrustning för UHF	11
5.2. Kommentarer till tabell 5.1	12
5.3. Radioförbindelser i VHF-bandet	14
5.4. Antenner	14
5.5. Sammanfattning, marknadsöversikt	14
6. Testmätningar.....	16
6.1. Syfte	16
6.2. Utrustning.....	16
6.3. Mätförfarande	17
6.4. Resultat.....	17
6.5. Sammanfattning, testmätningar.....	18
7. Slutsatser	19
9. Förkortningar	20
8. Referenser	21
Karta över testmätningområdet	22

1. Inledning

Mätprincip

Vid inmätning skall positionen bestämmas i förhållande till någon referens. Denna referens kan utgöras av ett system av *stompunkter*. Stompunkterna ingår i ett referenssystem, kallat *bruksnät*. Bruksnätet är i sin tur anslutet till *riksnätet* via ett *anslutningsnät*. Eftersom GPS-systemet har ett annat, globalt referenssystem måste en transformation göras innan positionen kan uttryckas i riks nätet. En av mätmetoderna där radiolänken ska användas kallas *detalj mätning* och utgår normalt från bruksnätet.

Lantmäteriet utnyttjar regelbundet GPS-systemet vid sina geodetiska stom- och detaljmätningar. För att erhålla största möjliga mätnoggrannhet, i dagsläget i storleksordningen centimeter, används GPS-mottagare av typen *tvåfrekvens bärvågsmottagare* (mer om detta under *Kod- och bärvågsmätning* nedan). Mottagarna inhämtar och spar mätdata, en på en känd position och de(n) andra i tur och ordning på de punkter som skall mätas in. Efter mätsessionen töms mottagarna på mätdata till en dator, varmed en efterbehandling tar vid där registrerade observationsdata samkörs och speciella algoritmer beräknar positionerna. Ett mål från Lantmäteriets sida är att slippa efterbehandlingen och genomföra beräkningarna i realtid, dvs samtidigt som mätningarna utförs. Tillverkare av GPS-utrustning har nu lyckats implementera de speciella algoritmerna för exekvering i själva GPS-mottagaren, så det som krävs är en förbindelse för dataöverföring mellan GPS-mottagarna ute på fältet. Då avståndet rör sig om kilometer, är det rimligt att låta ena mottagaren (referensstationen) sända sina mätdata över radiolänk. Fig 1.1 visar hur förbindelsen realiseras av ett par radiomodem. För att effektivisera mätarbetet kan man mäta in flera fältpunkter samtidigt genom att ta emot utsända referensdata på ett antal mobila mottagare. I praktiken kommer även en fältdator att anslutas till den mobila GPS-mottagaren (rover i fig 1.1) för presentation och loggning av mätdata.

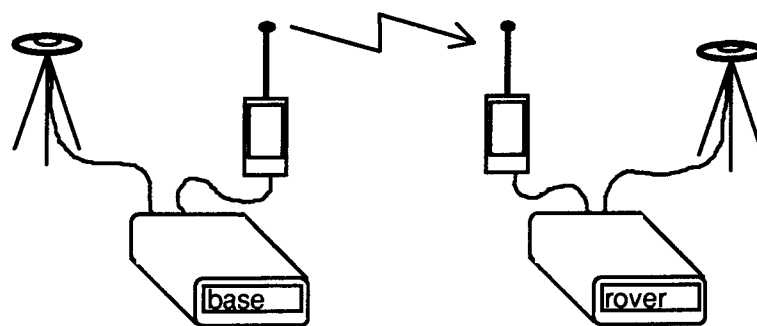


Fig 1.1. Den tänkta förbindelsen mellan GPS-mottagarna

Kod- och bärvågsmätning

GPS-satelliterna sänder kontinuerligt ut information på två bärvågor $L1$, $L2$ med frekvenserna 1575.42 MHz respektive 1227.60 MHz. På $L1$ sänds ett satellitmeddelande, kallat *C/A-kod* (*Coarse/Acquisition*), som väsentligen består av en tidsangivelse som talar om när meddelandet sändes, samt banparametrar. Vid kodmätning bestämmer man sin position genom att bestämma meddelandets löptid, och utnyttjar tidsangivelsen till detta. Informationen i C/A-koden är dock avsiktligt störd av ett brus som begränsar noggrannheten. På $L1$ -frekvensen sänds även en *P-kod* (*Precision*), som är en ostörd, krypterad version av satellitmeddelandet som i princip endast det amerikanska försvaret (och dess allierade) har tillgång till. P-koden sänds även på $L2$. Kodmätning ger i enklaste utförandet en upplösning på ca 100 m. Med P-kod nås ca 10 meters noggrannhet.

Bärvågsmätning är en mätmetod som går ut på att observera fasen för $L1$ och $L2$, som är $\varphi = N \times 2\pi + \theta$, där N är antalet hela våglängder mellan satellit och mottagare, och θ är fasläget för den 'sista' våglängden, för respektive bärvåg (fig 1.2). Mätinstrumentets upplösning för θ brukar som regel uppskattas till 1 %, vilket för $L1$ motsvarar ca 2 mm, så i princip kan man alltså bestämma avståndet mellan satellit och mottagare med 2 millimeters noggrannhet. Man låter GPS-mottagaren låsa på satellitsignalerna och registrerar förändringarna i antalet våglängder, orsakade av satelliternas förflyttning, under en viss tid. En del av utmaningen ligger i att bestämma N , antalet hela våglängder vid mätstarten (s k *periodobekanta*). Detta görs i ett speciellt beräkningsprogram. Ett annat problem är *periodbortfall*, som inträffar då låsningen av satellitsignalen tillfälligt bryts, och även detta hanteras av beräkningsprogrammet.

Relativ mätning innebär att observationer från en referenspunkt används som stöd i beräkningarna. Om två GPS-mottagare befinner sig relativt nära varandra, kan man anta att båda uppvisar lika stora fel i mätningarna. Genom att samla mätdata på en känd position och jämföra detta med samtida mätningar på den sökta punkten kan stora felkällor, som t ex varierande fördröjningar i jonosfärskiktet, ges kraftigt minskad inverkan. Relativ kodmätning kan ge en noggrannhet på en meter, medans en centimeters avvikelse är fullt realistiskt vid relativ bärvågsmätning. Nackdelen med bärvågsmätning är att observationerna tar (i dagsläget) en viss tid, vilket gör metoden olämplig vid navigering.

För mer information om GPS se t ex [4], en ingående beskrivning av geodesi med GPS ges i [2]. En mer matematisk analys av GPS-systemet kan studeras i [3].

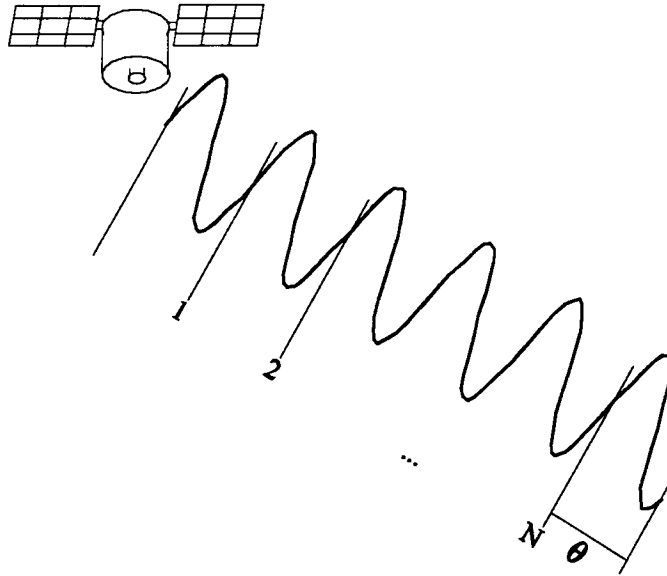


Fig 1.2. Mätning av bärvågens fasläge

Befintlig utrustning hos Lantmäteriet

De GPS-mottagare som Lantmäteriet idag använder vid detaljmätning är av modell *Ashtech Z-12* (andra tillverkare av GPS-utrustning för tvåfrekvens bärvågsmätning i realtid är *Leica* och *Trimble*). Beräkningsprogrammet kallas *PNAV*. Man har i försökssyfte köpt in ett par radiomodem av typen *Satellite 2ASx* från finska *Satel OY*. Mätdata loggas i fält till en bärbar PC av märket *Compaq*. Denna kommer dock att bytas ut mot en mindre, PC-kompatibel fältdator. Lantmäteriet har några *Husky* fältdatorer som utnyttjas vid exempelvis DGPS-mätningar¹.

¹ DGPS (differentiell GPS) = relativ kodmätning.

2. Radioutrustning

2.1. Radiomodem

Allmänt

Ett radiomodem består väsentligen av gränssnitt, modem och radioenhet (fig 2.1). *Gränssnittet* består av en krets som sköter kommunikationen mellan dator och modem, lämpligen enligt någon vedertagen standard såsom RS-232. *Modemets* uppgift är att omvandla det bitmönster som gränssnittet presenterar till signaler lämpliga för radioenheten. Omvandlingen föregås ibland av en kodning av data i komprimerande och/eller felkorrigerande syfte (se även *Felhantering* nedan). Modemet är i så fall även utrustat med en microprocessor. *Radioenheten* består av sändardel (Tx) och mottagardel (Rx). Sändaren modulerar radiovågen med signaler från modemet medan mottagaren demodulerar bärvågen och sänder signaler till modemet. Radiosändaren lämnar en RF-signal som slutligen leds till antennen.

De flesta nordiska modellerna av radiomodem har maximal sändareffekt mellan 0.5 och 1.0 watt, beroende på de regler som gäller för tillståndsfritt användande i dessa länder. Amerikanska radiomodem har oftast uteffekten 2 watt, men önskas högre effekter måste sannolikt radiosändaren/-mottagaren samt själva modemet komponeras ihop som separata enheter (se även 5.1. *Radioutrustning för UHF*).

Förhållandena som kommer att gälla för Lantmäteriets tillämpning är klart fältmässiga, vilket ställer vissa fysiska krav på utrustningen, såsom skydd mot väta samt låg vikt. Strömförbrukningen bör vara låg så att tillräcklig aktionstid uppnås utan att alltför stora batterier måste användas.

Vidare gäller att all radioutrustning skall vara provad och typgodkänd av Telestyrelsen eller annan opartisk provningsanstalt innan den får användas.

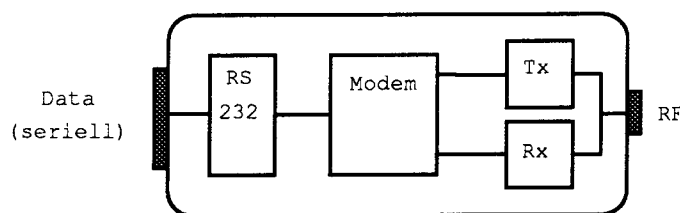


Fig 2.1. Radiomodemets uppbyggnad

Kommunikation över RS-232

GPS-mottagarna kommunicerar via en serieport enligt det standardiserade gränssnittet RS-232, som beskriver asynkron dataöverföring. Detta innebär att en handskakningsprocedur (med RTS/CTS-signaler) måste äga rum före varje sändning. Initieringsrutinerna i radiosammanhang innebär att en rad synkroniseringsbitar sänds (dolt för värddatorn) innan själva överföringen börjar, vilket medför att tecknervis sändning skulle bli mycket ineffektiv. I den aktuella GPS-tillämpningen handlar det dock om att överföra meddelanden med storlek i intervallet 500-2600 bitar.

Modemen kan normalt turas om att skicka data, s k halv duplex. På så vis erhålles en simulerad tvåvägskommunikation över en och samma kanal (full

duplex är för övrigt inte heller tillåten utan vidare i detta sammanhang, eftersom man då ockuperar två radiokanaler samtidigt [5]). Halv duplex ställer krav på radiomodemets snabbhet i att ställa om sig från sändning till mottagning och vice versa om hög överföringshastighet ska uppnås i båda riktningarna samtidigt. Då GPS-data ska överföras blir dock trafiken enkelriktad, se även 4.1. *Trafikslag*.

Dataformatet över RS-232 är vanligen 10 bitar långa ord, varav 8 är data och första och sista biten används som start- respektive stoppbit (fig 2.2). Alternativt kan man använda 7 bitars ord med den överblivna biten som paritetsbit, men detta lämpar sig endast för rena textöverföringar (ASCII-tecken) och är inte aktuellt här, eftersom det dessutom medför en hastighetssänkning.

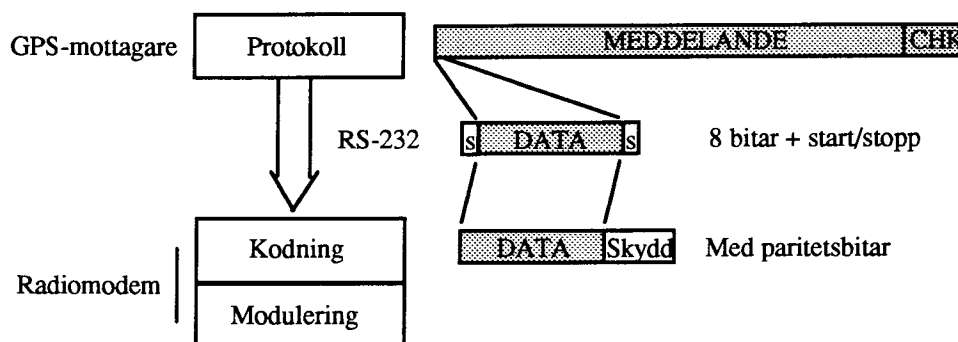


Fig 2.2. Dataöverföring med skyddskodning

Felhantering

De fältmässiga förhållandena som kommer att gälla för den aktuella tillämpningen medför i vissa lägen besvärliga radioförhållanden (långa avstånd, radioskugga etc), vilket kan komma att introducera fel i överföringen. För att förbindelsen ska bli pålitlig krävs därför någon form av felkontroll så att ett klientprogram inte börjar behandla förvanskad information. Kontrollen görs med hjälp av en checksumma i slutet av varje överfört meddelande (fig 2.2), och då fel upptäcks kan omsändning initieras genom att skicka ett speciellt meddelande tillbaka till sändaren. I det aktuella systemet nöjer man sig dock med att förkasta felaktiga paket, och istället invänta nästa sändning.

En del modeller av radiomodem med egen microprocessor har inbyggd felkorrigering som klarar vissa bitfelshalter utan att omsändningar behövs. Antalet bitar att sända kan dock öka med 25-50 %, vilket måste tas i beaktande ifall detta inskränker på radiolänkens minimikrav i fråga om överföringskapacitet av informationsbitar. Om exempelvis ett felkorrigering modems maximalt klarar att överföra 4800 bps så hamnar nettohastigheten i dataflödet kanske bara kring 2400-3000 bps. Fig 2.2 visar hur kodningsbitarna tillkommer, och vinsten ligger här förstås i att modemmet kan korrigera vissa fel. Men en annan fördel är att då ett ej korrigerbart fel upptäcks så räcker det med en omsändning av det senaste ordet. Utan skyddsbitar upptäcks felet först vid checksummeberäkningen som följer en dataöverföring. Som följd måste dessutom hela meddelandet omsändas.

Vid kommunikation med möjlighet till omsändning och låg signalstyrka kan det i vissa lägen vara bättre att sända med t ex 4800 bps än med 9600, eftersom det vid den högre bittakten kan uppträda så många bitfel att omsändningarna sänker nettohastigheten till under 4800 bps. Den ökade bitfelshalten beror på att en

fördubblad bittakt (i ett givet system) medför att varje sänd symbol får halverad utbredning i tid, varmed mottagaren ges ett sämre beslutsunderlag att arbeta på. Det kan dock vara omständigt att under driftförhållanden ändra bittakten i ett radiomodem.

Genom att tillgripa *interleaving* fås ökat skydd mot *skurfel*, dvs förvrängning av en hel följd av bitar. Interleaving innebär att en ram av flera dataord bildas, varefter informationsbitarnas stuvor om tillsammans med skyddsbitarna på så sätt att man, efter att i mottagaren ha sorterat bitarna rätt igen, sprider skurfelet inom ramen. Korrigeringsalgoritmerna ges därmed större möjligheter att lyckas (fig 2.3). Felkorrigering kan även implementeras i själva kommunikationsprotokollet, dvs i programvara, vilket får till följd att värddatorerna (GPS-mottagarna) belastas hårdare. Att kombinera felkorrigering i både hårdvara och programvara ger förstås höjd säkerhet men även sänkt nettohastighet.

För att minska mängden bitar att överföra föregås ibland den felkorrigering av en komprimering. Denna kan dock fungera med varierande framgång beroende på om värddatorernas protokoll redan komprimerar data eller ej.

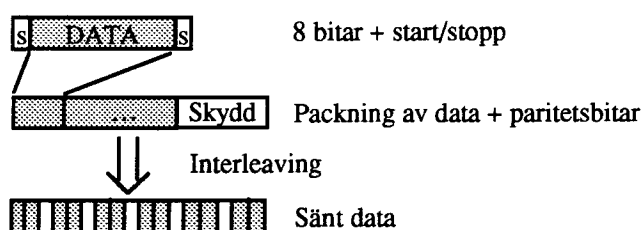


Fig 2.3. Principen för interleaving

2.2. Antenner

Den aktuella GPS-tillämpningen medger viss möjlighet att välja antenner. För den mobila enheten kan endast en liten antenn komma ifråga av praktiska skäl, t ex bör vikten vara så låg som möjligt eftersom utrustningen skall vara bärbar. Vid referensstationen kan däremot en något större antenn användas, då den placeras i en ställning. Då kommunikationen oftast är av typen punkt-till-punkt kan en antenn med riktverkan användas (undantaget är om flera mobila GPS-mottagare ska användas samtidigt, för ifall två mottagare ligger på var sin sida av basstationen på relativt stort avstånd kan riktantennen vara olämplig). En riktantenn koncentrerar den utstrålade energin i en bestämd riktning, vilket jämfört med en rundstrålande antenn ger högre fältstyrka i det området. Eftersom antennen är en passiv komponent erhålles en *antennvinst* (relativt en halv vågsdipol). 3 dB antennvinst motsvarar en fördubbling av sändareffekten. Man bör observera att antennvinst erhålls både vid sändning och mottagning. Ett exempel på en antenn av typen Yagi med 4 dB vinst kan ses i fig 2.4. För mer information om antenner och vågutbredning se t ex [1].

Antennen bör alltid placeras så högt som möjligt, men med kortast möjliga antennkabel eftersom dess dämpning är betydande. 5 meter nämns som en praktisk gräns för en antennkabel av standardtyp. Gränssnittskabeln kan däremot

vara upp till 15 meter lång utan att dämpningen inskränker på logiknivåerna i signalerna.

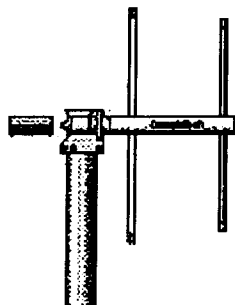


Fig 2.4. Yagiantenn av enklare typ

2.3. Frekvenstillstånd

Innan en radioförbindelse upprättas krävs ett godkännande från Telestyrelsen, som är den myndighet i Sverige som reglerar den s k etern. Både använd radioutrustning och tänkt frekvens ska vara godkända. Man har fastställt ett frekvensband med 12 kanaler för radiostyrning och telemetri där frekvenstillstånd inte behövs, låt vara under vissa restriktioner. Bandet skulle kunna vara lämpligt för överföring av GPS-data. Frekvensområdet täcker 439.700 - 439.975 MHz med 25 kHz kanalseparation, maximal uteffekt är 1.0 watt ERP (för mer information se [5]).

I praktiken kan det dock komma att handla om andra frekvenser än de nyss nämnda, då Telestyrelsen tillsammans med motsvarande myndigheter i grannländerna för närvarande arbetar på att koordinera två frekvensband att användas till GPS-tillämpningar. Fördelarna med detta är att dels att man kommer tillåta högre sändareffekter, men även att risken för att en viss kanal är upptagen sannolikt minskar. Det krävs dock att tillstånd sökes, och kostnaderna för detta är i dagsläget (feb -95) 750 kr per år + ansökningsavgift på 250 kr. Avsikten är att fastställa kanaler runt 409 respektive 422 MHz för GPS, och effekterna blir maximalt 5 W för 422 och åtminstone 25 W för 409 MHz (effekterna mätta som ERP), enligt Telestyrelsen.

3. Mobiltelefoner

Ett sätt att utnyttja befintlig radioutrustning är att använda mobiltelefoner till den erforderade dataöverföringen, och för svenskt vidkommande handlar det om två möjliga system : NMT och GSM. Det analoga systemet NMT har inte datakommunikation inbyggd utan man tvingas att använda någon typ av modem som till arbetssättet liknar de för vanliga telenätet. Vid goda förhållanden kan dock överföringshastigheter på 19200 bps nås.

Lantmäteriet har gjort försök med NMT-telefoner vid DGPS-mätningar och funnit att då man lämnar tätbebyggda områden eller större vägar och ger sig ut i terrängen försvagas signalstyrkan snabbt så mycket att datakommunikation vid önskvärda hastigheter ej längre är möjlig.

GSM-systemet har datakommunikation som standard, och hastigheten är upp till 9600 bps. Anslutningen mellan dator och GSM-telefon görs med ett speciellt modem av typ PCMCIA. GSM är dock inte färdigutbyggt ännu, och dessutom finns i dagsläget endast ett par modeller av GSM-telefoner och motsvarande modem med möjlighet till datakommunikation. Vidare är datatrafik mellan två GSM-mobiler ej möjlig (Telia Mobitel), utan endast mellan mobilen och utrustning i det fasta telenätet. Kommande uppgraderingar (första halvåret 1995) ska dock medge datakommunikation även mellan två mobiler.

GSM-systemet har bättre inbyggda förutsättningar än NMT, men sannolikt får man samma problem med svag signalstyrka ute i terrängen som i NMT-fallet. Vid mätsessioner nära E4 t ex är det dock möjligt att GSM kan komma att erbjuda goda möjligheter till dataöverföring. Rent kvalitetsmässigt har GSM ett övertag över NMT då systemet har inbyggd felkorrigering (FEC). FEC används vid all trafik (även tal), för datakommunikation finns ytterligare ett skydd i form av RLP. I NMT måste all felhantering skötas av själva modemmet som ansluts till telefonen.

4. Specifikation av radiolänk

4.1. Trafikslag

I den nuvarande systemkonfigurationen erhålles en fördröjning i dataöverföringen på runt 400 ms (varje pakets ålder rapporteras under drift). Med uppdatering av referensdata varje sekund hinns omsändningar av felaktiga paket därför inte med, utan dessa förkastas och sedan inväntas nästa paket istället. Detta innebär att trafiken blir enkelriktad (simplex), vilket kan påverka valet av radioutrustning. Man bör dock ha i åtanke att mätmetoderna med GPS är långt ifrån färdigutvecklade och att framtida system kan komma att kräva halv duplex i överföringen.

4.2. Överföringshastighet

Informationen som ska sändas över radiolänken består av paket som väsentligen innehåller 'rå' mätdata, dvs kod- och bärvågsfasmätningar. Storleken i bitar beror på typ av information samt antalet utnyttjade satelliter, men ligger i dagsläget i storleksordningen 500-2600 bitar, vilket också blir kravet på radiolänkens lägsta bittakt, då mätdata normalt uppdateras med 1 Hz. Minimikravet bestäms till 4800 bps för då klaras alla mätsituationer av, med litet marginal och viss reservation mot framtida, höjda krav.

4.3. Räckvidd

Den mätmetod som tillämpas tillåter, vid önskad noggrannhet på någon centimeter, ett största avstånd mellan basstation och mobil mottagare på ca 10 km, vilket också blir målet för systemets räckvidd. Man kan nog utan vidare misstänka att de 1.0 watt som Telestyrelsen fastställt som tillståndsfria **inte** kommer att uppfylla Lantmäteriets krav i fråga om att uppnå den räckvidden. Bl a så nämns i Satel OY:s egna manualer ett exempel med en räckvidd på ca 7 km under mycket gynnsamma förhållanden och med speciella antenner (se även 6. *Testmätningar*). Tillstånd bör därför sökas för att få använda högre sändareffekter, och då i första hand för de nya kanalerna vid 422 MHz (2.3 *Frekvenstillstånd*). Här avser man tillåta 5 watts uteffekt, och ifall detta inte visar sig räcka finns 409 MHz-kanalerna att tillgå.

4.4. Aktionstid

Den aktuella utrustningen är portabel, vilket innebär att den strömförsörjs med batterier. Ena halvan av utrustningen skall dessutom vara bärbar varför låg vikt eftersträvas. Detta står dock i motsats till lång aktionstid, eftersom hög batterikapacitet tyvärr medför hög vikt. Med lite överslagsräkning kan man få en uppfattning om prestanda. Kapaciteten mäts i amperetimmar (Ah), så om strömförbrukningen är känd blir beräkningen enkel. Antag t ex att man vill använda radiomodem med en strömförbrukning vid sändning på 900 mA. GPS-mottagaren Ashtech Z-12 förbrukar ca 25 W, vilket motsvarar 2.1 A vid 12 V matningsspänning, och om mätsessionen antas pågå i 4 timmar krävs i extremfallet² $(2.1+0.9) \times 4 = 12.0$ Ah. De batterier som idag används till mottagarna ger en drifttid på 3-4 timmar.

Dataöverföringen kommer med nuvarande konfiguration att vara asymmetrisk, dvs endast basstationens radioenhet kommer att sända data. Den rörliga enheten kommer alltså ha en lägre strömförbrukning än den fasta, eftersom sändning medför 5-10 gånger högre strömförbrukning än mottagning. Detta kan innebära att den bärbara delen av utrustningen klarar sig med befintliga batterier, avsedda för GPS-mottagaren. Referensstationens strömförsörjning måste sannolikt förstärkas, i vart fall om sändareffekter över 2-5 W ska användas.

² Gjorda tester med Lantmäteriets utrustning visar att vid dataöverföring med 9600 bps kommer modemmet att sända i ungefär en tredjedel av tiden. Strömförbrukningen blir i praktiken därmed mindre.

5. Marknadsöversikt

5.1. Radioutrustning för UHF

Undertecknad har erhållit datablad gällande radioutrustning för dataöverföring från följande företag :

- Dataradio Corporation (USA)
- Gorm Niros A/S (Danmark)
- Jotron Electronics a.s (Norge)
- Monitron Corporation (USA)
- Pacific Crest Corporation (USA)
- Satel OY (Finland)
- Theimeg Elektronikgeräte GmbH & Co (Tyskland)
- TP Radio (Danmark)
- Wood & Douglas (Storbritannien)
- Åkerströms Björbo AB

Anm: Dataradio Corp. och Pacific Crest Corp. har f n ingen representation i Sverige, vilket innebär att radioutrustningen först måste godkännas av Telestyrelsen för att få användas i landet. Procedurerna förenklas om man för den avsedda utrustningen kan visa upp ett godkännande från något annat land.

Nedan följer en sammanställning av radiomodem avsedda för UHF-bandet där de väsentligaste egenskaperna kan jämföras.

Tillverkare	Dataradio	Gorm Niros	Gorm Niros	Gorm Niros	Jotron	Monitron Corp.
Modell	T-Modem 96	Niros TRX 101D/P71	Niros TRX 101D/P64	Niros TRX 707/P56 ^{2,3}	DTR-401	T45F-2/RC41/DE-10 / DD-10
Effekt, max W	2	0.75	0.75	3	0.5	4
Hastighet, bps	1200-9600	max 9600	max 4800	-	1200-9600	2400-19200
Felkorrigering	Nej	Nej	Nej	-	Nej	Nej
Vikt, g	820	i.u.	i.u.	i.u.	i.u.	i.u.
Strömförbr. (sändning) mA	900	i.u.	i.u.	i.u.	290	300 vid 1 W
Övrigt				För externt modem.	5 W effektsteg finnes	Separata komponenter ³
Generalagent/säljes av	[Saknas] Tel. direkt +514 737 0020 Fax +514 737 7883	AB VHF Teknik 200 24 Malmö 040-49 10 64			JoR AB Rubanksg 3 741 71 Knivsta 018-34 28 20	Acal Auriema AB Korta Gatan 9 171 54 Solna 08-764 54 00

Tillverkare	Pacific Crest	Pacific Crest	Satel OY	TP Radio	Wood & Douglas	Åkerströms
Modell	DDR-96	RDDR-96 Blue Brick	Satellite-2ASx	TP5000 ^{2,3}	SLK460T/ SLK460R ²	Diracom CMU 3101
Effekt, max W	2	2	1	2.5 - 25	10 (15)	0.5
Hastighet, bps	4800/9600	4800/9600	1200-9600	Separat modem	-	300-9600
Felkorrigering	Ja	Ja	Nej	-	-	Nej
Vikt, g	730	270	240	750	4500 vardera	750
Strömförbr. (sändning) mA	800	580 ¹	450 (0.5 W uteffekt)	5500 (25 W uteffekt)	2500 (10 W)	250
Övrigt				Enbart radioenhet, modem finnes separat	Främst för analog förbindelse (audio)	
Generalagent/säljes av	[Saknas] Tel direkt +408 730 5789 Fax +408 730 5640	Se ovan	Satel Guardian AB Setterwalls Väg 12 131 36 Nacka 08-718 17 00	AB VHF Teknik 200 24 Malmö 040-49 10 64	Intersonic LEAB AB Box 42133 126 15 Stockholm	Åkerströms Björbo AB 780 45 Björbo 0241-232 50

i.u. = ingen uppgift

1 Beräknat värde

2 Endast radioenhet

3 Klarar 2 m-bandet

Tabell 5.1. Sammanställning av radiomodem

5.2. Kommentarer till tabell 5.1

Gemensamt för samtliga enheter i tabell 5.1 är att de kan användas med 12 V matningsspänning samt att de kan arbeta i 0.7 m bandet (i intervallet 400-450 MHz). Nedan kommenteras varje märke för sig.

Dataradio

Denna amerikanska tillverkare har en uppsättning enheter för trådlös dataöverföring varav *T-Modem 96* måste anses vara den enda för fältmässiga förhållanden. Hög bittakt och 2 W sändareffekt gör *T-Modem 96* till ett intressant radiomodem.

Gorm Niros

Niros *TRX 101D/P71* och *TRX 101D/P64* är två radiomodem som verkar intressanta fastän de har något låg uteffekt. *Niros TRX 707/P56* har en kraftigare sändare på 3 W men däremot inget inbyggt modem. Den är dock förberedd för externt modem.

Jotron

DTR-401 liknar i det mesta *Satellite 2ASx* fast i ett enklare utförande. Enheten är kompakt och enligt JoR AB finns det även ett effektsteg på 5 W att koppla till för mer krävande tillämpningar.

Monitron Corporation

Monitron Corp. tillverkar egentligen inte heller radiomodem, utan man har ett program av separata enheter som tillsammans mycket väl lämpar sig för dataöverföring i fältmässig miljö. Även radion består av två olika enheter (sändare/mottagare), vilket passar den aktuella tillämpningen då trafiken är enkelriktad. Lämplig uppsättning skulle kunna vara följande : kodaren *DE-10* tillsammans med 4 W-sändaren *T45F-2* på referensstationen och avkodaren *DD-10* med mottagaren *RC41* för den mobila GPS-mottagaren.

Wood & Douglas

Utrustningen får anses olämplig här, eftersom den främst är avsedd för överföring av tal. Dessutom har den en ansevärd vikt.

Theimeg

Den observante upptäcker snabbt att tyska Theimeg inte finns med i tabellen, detta beroende på att deras snabbaste modell *TH-MP/SD* klarar högst 3600 bps och är därmed ej kvalificerad för Lantmäteriets tillämpning. Utrustningen verkar dessutom vara designad för industriell, icke fältmässig miljö.

TP Radio

Deras enda modell *TP5000* är enbart en kombinerad radiosändare/-mottagare och kan därmed egentligen inte kallas radiomodem. Det går dock att ansluta ett externt modem vilket, tillsammans med den maximala uteffekten 25 W, gör det väl lämpat för dataöverföring över större avstånd. Den höga effekten ställer dock krav på strömförsörjningen.

Pacific Crest

Radiomodemen *DDR-96 / RDDR-96* har i stort samma egenskaper som de som *Dataradio* tillverkar. Skillnaden är dock att Pacific Crest även har implementerat felkorrigering i sina modeller, vilket ger enheterna ett övertag över Dataradios dito.

Satel OY

Satel tillverkar fyra olika radiomodem och av dessa är *Satellite 2ASx* 'top-of-the-line' och tillika den enda som är PC-kompatibel. Modellen är mycket kompakt och har ett enkelt handhavande. Med maximalt 1 W uteffekt blir dock användningsområdet begränsat, se vidare i 6. *Testmätningar*. Enligt uppgift avser Ashtech Europe Ltd att använda *Satellite 2ASx* för sina realtidsapplikationer, vilket med tanke på sändareffekten måste innebära att radiolänken inte ska användas över så stort avstånd som 10 km.

Åkerströms

Programutbudet för Åkertströms radioutrustning är koncentrerat på trådlös kommunikation för industrin där avstånden inte är större än något hundratal meter. Deras *Diracom CMU 3101* är främst avsedd att användas som master i ett datainsamlingssystem och får här anses utkonkurrerad av andra, lämpligare modeller.

5.3. Radioförbindelser i VHF-bandet

Man har från Lantmäteriets sida önskat utreda möjligheten att utnyttja sitt befintliga frekvenstillstånd för VHF FM-radio vid 156 MHz. Frekvensen används för "Walkie-Talkie"-förbindelse mellan två eller flera operatörer på fältet och tillståndet medger maximalt 5 watts sändareffekt. Avsikten var nu att koppla ett modem till denna radioutrustning och på så vis överföra mätdata.

Det uppstår en del praktiska problem vid själva sammankopplandet om vanlig radioutrustning avsedd för talförbindelse ska användas. Vidare bör man ompröva tillståndet om data ska sändas istället för tal, eftersom frekvensutbredningen sannolikt blir större. På marknaden finns dock utrustning för 2 m våglängd förberedda för externa modem, se *Tabell 5.1*. Exempel på tillverkare är danska Niros med 3 W resp TP Radio med 25 W uteffekt, samt amerikanska Monitron med 5 W.

Fördelen med en lägre bärvågsfrekvens är att radiovågen dämpas mindre av hinder, nackdelen är att antennerna blir stora om de ska vara effektiva (vid 156 MHz är bärvågen ca 1.9 m, vilket gör en ½-vågsantenn 0.95 m lång).

5.4. Antenner

Satel Guardian AB som säljer *Satellite* radiomodem saluför även antenner av märket *CompleTech*. Sortimentet består av litet större antenner med antennvinster mellan 2 och 10 dB, med olika grad av riktverkan. En antenn lämplig att användas vid referensstationen skulle kunna vara *ComAntD*, *ComAntY* eller *ComAntS2*, med antennvinsterna 3, 4 resp 7 dB. Av dessa är den sistnämnda störst med en vikt av 1.2 kg och en höjd av 0.9 m. *ComAntF* kan användas till den mobila enheten då den är rundstrålande; antennvinsten är 3 dB och höjden 0.7 m.

En annan antenntillverkare är Allgon, som kan uppvisa ett stort sortiment där betoningen dock ligger mot mobiltelefonisystem. Lämpliga modeller för basstationen har inte kunnat presenteras.

5.5. Sammanfattning, marknadsöversikt

Det finns tydligen utrustning på marknaden som sannolikt skulle uppfylla Lantmäteriets krav för överföring av GPS-data. På radiosidan är det för svenskt vidkommande relativt väl försörjt med utrustning med olika grad av lämplighet. Två kategorier kan identifieras, och det är dels de kompletta radiomodemen som är klara att användas direkt, dels radioenheter som är förberedda för att anslutas till externt modem. Lämpliga märken ur den första kategorin är Pacific Crest RDDR-96, genom dess inbyggda felkorrigering och relativt höga uteffekt, samt Jotron DTR-401, som kan utrustas med ett 5 watts effektsteg. Bland enheter i den andra kategorin bör nämnas Monitron Corporation med möjlighet till skräddarsydda lösningar, 4 W sändareffekt samt en design för fältmässigt användande. Niros TRX 707/P56 är med sin 3 watts radiosändare en modell med goda förutsättningar, och speciellt TP5000 som har en justerbar uteffekt på mellan 2.5-25 W. Med så kraftiga slutsteg ställs högre krav på strömförsörjningen, och man kan behöva undersöka möjligheten att transportera batterier ända fram till referenspunkten med något

fordon. Vintertid kan detta lösas med en snöskoter och eljest kanske en fyrhjulig motorcykel kan komma ifråga, men detta är frågor utanför examensarbetets ram.

Antennen måste anses vara svårare komponent att välja i sammanhanget, eftersom täckningsområdet i princip ser olika ut vid varje mätsession. Man kan inte heller hantera hur stora antennarrangemang som helst, även om de endast upprättas vid referensstationen och således är stationära under mätarbetet. Valmöjligheterna begränsas därmed ytterligare. En avvägning måste göras mellan graden av riktverkan och mätområdets aktuella utformning.

CompleTech kan leverera antenner med olika grad av riktverkan och rent fysiskt är de flesta användbara då vikten är låg och storleken ringa. Andra tillverkare av antenner lämpliga för den aktuella mätutrustningen har tyvärr inte hittats.

6. Testmätningar

6.1. Syfte

Avsikten med testmätningarna var dels att få en känsla för hur mätrutinerna förändras då referensdata tas emot i realtid, men främst att få en uppfattning om räckvidden hos ett givet system, samt hur systemet beter sig då man närmar sig gränsen för denna.

6.2. Utrustning

Vid försöken användes radiomodem av typ *Satellite 2ASx* från Satel OY, inställda för 439.900 MHz. Modemen har fem lysdioder (CTS, RTS, TD, RD, CD) som visar aktuell status. Antennerna var av ½-vågstyp, men tester gjordes också med en riktantenn på referensstationen från CompleTech av modell *ComAnt 450D* med 3 dB antennvinst. Antennen anslöts med en kabel av 1 m längd. För att kunna variera antennhöjden hos den mobila enhetens radioutrustning användes en utdragbar stång med längder möjliga i intervallet 1.8-3.6 m. GPS-mottagarna var från Ashtech med modellbeteckningen *Z-12*. Programvaran i GPS-mottagarna var också en ashtechprodukt kallad *Real-time PNAV*, version ØJØ6-1C34. Denna medför att positionsbestämning kan ske direkt i mottagaren. Programmet har en funktion kallad 'RPD Data Link Status' som visar en rad uppgifter rörande dataöverföringen. Mest användbar vid testerna var möjligheten att se andelen mottagna och godkända paket (checksummeberäkningen OK) under de senaste minuterna, uttryckt i procent. Storheten kallas i PNAV för *QA*. En bärbar PC av typ *Compaq 475* användes för att logga mätdata.

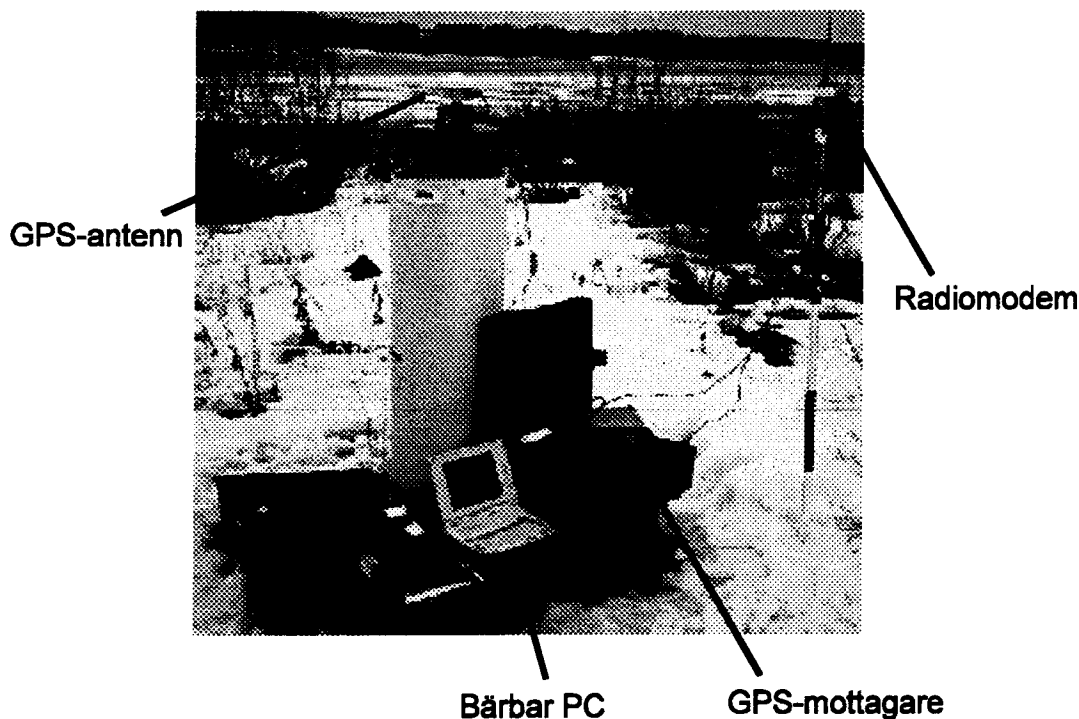


Fig 6.1. Testutrustningen

6.3. Mätförfarande

Lantmäteriet använder vid sina tester ett mätområde vid Rörberg, som ligger alldeles intill Gävle-Sandvikens flygplats, ca 10 km väster om Gävle (en karta över området finns som bilaga). Platsen karaktäriseras av plan och öppen terräng med en obetydlig mängd träd. I området, som är ca 2.5 km långt, finns ett antal mycket noggrant uppmätta referenspunkter. Punkterna används för att undersöka noggrannheten på positionsbestämningarna vid testmätningar. Det var visserligen dataöverföringen som skulle undersökas och inte mätnoggrannheten, men kan inte referensdata tas emot från basstationen med önskad frekvens (en gång per sekund) blir noggrannheten lidande.

Mätningarna utfördes genom att först utse en referenspunkt till basstation. Eftersom testområdet inte är så långt valdes en punkt vid områdets utkant (nummer 5 på kartan). Punkten befinner sig på en liten kulle med öppen terräng runtom. Vid denna ställdes sedan utrustningen upp, med UHF-antennen på en käpp med en höjd av ca 1.80 m. Radiomodemet sände med 0.5 watts uteffekt. GPS-mottagaren ställdes in i 'base mode' och radiomodemets TD-lysdiod visade att sändning påbörjats. Den andra utrustningen (fig 6.1) ställdes sedan upp vid allt längre avstånd från basstationen, i första hand med antennen på en höjd av ca 2 m (för att efterlikna kommande förhållanden då utrustningen skall bäras i ryggsäck). Detta fortsatte tills dataöverföringen inte längre var av godtagbar kvalitet. Som kriterium användes måttet på andelen mottagna och godkända paket (som nämnts i 6.2 *Utrustning*), och då QA sjönk till under 90 % ansågs förhållandena vara för svåra. Detta valdes rent empiriskt, då dokumentationen till PNAV inte ger något råd i detta hänseende. Ju lägre QA-värde desto sämre noggrannhet erhålles samtidigt som positionskoordinaterna svänger in sig långsammare med större oscillationer. Man kan konstatera att för att få bra resultat bör paket kunna tas emot under ett tiotal sekunder utan något bortfall av referensdata.

För att se om räckvidden kunde förlängas med den enklare riktantennen från CompleTech gjordes tester med en sådan också, vid samma basstation som tidigare. Antennen lyftes dessutom upp och placerades i en stolpe ca 3.6 m från marken. Förfarandet var sedan detsamma som tidigare.

6.4. Resultat

Den första mätpunkten låg ca 700 m från referensen (nr 1), och mätprocessen kom igång direkt utan problem. Radiolänken kan verkligen kallas transparent då dess existens inte gjorde sig påmind alls. QA-värdet låg kring 99 % och positionen kunde bestämmas snabbt (några sekunder). Vid efterkontroll av de på den bärbara PC:n loggade mätvärdena konstaterades mycket liten avvikelse från det korrekta, under centimetern. Mätpunktens höjd visade upp aningen större fel, men oftast under en centimeter. Nästa mätpunkt låg ca 2 km från referenspunkten (nr 2) och här blev resultatet i stort detsamma som vid förra punkten. Sedan förflyttades utrustningen till en position utanför själva referensområdet (markerat med x1 på kartan) som gav ett avstånd till basstationen på ca 2.7 km. QA-värdet sjönk först mot allför låga nivåer men detta avhjälpes genom att skjuta upp antennen (och radiomodemet) till 3 meters höjd. Efter detta fungerade mätprocedurerna som förut. Slutligen placerades mätapparaturen vid en position ca 3 km från referenspunkten (punkt x2) och QA pendlade då mellan 90-95 %, vilket möjliggjorde mätningar. Ett krav var dock att antennen lyftes upp till ca 3.6 m höjd, och vi ansåg därmed att systemets kapacitet i fråga om räckvidd var nådd. Ett sista försök ytterligare 300 m längre bort (x3 på kartan) bekräftade detta då inget data

från referenspunkten kunde tas emot. Till saken hör dock att terrängen vid platsen hade rikligare inslag av höga träd än tidigare.

Del två av testet innebar att antennen vid referensstationen byttes ut mot en med lätt riktverkan, men skillnaden blev dock närmast försumbar mot tidigare försök. Vi lyckades visserligen ta emot viss mängd data på den plats ca 3.3 km ifrån där det förut var omöjligt, men förbindelsen måste anses osäker då man plötsligt kunde förlora 10 paket i rad eller mer. Antennhöjden på den mobila sidan tycktes inte ha någon större betydelse.

6.5. Sammanfattning, testmätningar

Med den använda utrustningen med 0.5 W sändareffekt och enklaste typen av antenner nåddes en räckvidd i plan, öppen terräng på ca 3 km. En upphöjd riktantenn vid referensstationen med en angiven antennvinst på 3 dB gav försumbara förbättringar. Det kommer naturligtvis att finnas mätsituationer där den uppnådda räckvidden räcker, men sannolikt kommer systemet att lika ofta vara otillräckligt. Då avståndet skall utökas handlar det främst om att finna radiosändare med kraftigare slutsteg, men även i viss mån om att välja lämpliga antenner.

7. Slutsatser

Rapporten har behandlat de förutsättningar som gäller då referensdata ska sändas från en stationär GPS-mottagare till en mobil dito vid bärvågsmätning i realtid. Det är främst räckviddskraven som kan orsaka problem, och tester har visat att det behövs mer effekt än den som utrustning avsedd för telemetribandet kan prestera. Fler tester kan behövas för att klargöra storleksordningen på effektbehovet. Marknadsöversikten ger uppslag till alternativ som kan vara lämpliga i detta sammanhang, dessa nämns i 5.5. *Sammanfattning, marknadsöversikt*. De av Telestyrelsen fastställda frekvenser i UHF-bandet för GPS-tillämpningar ökar möjligheterna att få använda radioutrustning med kraftigare sändare.

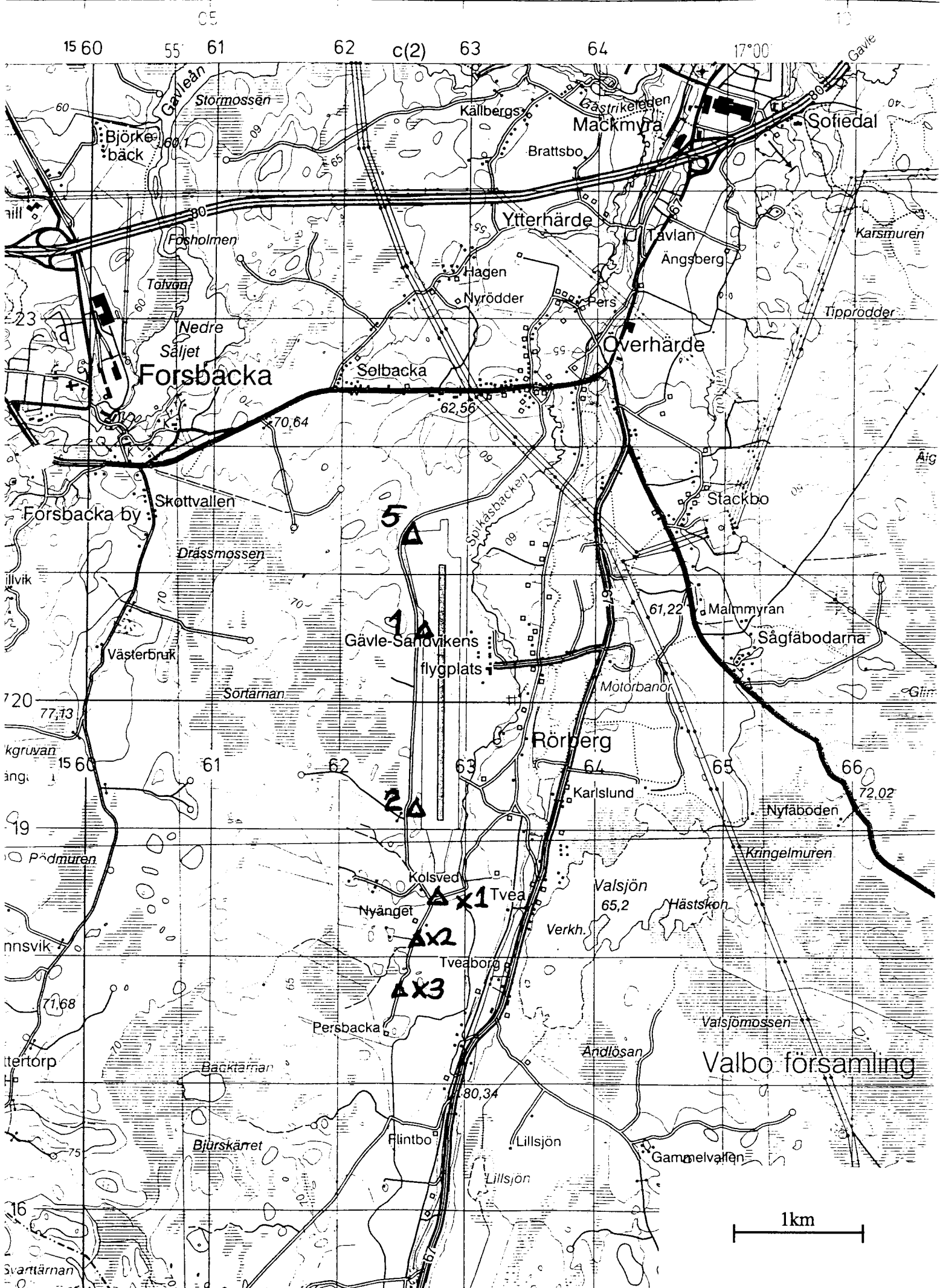
Problemet vid design av radiolänken är här att systemet ska fungera under så olika betingelser; ingen mät-session är egentligen den andra lik. En avvägning måste göras mellan hur mätområdena kan se ut och därmed vilken radiotäckning som önskas, och vilken utrustning som är hanterbar för fältarbetarna.

9. Förkortningar

CD	<i>Carrier Detect</i> , kommunikationssignal i RS-232
CTS	<i>Clear To Send</i> , kommunikationssignal i RS-232
ERP	<i>Emitted Radio Power</i> , utsänd effekt, inkluderar ev antennvinst
FEC	<i>Forward Error Correction</i> , felkorrigeringssystem i GSM
FSK	<i>Frequency Shift Keying</i> , modulationsmetod
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
MSK	<i>Minimum Shift Keying</i> , modulationsmetod
NMT	<i>Nordiskt MobilTelefonisystem</i>
PCMCIA	<i>Personal Computer Memory Card International Association</i> , standard för expansionskort
RD	<i>Receive Data</i> , kommunikationssignal i RS-232
RF	<i>Radio Frequency</i>
RLP	<i>Radio Link Protocol</i> , felskydd för dataöverföring i GSM
RS-232	Standard för seriellt kommunikationsgränssnitt
RTS	<i>Request To Send</i> , kommunikationssignal i RS-232
SNR	<i>Signal to Noise Ratio</i> , signal/brus-förhållande
TD	<i>Transmit Data</i> , kommunikationssignal i RS-232
UHF	<i>Ultra High Frequency</i> , 300-3000 MHz
VHF	<i>Very High Frequency</i> , 30-300 MHz

8. Referenser

- [1] Ahlin L, Zander J (1992). *Digital radiokommunikation - system och metoder*. Lund: Studentlitteratur. ISBN 91-44-34551-8
 - [2] *Handbok till mätningsskuggörelsen - Geodesi, GPS* (1993). Statens lantmäteriverk. Gävle: Lantmäteriet. ISBN 91-7774-041-6.
 - [3] Hofmann-Wellenhof B, Lichtenegger H, Collins J (1993). *GPS - Theory and Practice*. 2:a uppl. Wien: Springer Verlag. ISBN 3-211-82477-4
 - [4] Jonsson, B (1991). *Kort introduktion till GPS*. Gävle: Lantmäteriet. LMV-rapport 1991:4. ISSN 0280-5731
 - [5] *Televerkets föreskrifter om tekniska krav på radioanläggningar för radiostyrning, telemetri och larmöverföring* (1989). Televerkets författningssamling, TVTFS 1989:104
-



1km