

**Rapportserie: Geodesi och Geografiska informationssystem**

---

# Kompatibilitet för olika utrustningar vid RTK-mätning mot SWEPOS

Ulf Eriksson och Urban Andersson

Gävle 1997

LANTMÄTERIVERKET



## Rapporter i geodesi och geografiska informationssystem från Lantmäteriverket

- 1996:2 Lejonhufvud C & Wiklund P: Undersökning av semikinematisk GPS-mätning i realtid.
- 1996:5 Ammenberg P & Hansson K: The Compatibility of SWEPOS-data with GPS-Equipment available on the market.
- 1997:1 Östlund J: Metoder för ruttoptimering, en översikt.
- 1997:2 Becker J-M: Riksavvägningsarbeten i Sverige under perioden 1974-1995
- 1997:8 Rystedt S: Q-Vadis. Ett geografiskt informationssystem för regional planering och miljöövervakning
- 1997:12 Minör U: Generalisering av linjer i vektormiljö.
- 1997:13 Rydén A: Ajourhållning med SPOT-data. Ett förslag till digital revideringslinje
- 1997:14 Hertzberg M, Jansson S: Karteum på internet
- 1997:15 Låås P: Klassificering av myrar med satellitdata – en möjlighetsstudie för ett svenskt CORINE Land Cover
- 1997:16 Jonsson B: Geodetic applications of GPS

## Förord

Lantmäteriverket driver SWEPOS, ett nät av fasta referensstationer över hela Sverige för insamling och tillhandahållande av data från det satellitbaserade navigations- och positionsbestämningssystemet GPS (Global Positioning System) för en mängd olika tillämpningar. Sedan 1994 distribueras korrektions-data för differentiell kodmätning (DGPS) över RDS-kanalen på FM P3-nätet via Epos-tjänsten som drivs av Teracom Svensk Rundradio AB. Man planerar i framtiden att tillhandahålla data från SWEPOS för realtids bärvågsmätning (RTK). För att klara detta krävs högre överföringskapacitet. Detta kan lösas genom introduktion av DARC (Data Radio Channel ) som är ett digitalt system som kommer att distribueras på FM-nätet. Forskningen inom detta område sker inom det sk. Ciceron-projektet som är ett samarbete mellan Lantmäteriverket, Teracom och Onsala Rymdobservatorium inom Chalmers tekniska högskola [13].

Data för RTK är tänkt att distribueras enligt formatet RTCM SC-104 version 2.1. (RTCM-Radio Technical Commission for Maritime users). Detta format används redan för kodmätning. För bärvågsmätning är tillämpningarna inte lika spridda och olika tillverkare kan ha implementerat formatet på olika sätt.

Detta examensarbete syftar till att undersöka möjligheten för olika fabrikat av RTK-utrustning att utnyttja data från SWEPOS-nätet för bärvågsmätning i realtid. De fabrikat som har undersökts är Ashtech, Geotronics och Leica. På grund av praktiska omständigheter har det inte varit möjligt att prova utrustning från Trimble inom ramen för detta examensarbete. Undersökningen genomfördes dels genom att teoretiskt studera RTCM-formatets uppbyggnad och implementering hos de olika fabrikaten samt genom praktiska försök på tre olika avstånd från referensstationen där funktion och mätnoggrannhet kontrollerades.

Examensarbetet genomfördes som avslutning av kart- och mättingsingenjörsutbildningen vid högskolan i Gävle/Sandviken på uppdrag av geodetiska utvecklingsenheten på Lantmäteriverket i Gävle.

Vi vill härmed passa på att tacka vår handledare Martin Lidberg samt övrig personal på Geodetiska utvecklingsenheten som hjälpt oss med diverse problem.

I vår handledningsgrupp ingick även Bo Jonsson och Christina Ottoson.

Ett tack också till den personal hos de olika fabrikanterna som lånat ut utrustning och ibland fått hjälpa oss med diverse problem. Särskilt Börje Andersson från Geotronics och Malte Högström från Leica som hjälpt oss på plats vid mätningarna.

Examinator är Jadwiga Piechocinska, Högskolan i Gävle/Sandviken.

Gävle, augusti 1997

Urban Andersson

Ulf Eriksson

## Sammanfattning

Syftet med examensarbetet var att undersöka möjligheten för olika fabrikat av tvåfrekvens GPS-mottagare att utnyttja data från referensstationer i SWEPOS-nätet enligt RTCM-formatet vid mätning och beräkning av positionen med kinematisk bärvågsmätning i realtid, RTK. Principen för detta bygger på att man har en eller flera referensmottagare med GPS-antenn på kända punkter som insamlar bärvågsdata ur satellitsignalerna. Bärvågsdata sänds via en radiolänk till en eller flera rörliga mottagare som förflyttas mellan punkter som skall positionsbestämmas. De rörliga mottagarna använder dessa bärvågsdata tillsammans med egna bärvågsdata från samma tidpunkt vid beräkningen av sin position varvid en position med centimeternoggrannhet erhålls.

Mätningarna innehåller olika fel som är gemensamma för referensmottagaren och den rörliga mottagaren. Felen elimineras eller korrigeras vid beräkningen av mottagarantennens position genom tillämpning av speciella beräkningsalgoritmer.

RTCM-formatet för överföring av GPS-data i realtid är den existerande de-facto standarden på området för land- och sjö tillämpningar, och har tagits fram av RTCM-SC 104 (Radio Technical Commission for Maritime users - Special Committee 104). Formatet är uppbyggt av flera olika meddelande typer, t.ex. innehåller meddelande typ 1 pseudoavståndskorrekationer för differentiell kodmätning (DGPS).

Den senast publicerade standarden av RTCM är version 2.1. Denna version innehåller nya meddelanden som stöder kinematisk bärvågsmätning i realtid. Generell uppbyggnad av meddelandena och vad de gör redovisas i rapporten. För mer detaljerad information hänvisas till kompendium RTCM SC-104 v 2.1[1].

De fabrikat som testats i examensarbetet är Ashtech, Geotronics och Leica. Försöken lades upp som både en funktions- och noggrannhetskontroll av respektive fabrikat. Referensstationen utgjordes, precis som på SWEPOS-stationerna av en Ashtech-mottagare kopplad till en GPS-antenn med känd position på Lantmäteriverkets tak. För överföringen av data krävdes en radiolänk bestående av 0,5 W radiomodem med 25 W-förstärkare samt riktantenn på

referensstationen och 0,5 W radiomodem med rundstrålande antenn på den rörliga sidan.

På tre olika avstånd från referensstationen på LMV:s tak valdes testpunkterna taket LMV, Åkermanskulle och Rörberg. Koordinaterna från inmätningen av testpunkterna kan anses hålla högre noggrannhet än de koordinater som erhöles vid RTK-mätningar och beräkning med respektive fabrikat i försöken.

På varje punkt genomfördes mätningen med aktuell inställning av parametrar och meddelandetyper enligt RTCM-formatet i både referens- och rörlig mottagare. Vid varje mätning användes en av varje fabrikat definierad noggrannhetsnivå, som definierar när registrering och lagring av data kunde börja.

Ca. 15 mätningar per punkt utfördes med varje fabrikat. Ett antal gånger bröts låsningen av satellitsignaler och periodobekanta beräknades på nytt. Tiden tills fixlösning erhöles mättes.

Vid mätningarna testades vilka kombinationer av meddelandetyper som krävs för att utföra RTK-mätning. Med rätt variant av meddelande 18 i referensstationen (sändande Ashtech-mottagaren), kunde samtliga testade mottagare mäta RTK med RTCM-formatet med meddelande typ 3 och typ 18 och 19.

Mätresultaten sammanställdes och utvärderades. Ingen skillnad i mät-noggrannheten mellan fabrikaten kunde konstateras. Noggrannheten minskade något för samtliga fabrikat på det längsta mätavståndet. Tiden för bestämning av periodobekanta ökade markant på det längsta avståndet

## Abstract

The purpose of this diploma work is to investigate the possibility for different manufacturers of GPS equipment to utilize data from the SWEPOS-reference station network when surveying in real-time kinematic mode using the RTCM-format. The principle is that a receiver placed at a known point is collecting data and calculates corrections. These corrections are transmitted via a radio-link to a remote receiver and then a position with higher accuracy is achieved. These corrections refers to different sources of errors which are common at the reference and the rover-station and can thereby be modelled.

The RTCM-format for transmission of GPS-data is an existing de facto-standard for maritime users and has been developed by RTCM-SC 104 (Radio Technical Commission for Maritime users - Special Committee 104). The format consists of several message-types, for example consists type 1 of pseudorange corrections for DGPS measurement. The messages are transmitted via a data-link to a rover receiver.

The last published version of the standard is 2.1. This version consists of new messages that support real-time kinematic measurement. The general form of the messages and their function are presented in this work. For more detailed information, see [1].

The tested equipments were Ashtech, Geotronics and Leica. The reason for choosing these is that they were the equipment available for the diploma work.

The test included both a function-test and a test of the accuracy.

The practical tests were performed by placing an Ashtech-receiver at the reference station as it is on the SWEPOS-stations. The reference station was located on the roof of the NLS. For the transmission of data, a 0,5 W radio modem with a 25 W booster and a directional antenna was selected on the reference station and a 0,5 W radio modem and a omni-directional antenna on the rover station.

For the accuracy test, three points on different distances from the reference station were chosen, a point on the roof of NLS, Åkermanskulle and Rörberg. The accuracy for the coordinates of the the test-points can be regarded as better than the accuracy that the tested receivers could accomplish.

On each point, the measurement was accomplished with different settings of parameters and RTCM-messages in the receiver, and with a for each receiver defined accuracy level. This accuracy level defines when registering and storing of data could start.

Approx. 15 measurements were carried out with each receiver-type. The lock of satellites were interrupted five times and the initialization-process was repeated. The elapsed time was then measured up to the time when fixed ambiguity solution was obtained again.

We tested which combinations of messages that was necessary to get the measurement working. With the right variant of the message number 18 in the reference-station (the transmitting Ashtech-receiver), every receiver could measure RTK via the RTCM-format using the messages types 3 and 18/19.

The results was put together and evaluated. No difference in accuracy between the receivers could be stated. The accuracy decreased on the longest distance. The time to get ambiguity resolution increased on the longest distance.



# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. INTRODUKTION.....	1
2. ALLMÄN GPS-TEORI.....	3
2.1 Introduktion till GPS.....	3
2.2 Feltyper.....	4
2.3 Kinematisk bärvågsmätning i realtid.....	5
2.4 SWEPOS.....	8
3. RTCM.....	10
3.1 Behovet av en standard.....	11
3.2 Generellt meddelandeformat.....	11
3.3 Meddelandetyper.....	14
3.4 Meddelandetyper för RTK.....	16
3.5 Datalänk.....	20
4. METODER.....	22
4.1. Planering av mätningarna.....	22
4.2 Formler för utvärdering av noggrannhet.....	23
4.3 Punktbestämningar.....	24
4.3.1 LMVT.....	24
4.3.2 Punkt på taket på LMV.....	25
4.3.3 Åkermanskulle.....	26
4.3.4 Rörberg.....	29

4.3.5 Transformation.....	28
<b>5. GENOMFÖRANDE AV FÖRSÖK.....</b>	<b>30</b>
<b>5.1 Referensstation.....</b>	<b>30</b>
<b>5.2 Radiolänk.....</b>	<b>32</b>
<b>5.3 Rörlig station.....</b>	<b>33</b>
5.3.1 Ashtech.....	33
5.3.2 Geotronics.....	35
5.3.3 Leica.....	38
<b>6. DISKUSSION.....</b>	<b>41</b>
<b>7. SLUTSATSER.....</b>	<b>42</b>
<b>8. REFERENSER.....</b>	<b>44</b>
<b>9. BILAGOR.....</b>	<b>46</b>
Bilaga 1 RTCM-Meddelande typ 1	
Bilaga 2 RTCM-Meddelande typ 3	
Bilaga 3 RTCM-Meddelande typ 18	
Bilaga 4 RTCM-Meddelande typ 19	
Bilaga 5 Punktskisser	

# 1. INTRODUKTION

Lantmäteriverket planerar att tillsammans med Teracom Svensk Rundradio AB tillhandahålla bärvågsdata från SWEPOS-nätet enligt RTCM-formatet för kinematisk bärvågsmätning i realtid, RTK. Bärvågsdata är tänkt att distribueras via DARC (Data Radio Channel) som använder en sidobärvåg på FM-bandet för dataöverföring [12]. Under en övergångsperiod kan bärvågsdata även komma att distribueras via GSM-telefon.

Syftet med detta examensarbete är att undersöka möjligheten för olika utrustningar att via meddelanden med bärvågsdata enligt RTCM-formatet bestämma sin position i realtid. Olika tillverkare av GPS-utrustning kan ha implementerat formatet på olika sätt, varför det är av intresse att se hur de kan ta emot och bearbeta de distribuerade meddelandena.

Arbetet är upplagt med en teoridel som beskriver referensstationerna i SWEPOS, mätning och beräkning av positioner enligt RTK-metoden och även RTCM-standarden och de olika meddelandetypernas uppbyggnad.

Den andra delen innehåller försök som består av ett funktionalitetstest och ett noggrannhetstest. I funktionalitetstestet undersöktes om och hur mottagarna fungerade vid mätning enligt RTK-metoden med överföring av bärvågsdata i meddelanden med uppbyggnad enligt RTCM-formatet. Olika aspekter på mätningarna utvärderades, tex. hur lång tid det tar innan mätningarna kan påbörjas efter att man förlorat låsning av satellitsignalen till en eller flera satelliter och periodobekanta måste bestämmas på nytt. I noggrannhetstestet kontrollerades noggrannheten vid mätning enligt ovan på tre testpunkter på olika avstånd från referensstationen.

Referensstationen bestod i samtliga fall av Ashtechs Z-12 mottagare samt Ashtechs Choke Ring-antenn, eftersom det är denna utrustning som finns på SWEPOS-stationerna. Testmätningarna skedde med respektive rörlig mottagares egna antenner och kablar. Radioöverföringen löstes med hjälp av Lantmäteriverkets egna radiomodem av märket Sateline och 25 W förstärkare tillverkade av

Pecab.

De utrustningar som testades var: Ashtech Z-12, Geotracer 2200 L1/L2 och Leica SR9500. På grund av praktiska omständigheter har det tyvärr inte varit möjligt att prova utrustning från Trimble inom ramen för detta examensarbete.

## 2. ALLMÄN GPS-TEORI

### 2.1 Introduktion till GPS

GPS-systemet är uppbyggt och drivs av det amerikanska försvaret och erbjuder global, mycket noggrann navigering och positioneringsservice 24 timmar om dygnet. Satelliterna sänder ut signaler på frekvenserna L1 (1575.42 MHz) och L2 (1227.60 MHz). På L1-frekvensen sänds både s.k. P-kod och C/A-kod, medan L2 frekvensen endast innehåller P-kod. Dessutom sänds ett satellitmeddelande, se [2] och [3]. Detta är uppbyggt av 30 bitars ord och sänds med överföringshastigheten 50 bitar per sekund.

Satellitmeddelandet innehåller information om satellitklocka, satellitbana, satellitens hälsostatus och olika korrektionsdata.

Satellitbanorna övervakas kontinuerligt av flera markkontrollstationer, satelliternas banor predikteras och informationen om avvikelser mellan ursprungliga banparametrar och nya banparametrar dvs korrektionerna skickas tillbaka till satelliterna som uppdaterar satellitmeddelandet.

GPS-mottagaren tar emot satellitsignaler som fördelas på någon av mottagarens kanaler, som i allmänhet är sex till tolv stycken. Man säger att mottagaren låser på satelliternas signaler. Med låsning av satellitsignalen menas när den i mottagaren genererade signalen, med samma frekvens som signalerna från satelliten, jämförs med fasen på satellitsignalen. Satelliterna sänder radiosignaler som färdas med ljusets hastighet. Vid kodmätning mäts avstånd till satelliter med hjälp av uppmätt gångtid för radiosignalerna och vetskap om ljusets hastighet.

Vid bärvågsmätning beräknas avståndet som antalet hela våglängder plus del av våglängd. Ur vetskap om satellitsignalens frekvens följer att även signalens våglängd är känd.

En positionsbestämning i tre dimensioner kräver avståndsmätning mellan GPS-

mottagare och minst fyra olika satelliter samtidigt. Signalerna störs emellertid av olika fel enligt nedan.

## 2.2 Feltyper

De huvudsakliga felkällorna är följande [1]:

1. Selective Availability (SA). Dessa fel är medvetet påförda av det amerikanska försvaret av säkerhetsskäl. Ett brus påförs signalerna som förvränger satelliternas klockinformation och resulterar i försämrad positionsbestämning av satelliterna vid tidpunkten för mätningarna. Fel av denna typ påverkar tidsangivelsen för signalerna och varierar hela tiden. Avvikelsen i enskilda pseudoavståndmätningar är omkring 30 meter på 1-sigma nivå. Detta resulterar i en utlovad positionsangivelse i plan bättre än 100 m i 95% av fallen.
2. Störningar av radiosignalen i jonosfären och troposfären ger upphov till avvikelser som uppgår till 50-150 respektive 2 meter. Radiosignalerna fördröjs på sin väg ner mot jorden i jonosfären och troposfären. Fördröjningen i jonosfären är frekvensberoende och kan till stor del elimineras om man registrerar på både L1 och L2-frekvenserna samtidigt. Troposfärens inverkan kan modelleras genom lokala mätningar av meteorologiska parameterar, men detta rekommenderas ej. Vanligare är att man använder en standardmodell för atmosfär.
3. Banfel - Skillnaden mellan sann satellitposition och positionen förutbestämd av banddata (eng. broadcast ephemeris). Normalt är dessa fel ganska små, ~5 m, beroende på att SA-störningen idag ligger nästan helt på tids- (och/eller klock-) informationen från satelliterna. Men det är dock möjligt att lägga en stor del av störningen på banddata, vilket skulle göra att felen blir upp till 10 gånger större än idag.
4. Satellitklockfel - Oscillatorn tidsmarkerar satellitsignalerna och kontrollstationer på marken räknar fram korrektioner som sänds upp till satelliterna för att uppdatera satellit-meddelandet.
5. Skillnaden mellan satellitklocktid och den tid som är förutbestämd av satellitdata ger fel som uppgår till en meter, men ökar under SA.
6. Flervägsfel - kan införa signifikanta fel vid både referensstationen och an-

vändarantennen. Antennens elektriska(fas-)centrum kan störas av elektriskt närliggande material. Närheten till andra föremål medför också risk för reflektioner i dessa objekt och därmed kan satellitsignalen komma till antennen i ett flertal oönskade kopior.

### 2.3 Kinematisk bärvågsmätning i realtid

Vid kinematisk bärvågsmätning i realtid sker en förflyttning mellan mätpunkterna med mottagaren påslagen och med låst signal mot alla för tillfället tillgängliga satelliter. Observationsdata registreras av mottagaren, och antennens position beräknas för varje observerad epok.

För att kunna genomföra en kinematisk mätning krävs tillgång till minst två GPS-mottagare. En eller flera av mottagarna placeras över kända punkter och utgör därmed referensstationer mot vilka okända punkters position skall relateras. Övriga mottagare är så kallade rörliga mottagare och skall under mätningens gång flyttas runt på de okända punkterna [15].

Genom att tillämpa sk. differentieringsteknik kan de tredimensionella koordinaterna och periodobekanta lösas och även vissa av de tidigare nämnda feltyperna elimineras. Tillämpning av enkeldifferenser innebär att man kombinerar samtida mätningar mellan en satellit och två GPS-mottagare för att bestämma baslinjen mellan GPS-mottagarna. Denna lösning eliminerar satellitens klockfel eftersom mottagarna mäter mot samma satellit och reducerar även atmosfärsfel och banfel eftersom felen är ungefär lika stora för båda mottagarna. Det återstår emellertid två faktorer i bärvågsdata som inte elimineras av enkeldifferensen. Dessa är skillnaden i antalet periodobekanta mellan de två mottagarna, och skillnaden mellan mottagarklockornas fel.

Det finns en enkeldifferens som eliminerar mottagar klockans fel eftersom bara en mottagare är involverad. Denna enkeldifferens innebär att man bestämmer differensen i antalet perioder i bärvågsmätningar mellan en GPS-mottagare och två satelliter. Även i denna beräkning elimineras nästan atmosfärsfelen helt.

Genom att kombinera dessa två enkeldifferenser åstadkoms en dubbeldifferens. Dubbeldifferensen innebär att alla klockfel elimineras.

Om två dubbeldifferenser från två mätepoker kombineras åstadkoms en trippeldifferens. I trippeldifferensen löses periodobekanta,  $N$ , beroende på att om mätningarna går som de skall är antalet periodobekanta konstant över de två mät-epokerna [9].

Med periodobekanta (initial ambiguities) avses det okända antal hela våglängder som föreligger vid mätningarnas början mellan mottagare och satelliter. Vid kinematisk beräkning måste periodobekanta först bestämmas och låsas till sin heltalsdel innan positioner för nypunkter kan bestämmas med avsedd noggrannhet, detta kallas initialisering [8]. De initialiseringsmetoder som används innan mätningarna enligt RTK-metoden påbörjas är :

- Antennbyte (eng. Antenna Swapping) är en initialiseringsmetod där man börjar mätningarna med att registrera bärvågsdata ett antal epoker med rörliga mottagarens antenn på en känd punkt och referensmottagaren över godtycklig punkt utan känd position, därefter byter man plats på mottagarantennerna utan att släppa låsningen på satellitsignalerna och mäter ytterligare ett antal epoker på samma positioner.
- VSFB- (eng. Very Short Fixed Baseline) initialisering är en metod som går ut på att man kan bestämma avståndet mellan referensstation och rörlig mottagare mycket exakt med en utrustning som har en fördefinierad längd.
- Initialisering över känd punkt är en initialiseringsmetod där den rörliga mottagarens position kan anges exakt vid uppställning över en känd punkt.
- Kort statisk initialisering där den rörliga mottagaren ej är i rörelse under initialiseringen.
- Flygande bestämning av periodobekanta, OTF (eng. On The Fly) är en initialiseringsmetod som ej kräver tillgång till känd punkt och som kan utföras med mottagaren i rörelse under initialiseringsprocessen.



Kinematisk bärvågsmätning i realtid med flygande bestämning av periodobekanta (OTF), kräver att minst 5 satelliter är tillgängliga - det behövs 4 satelliter för att bestämma 3 koordinater och tidsfel, men det behövs minst ytterligare en satellit för att få överbestämningar så att noggrannhetsmått kan beräknas. De interna noggrannhetsmått (medelfel) används för att jämföra bästa och näst bästa kombination av periodobekanta för att med tillräcklig säkerhet kunna säga att periodobekanta har fixerats till heltal på rätt sätt. När obekanta blir heltal, kallas denna lösning fixlösning. Efter att fixlösning har erhållits påbörjas i allmänhet mätningarna.

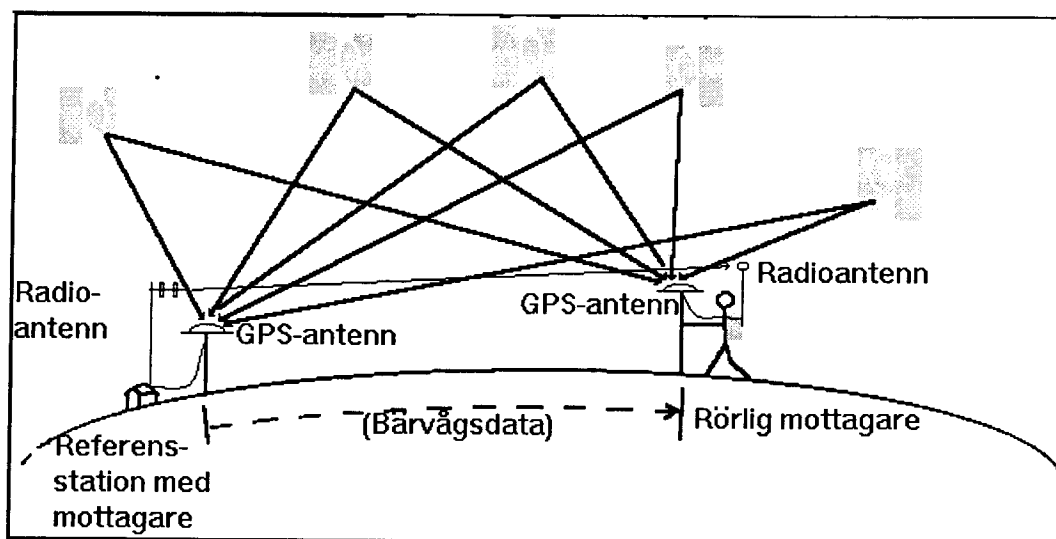
Vid statisk mätning krävs förändring i satellitgeometrin vid initialiseringen, men eftersom kinematisk mätning inte kräver detta kan observationstiden på de okända punkterna inskränka sig till endast en eller ett par epokers mätning [3]. I tid betyder detta att en punkts position kan bestämmas efter endast några sekunders observation. Denna metod kallas för semikinematisk positionsbestämning.

Det går också att mäta kinematiskt, d.v.s. i rörelse, och bestämma väl tidsmärkta positioner t.e.x. för maskinstyrning eller för flygfotografering.

Vid signalavbrott (cycle-slip) uppstår ett avbrott i den kontinuerliga fasmätningen och en ny initialisering måste göras. För att komma ifrån detta problem bör mätningarna utföras under den tid då fyra eller flera satelliter är tillgängliga. Ett signalavbrott kan då repareras av programvaran.

Okorrigerade bärvågsmätdata och pseudoavståndsdata sänds till den rörliga mottagaren via radiolänk. Den rörliga mottagaren tillämpar dessa data vid bestämning av periodobekanta och uppdatering av GPS-mottagarantennens position i varje mätepok, se figur 2.3.

Felen i avståndsmätningen mellan satellit och mottagare är ungefär lika stora för referens och rörlig mottagare, men eftersom felet är avståndsberoende kommer skillnaden i storleken på felet att öka med avståndet.



*Figur 2.3. Visar principen för realtids bärvägsmätning.*

Fördelarna med kinematisk bärvägsmätning är snabbheten i relation till den höga noggrannheten samt möjligheten att mäta i rörelse. Svagheten är känsligheten för signalavbrott.

Med mätning med DGPS-teknik, finns möjligheten för en noggrannhet omkring 1-10 m för dynamiska tillämpningar. Med användning av RTK kan man uppnå noggrannheter på cm-nivå för baslinjer upp till ca. 10 kilometer.

## 2.4 SWEPOS

SWEPOS är ett nationellt referensstationsnät för GPS-mätning som har byggts upp i samarbete mellan Lantmäteriverket, Onsala Rymdobservatorium och projektet "GPS-resurser i Norrbotten". SWEPOS uppgift är att tillhandahålla data från GPS-satelliterna för en mängd olika tillämpningar.

Tillgängligheten för SWEPOS-data förbättras fortlöpande. Driften sköts från en driftledningscentral på LMV i Gävle [14].

SWEPOS-punkterna är en delmängd i referenspunktsnätet SWEREF [18]. Stationernas lägen är bestämda i referenssystemet SWEREF 93 som överensstämmer inom någon meter med WGS 84 och har väletablerade samband med rikssystemen i plan och höjd. Nätet består av 21 stationer jämnt fördelade över Sverige.

En SWEPOS-station består av en monumenterad pelare med GPS-antenn och tillhörande instrumentbod med GPS-mottagare [11].

På samtliga stationer finns idag möjlighet att producera korrektioner för kodmätning (DGPS). Korrektioner från 12 stationer distribueras i realtid via den i stort sett rikstäckande Epos-tjänsten som drivs av Teracom. Korrektionerna samlas in från stationerna till en central dator i Kaknästornet och distribueras därefter ut i nätet av FM-sändare (P3) via RDS-kanalen (Radio Data Systems). I nuläget förmedlas data i det standardiserade formatet RTCM SC-104 ver 2.1.

Kod- och bärvågsdata från samtliga GPS-stationer finns tillgängliga på driftledningscentralen på LMV för efterbearbetningstillämpningar.

I projektet *Cicéron*, som är ett samarbetsprojekt mellan Lantmäteriverket, Onsala Rymdobservatorium och Teracom, undersöks möjligheterna för en framtida realtidstjänst med distribution av bärvågsdata från de fasta referensstationerna i SWEPOS-nätet [13]. Målet är att möjliggöra kinematisk bärvågsmätning i realtid med centimeternoggrannhet. Med utgångspunkt från de fasta referensstationerna ska man kunna implementera en RTK-tjänst. Som transmissionskanal för datadistribution studeras ett underbärvågssystem på FM-radiobandet som kallas DARC.

### 3. RTCM

Med användandet av DGPS och RTK kan flera tillämpningar uppnås. För att få mätningarna att fungera för olika fabrikat är det nödvändigt att utveckla och använda olika fastställda standarder. Det som härnäst ska beskrivas är den standard som LMV planerar att tillämpa för överföring av RTK-data från referensstationerna i SWEPOS-nätet till användaren. För utförligare information angående RTCM-standarderna, se [1].

#### 3.1 Behovet av en standard

Redan 1983 tillfrågades Radio Technical Commission for Maritime Services av det amerikanska institutet för navigering (ION) att ta fram rekommendationer för bestämning av differentiella korrekationer till GPS-användare.

Som svar på förfrågan startade Special Committee No 104 "Differential Navstar GPS Service" som fick ansvaret för att ta fram rekommendationer som skulle underlätta tillämpningar för överföring av data via radiolänk. Kommitten utvecklade en standard för dataformat och regler för sändning och mottagning av data.

Ett standardgränssnitt definierades även vilket skulle göra det möjligt att använda en mottagare tillsammans med flera olika typer av radiolänkar som distribuerar data för navigation eller positionsbestämning.

Rekommendationerna skulle passa såväl för sjöfartsfolk som för övriga GPS-användare. Från början fanns bara tillämpningar för differentiell kodmätning, DGPS, men från och med version 2.1 tillkommer tillämpningar för kinematisk bärvågs-mätning i realtid, RTK.

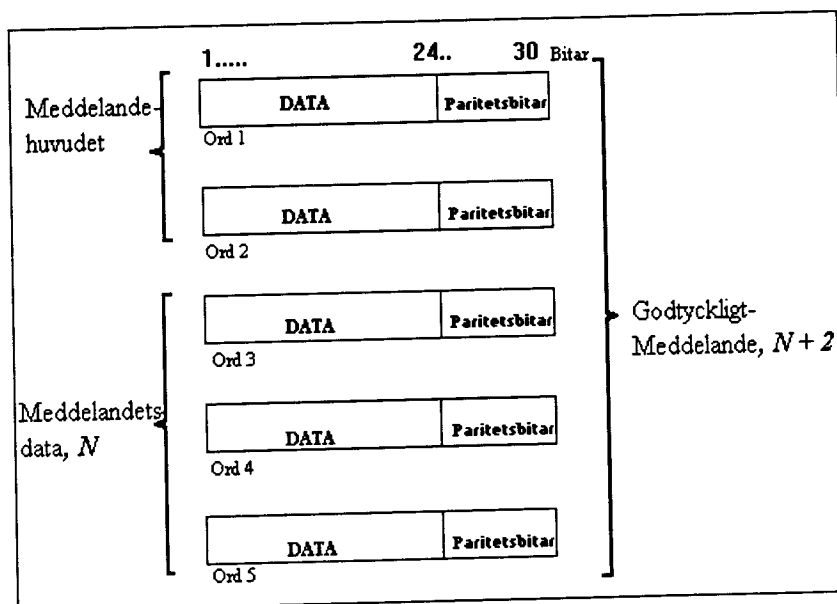
Denna version släpptes i januari 1994 och gäller ännu (augusti 1997), men version 2.2 är på gång och den innehåller vissa tillägg.

### 3.2 Generellt meddelande-format

Varje meddelandetyp har samma format generellt. Meddelandena, eller paketen, består av ett varierande antal ord med 30 bitar. En bit är antingen en etta eller en nolla. Meddelandets utformning liknar därmed det som används för satellitmeddelandet.

Varje meddelande är  $N+2$  ord långt.  $N$  ord innehåller meddelandets data som består av en eller flera parametrar enligt figur 3.2.1.

De första 24 bitarna i varje ord innehåller data och de 6 sista bitarna används i en paritets-algoritm, som är till för att upptäcka möjliga fel i mottagna data. Eftersom det inte alltid krävs ett exakt heltal av antalet ord, kommer det att bli meddelanden som kräver 8 eller 16 bitars utfyllnad för att färdigställa meddelandepaketet. Utfyllnaden består i att alternera 1:or och 0:or.



Figur 3.2.1. Visar den generella uppbyggnaden av meddelandena

Om antalet fel i mottagna data är för stort så kasseras meddelandet.

Ordlängden är ovanlig i datavärlden, där orden vanligen är 16 eller 32 bitar långa. Kommitten valde 30 bitars långa ord och en minsta överföringshastighet av 50 bitar per sekund. Som en följd av detta uppträder gränserna mellan orden vid multiplar av 0,6 sekunder. Enheten 0,6 sekunder används som ett grundläggande tidsintervall för att tilldela en referenstid till meddelandeparametrarna. Denna referenstid kallas modifierad Z-räknare och är tidpunkten för mätdata och beräkning av korrektioner vid DGPS kod-mätning.

Skillnaden mellan tidpunkten för beräkning av korrektionen ( $t_0$ ) och tiden för mätning ( $t$ ) uppträder vid multiplar av intervallet 0,6 sekunder och har avgörande betydelse för på det sätt användaren kan tillämpa korrektionerna.

Med hjälp av tidsmarkeringarna kan den rörliga mottagaren tillämpa korrektionerna från referensstationen. Den enda fördröjningen i tillämpningen av korrektionerna beror på radiolänken.

I RTK-meddelandena 18-21 tillkommer ytterligare ett ord i meddelandehuvudet: "GPS time of measurement" med en upplösning av en mikrosekund.

För att avläsa meddelandena, måste användarens utrustning översätta innehållet i meddelandena till ett format som kan användas i bearbetning och beräkning.

### **Första och andra ordet**

De första två orden i varje meddelande bildar ett meddelandehuvud, vars format är identiskt för alla meddelandetyper:

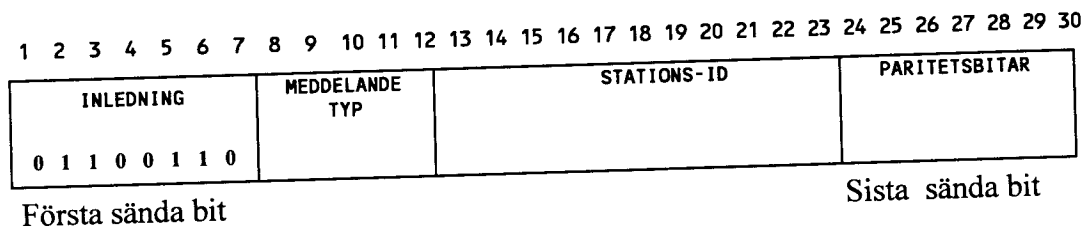
Denna innehåller en inledning, som är en fast sekvens av åtta binära bitar

(01100110), samt meddelandetyp, identifiering av referensstation, modifierad Z-räknare, sekvensnummer som ökar för varje meddelande, ramlängden på varje meddelande (antalet ord den innehåller) och koden för referensstationens hälsa.

Meddelandetyp, referens tid, sekvensnummer och ramlängd krävs för att användaren skall kunna synkronisera meddelandena. Innehållet är summerat i figurerna 3.2.2 och 3.2.3. Det bör noteras att Stations-ID refererar till identifikationen av differentiella referensstationen, dvs. GPS-antennen och inte stationen för radiokommunikationen.

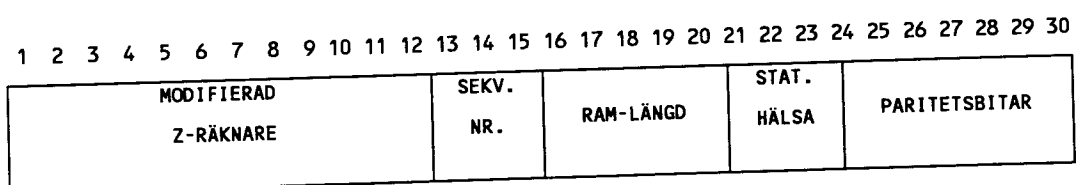
Början av det första ordet är en fast 8-bitars inledning (identisk med GPS-meddelandet) som mottagaren börjar med att söka efter. Meddelandena har speciella nummer som beskriver meddelandetyp. Stations-ID väljs godtyckligt av användaren.

Ord 1



*Figur 3.2.2. Visar första ordet för varje meddelande.*

Ord 2



*Figur 3.2.3. Visar andra ordet för varje meddelande.*

Sekvensnumret hjälper till i synkroniseringen av ramarna vid överföringen av meddelandet och ersätter Z-räknaren som räknande parameter. Den ökar för varje

ram. Längden av varje ram är två mer än antalet ord (N) som följer på inledningen. T.ex. En nolla i ramhuvudet innebär att längden för ramen blir 2 och inget ord kommer att följa på meddelandehuvudet.

I version 2.1 av standarden har tre bitar reserverats för hälsoindikatorn i meddelandehuvudet. Av hälsoindikatorns lägen är två fördefinierade, medan innebörden av de övriga kan definieras av den som tillhandahåller tjänsten. Dessa fungerar enligt tabell 3.2.

<u>Kod</u>	<u>Indikation</u>
111	Referensstationen fungerar ej
110	Överföring från Referensstationen fungerar ej
101	Specificerad av användaren
100	- " -
011	- " -
010	- " -
001	- " -
000	- " -

*Tabell 3.2. Visar de olika hälsoindikatorerna för referensstationen.*

### **3.3 Meddelandetyper**

RTCM SC-104 har i version 2.1 specificerat 26 olika meddelandetyper av 64 möjliga. Meddelandetyperna är definierade antingen som fasta, reserverade, preliminära eller tillbakatagna (1994-01-03). Se tabell 3.3 nedan.



<b><u>Medd. nr.</u></b>	<b><u>Format</u></b>	<b><u>Innehåll</u></b>
1	Fast	Differentiella GPS-korrekationer
2	Fast	Delta Differentiella GPS-korrekationer
3	Fast	Referensstations parameter
4	Tillbakatagen	Mätning
5	Fast	Konstellations indikering
6	Fast	Noll Ram
7	Fast	Sändnings Almanackor
8	Preliminärt	Pseudolite Almanackor
9	Fast	Differentiella korrekationer för satellituppsättningar
10	Reserverad	Differentiella korrekationer för P-kod
11	Reserverad	Delta korrekationer för C/A-kod, L1 och L2.
12	Reserverad	Parametrar för Pseudolite-station
13	Preliminärt	Parametrar för marksändning
14	Reserverad	Hjälpmeddelande vid mätning
15	Reserverad	Jonosfärs (troposfärs)-meddelande
16	Fast	Specialmeddelande
17	Preliminärt	Efemerid-almanacka
18	Preliminärt	Okorrigerade bärvågs-mätningar
19	Preliminärt	Okorrigerade pseudoavstånds-mätningar
20	Preliminärt	RTK Bärsvågs-korrekationer
21	Preliminärt	RTK Pseudoavstånds-korrekationer
22-58	Odefinierade	
59	Preliminärt	Ägar-meddelande
60-64	Reserverad	Möjlighet till användning inom flera områden

**Tabell 3.3.** Visar samtliga RTCM-meddelanden i version 2.1.

I den kommande versionen 2.2 finns bl.a. följande förändringar: Meddelande 22 innehåller parametrar för att få noggrannheten i referensstationens koordinater under cm-nivå. I meddelandetyperna 31-37 har tillämpningar för den ryska motsvarigheten till GPS, GLONASS, tillkommit. Vidare har formaten på vissa meddelanden ändrats.

### **3.4 Meddelandetyper för RTK**

Följande meddelanden används vid realtidsmätningar och därför ges en kortare beskrivning nedan. För mer detaljerad information se kompendium RTCM SC-104 version 2.1[1].

#### **Typ 1-meddelande**

Typ 1-meddelandet är den primära meddelandetyper och tillämpas vid differentiell kodmätning (DGPS), trots detta tar vi med denna för att illustrera meddelandenas uppbyggnad.

Meddelandet möjliggör att pseudoavståndskorrektion  $PRC(t)$  (eng. pseudorange correction) kan påföras till användarmottagarens avståndsmätning,  $PRM(t)$  (eng. pseudorange measurement) vid tidpunkten för mätningen,  $t$ .

Korrektionen överförs från referensmottagaren i formen av ett första ordningens polynom med en pseudoavståndskorrektion vid referenstiden för den modifierade Z-räknaren- $PRC(t_0)$  i meddelandehuvudet (eng. Pseudo Range Correction) samt även med hastigheten i förändring av pseudoavståndskorrektionen  $RRC$  (eng. Range Rate Correction).

Själva korrektionen erhålls från mätning och beräkning av pseudoavstånd och hastighets förändring av pseudoavstånd, som är anpassade till att redogöra för förfluten tid mellan mottagande av korrektion och tidpunkt för pseudoavståndsmätningen enligt:

$$\text{PRC}(t) = \text{PRC}(t_0) + \text{RRC} * [t - t_0]$$

där  $t_0$  är korrektionens tidsreferens och  $t$  är tiden associerad med pseudoavståndsmätningen.

Korrigerad mätning fås genom att:

$$\text{PR}(t) = \text{PRM}(t) + \text{PRC}(t)$$

där  $\text{PR}(t)$  är den differentiellt korrigerade mätningen (eng. pseudo range) för varje satellit som ska användas vid beräkning av positionen i GPS-mottagaren.

Strukturen för ett typ 1-meddelande framgår av bilaga 1. Förutom PRC och RRC innehåller meddelandet följande:

1. Skalfaktor: Bestämmer enheten för pseudoavståndskorrektion och derivatan av pseudoavståndskorrektionen. Denna antar ett av två lägen. a) normalt hög precision b) lägre precision vid utökat avståndsförhållande.
2. UDRE (eng. User Defined Range Error): Innehåller en uppskattning av standardavvikelsen i pseudoavståndskorrektionen som är bestämd av referensstationen.
3. Satellit-ID: Är den på bärvågen modulerade PRN-koden för den satellit som korrektionerna tillhör, (PRN-Pseudo Random Noise).
4. IOD (eng. Issue Of Data): Är inräknad i DGPS-meddelandet för att försäkra att rörliga-mottagaren och referens-mottagaren använder samma uppsättning av banddata och klockparametrar.

Typ 1-meddelandet innehåller data för alla synliga satelliter från referensstationen. Eftersom antalet synliga satelliter varierar, kommer även antalet ord i meddelandet,  $N+2$ , att variera.

Typ 1-meddelandet sänds så ofta som möjligt för att säkerställa riktigheten i korrektionen. Allt eftersom tidsdifferensen  $t - t_0$  ökar, minskar noggrannheten i korrektionerna.

### **Typ 3-meddelandet**

Detta meddelande innehåller X, Y och Z-koordinaterna för referensstationens antenn med 1 centimeters upplösning. Koordinaterna anges i ett fixerat jordcentrerat system (ECEF - Earth Centered Earth Fixed) och refererar till datumet WGS 84. Meddelandet består av fyra ord ( $N=4$ ) med data på vardera 30 bitar och består totalt av sex ord. Se Bilaga 2.

### **Typ 9-meddelandet**

Detta meddelande liknar meddelande typ 1 och har samma tillämpning. Några viktiga skillnader finns dock. Typ 9-meddelandet innehåller data för bara en delmängd av registrerade satelliter. I övrigt är innehåll och format identiskt med typ 1. Fördelen är att den tack vare det mindre formatet kan föras över på en svag eller brusig datalänk. Dessutom är korrektionerna packade i grupper av tre. I jämförelse med typ 1 meddelandet innebär detta bl.a. att den genomsnittliga fördröjningen av korrektionerna reduceras.

Detta meddelande liknar det som används vid Teracom distribution av data via RDS-kanalen i Epos-tjänsten [14].

### **Typ 18-21-meddelandena**

Dessa meddelanden är det tänkt att Teracom skall distribuera i framtiden via DARC-kanalen.

Meddelandena är speciellt intressanta för detta examensarbete eftersom de har tillkommit för att stödja både kodmätning samt kinematisk bärvågsmätning i realtid (RTK), med noggrannhetskrav på centimeternivå inom positionsbestämning och navigering. Data som de erbjuder kan användas för flygande bestämning av periodobekanta.

Typ 18-meddelandet erbjuder bärvågsdata, medan typ 19 erbjuder pseudoavstånd data. Datat i dessa meddelanden är inte korrigerade med efemerider i satellitmeddelandet och är i huvudsak direkta observationsdata genererat av referensstationen. För utförligare beskrivning av meddelandena 18 och 19, se bilagorna 3 och 4.

Meddelandena 20 och 21 innehåller korrektioner till bärvågs och pseudoavståndsmätningen, även det beräknat av referensstationen. Dessa är korrigerade med efemeriderna och kan därför betraktas som korrektioner.

En bärvågskorrektion tillämpas på ett liknande sätt som pseudoavståndskorrektion, men beräknas genom att använda bärvågsmätningar från referensstationen. På referensstationen beräknas korrektionen enligt:

Bärvågskorrektion = Förutbestämt avstånd mellan satellit och referensstation (i bärvågsperioder) - mätt bärvåg vid GPS-tidpunkten för mätningarna.

På den rörliga mottagaren tillämpas korrektionerna enligt:

Korrigerade bärvågsdata = mätt bärvåg + bärvågskorrektion

Tredje ordet i meddelandena 18-21 innehåller en GPS-tidsenhet som anger tidpunkten för mätningen och används för att öka upplösningen på den modifierade Z-räknaren i meddelandehuvudet. Meddelandena innehåller också datakvalitets-indikatorer, indikatorer för okorrigerade periodbortfall i bärvågsdata och en undersökning av pseudoavståndets flervägsfel på referensstationen.

Innehållet i de övriga orden i dessa meddelanden indikerar:

1. om meddelandet innehåller L1, L2, jonofärsdifferens  $\phi_{\text{IONODIFF}}$ , bärvågsdata eller pseudoavståndsdata.
2. huruvida L2 bärvågen har halv eller full våglängd.
3. huruvida jonofärsdifferensen beräknades med och C/A-kod eller P-kod.
4. om pseudoavståndet beräknades med C/A-kod eller P-kods-mätningar.

### 3.5 Datalänk

För att kunna föra över de olika meddelandetypernas data i digitalt format från referensstationen till den rörliga mottagaren behövs en datalänk.

Radiolänken kräver kompatibel hårdvara på bas och rörlig enhet. Datalänken kan anta ett antal olika former och verka på flera olika frekvenser.

Referensmottagaren behandlar observationsdata och beräknar korrektioner. Korrektioner eller okorrigerade observationsdata överförs sedan via datalänken. Sändaren formaterar och kodar utgående data och modulerar dessa på en sändarbärvåg för att kunna distribuera dessa till användarna via ett radiomodem och sändarantenn.

Modemets uppgift är att omvandla det bitmönster som gränssnittet presenterar till signaler lämpliga för radioenheten. Omvandlingen föregås ibland av en kodning av utgående data i komprimerade och/eller felkorrigerande syfte. Modemet är i sådana fall utrustat med en mikroprocessor. Radioenheten består av sändardel och mottagardel. 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 sändarantennen.

Kraven för uppdatering av data vid användning av RTK-tekniken är högre än för konventionell differentiell GPS, eftersom det inbegriper dubbeldifferentiering av

bärvågsmätningarna. Uppdateringsintervallet ligger kring 1 sekund .

SC-104 rekommenderar vissa standarder för gränssnitt mellan referens- och rörlig mottagare samt datalänken i de fall mottagaren och datalänken är av olika fabrikat. Enligt rekommendationerna ska GPS-utrustningen utformas så att differentiella indata och utdata använder en osynkroniserad full duplex seriell port, vilket innebär att mottagaren kan sända och ta emot signaler på två kanaler samtidigt. Datat ska överföras i åtta-bitars tecken med en spänningsnivå på signalen som passar ihop med standarderna för "Electronics Industries Association" RS-232-C eller RS-422-A/RS-449.

Kommittén rekommenderar också att den seriella dataöverföringshastigheten ska kunna väljas i intervallet 300-9600 bitar per sekund och att utrustningen bör utformas så att den minst kan hantera ett kontinuerligt informationsflöde av 30 åtta-bitars byte varje sekund. Minimum för överföringshastigheten vid användandet av DGPS ligger på 50 bitar per sekund (bps). Då uppnås ca. 5 m noggrannhet även om tre korrektioner i följd skulle tappas. För utförligare beskrivning av överföring via radiolänk, se [4].

Begränsningen i överföringshastighet ligger endast i kommunikationslänken. Dessutom finns det inga krav på att överföringen ska vara kontinuerlig, utan den kan ske med hög hastighet under kortare perioder.

Som en konsekvens av detta är det mera lämpligt att använda UHF (ultra-high frequencies)/ VHF (Very High Frequences) med överföringshastigheter på omkring 1200-9600 baud.

Meddelandena kan sändas på detta sätt och åtföljs av ett protokoll i inledningen på kommunikationen, med paritetsbitar och felkorrektionsbitar. Meddelandena är inkapslade i paket som inkluderar dessa extra bitar. Vid mottagningen åtskiljs dessa meddelandebitar från paketerna som sänds till mottagaren.

## 4 METODER

### 4.1 Planering av mätningarna

Med teorin kring RTCM som grund syftar examensarbetet till att via praktiska försök undersöka funktion och noggrannhet vid mätning med mottagarna Ashtech, Geotracer och Leica i RTCM-formatet. Anledningen till valet av just dessa är att de var de fabrikat som var tillgängliga för examensarbetet.

Mätningarna gjordes med en Ashtech-mottagare som referensstation, precis som på SWEPOS-stationerna, och respektive fabrikat som rörlig. Testmätningarna utfördes på tre olika avstånd från referensstationen, ca 50 m, 1 km resp. 12 km. Syftet med de olika avstånden är att undersöka hur funktionaliteten och noggrannheten påverkas med ökande avstånd från referensstationen.

Före mätningarna valdes en tidsperiod då förhållandena var de bästa med avseende på satellitkonfiguration och antalet tillgängliga satelliter. Det vi kontrollerade var antalet gemensamma satelliter ovanför angiven elevationsgräns samt det sk. PDOP-värdet "Position Dilution of precision", som är ett mått på geometrin hos de tillgängliga satelliterna. Detta värde ska helst vara under 4. Antal satelliter ovan angiven elevationsgräns ska vara minst fem. Planeringen av mätningarna gjordes i planeringsmodulen i programmet PRISM från Ashtech.

Före mätning kontrollerades att trefötter och övrig utrustningen var intakt och justerad.

I testade mottagarna fanns en funktion som indikerade med vilken noggrannhet mätningarna utfördes och som kunde regleras med tillhörande fältdator. Mätningarna med Ashtech mottagaren gjordes med inställning av standardavvikelsen till 2 cm. Mätning och registrering startes när inställd storlek på standardavvikelsen underskreds. Valet av just denna nivå grundar sig på att det är den noggrannhetsnivå som krävs för att noggrannheten i plan ska hamna på den nivå som anges i HMK-Ge:D ( $\pm 20$  mm) [6]. Mätningar gjordes även med olika standardavvikelser på Geotracer, men skillnaderna visade sig vara små. Dock är mätningarna på LMVA4 beräknade med tre olika standardavvikelser, däribland 2



cm. Vid mätningarna med Leica användes noggrannhetsnivån 5 cm på grund av att de rekommenderar denna nivå.

Ingen inställning av mättid gjordes mellan mätningarna. Detta beslut grundar sig på att kinematisk bärvågsmätning i realtid i sin renodlade form innebär att mätning, och beräkning sker med mottagaren i rörelse.

Koordinaterna för samtliga fabrikat erhöles i RT90/RH70, transformerat från SWEREF 93. Denna transformation utfördes för att underlätta utvärdering av resultat och för att presentation av mätresultat ofta sker i detta system. Vi ville även undersöka om transformationerna i respektive fältdator kan ha påverkat noggrannheten i mätresultaten.

Funktionen hos mottagarna påverkas av kvaliteten på överförda data och mottagarens beräkningsalgoritmer. För att få ett mått på detta mättes tiden för ny bestämning av periodobekanta efter det att vi brutit fixlösningen. Denna tid kan då ge en grov uppskattning funktionaliteten. Detta gjordes ca. fem gånger för varje fabrikat. Totalt gjordes ca. 15 mätningar med varje fabrikat.

## 4.2 Formler för utvärdering av noggrannhet

Följande formler för utvärdering av mätvärdena användes

Avvikelser mellan mätta och kända koordinater.

$x_{diff} = x_{mätt} - x_{känd}$  och motsvarande för y och H.

där  $x_{mätt}$  är mätta x-koordinater i RT90/RH70, och  $x_{känd}$  är kända koordinater i RT90/RH70.

### Avvikelseernas medelvärde

$$m_x = \frac{\sum x_{\text{diff}}}{n} \quad \text{och motsvarande för y och H.}$$

där  $x_{\text{diff}}$  är skillnaden mellan mätta och kända koordinater och  $n$  är antalet mätningar

### Avvikelseernas standardavvikelse

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum (x_{\text{diff}} - m_x)^2}{n-1}}$$

där  $x_{\text{diff}}$  är skillnaden mellan mätta och kända koordinater,  $m_x$  är avvikelseernas medelvärde och  $n$  är antalet mätningar.

### Mätningens kvadratiska avvikelse (Root Mean Square)

$$\text{RMS}_x = \sqrt{\frac{\sum x_{\text{diff}}^2}{n}} \quad \text{och motsvarande för y och H.}$$

där  $x_{\text{diff}}$  är skillnaden mellan mätta och kända koordinater och  $n$  är antalet mätningar.

## **4.3 Punktbestämningar**

### **4.3.1 LMVT**

Punkten är belägen på LMV's tak och är bestämd i referenssystemet SWEREF 93.

### Mätning:

Denna punkt var inmätt sedan tidigare under en statisk mätning i 48 timmar med Ashtech Z-12 mottagare och antennen Dorne Margolin (T).

### Beräkning:

Först beräknades SWEREF 93-koordinater som fritt utjämnat nät i multistationslösning i Bern-programmet med en SWEPOS-station som känd. Sedan passades denna lösning in på åtta kända SWEPOS-stationer för att kontrollera att inga grova fel fanns. Sedan beräknades en ny multistationslösning med alla åtta SWEPOS-stationerna som kända. Som efterberäknade banddata användes de officiella från Bern (5-10 cm noggrannhet). Inga troposfärparametrar användes på grund av att de gamla glasfiberradomer som fungerade som väderskydd över antennerna på SWEPOS-stationerna t.o.m sommaren 1996 störde GPS-signalerna så mycket att bestämning av parametrarna blev osäker.

Tredimensionella kartesiska koordinaterna erhöles i systemet SWEREF 93.

Medelfel för punkten är i plan ~ 5-10 mm ( $1\sigma$ , 1 dim), höjd ~ 30 mm ( $1\sigma$ ).

#### **4.3.2 Punkt på taket på LMV, LMVA4**

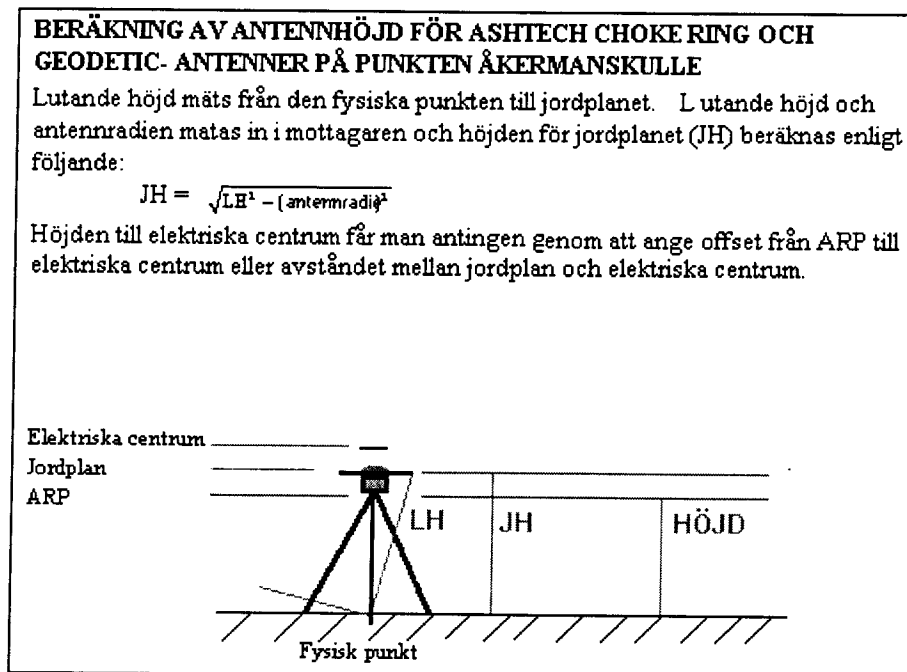
Punkten är belägen på taket på A-byggnaden på LMV, ca 50 m från tidigare nämnda LMVT.

### Mätning:

En Ashtech Choke Ring-antenn monterades upp på stativ. Stativet samt trefot horisonterades och centrerades över testpunkten. Lutande höjd mättes och radie mättes och aktuellt avstånd från jordplanet till antennens elektriska centrum lades in i GPS-mottagaren. Se figur 4.3.2 I efterberäkningsprogrammet gjordes sedan korrigeringar till vertikal höjdskillnad.

Statisk mätning med Ashtech Z-12 genomfördes under två timmar. Tidperioden valdes då förhållandena var de bästa med avseende på satellitkonfiguration och

antalet tillgängliga satelliter. Följande inställningar gjordes, PDOP sattes till under 5 och antal gemensamma satelliter fler än fyra. Elevationsvinkeln ställdes in till 13 grader.



*Figur 4.3.2. Visar instrumentuppställning och de olika måtten som mätes för att kunna beräkna antennhöjd för inmätningen av LMVA4 och Åkermanskulle.*

#### Beräkning:

Beräkningen gjordes i programmet PRISM från Ashtech. Beräkningen gjordes i två sessioner, dels som vanlig L1 fix, dels som L2 fix. Som känd punkt användes LMVT. En medeltalsbildning gjordes ur koordinaterna från de två mätta sessionerna.

Tredimensionella kartesiska koordinaterna erhöles i systemet SWEREF 93.

#### 4.3.3 Åkermanskulle

Punkten är belägen knappt en kilometer nordväst om LMV, se bilaga 5.

### Mätning:

En Ashtech Choke Ring-antenn monterades upp på stativ. Stativet samt trefot horisonterades och centrerades över testpunkten. Lutande höjd mättes och radie mättes och aktuellt avstånd från jordplanet till antennens elektriska centrum lades in i GPS-mottagaren. Se figur 4.3.2 I efterberäkningsprogrammet gjordes sedan korrigeringar till vertikal höjdskillnad.

Statisk mätning med Ashtech Z-12 genomfördes under tre timmar. Tidperioden valdes då förhållandena var de bästa med avseende på satellitkonfiguration och antalet tillgängliga satelliter.

### Beräkning:

Efterberäkning av koordinater gjordes i programvaran Bernese GPS Software version 4.0. Det kan enkelt beskrivas som ett multistationsprogram, vilket innebär att alla baslinjer mellan observationspunkter beräknas samtidigt. Beräkning utförs relativt punkter med kända positioner. Därför hämtades observationsdata för den aktuella tidsrymden då mätningarna utfördes för de fyra SWEPOS-stationerna Sundsvall, Mårtsbo, Lovö samt Leksand. Som indata till programmet hämtades även bandata "Precise Ephemerides", tre dagar gamla från universitetet i Bern. Koordinatsystemet vid beräkningarna var SWEREF 93.

Två typer av beräkningar av Åkermanskulle gjordes. En ("polär inmätning"), enkelpunktsbestämning där baslinjen mellan LMVT och Åkermanskulle bestämdes genom samtidig mätning på L1-frekvensen, utan troposfärparametrar.

Den andra beräkningen var en multistationsutjämnning där alla mätdata för Åkermanskulle och SWEPOS-stationerna ingick. Först beräknades SWEREF 93-koordinater som fritt utjämnat nät i multistationslösning i Bern-programmet med en SWEPOS-station som känd. Sedan passades denna lösning in på fyra kända SWEPOS-stationer för att kontrollera att inga grova fel fanns.

Sedan beräknades en ny multistationslösning med alla fyra SWEPOS-stationerna

som kända. För varje station i beräkningen bestämdes individuella parametrar på fördröjningen i troposfären. Som efterberäknade bandata användes de tre dagar gamla från universitetet i Bern (5-10 cm noggrannhet).

De slutliga koordinaterna beräknades som ett medelvärde mellan de två beräkningarna.

Tredimensionella kartesiska koordinaterna erhöles i systemet SWEREF 93.

#### **4.3.4 Rörberg**

Punkten är belägen ca. 12 km väster om Gävle, strax nordväst om Gävle-Sandviken flygplats i Rörberg, se bilaga 5.

##### Mätning:

Denna punkt ingår i SWEREF-nätet och var sedan tidigare inmätt med statisk mätning under 48 timmar med Ashtech Z-12 mottagare och antennen Dorne Margolin (T).

##### Beräkning:

Först beräknades SWEREF 93-koordinater som fritt utjämnat nät i multistationslösning i Bern-programmet med en SWEPOS-station som känd. Sedan passades denna lösning in på åtta kända SWEPOS-stationer för att kontrollera att inga grova fel fanns. Sedan beräknades en ny multistationslösning med alla åtta SWEPOS-stationerna som kända. Som efterberäknade bandata användes de officiella från Bern (5-10 cm noggrannhet). Inga troposfärparametrar användes på grund av att de gamla glasfiberradomer som fungerade som väderskydd över antennerna på SWEPOS-stationerna t.o.m sommaren 1996 störde GPS-signalerna så mycket att bestämning av parametrarna blev osäker.

De tredimensionella kartesiska koordinaterna erhöles i systemet SWEREF 93.

Medelfel för punkten är i plan ~ 5-10 mm ( $1\sigma$ , 1 dim), höjd ~ 30 mm ( $1\sigma$ ).

#### 4.3.5 Transformation

Tredimensionella kartesiska koordinater för LMVA4, LMVT, Åkermanskulle och Rörberg erhöles i systemet SWEREF 93 efter inmätning. Vid försöken sändes referensstationens koordinater i SWEREF 93 över till den rörliga mottagaren via RTCM typ 3 meddelandet. RTK mätning och beräkning är därmed genomförd i SWEREF 93. De vid mätning erhållna koordinaterna har i de olika RTK-utrustningarnas respektive fältdatorer transformerats till RT90/RH70 2,5 gon V.

I Geotronics och Leicas fältdator görs transformationen med den äldre SCANDOC-formeln, medan det i AutoKa-FC är inlagt det nyare sambandet SWEREF 93 till RR92 som kräver en geoid för att få ortometriska höjder. I AFC har geoiden approximerats med ett polynom.

För att kunna utvärdera mätnoggrannheten i RTK-mätningarna, transformerades de kända koordinaterna i SWEREF 93 på referenspunkterna med samma transformations modell som använts i respektive fältdator. För utvärdering av Geotronics och Leica gjordes detta med programmet Trans. För Ashtech användes programmet Gtrans med alternativet att approximera RN92 geoiden med ett polynom.

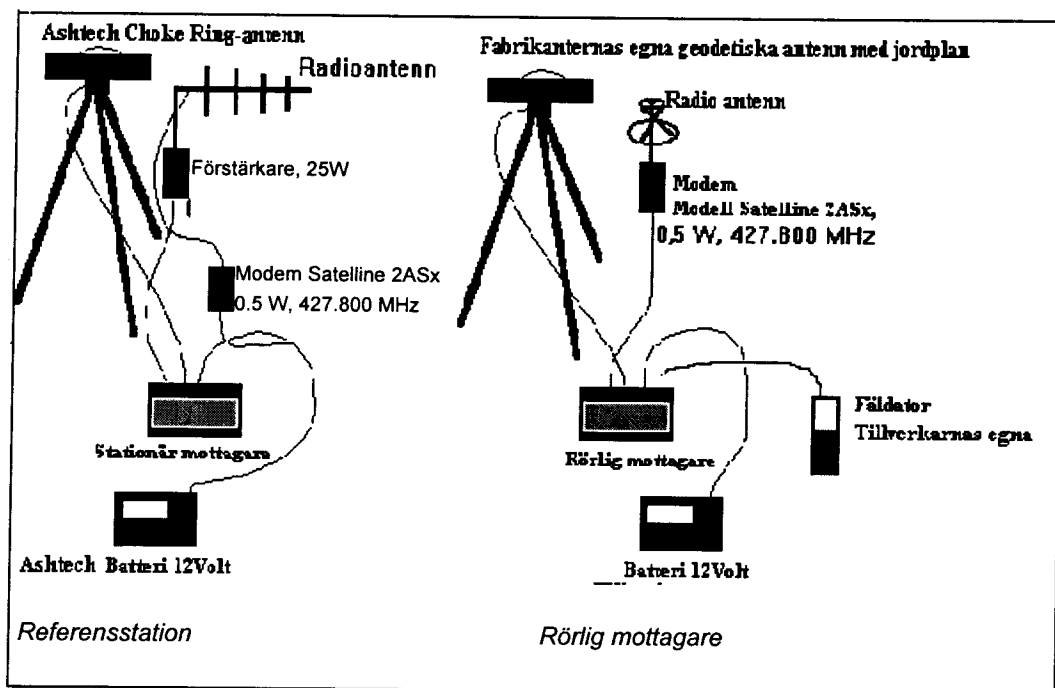
## 5. GENOMFÖRANDE AV FÖRSÖK

### 5.1 Referensstation

Som referensstation har punkten LMVT på taket till Lantmäteriverket använts. Referensstationen består av en GPS-mottagare med en antenn inmätt på en känd position, och en radiolänk med en antenn.

#### Utrustning:

Punkten LMVT var sedan tidigare inmätt och på denna var en Ashtech Choke Ring GPS-antenn monterad under mätningarna. Antennen och övrig utrustning som batteri, Satelline radiomodem och 25 W förstärkare från Pecab kopplades sedan ihop med mottagaren av typen Ashtech Z-12. Se figur 5.1.1.



Figur 5.1.1. Visar schematisk uppställning av referensstation och rörlig station.



### Beskrivning:

Programvara i mottagaren benämns Firmware. I detta fall var vi tvungna att uppdatera Ashtechmottagarens firmware till version 4J00-1C63 eftersom RTCM-meddelanden för RTK finns i denna version. Ashtech's RTCM-funktion använder meddelandetyper 18/19 för överföring av bärvågsdata och meddelandetyper 3 för överföring av de kända koordinaterna på referensstation vid RTK-mätning med standarden RTCM SC-104 Version 2.1. Koordinaterna på referensstationen avrundas dock varför noggrannheten i dessa bara ligger på centimeter nivå.

I den kommande versionen 2.2 som kommer att köras i SWEPOS tillkommer meddelande 22 som innehåller parametrar för noggrannare koordinater för referensstationen (under cm-nivå).

Med aktuell version av firmware kan mottagaren användas både för att ta emot och sända korrigerade och okorrigerade bärvågsdata.

Mottagaren insamlar data för upp till 12 satelliter, konverterar dessa till RTCM-format och sänder via den seriella porten. Mottagaren kan generera meddelandetyperna 1, 2, 3, 6, 16, 18 och 19. I Ashtech-mottagaren finns två olika varianter för meddelandetyper 18-19 som kan väljas, A eller B. Med den aktuella versionen kan man sända och ta emot 18/19 A och B. Frekvensen för utsändning av respektive meddelande ställdes in till 1/s.

I en speciell RTCM-meny gjordes följande inställningar:

1. Mottagaren ska fungera som bas.
2. Överföringshastigheten sattes till 9600 baud.
3. Referensstations-ID, lämnades odefinierad.
4. Vilka meddelandetyper som ska användas, se under avsnitt mätning.
5. Att kontroll ska ske av sekvensnummer i meddelandet innan det kan accepteras. 6) Frekvensen för utsändning av respektive meddelande sattes till 1 sekund.

6. Maximal ålder för meddelandena till 60 sekunder.
7. Antal meddelanden som ska sändas. Den rörliga mottagaren jämför det verkliga antalet sända meddelanden och detta kvalitetsvärde anges här i procent kontinuerligt under mätningen. Detta låg konstant på 100 procent.

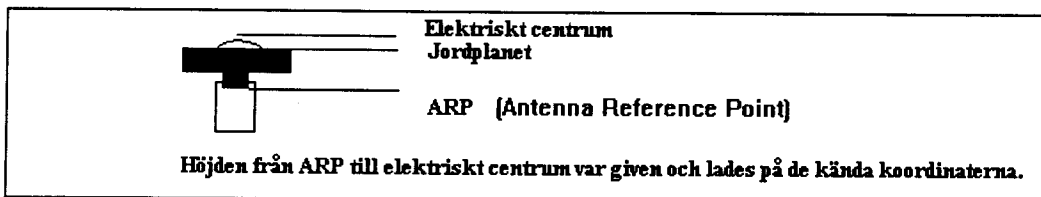
Mätning:

Referensmottagaren ställdes in så att följande meddelanden sändes under försöken:

Ashtech:	1, 3, 18/19 A
Geotracer:	3, 18/19 B
Leica:	1, 3, 18/19 B

I mottagaren angavs de kända koordinaterna latitud, longitud och höjd över ellipsoiden för antennen i koordinatsystemet SWEREF 93 med hänsyn tagen till typ av antenn för att få höjden till antennens elektriska centrum enligt figur 5.1.2.

Vid inställning av mottagaren valdes: uppdateringsintervallet 1 sekund, minimum antal gemensamma satelliter till 4, elevationsmask till 10 grader samt port B för överföringen av data.



*Figur 5.1.2. Visar hur de kända koordinaterna till ARP måste korrigeras till elektriskt centrum genom olika tillägg beroende på antenntyp.*

## 5.2 Radiolänken

För dataöverföring mellan referensstationens mottagare och den rörliga mottagaren användes radioantennar med radiomodem kopplat till en av mottagarnas portar för datakommunikation. Sändarantennen var en riktantenn av märket Pecab 427 MHz placerad på LMV:s tak. Mottagarantenn var en rundstrålande modell av

märket Pecab Bicon 427 Mhz.

Modemet som användes är av fabrikatet Sateline 2 AS x m2 som sänder med effekten 0,5 W. Signalerna behöver förstärkas till 25 W för att kunna nå fram på längre avstånd. Detta gjordes genom inkoppling av förstärkare av fabrikatet Pecab mellan modemmet och sändarantennen.

Problem uppstod flera gånger med förstärkaren som gick sönder på grund av överhettning och hindrade oss bl.a. att utföra mätning till Rörberg med Geotracer.

### **5.3 Rörlig station**

Den rörliga enheten genomför en positionsbestämning i SWEREF 93. De mätta SWEREF 93-koordinaterna transformeras sedan i de olika fabrikatens fältdatorer till ett mer lokalt koordinatsystem, i detta fall RT90/RH70 i en tillhörande fältdator genom en 7-parametertransformation.

#### **5.3.1 ASHTECH**

##### Utrustning:

På testpunkterna LMVA4 och Åkermanskulle monterades Ashtech:s geodetiska antenn med jordplan på trefot. Trefot och stativ hade dessförinnan horisonterats och centrerats över punkten. Vid Rörberg monterades samma Ashtech-antenn direkt på pelare. GPS-antenn och övrig utrustning som batteri, radioantenn av typen Pecab Bicon med Sateline modem samt Husky fältdator kopplades sedan ihop med mottagaren.

##### Beskrivning:

Firmwaren i mottagaren är 4J00-1C63. Mottagaren kan avkoda RTCM meddelandetyperna 1, 2, 3, 6, 9, 16 och 18/19 [16].

I en speciell RTCM-meny gjordes följande inställningar:

1. mottagaren ska fungera som rörlig
2. överföringshastigheten 9600 baud.
3. Referensstations-ID, lämnades odefinierad.
4. Följande RTCM-meddelanden valdes: 1, 3, 18/19 A.
5. Att kontroll ska ske av sekvensnummer i meddelandet innan det kan accepteras
- 6) Frekvensen för utsändning av respektive meddelande till 1 sekund
6. Maximal ålder för meddelandena till 60 sekunder
7. Minimum antal satelliter till 4
8. Elevationsmask till 10 grader
9. Antal meddelanden som ska tas emot. Mottagaren jämför sedan det verkliga antalet mottagna mot detta värde och anger detta kvalitetsvärde i procent kontinuerligt under mätningen. Detta varierade från 85 till 99 procent.

#### Mätning:

Till mottagaren kopplades Husky fältdator varifrån mätningarna styrdes. Lutande antennhöjd, radie och offset till elektriskt centrum angavs i mottagaren. Mottagaren utförde en flygande bestämning av periodobekanta. Mätningen startades med att punktnummer matades in, standardavvikelse angavs till 2 centimeter, och mätningen pågick därefter tills dess att standardavvikelsen kom under detta värde. Fältdatorn beräknar koordinater och transformerar sedan dessa via en 7-parameter transformation och kartprojektion till koordinatsystemet RT90 2,5 gon V. I fältdatorn som användes tillsammans med Ashtech utrustningen approximeras geoidhöjderna med ett polynom.

15 mätningar gjordes. Mellan var femte mätning bröts lösningen av periodobekanta och tiden tills ny fixlösning erhöles mättes.

### Resultat:

Vid mätningarna var det ofta problem med kvaliteten på radiolänken. Påfallande ofta bröts fixlösningen. Det tog i genomsnitt längre tid att bestäma periodobekanta på det långa jämfört med det korta avståndet. Tiden för att på nytt bestämma periodobekanta i en fixlösning varierade mellan testpunkterna. Det fanns ett samband mellan detta och kvaliteten på och antalet överförda meddelanden samt att mätningarna förutsatte bra förhållanden med avseende på antal gemensamma satelliter och PDOP-värde.

Resultatet visar en något större avvikelse i höjd koordinaten för mätningen på Rörberg. Noggrannheten i mätningarna är de förväntade med hänsyn till bland annat avståndet mellan referensstation och rörlig mottagare. Noggrannheten påverkas även av upplösningen på referensstationens koordinater i meddelande typ 3.

	Medel- avvikelse mx, my, mH (m)	Standard- avvikelse sx, sy, sH (m)	RMS rmsx, rmsy, rmsH (m)	Tid för bestämning av periodobek. (s)
LMVA4	0,006 -0,008 -0,014	0,004 0,005 0,006	0,007 0,009 0,015	71-165
Åkermanskulle	0.004 -0.004 -0.019	0.003 0.002 0.005	0.005 0.004 0.019	30-75
Rörberg	0.001 0.009 -0.042	0.013 0.003 0.019	0.013 0.009 0.045	60-190

*Tabell 5.3.1. Visar mätresultaten för Ashtech vid LMVA4, Åkermanskulle och Rörberg. Noggrannheten minskar något med ökande avstånd. Tiden för bestämning av periodobekanta ökar på det längsta avståndet.*

### 5.3.2 GEOTRONICS

#### Utrustning:

På testpunkterna LMVA4 och Åkermanskulle monterades Geotronic's GPS-antenn av typen Geodetic L2 med jordplan på trefot. Trefoten och stativet hade

dessförinnan horisonterats och centrerats över punkten. Vid Rörberg monterades Geotracer-antennen direkt på pelaren. GPS-antenn och övrig utrustning som batteri, radioantenn av typen Pecab Bicon med Satelline modem samt fältdator ACU (Advanced Control Unit) kopplades sedan ihop med mottagaren Geotracer 2200 L1/L2.

#### Beskrivning:

Inställningarna styrs från kontrollenheten ACU, för mer information se [17].

Med kan man välja Geotracers eget format eller RTCM-format vid mätning. När man valt RTCM-formatet tar mottagaren emot mätdata från referensstationen. Följande versioner av RTCM kan väljas:

2.0 (med meddelandetyperna 1, 2, 3)

2.1korr (3, 20, 21)

2.1ful(3, 18, 19)

Följande inställningar gjordes:

1. Överföringshastighet 9600 baud
2. Port 2 för överföringen
3. Meddelande 16 valdes bort
4. Beräkningstyp RTK
5. Ratio, dvs. den noggrannhetsnivå som mätningen ska ha (jämför standardavvikelse för Ashtech) angavs till 2 cm på Åkermanskulle. På LMV A4 gjordes dock mätningar med tre olika standardavvikelser 1, 2 och 4 cm. Detta pga. oklarheter kring försöksuppläggnings. Skillnaderna visade sig dock vara små.
6. Antenntypen Geodetic L2 med jordplan. Det går även att ange vilken typ av GPS-antenn som används på referensstation, och parametrar för geotronics egna antenner finns lagrade och mottagaren räknar automatiskt ut höjden till elektriska centrum. Vi fick hjälp av Geotronics med att lägga in antenn-

information för Dorn Margolin antenn som vi använde på referensstationen. Proceduren var lite knölig, men eftersom det bara är en mjukvarufråga i ACU'n bör det kunna förbättras i en kommande program version.

7. Koordinatsystemet RT90 2,5 gon V, vilket innebär att fältdatorn transformerar från SWEREF 93-koordinater till detta system.

#### Mätning:

Den ordinarie Firmware i ACU:n till Geotracer fungerade då typ 18/19 B valdes på referensstationen. Under arbetet med att få utrustningen att fungera fick vi tillgång till en firmwareversion som fungerade tillsammans med Ashtechs meddelandetyper, 18/19 A.

RTCM-versionen 2.1 ful valdes därför att den stödjer RTK-mätning. För att få överföringen att fungera var vi tvungna att välja bort meddelandetyper 1 i referensmottagaren. Mätningarna utfördes från fältdator som kopplades till mottagaren. Mottagaren utförde en flygande bestämning av periodobekanta.

Vi angav punktnummer och noggrannhetsnivå för mätningarna. Instrumenthöjden angav vi uträknad till ovansidan på antennens jordplan.

De av fältdatorn från SWEREF 93 transformerade RT90-koordinaterna visade sig vara beräknade med det äldre transformationssambandet från WGS84 (SCANDOC-formeln).

11 mätningar gjordes. Fyra gånger bröts låsningen av periodobekanta och tiden tills ny fixlösning erhöles mättes.

#### Resultat:

Vid mätningarna på punkten i Rörberg erhöles inga resultat beroende på att en säkring i förstärkaren till det sändande radiomodemet gick sönder.

Noggrannheten på koordinaterna var de förväntade. Medelavvikelsen på x-

koordinaten blev genomgående ca. 3 ggr större än för y-koordinaten. En bidragande orsak kan vara att referensstationens koordinater bara skickas över med en upplösning på 1 cm.

	Medel- avvikelse mx, my, mH (m)	Standard- avvikelse sx, sy, sH (m)	RMS rmsx, rmsy, rmsH (m)	Tid för bestäm- ning av period- obek. (s)
LMVA4	0,018 -0,001 -0,018	0,003 0,001 0,005	0,019 0,003 0,019	30-85
Åkermanskulle	0,018 -0,006 -0,022	0,002 0,001 0,008	0,019 0,006 0,024	20-52

*Tabell 5.3.2. Visar mätresultaten från Geotracer.*

### 5.3.3 LEICA

#### Utrustning:

På testpunkterna LMV A4 och Åkermanskulle monterades GPS sensorn SR9500 med extern antenn på trefot. Trefot och stativ hade dessförinnan horisonterats och centrerats över punkten. Vid Rörberg monterades GPS-antenn via en trefot direkt på pelaren. Övrig utrustning som batteri, radioantenn med Sateline modem samt fältdator CR333 kopplades sedan ihop med sensorn.

#### Beskrivning:

Mätningarna styrs från fältdatorn. Vi valde att mäta i RTK-läge. Där ingår meddelandetyperna 3, 18/19.

Skillnaden i höjd mellan elektriskt centrum för L1 och L2 på referensstationens GPS-antenn angavs i kontrollenheten.

Initialiseringsmetod kan väljas och vi valde flygande bestämning av



periodobekanta.

#### Mätning:

På LMVA4 och Åkermanskulle angavs vertikal antennhöjd med hjälp av mätanordning där höjden till denna mättes och ett konstant värde till elektriskt centrum adderades till detta mått. På Rörberg mättes höjden från pelarplattan till ovansidan på antennen samt höjden från mätanordningen till plattan. Ur dessa mått kunde sedan höjden till elektriskt centrum beräknas.

Noggrannhetsnivån var inställd på fem centimeter, eftersom den noggrannheten rekommenderas av Leica.

Under mätningen angavs kontinuerligt ett kvalitetsvärde, RMS, för mätningarna.

Elevationsmasken sattes till 15 grader, överföringshastigheten till 9600 baud och frekvensen för överföring av meddelanden till 1/s.

Koordinaterna levererades i RT90/RH70 efter transformation i fältdatorn av erhållna SWEREF 93-koordinater. Dessa var dock transformerade med det äldre transformationssambandet (SCANDOC-formeln).

11 mätningar gjordes på Åkermanskulle och 16 på Rörberg. Tre gånger bröts låsningen av periodobekanta och tiden tills ny fixlösning erhöles mättes.

#### Resultat:

Vid Rörberg noterades en avvikelse i y-koordinaten och höjden, vilket kan ha berott på satellitkonfiguration, antal gemensamma satelliter med referensstation eller onoggrannheten i referensstationens koordinater i överföringen av meddelande typ 3. Avvikelsen skall bland annat ses mot att avståndet från referensstationen till Rörberg, 12 km, är längre än de 10 km som normalt specificeras för RTK-tekniken.

	Medel- avvikelse mx, my, mH (m)	Standard- avvikelse sx, sy, sH (m)	RMS rmsx, rmsy, rmsH (m)	Tid för bestämning av periodobek. (s)
LMVA4	0,010 -0,009 0,016	0,003 0,002 0,006	0,011 0,009 0,017	83-85
Akermanskulle	0,011 -0,009 0,011	0,001 0,002 0,009	0,012 0,009 0,014	94-98
Rörberg	-0,009 -0,040 -0,038	0,003 0,004 0,006	0,010 0,041 0,038	150-568

*Tabell 5.3.3. Visar mätresultaten från Leica.*

## 6. DISKUSSION

Frånsett att vi pga tidsbrist ej kunde mäta med Geotracer på Rörberg, beroende på att en förstärkare slutade att fungera, kan vi konstatera att mätning i RTCM-formatet med de olika fabrikaten fungerar.

Det fungerar således att mäta med de testade fabrikaten relativt en Ashtech Z-12-mottagare som referensstation, som planerat i SWEPOS-nätet. Dock finns flera problem enligt nedan.

Det är viktigt att rätt version av firmware används som stöder RTK-mätning med överföring av bärvågsdata i meddelanden med format enligt RTCM-standarden. Implementeringen har gjorts på olika sätt i fabrikaten och vi har lyckats utröna vilka inställningar man ska ha i detta fall.

Med rätt variant av meddelande 18 i referensstationen (sändande Ashtech-mottagaren), kunde samtliga testade mottagare mäta RTK med RTCM-formatet med meddelande typ 3 och typ 18 och 19.

Vad gäller de praktiska försöken har vi använt en radiolänk för så stabil överföring som möjligt.

Två eventuella systematiska fel har av oförklarlig anledning uppkommit i x och y-koordinaterna vid mätningarna med Geotracer och Leica. Med ett begränsat dataunderlag är det osäkert att avgöra noggrannhetens förändring vid olika avstånd, men den verkar försämrats något på det längsta avståndet. Däremot ingen större skillnad mellan de två kortare avstånden. Detsamma gäller tiden för bestämning av periodobekanta, där tiden ökar markant på det längsta avståndet, men är i stort lika på de två kortare. Orsakerna till försämringarna kan vara t.ex. avståndet och radiolänken. Avståndet till Rörberg (12 km) är utanför instrumentleverantörernas längsta specificerade avstånd (10 km) för RTK-mätning.

## 7. SLUTSATSER

Syftet med examensarbetet var att undersöka möjligheten för olika mottagarfabrikat att utnyttja data från SWEPOS-nätet för RTK-mätning via RTCM-formatet. Detta mål har uppfyllts genom att vi har konstaterat att det fungerar för samtliga testade fabrikat. Dock finns begränsningar och problem enligt nedan.

- \* Vi har använt en radiolänk med 25 W förstärkarenhet för att erhålla så stabil dataöverföring som möjligt, trots detta behövdes även en riktantenn. Denna riktantenn styr radiovågorna så att dessa beskriver en ellips med störst utbredning i antennens längdriktning. Av detta kan man fråga sig om det är realistiskt med riktantenn under praktisk tillämpning av RTK-tekniken.
- \* Med rätt variant av meddelande 18 i referensstationen (sändande Ashtech-mottagaren), kunde samtliga testade mottagare mäta RTK med RTCM-formatet med meddelande typ 3 och typ 18 och 19.

**Ashtech:** Avkodar meddelandena 1, 2, 3, 6, 9, 16, 18/19 och fungerade med inställningarna 1, 3, 18/19.

**Geotracer:** Olika uppsättningar av meddelanden kan väljas. Den version som fungerade var 2.1 ful med meddelandena 3, 18/19.

**Leica:** Man väljer mellan DGPS eller RTK. Vid RTCM med RTK väljs RTCM phase. Meddelandena som används är 3, 18/19.

Vid noggrannhetsundersökningen har vi enbart jämfört RT90-koordinaterna och ej direkt koordinater i SWEREF 93. Eftersom samma transformationsmodell använts för den kända punkten som i fältdatorerna, bör transformationerna inte ha påverkat mätresultaten.

De olika mottagarna mäter med den noggrannhet som kan förväntas vid RTK-mätning, dvs 2-3 cm. Dock uppstod två eventuella systematiska avvikelser vid

mätningarna med Geotracer och Leica. Geotracer hade ett fel på båda testpunkterna i x-koordinaten och Leica i y och eventuellt i höjd vid Rörberg. Avvikelsen hos Leica var större än de hos Geotracer. Avståndet till Rörberg, 12 km, är dock längre än vad som normalt specificeras för RTK-tekniken.

Tiden för bestämning av periodobekanta ligger i samma storleksordning för alla mottagarna och ökar markant på det längsta avståndet.

## 8. REFERENSER

- [1] RTCM Special Committee No. 104: **RTCM Recommended Standards for Differential Navstar GPS Service, version 2.1**, Radio Technical Commission For Maritime Services, 1994.
- [2] Statens Lantmäteriverk: **HMK - Geodesi: GPS, Handbok till mätning**, Gävle 1996.
- [3] Hofman-Wellenhof B., Lichtenegger H. and Collins J.: **GPS-Theory and Practice**, Springer-Verlag, Wien, New York., 1994.
- [4] Kurkinen Keijo: **Radiolänkar för överföring av GPS-data**. Lantmäteriverket, LMV-rapport 1995:3, Gävle, 1995.
- [5] Ottoson Christina: **Marknadsundersökning av GPS-utrustning för semikinematisk bärvågsmätning i realtid**. Lantmäteriverket, LMV-rapport 1995:23. Gävle, 1995.
- [6] Leijonhufvud Carl och Wiklund Peter: **Undersökning av semikinematisk GPS-mätning i realtid**. Lantmäteriverket, LMV-rapport 1996:2, Gävle 1996.
- [7] Ammenberg Petra and Hansson Kristina: **The Compatibility of SWEPOS-data with GPS-equipment Available on the market**, LMV-rapport 1996:5, Gävle, 1996.
- [8] Kaplan Elliot D.: **Understanding GPS Principles and applications**, Artech House, London, 1996.
- [9] Van Sickle Jan: **GPS for Land Surveyors**, Ann Arbor Press Inc., Chelsea Michigan, 1996.

[10] SIS: **Satellitbaserad positionsbestämning - GPS - Terminologi**. Svensk standard SS 63 70 01, utgåva 2, Stockholm 1995.

[11] Johansson Jan: **GPS med stöd av fasta referensstationer**, Kartografiska Sällskapet, Falu Bokproduktion, Falun, 1997.

[12] Teracom: **DARC-Data Transmission services via broadcast radio**. Stockholm, 1995.

[13] CICERON - **Satellitnavigation efter år 2000**. Onsala Rymdlaboratorium 1997.

[14] **Vad kan SWEPOS erbjuda mig?** Lantmäteriverket, Gävle.

[15] Fredriksson Kennet & Jivall Lotti: **Kinematisk och Pseudokinematisk GPS-ett alternativ till statisk GPS?** Svensk lantmäteritidskrift nr 1990:1.

[16] Ashtech Inc: **Z-12 GPS Receiver Operating Manual Revision B**, Sunnyvale CA, 1994.

[17] Geotronics AB: **Geotracer system 2000 L1/L2 User Manual**. Stockholm, 1995.

[18] Johnson Michael: **Regionalt studium av riksnäten med GPS**. Lantmäteriverket, LMV-rapport 1994:14, Gävle, 1994.

## 9. Bilagor

### Bilaga 1. Differentiella GPS Korrektioner, RTCM-Meddelandetyp 1

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30

UD RE	SATELLIT ID	PSEUDOAVSÄNDSKORREKTION	PARITETSBITAR
----------	----------------	-------------------------	---------------

Ord 3

DERIVATAN AV AVSTÅNDS KORREKTIONEN	SYFTET MED DATA (IOD)	UDRE	SATELLITE ID	PARITETSBITAR
--	--------------------------	------	--------------	---------------

Ord 4

PSEUDOAVSTÅNDS KORREKTION	DERIVATAN AV AVSTÅNDS KORREKTIONEN	PARITETSBITAR
---------------------------	---------------------------------------	---------------

Ord 5

SYFTET MED DATA (IOD)	UD RE	SATELLITE ID	PSEUDOAVSTÅNDS KORREKTION (ÖVRE BYTE)	PARITETSBITAR
--------------------------	----------	--------------	---	---------------

Ord 6

PSEUDOAVSTÅNDS KORREKTION (NEDRE BYTE)	DERIVATAN AV AVSTÅNDS KORREKTIONEN	SYFTET MED DATA (IOD)	PARITETSBITAR
--	--	--------------------------	---------------

Ord 7

0

0

0

DERIVATAN AV AVSTÅNDS KORREKTIONEN	SYFTET MED DATA (IOD)	UTFYLLNADSBITAR	PARITETSBITAR
--	--------------------------	-----------------	---------------

Ord N+ om  $N_i = 1, 4,$  eller 10

SYFTET MED DATA (IOD)	UTFYLLNADSBITAR	PARITETSBITAR
--------------------------	-----------------	---------------

Ord N+ om  $N_i = 2, 5,$  eller 11



**Bilaga 2. Referensstations-parametrar, RTCM-Meddelandetyp 3**

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30

ECEF X-KOORDINAT (ÖVRE 3 BYTE)	PARITETSBITAR
-----------------------------------	---------------

Ord 3

ECEF X-KOORDINAT (NEDRE BYTE)	ECEF Y-KOORDINAT (ÖVRE 2 BYTE)	PARITETSBITAR
----------------------------------	-----------------------------------	---------------

Ord 4

ECEF Y-KOORDINAT (NEDRE 2 BYTE)	ECEF Z-KOORDINAT (ÖVRE BYTE)	PARITETSBITAR
------------------------------------	---------------------------------	---------------

Ord 5

ECEF Z-KOORDINAT (NEDRE 3 BYTE)	PARITETSBITAR
------------------------------------	---------------

Ord 6

**Bilaga 3. Okorrigerade bärvågs-mätdata, RTCM-Meddelandetyp 18**

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30

F	SP	GPS-TIDPUNKT FÖR MÄTNINGARNA	PARITETSBITAR
---	----	---------------------------------	---------------

Ord 3

För varje ny satellit tillkommer två ord:

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30

H	P	R	SATELLIT ID	DATA KVALI- TET	IHOPRAKNING AV FÖRLORADE DATA	BÄRVÅG (ÖVRE BYTE)	PARITETSBITAR
-	-						
F	C						

Ord  $2 \cdot N_i + 2$

BÄRVÅG (NEDRE 3 BYTE)	PARITETSBITAR
--------------------------	---------------

Ord  $2 \cdot N_i + 3$

**Bilaga 4.** Okorrigerade mätdata av pseudoavstånd, RTCM-Meddelandetyp 19

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
F	SM	GPS-TIDPUNKT FÖR MÄTNINGARNA																							PARITETSBITAR				

Ord 3

För varje ny satellit tillkommer två ord:

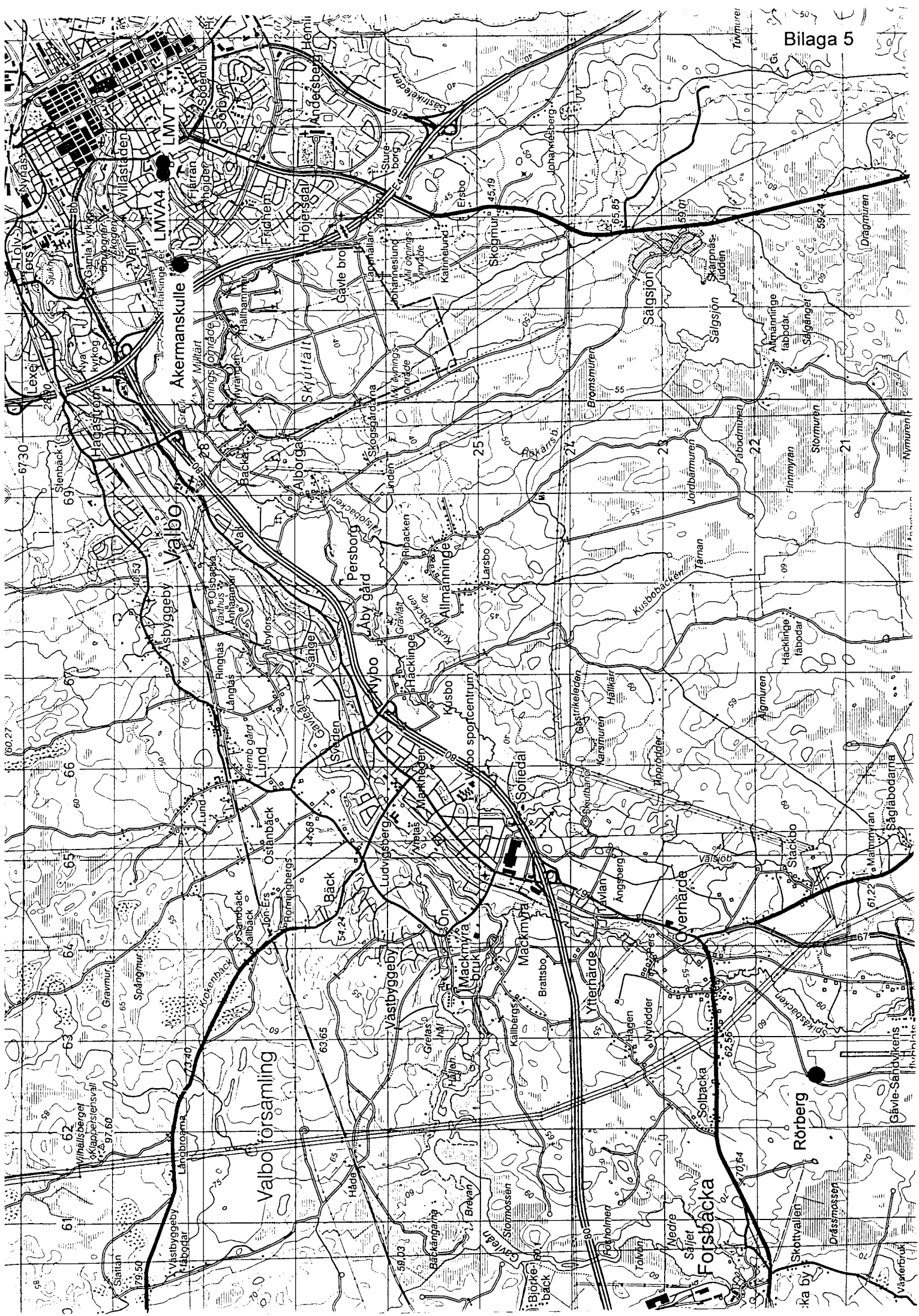
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
SP	P	R	SATELLIT ID	KVALITET -EN PÅ DATA	FLERVAGS FEL	PSEUDOAVSTÅND (ÖVRE BYTE)						PARITETSBITAR																	

Ord  $2 \cdot N_i + 2$

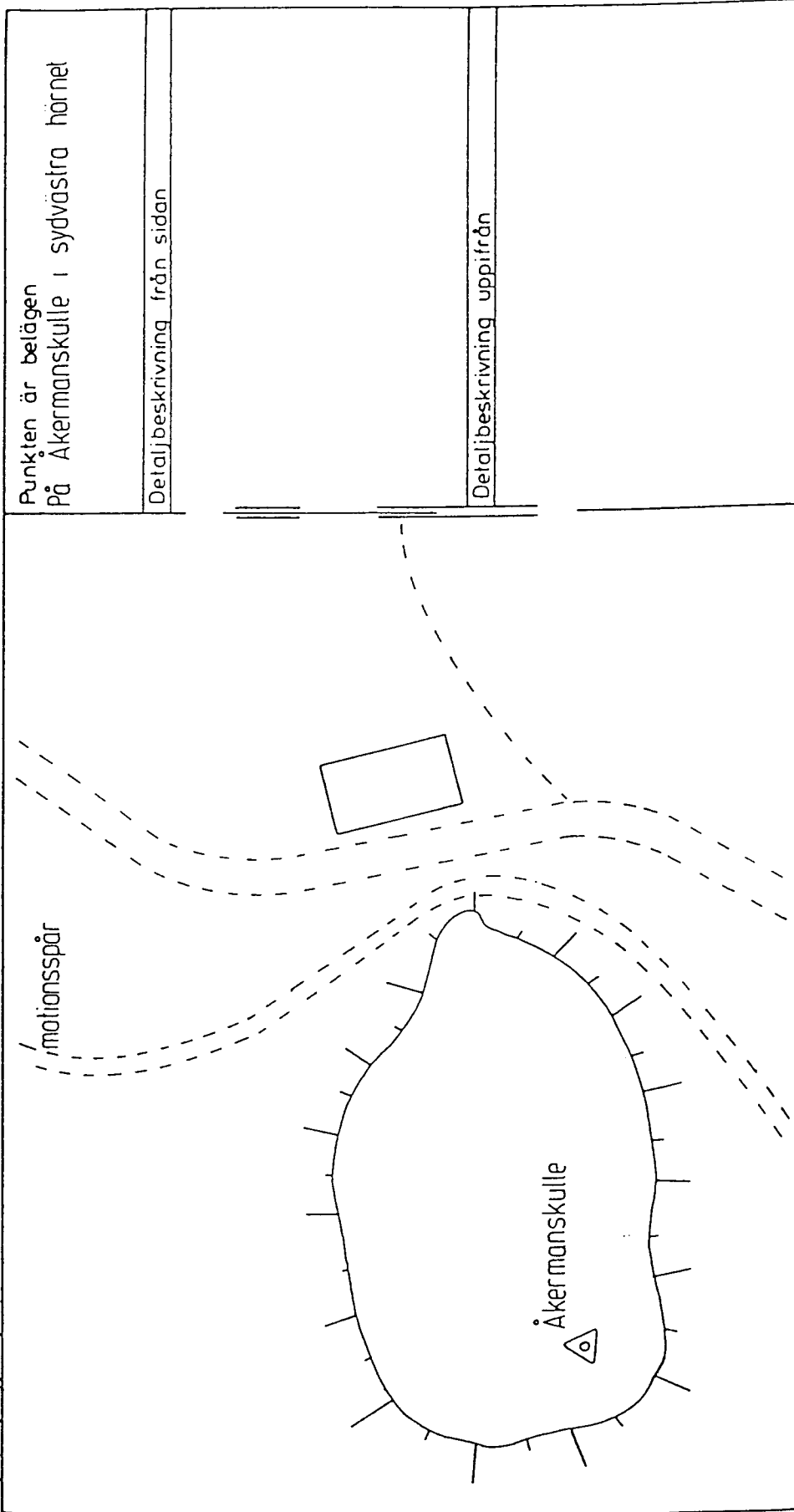
PSEUDOAVSTÅND (NEDRE 3 BYTE)																							PARITETSBITAR				
---------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---------------	--	--	--	--

Ord  $2 \cdot N_i + 3$





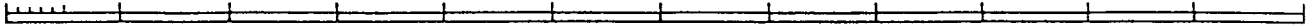




PUNKT NR	MARK	ÅR	SKISS sign	REV sign	Försäkringsmarkeringar		
					Punkt	Markering	Avstånd
RMD	RH (70)	1988	RH (00)	GS (55)	A		A - B
					B		B - C
					C		C - A







PUNKTBESKRIVNING

Datum för utskrift 1996-09-17	Punkt nr 137428
----------------------------------	--------------------

Namn  
**SWEREF GÄVLE**

Län  
Gävleborg

Kommun  
Gävle

Kod  
2180

Klass i RT 90  
B

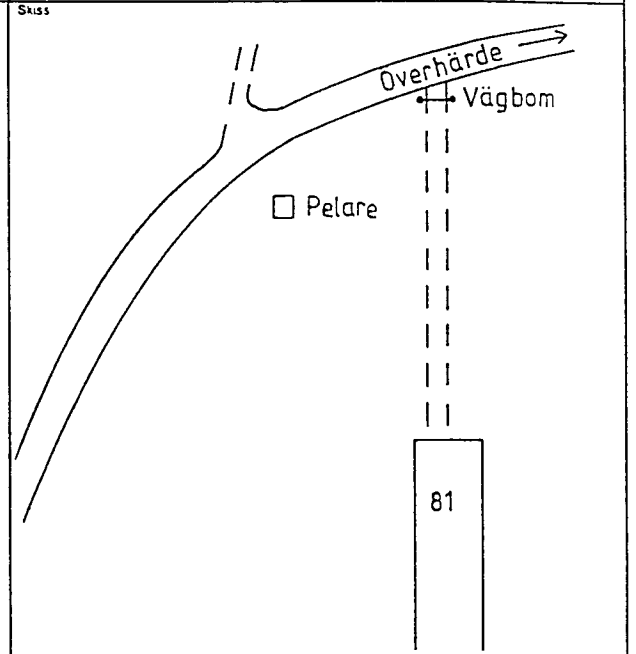
Klass i SWEREF 93  
B

Höjdbestämningsmetod  
Avvägd

Topografiskt kartblad  
13H Gävle SV 4c

Läge  
12 km SV om Gävle centrum.  
12 km N om Främlingshem.

Punkten är belägen på NV delen av Rörbergs flygfält, 386 m NV om bantröskel 18.



Markenngar  
Betongpelare 1.5 m hög

Distansbicka på		Kompassriktning gon	Avstånd m
Inmatningsdata i projektionssystem 2,5 gon V			
Decimal nr	Riktning gon	Avstånd m	Höjdskillnad m

Anmärkning (identitet m.m.)  
Identisk med pelare nr 5 i LMVs testnät på Rörbergs flygplats.



Koordinater i RT90 2,5 gon V 0:-15, RH70

Lämpighet för GPS  
 Mycket bra  
 Bra  
 Mindre bra  
 Dålig

Mäst vid GPS   Tom i primärmetat

Lattitud, Longitud i SWEREF 93

Mätt år  
1995

Anmäld återfunnen år

Anmäld ej återfunnen år

Anmäld förstörd år

Beskrivning upprättad år, sign.  
1996, KL

Beskrivning reviderad år, sign.

