

Testplattform för nätverks-RTK i syfte att ge en
rikstäckande GPS-tjänst med centimeternoggrannhet

Test platform for network RTK with the objective to
achieve a nationwide GPS service with centimeter
accuracy

Jens Samsioe
Björn Öhman

Förord

Examensarbetet har utförts på Teracom i Mölndal under perioden september 1999 till februari 2000. Det är också Teracom som har bekostat examensarbetet.

Handledare har varit Fredrik Darin och Henrik Sundberg på Teracom. Examinator har varit Gunnar Lannér på Chalmers tekniska högskola.

Examensarbetet är gjort inom ramen för civilingenjörsutbildningen vid sektionen för väg- och vattenbyggnad vid Chalmers tekniska högskola.

Arbetet har vidgat våra vyer och öppnat upp våra ögon för GPS-världen. Det har inte bara varit intressant och lärorikt utan också roligt i såväl medgång som motgång.

Examensarbetet hade inte kunnat utföras utan all den hjälp som vi fått, vi vill därför tacka: Fredrik Darin och Henrik Sundberg på Teracom samt Gunnar Lannér på Chalmers för god handledning och ovärderlig hjälp på vägen. Christina Ottoson på Lantmäteriverket och Per Jarlemark på Onsala Rymdobservatorium för intressanta kommentarer och god hjälp med tekniska och praktiska frågor. Björn Ågårdh på Ag Com för tillhandahållande av GPS-utrustning. Andreas Bagge och Thomas Hoppe på Geo++ för hjälp med programvaran. Ola Denarp, Tommy Boström, Fredrik Lindvall och Mehrdad Ahmadi på Teracom i Luleå för hjälp med systemet. Ronald Kilström, på Lantmäteriverket för tillhandahållande av mätpunktsdata. Rikard Lindén och Henrik Bäckesjö för att de haft överseende med våra diskussioner då de blivit alltför högljudda. Alla på Teracom i Mölndal som på ett eller annat sätt förgyllt vår tillvaro.

Göteborg 29 februari 2000

Jens Samsioe

Björn Öhman

Sammanfattning

Rapporten behandlar uppbyggnaden av en testplattform för utvärdering av nätverks-RTK-system. I plattformen har en befintlig kommersiell nätverks-RTK-programvara från det tyska företaget Geo++ implementerats och utvärderats för att på så sätt analysera både testplattformen och programvaran.

Resultaten visar att befintlig infrastruktur kan användas för utsändning av nätverks-RTK-korrekationer, men nätverks-RTK-programvaran behöver vidareutvecklas för att fungera under svenska förhållanden.

Abstract

The report deals with the design of a test platform for evaluation of network RTK systems. In the platform an existing commercial network RTK software from the German company Geo++ has been implemented and evaluated in order to analyse both the test platform and the software.

The results show that existing infrastructure can be used for transmitting network RTK corrections, but the network RTK software needs further development in order to work under Swedish conditions.

Innehåll

1. Inledning	3
2. Introduktion till GPS	4
2.1. Allmänt om GPS	4
2.1.1. Satelliternas konstellation	4
2.1.2. Princip för positionsberäkning	5
2.2. Satelliternas signaler	6
2.2.1. Signalstrukturer	6
2.2.2. Störningar och kryptering	7
2.3. Positionering	7
2.3.1. Kodmätning	7
2.3.2. Bär vågsmätning	8
2.4. Status för GPS idag	9
3. Felkällor	10
3.1. Atmosfärsfel	10
3.1.1. Atmosfärens lager	10
3.1.2. Jonosfärens effekter	10
3.1.3. Troposfärens effekter	11
3.2. Övriga felkällor	11
3.2.1. Klockfel	11
3.2.2. Banfel	12
3.2.3. Flervägsfel	12
3.2.4. Antenncentrumfel	12
3.3. Felens inverkan på positionen	12
4. Differentiell GPS	13
4.1. Förutsättningar	13
4.2. Korrektionsmetoder vid kodmätning	13
4.2.1. Vektorkorrektion	13
4.2.2. Pseudoavståndskorrektioner	14
4.3. Korrektionsmetoder vid bär vågsmätning	15
4.3.1. Pseudoavståndskorrektioner	15
4.3.2. Pseudoavståndsobservationer	15
4.3.3. Överföringshastighet	15
4.4. Fixlösning	15
4.4.1. Falsk fix	15
4.4.2. Cycle slip	15
4.5. Möjlighet till felkorrektion	15
4.5.1. Typiska felstorlekar i positionering	16
4.5.2. Översikt av fel	16
4.6. Nätverk	16
4.6.1. Felkorrektionsmodeller	16
4.6.2. Realtid	17
4.6.3. Virtuellt referensstation	17
5. Referensstationer och koordinatsystem	18
5.1. Koordinatsystem	18
5.1.1. Presentation av koordinater	18
5.1.2. WGS 84	18
5.1.3. EUREF 89	18
5.1.4. SWEREF 93	18
5.2. Referensstationer	19
5.2.1. SWEPOS	19
6. Korrektioner	20
6.1. RTCM-korrektioner	20

6.2. Distribution	20
6.2.1. FM-nätet	20
6.3. Tjänster	21
6.3.1. Epos	21
6.3.2. Ciceron	21
7. Testplattform	22
7.1. Kriterier	22
7.1.1. Drift	22
7.1.2. Befintlig infrastruktur	22
7.1.3. Lokalisering av testplattform	22
7.2. Dataflöde	23
7.3. Roversidan	24
8. Mätpunkter	25
8.1. Urval	25
8.1.1. Urvalskriterier	25
8.2. Urvalsgenomförande	25
8.3. Data för utvalda punkter	25
8.3.1. SWEREF Annelund	25
8.3.2. SWEREF Landvetter	27
8.3.3. SWEPOS Borås	29
8.3.4. Sammanställning av mätpunkter	31
8.4. Representativitet för verkliga förhållanden	31
8.5. Mättningsförfarande	32
8.5.1. Mätprocedur	32
8.5.2. Mätråd	32
9. Nätverksprogramvara	33
9.1. Metod	33
9.1.1. Server	34
9.1.2. Rover	35
9.2. Iakttagelser	35
9.2.1. Serversidan	35
9.2.2. Roversidan	36
10. Slutsatser	38
10.1. Testplattform	38
10.2. Mätpunkter	38
10.3. Nätverksprogram	38
10.4. Geo++ nätverksprogram	38
10.4.1. Problemdiskussion	38
10.5. Framtida nätverks-RTK-system	39
10.5.1. Krav	39
10.5.2. Synpunkter vid utveckling av nätverks-RTK-system	39
11. Referenser	40

Bilagor

Bilaga A. Ordlista
Bilaga B. Mätresultat
Bilaga C. Mättningsförfarande
Bilaga D. Tekniska specifikationer
Bilaga E. SWEREF-kriterier
Bilaga F. Punktdata
Bilaga G. RTCM SC-104 v2.2

1. Inledning

Möjligheten att få en position med centimeternoggrannhet i realtid genom GPS-mätningar är idag praktiskt begränsad till områden som ligger inom några tiotals kilometer från en referensstation. På grund av det begränsade antalet referensstationer i Sverige, blir denna positionering inte rikstäckande. För att möjliggöra en rikstäckande positionering med centimeternoggrannhet i realtid, kan referensstationerna användas i ett nätverks-RTK-system. Detta förekommer på ett antal platser i världen, men inget system har testats i områden där referensstationerna står lika glest som i Sverige.

Syftet med detta examensarbete är att utforma en testplattform och testrutin för utvärdering av nätverks-RTK-system samt implementera och testa en befintlig nätverks-RTK-programvara i testplattformen, för att därigenom kunna testa plattformen samt ge synpunkter på hur ett eventuellt framtida nätverks-RTK-system bör se ut.

Testplattformen skall fungera för tidiga utvärderingar och begränsas geografiskt till Västsverige.

Inledningsvis sker en översiktlig introduktion till GPS samt en mer djupgående beskrivning av felkällor inom GPS samt principerna bakom differentiell GPS och RTK. Därefter följer en kortare redogörelse för olika koordinatsystem och referenspunkter. Kapitel sex behandlar korrekationer och hur de distribueras, en kortare beskrivning av befintliga GPS-tjänster som används i Sverige görs också.

De ovan nämnda kapitlen syftar till att skapa en grundläggande förståelse för de problem som uppstår vid RTK med långa baslinjer. De därefter följande kapitlen beskriver hur testplattformen bör se ut samt hur ett eventuellt framtida nätverks-RTK-system kan utformas.

I kapitel sju beskrivs uppbyggnaden och lokaliseringen av testplattformen för att möjliggöra utvärdering av olika RTK-system. I kapitel åtta ges en redogörelse för de mätpunkter som anses vara bäst lämpade för testplattformen. I kapitel nio utvärderas testplattformen med hjälp av en nätverksprogramvara tillhandahållen av Geo++, dessutom beskrivs och utvärderas även Geo++ nätverksprogramvara, i syfte att ge information om hur en framtida nätverks-RTK-programvara bör vara uppbyggd.

I kapitel tio sker en sammanfattning av slutsatser och därefter ges rekommendationer om eventuella framtida undersökningar.

I bilagorna finns en ordlista som beskriver specifik GPS-terminologi. De innehåller också data och mättingsförfarande från de mätningar som utförts. I bilagorna återfinns även de tekniska specifikationerna för den utrustning som har använts samt kompletterande material till vissa textavsnitt.

2. Introduktion till GPS

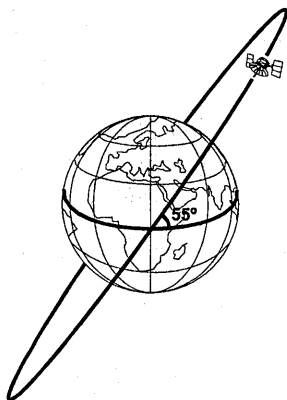
2.1. Allmänt om GPS

Global Positioning System (GPS) är ett rymdbaserat navigationssystem. Allmänt menas det amerikanska försvarets Navigation System with Timing and Ranging GPS (NAVSTAR GPS). Den amerikanska försvarsmakten startade utvecklingen av systemet 1973, det blev fullt operativt 1995. NAVSTAR skulle användas för att ge militär-makten kontinuerlig och korrekt position, hastighet och tid, men redan från början fanns intentionen att GPS skulle ha en civil användning. NAVSTAR GPS kommer fortsättningsvis att benämnas enbart GPS.

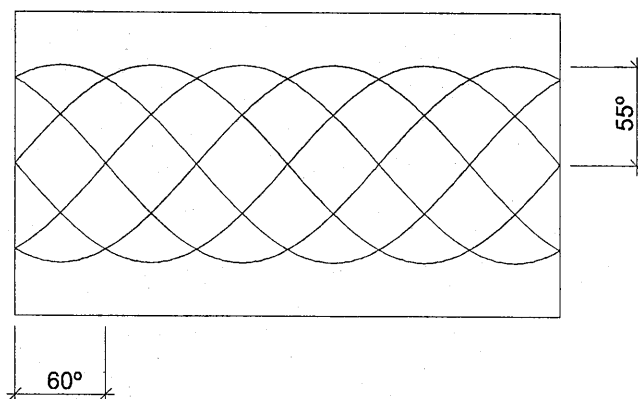
GPS-systemet består av satelliter som kontinuerligt sänder ut signaler som kan tas emot av en GPS-mottagare på jorden. Satelliterna övervakas från jorden för att säkerställa att korrekt information alltid sänds ut från dem.

2.1.1. Satelliternas konstellation

GPS är konfigurerat så att det i varje tidsögonblick från varje punkt på jorden skall vara möjligt att ta emot signaler från minst fyra satelliter med 15 graders elevationsvinkel (Hofmann-Wellenhof, 1997). GPS har i sin grundkonfiguration 24 satelliter i sex omloppsbanor 20 200 kilometer ovan jordytan med 55 graders inklination mot ekvatorn. För att kunna ge en bra position eftersträvas en så stor spridning som möjligt på satelliterna. Eftersom alla satelliter står söder om den 55:e breddgraden, det vill säga söder om Sverige, kommer en GPS-användare i Sverige att få en mindre bra satellitgeometri och därmed också en något sämre positionsnoggrannhet.



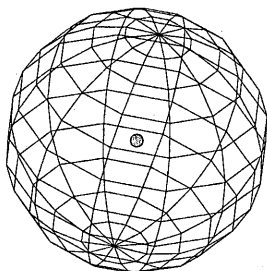
Figur 2-1. Principiell skiss av en satellitbana kring jorden



Figur 2-2. Principiell skiss av de sex omloppsbanorna över jorden

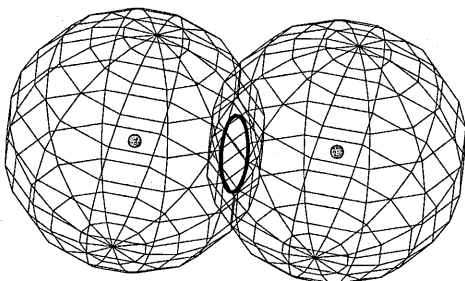
2.1.2. Princip för positionsberäkning

Varje satellit skickar ut radiosignaler som kan tas emot och tolkas av en GPS-mottagare. Signalen innehåller bland annat information om satellitens position och interna tid. GPS-mottagaren jämför tiden då signalen skickades ut med tiden då signalen togs emot och beräknar de olika signalernas löptider från respektive satellit. Avstånden mellan mottagare och satelliter erhålls genom att löptiderna multipliceras med ljusets hastighet. GPS-mottagarens position beräknas sedan genom att bestämma avstånden till tre satelliter med kända koordinater.



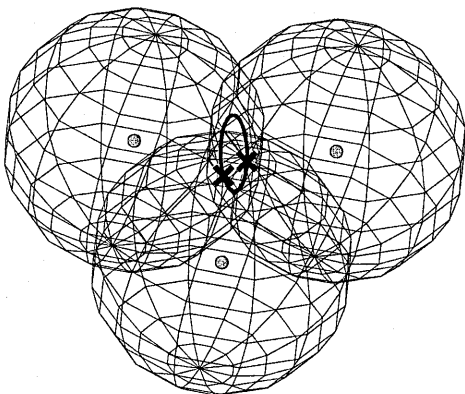
Figur 2-3. En satellit

Om avståndet från en satellit är känt kommer mottagaren att befinna sig någonstans på ytan av en sfär.



Figur 2-4. Två satelliter

Om avstånden från två satelliter är kända kommer mottagarens position att finnas på randen av den cirkel som bildas där de båda sfärerna skär varandra.



Figur 2-5. Tre satelliter

Om tre avstånd är kända kommer de möjliga positionerna att begränsas till två punkter (kryssen i figuren ovan), varav en kommer att befinna sig nära jordens yta. Denna punkt är då mottagarens position.

Satelliternas interna tid är mycket noggrant bestämd och styrs av flera oberoende atomer i varje satellit. Dessa är mycket stabila och korrigerade för relativistiska effekter, vilket medför att klockan i varje satellit är mycket precis och har en avvikelse mindre än 10 ns/år (The Boeing Company, 2000). Av ekonomiska skäl har klockan i de flesta GPS-mottagare inte samma noggrannhet som satelliternas klockor. Detta ger upphov till att GPS-mottagaren inte kommer att visa exakt rätt tid. Emedan tiden är ett mycket viktigt mått kommer ett litet tidsfel att ge upphov till mycket stora fel i positionsbestämningen. För att kompensera för tidsfelet mellan mottagare och satellit, och därmed uppnå korrekt position, behövs vanligen en fjärde satellit.

Ofta finns möjlighet att ta emot signaler från ännu fler satelliter, detta ger normalt en bättre position eftersom ekvationssystemet med de tre obekanta rumsdimensionerna och den obekanta tiden då blir överbestämt, vilket ger möjlighet till medelvärdesbildning.

2.2. Satelliternas signaler

Satelliterna genererar bärvågssignaler på två frekvenser: L1 (1575,42 MHz, våglängd 19,0 cm) och L2 (1227,60 MHz, våglängd 24,4 cm). Dessa är multiplar av en grundfrekvens på 10,23 MHz. De båda frekvenserna påverkas på olika sätt under sin väg genom atmosfären. Därför kan en mottagare som utnyttjar båda frekvenserna minska effekterna av vissa felkällor i atmosfären.

2.2.1. Signalstrukturer

Bärvågssignalerna är fasmodulerade med tre olika koder.

2.2.1.1. Navigationsmeddelandet

Navigationsmeddelandet innehåller information om satelliten, bland annat banddata och klockinformation.

2.2.1.2. Coarse Acquisition-koden

Coarse Acquisition-koden (C/A-koden) är en kort sekvens med kort upprepningstid, vilket medför att den snabbt och lätt kan identifieras av en GPS-mottagare. Den huvudsakliga informationen koden bär är tid. Varje satellit har en unik C/A-kod så att den lätt kan särskiljas. Det finns 37 fördefinierade koder, vilka återanvänds när satelliter byts ut. C/A-koden moduleras endast på L1, för att förhindra en allmän tillgång till ett tvåfrekvent system.

2.2.1.3. Precise-koden

Precise-koden (P-koden) är en lång sekvens med lång upprepningstid, av militära krypteringsskäl. Den förmedlar samma information som C/A-koden men sänds med tio gånger högre frekvens, vilket medför högre precision. P-koden moduleras både på L1 och L2.

2.2.1.4. Kodkaraktäristik

Tabell 2-1. Kodkaraktäristik (Hofmann-Wellenhof, 1997)

	Navigationsmeddelande	C/A-kod	P-kod
Överföringshastighet	50 bps	$1,023 \cdot 10^6$ bps	$10,23 \cdot 10^6$ bps
Bitlängd	$6 \cdot 10^6$ m	293 m	29,3 m
Meddelandelängd	1500 bitar	1023 bitar	$6,187 \cdot 10^{12}$ bitar
Repetitionsintervall	30 s	1 ms	1 vecka

2.2.2. Störningar och kryptering

2.2.2.1. Selective Availability

Då GPS blev operativt, visade det sig att positionsnoggrannheten var mycket bättre än vad som teoretiskt beräknats. För att reducera noggrannheten för icke-militära användare, försämrade USA:s försvarsmakt positionsnoggrannheten genom att lägga in en störning, Selective Availability (SA). SA innefattar störning av satellitens klocka, vilket påverkar grundfrekvensen 10,23 MHz. Dessutom trunckas satelliternas banddata, vilket ger en sämre noggrannhet i bestämningen av satelliternas position.

Graden av störning har bestämts så att positionsnoggrannheten för civilt bruk med SA är 100 m i horisontalled och 156 meter i höjdled (95 procent standardavvikelse) (Hofmann-Wellenhof, 1997).

2.2.2.2. Anti Spoofing

Genom kryptering av P-koden så kallad Anti-Spoofing (A-S), bildas en ny kod. Den nya koden kallas Y-kod och är idag reserverad för auktoriserade användare, i praktiken den amerikanska försvarsmakten. Y-kod utan störning från SA ger en positionsnoggrannhet på 22 m i horisontalled och 28 m i höjdled (95 procent standardavvikelse) (Farell, 1998).

2.3. Positionering

De fundamentala problemen i GPS-positionering är att bestämma avståndet mellan satelliter och mottagare så exakt som möjligt samt att bestämma satelliternas exakta positioner i varje tidsögonblick.

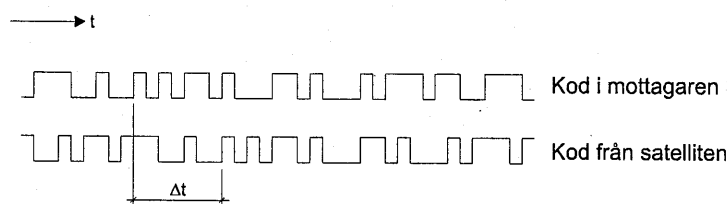
Satellitsignalens väg genom rymden till mottagaren kallas pseudoavstånd. Pseudoavståndet definieras som produkten mellan satellitsignalens löptid och ljusets hastighet. Olika felkällor medför dock en förlängning eller fördröjning i satellitsignalens löptid, vilket innebär att pseudoavståndet till en satellit inte är lika med det sanna avståndet till satelliten. För att kunna förbättra positionsnoggrannheten måste pseudoavstånden korrigeras så att de bättre stämmer överens med de sanna avstånden. Eftersom pseudoavstånden ligger till grund för korrektionerna är en så god bestämning av pseudoavstånden som möjligt önskvärd.

Beräkningarna av pseudoavstånden är en ganska komplex procedur. I huvudsak finns det två olika sätt att bestämma dessa, kodmätning och bärvågsmätning. Kodmätningen är enkel och ger snabbt en grov position, bärvågsmätningen är mer komplex men ger en bättre positionsnoggrannhet.

2.3.1. Kodmätning

Grunden för kodmätning är en jämförelse av satelliternas utsända kod och en genererad kod i GPS-mottagaren. De koder som satelliterna sänder ut (C/A-koden och P-koden), finns replikerade i GPS-mottagaren. Denna replika jämförs sedan med den mottagna koden och genom bestämning av tidsförskjutningen, Δt , mellan de två koder-

na fås löptiden från satellit till mottagare. Denna löptid multipliceras med ljushastigheten varpå ett pseudoavstånd erhålls.



Figur 2-6. Kodmätning

Noggrannheten på ett pseudoavstånd framtaget med hjälp av kodmätning är ungefär 1 procent av bitlängden, men en noggrannhet på 0,1 procent av bitlängden bör vara möjlig (Hofmann-Wellenhof, 1997). Märk att detta endast handlar om noggrannheten på pseudoavståndet, vilket inte är det sanna avståndet.

2.3.1.1. Påverkan av kryptering och störningar för allmänheten

Noggrannheten i kodmätningar begränsas av SA. Dessutom kan kodmätningar som regel endast göras på C/A-koden eftersom A-S praktiskt taget alltid är aktiverat. På grund av att C/A-koden endast är modulerad på L1 kan kodmätningar endast göras på en frekvens. Detta medför att vissa fel inte kan korrigeras och därmed begränsas noggrannheten ytterligare.

2.3.2. Bär vågsmätning

Emedan satelliterna hela tiden är i rörelse kring jorden kommer signalerna från dem att vara dopplerskiftade då de observeras från jorden. Detta innebär att den signal som GPS-mottagaren tar emot inte kommer att ha exakt den frekvens som signalen hade då den genererades i satelliten. Eftersom de båda frekvenserna L1 och L2 är kända, kan GPS-mottagaren skapa referenssignaler med exakt dessa frekvenser.

Fasen på referenssignalen jämförs med fasen på den signal som tas emot från satelliten. I startögonblicket fås då en fasskillnad mellan de båda signalerna. Pseudoavståndet till satelliten kommer därmed att vara denna fasskillnad plus ett obekant avstånd. Detta obekanta avstånd är ett *helt antal perioder* av L1 respektive L2.

Genom att kontinuerligt mäta hur fasskillnaden mellan den mottagna signalen och referenssignalen förändras, kan dessutom antalet hela och delar av perioder som satelliten har avlägsnat sig eller kommit närmare GPS-mottagaren bestämmas i varje tidsögonblick.

Uttryckt i ekvationsform kommer avståndet till satelliten således att vara:

$$s(t) = \varphi(t_0) + \varphi(t) + N$$

Där:

t tiden

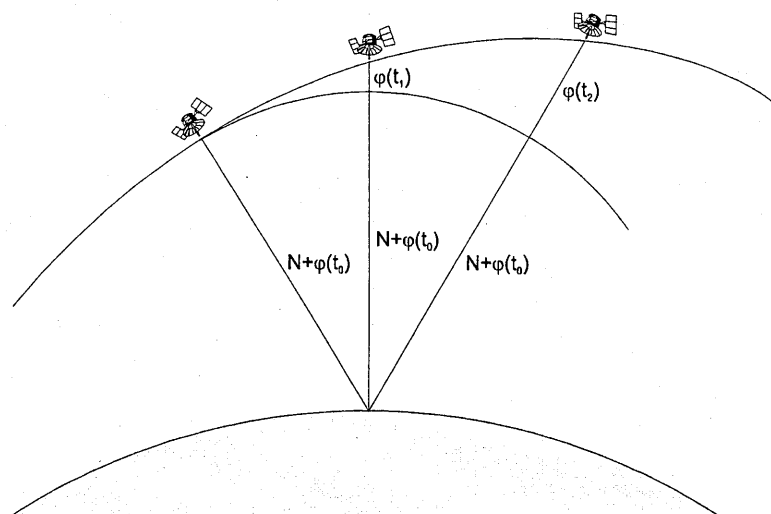
s(t) pseudoavståndet till satelliten

$\varphi(t_0)$ den initiella fasskillnaden

$\varphi(t)$ antalet hela och delar av perioder i varje tidsögonblick

N är ett obekant helt antal perioder

Metoden kan åskådliggöras i följande figur:



Figur 2-7. Bärvågsmätning

Genom att ställa upp ett ekvationssystem av alla pseudoavstånd från satelliter till mottagare kan man bestämma en uppsättning heltal som ger entydig bestämning av GPS-mottagarens position.

2.3.2.1. Påverkan av kryptering och störningar för allmänheten

SA påverkar grundfrekvensen 10,23 MHz och kommer därför att förändra den uppmätta fasskillnaden, vilket i sin tur genererar ett fel i pseudoavståndsbestämningen.

Eftersom bärvågsmätning inte använder sig av någon kod, är bärvågsmätning oberoende av A-S-kryptering. Att återskapa L2-bärvågen försvåras något av A-S, men är ändå en relativt enkel procedur.

2.4. Status för GPS idag

Grundkonfigurationen med möjlighet till att ta emot minst fyra satelliter i alla tidsögonblick gäller när 24 satelliter finns i omlopp runt jorden. Idag finns det dock 28 satelliter i omlopp (U.S. Coast Guard Navigation Center, 2000) vilket underlättar vid positioneringen.

Diskussioner har förts om att utveckla den civila användbarheten av systemet. Främst genom att implementera ytterligare en frekvenskanal L5 (Office of Assistant Secretary of Defense, 1997), men budgeten för att utveckla det civila användandet har skurits ned för år 2000 (The Institute of Navigation, 1999), vilket försvårar införandet av L5.

3. Felkällor

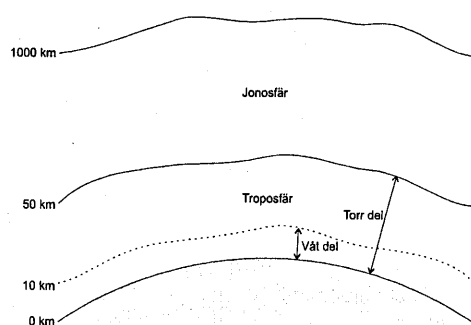
Som tidigare nämnts påverkas positioneringen i GPS av olika felkällor. För att kunna få en bra positionsnoggrannhet, måste dessa kunna bedömas på ett så bra sätt som möjligt.

De mest svårbedömda felen härstammar från atmosfären. På grund av att atmosfären är variabel i både tid och rum, blir även felen som uppstår variabla i tid och rum. Övriga fel är endast variabla i tid, vilket medför att dessa felkällor kan bestämmas rumsligt då de har bestämts i en punkt vid en viss tid.

3.1. Atmosfärsfel

GPS-signalen utsätts för olika effekter på sin väg genom atmosfären. Atmosfären påverkar bland annat signalvägen och hastigheten på GPS-signalerna. De fel som uppstår varierar i tid och rum samt med längden på signalvägen genom atmosfären.

3.1.1. Atmosfärens lager



Figur 3-1. Viktiga delar av atmosfärens lager i GPS-sammanhang

Jonosfären sträcker sig ungefär från 1000 km ner till 60 km ovanför jordytan (Gombosi, 1998). I detta område joniseras gasmolekyler av de ultraviolettera strålarna från solen varpå gasmolekylerna släpper ifrån sig fria elektroner. Dessa fria elektroner ger upphov till att jonosfären är ett dispersivt medium med avseende på GPS-signaler.

Troposfären sträcker sig från ungefär 40 km ner till jordens yta (Farell, 1998). Ur GPS-synpunkt finns två viktiga delar av troposfären: dels den torra delen, som varierar långsamt över stora områden, dels den våta delen, som varierar mycket lokalt beroende på andelen vattenånga i luften närmast marken. Vattenångan existerar upp till ungefär 10 kilometers höjd från jordytan. Troposfären är ett icke-dispersivt medium för GPS-signalerna.

3.1.2. Jonosfärens effekter

Jonosfärens dispersiva egenskaper ger upphov till en sänkning av GPS-signalens gruppshastighet, det vill säga kodhastigheten, samt en ökning av signalens fashastighet. Storleken på dessa effekter styrs av mängden elektroner längs signalvägen. Elektronmängden påverkas bland annat av solfläckscykeln, årstiden och tiden på dygnet.

Signalen från en satellit med mindre elevationsvinkel färdas längre sträcka igenom jonosfären och påverkas därför mer än signalen från en satellit med större elevationsvinkel.

Tabell 3-1. Exempel på jonosfärens inverkan på signalvägen (Kaplan, 1996)

	Natt	Dag
90 ° elevation	3 m	15 m
0° - 10° elevation	9 m	45 m

Sänkningen av grupp-hastigheten är till beloppet lika stor som ökningen av fashastigheten, eller uttryckt i avstånd: pseudoavståndet mätt på koden kommer att bli lika mycket *större* än det verkliga* avståndet som pseudoavståndet mätt på fasen (bärvågen) kommer att bli *mindre* än det verkliga* avståndet. Sambandet mellan grupp- och fashastighet kan även uttryckas enligt:

$$v_g \cdot v_f = c^2$$

Där:

- v_g grupp-hastigheten (kod-hastigheten)
- v_f fashastigheten (bärvågshastigheten)
- c ljusets hastighet

En viss refraktion av GPS-signalen inträffar också i jonosfären. Denna är emellertid mycket liten och kan under normala omständigheter försummas.

Den geometriska vägen genom jonosfären är identisk för alla frekvenser, men olika frekvenser får olika hastighet. För att göra en bedömning av jonosfärens fördröjande effekt på signalkoden, kan GPS-signalens frekvenser, L1 och L2, jämföras. Den nuvarande frekvensskillnaden mellan L1 och L2 är en acceptabel avvägning mellan behovet av att kunna uppskatta jonosfärens fördröjning och möjligheten att kunna ta emot de båda frekvenserna i samma antenn. Om skillnaden hade varit mindre, skulle skillnaden i felet på signalvägen vara så liten att den skulle vara svår att beräkna. Om frekvensskillnaden mellan L1 och L2 hade varit större, och därmed skillnaden i hastigheten varit större, hade det varit lättare att hitta ett noggrannare fel för signalvägen. Men då skulle det krävas separata antenner för de två frekvenserna (Klobuchar, 1996).

Jonosfären varierar förhållandevis långsamt och ganska konstant, vilket gör att felen som härrör sig från jonosfären kan uppskattas över en större yta med hjälp av flera referensstationer, se avsnitt 4.6 *Nätverk*.

3.1.3. Troposfärens effekter

På grund av att troposfären är icke-dispersiv kommer GPS-signalernas fas- och grupp-hastighet att vara desamma genom troposfären. Med andra ord kommer informationen på signalen, koden, att transporteras med samma hastighet genom troposfären som bärvågen. Troposfärens refraktiva egenskaper gör dock att den geometriska signalvägen ändras. GPS-signalernas väg bryts av i troposfären och får därmed en längre signalväg.

Troposfärens brytningsindex beror på temperatur, tryck och relativ fuktighet.

Tabell 3-2. Exempel på troposfärens inverkan på signalvägen (Kaplan, 1996)

	Natt och dag
90 ° elevation	2,4 m
0-10° elevation	25 m

3.2. Övriga felkällor

3.2.1. Klockfel

Som tidigare nämnts, manipuleras satelliternas interna tid genom SA, se avsnitt 2.2.2.1. *Selective Availability*. Detta gör att satellitsignalernas löptid förändras jämfört med den

* Det verkliga avståndet behöver inte vara det sanna avståndet, utan avser det beräknade avståndet mellan satellitens rapporterade position och referensstationens position. I realtid tar denna beräkning ingen hänsyn till det banfel som satelliten kan utsättas för.

sanna löptiden. Denna förändring ger upphov till att det beräknade avståndet till satelliten blir något längre eller något kortare än det sanna avståndet.

3.2.2. Banfel

De banor som GPS-satelliterna i idealfallet använder är exakt beräknade. I praktiken hamnar satelliterna utanför dessa beräknade banor, bland annat på grund av solvindar och variationer i jordens gravitation. Dessutom påverkas satelliternas banparametrar av SA. Den information om satellitens position som sänds ut, kommer därför inte att vara helt sann. Noggrannheten i satellitens baninformation är cirka 5 m, men med SA ökar felet upp till 50-100 m (Hofmann-Wellenhof, 1997).

Exakta bandata blir tillgängliga för efterberäkning med någon dags fördröjning.

3.2.3. Flervägsfel

Flervägsfel uppkommer när signaler anländer till en mottagare via två eller fler olika vägar på grund av reflektioner från marken eller från närliggande objekt, till exempel byggnader eller bilar. Reflektionerna kan ge positioneringsfel på upp till flera meter. Dessa effekter är periodiska och upprepas om GPS-mottagarens omgivning är oförändrad (Hofmann-Wellenhof, 1997).

Det finns olika metoder för att beräkna effekterna av att signalerna tar flera vägar. Om omgivningen runt antennen är konstant, kan korrektioner för multiväg uppskattas genom efterberäkning. En annan metod är att titta på olikheter på L1 och L2 (Han, 1997). Det finns även GPS-antennerna som är speciellt konstruerade för att minska flervägsfelen. Exempel på sådana antenner är så kallade chokeringantennerna, där markreflektioner elimineras genom att radiosignaler som kommer in mot antennen under horisontalplanet avlägsnas.

3.2.4. Antenncentrumfel

Antennens fascentrum är den punkt i antennen som mottagningen av GPS-signalen relaterar till. Detta centrum är i allmänhet inte samma som antennens fysiska centrum. Storleken på avvikelserna mellan fascentrum och fysiskt centrum, antenncentrumfelet, beror på satellitens elevationsvinkel och asimut samt på satellitsignalens intensitet. Felet kan bli upp till 5 mm i nordlig och östlig riktning och upp till 30-50 mm i höjd (Han, 1997).

Om samma typ av antenner antas ha samma fascentrumavvikelser, och antennerna är orienterade i samma riktning, kan detta fel elimineras. Det finns även programvara som kompenserar för antenncentreringfel.

3.3. Felens inverkan på positionen

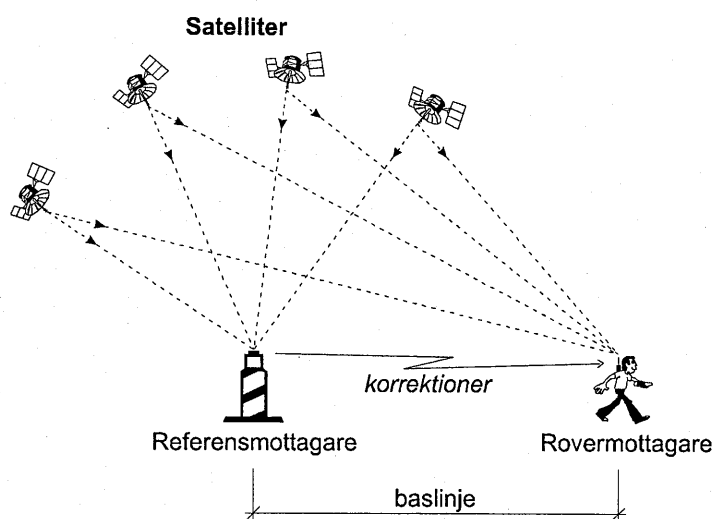
De olika fel som finns i GPS-sammanhang är av olika storlek, typiska storlekar på felens inverkan på positionen presenteras i följande tabell:

Tabell 3-3. Exempel på felens inverkan på positionen i plan (Sundberg, 1995)

Jonosfär	5 m
Troposfär	0,5 m
Satellitklockor	1,5 m
Banfel	2,5 m
Flervägsfel	0,6 m
Antenncentrumfel	0,005 m

4. Differentiell GPS

På grund av ovan nämnda felkällor har GPS i dess grundform ofta inte tillräckligt bra positionsnoggrannhet. Genom att använda två GPS-mottagare, varav den ena placeras i en på förhand känd punkt, kan felet mellan uppmätt position och sann position bestämmas i varje ögonblick. Kunskapen om storleken på dessa fel kan sedan utnyttjas för en bättre positionering om de distribueras till en annan GPS-mottagare, som därmed kan förbättra sin positionsnoggrannhet. Denna typ av relativ positionering kallas för differentiell GPS (DGPS). I DGPS kallas den GPS-mottagare som används i den kända punkten för *referensmottagare*, den andra GPS-mottagaren kallas *rovermottagare*. Avståndet mellan referensmottagare och rovermottagare kallas för *baslinje*.



Figur 4-1. Definitioner i Differentiell GPS

4.1. Förutsättningar

För att möjliggöra DGPS krävs vissa förutsättningar. De två mottagarna måste använda sig av gemensamma satelliter. De satelliter som inte utnyttjas av båda mottagarna kan inte användas i DGPS positionering. Dessutom måste minst fyra gemensamma satelliter användas av båda mottagarna samtidigt.

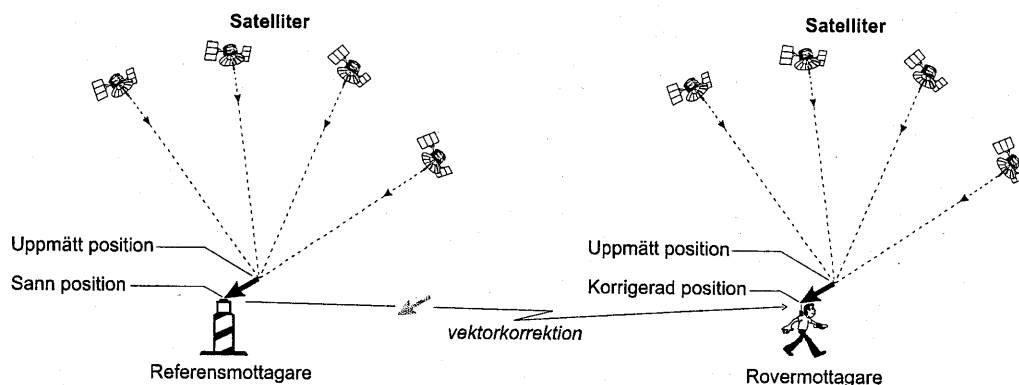
Felen som uppmäts gäller endast vid referensmottagaren och kommer att ändra storlek med avståndet från referensmottagaren. Vid kortare baslinjer mellan referensmottagare och rovermottagare är dock felen så pass lika att en god positionsnoggrannhet kan uppnås.

DGPS används med kodmätning eller bärvågsmätning, se avsnitt 2.3 *Positionering*. Då bärvågsmätning används benämns metoden RTK (realtidskinematisk).

4.2. Korrektionsmetoder vid kodmätning

4.2.1. Vektorkorrektion

Referensmottagaren räknar fram positionsfelet i form av en vektor mellan beräknad och känd position. Vektorn överförs till rovermottagaren och adderas till den i rovermottagaren beräknade positionen, vilket medför en bättre position i rovern.



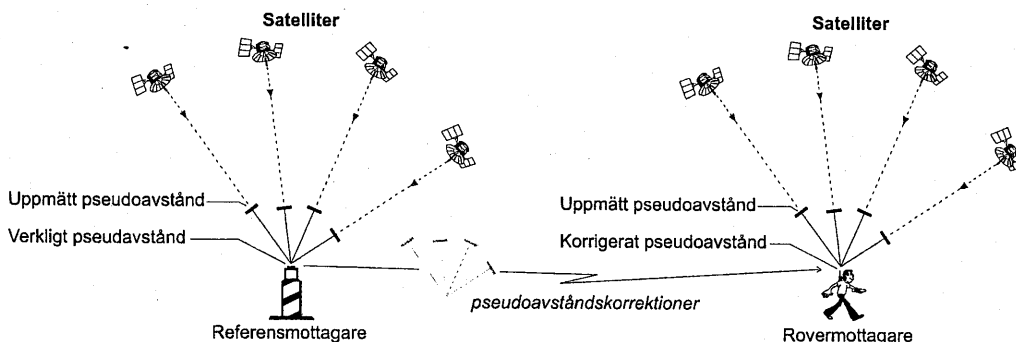
Figur 4-2. Vektorkorrektion

Vektorkorrigerig är beroende av samma satellituppsättning vid referensmottagaren som vid rovermottagaren. Metoden fungerar bra vid korta avstånd mellan mottagarna, men ju större avståndet är mellan referensmottagare och rovermottagare, desto större blir skillnaden i signalväg och satellitgeometri mellan mottagarna vilket gör att korrekturen blir mindre giltig.

Vektorkorrigerig begränsas i användbarhet av kravet på gemensam satellituppsättning, dessutom begränsas positionsnoggrannheten av att satelliterna behandlas kollektivt. Fördelen med metoden är den ringa datahastighet som krävs för att överföra korrekturen.

4.2.2. Pseudoavståndskorrekationer

Pseudoavståndskorrekationerna beräknas utifrån skillnaden mellan pseudoavstånden och de verkliga* avstånden mellan varje enskild satellit och referensmottagare. Korrekationerna för varje enskilt pseudoavstånd beräknas i referensmottagaren och skickas sedan till rovermottagaren. Rovermottagaren använder sedan de korrekationer som tagits emot från referensmottagaren till att beräkna korrigerade pseudoavstånd.



Figur 4-3. Pseudoavståndskorrekationer

Pseudoavståndskorrekationsmetoden är mer flexibel än vektorkorrekationsmetoden och resulterar i bättre positionsnoggrannhet. Den största fördelen med pseudoavståndskorrekation, förutom den förbättrade positionsnoggrannheten, är att rovermottagaren inte måste använda sig av alla satelliter som används av referensmottagaren.

* Det verkliga avståndet behöver inte vara det sanna avståndet, utan avser det beräknade avståndet mellan satellitens rapporterade position och referensstationens position. I realtid tar denna beräkning ingen hänsyn till det banfel som satelliten kan utsättas för.

4.3. Korrektionsmetoder vid bärvågsmätning

Den allmänt använda korrektionsmetod som idag ger bäst positionsnoggrannhet baseras på korrekationer eller observationer på den uppmätta bärvågen. Denna metod kallas RTK (realtidskinematisk). Som namnet antyder ger RTK positionen i realtid och ger även möjlighet att förflytta rovermottagaren under pågående mätning.

4.3.1. Pseudoavståndskorrekationer

Pseudoavståndskorrekationer vid RTK fungerar i stort sett på samma sätt som vid kodmätning, skillnaden är att pseudoavståndskorrekationerna baseras på bärvågsmätningar.

4.3.2. Pseudoavståndsobservationer

Ett annat sätt att överföra korrektionsinformation från referensmottagare till rovermottagare är att skicka referensmottagarens fullständiga bärvågsobservationer. Denna metod kräver något större beräkningskapacitet i rovern.

4.3.3. Överföringshastighet

Ett krav för noggrann RTK är att korrekationer kan beräknas och sändas över till mottagaren i täta intervall, vanligen en gång per sekund. Överföringen får heller inte ha för stora fördröjningar eftersom korrekationerna måste appliceras på rovermottagarens mätningar för samma tidpunkt som de beräknades i referensmottagaren.

4.4. Fixlösning

Mottagaren försöker kontinuerligt att beräkna en uppsättning med heltal som gör att dess position blir entydigt bestämd. När uppsättningen har hittats kommer detta att benämnas fixlösning, eller fix. Tiden till fix varierar, och är en viktig parameter ur användarsynpunkt.

Mottagaren kan under tiden som fixberäkningen sker ändå presentera en position, där alla heltalsobekanta inte har lösts. En position utan heltalslösning benämns fortsättningsvis flytlösning. Denna position varierar kontinuerligt men positionsnoggrannheten är dock oftast mycket bättre än vid kodmätning.

4.4.1. Falsk fix

Under vissa omständigheter kommer mottagaren att hitta en heltalslösning som inte är den korrekta lösningen, detta innebär att en falsk position kommer att anges. Dessutom kommer denna lösning att tappas efter en kort tid, eftersom entydigheten i ekvationssystemet inte längre gäller då satelliterna förflyttat sig med tiden.

4.4.2. Cycle slip

Om det uppstår mottagarfel, till exempel om signalen tappas under en kort tid, måste sökandet efter den korrekta heltalslösningen startas om med en ny obekant heltalsparameter då signalen återupptas. Detta kallas en cycle slip.

4.5. Möjlighet till felkorrektur

Differentiell GPS klarar av att helt korrigera för icke rumsvarierande fel som till exempel SA eller banfel. Eftersom atmosfären varierar rumsligt kommer de korrekationer som beräknas i referensmottagaren endast att gälla i punkter nära denna. Med ökad baslinje kommer positionsfelen att öka, eftersom signalerna från satelliterna då får allt mer olika vägar genom atmosfären på sin väg till referensmottagare respektive rovermottagare. Den korrigerade positionen kommer dock ändå att vara betydligt bättre än den okorrigerade, främst eftersom effekterna av SA elimineras.

Vid långa baslinjer ökar dessutom tiden till fix, eftersom det är svårt att hitta den sanna fixlösningen då korrektionerna på pseudoavstånden är baserade på förhållandena vid referensmottagaren. Dessa korrektioner har sämre överensstämmelse med förhållandena vid rovmottagaren.

4.5.1. Typiska felstorlekar i positionering

Tabell 4-1. Typiska noggrannheter (Hofmann-Wellenhof, 1997 och Jonsson, 1997)

	Fel i plan
Kodmätning på C/A-koden	100 m
Kodmätning på P-koden	22 m
Pseudoavståndskorrigerings på C/A-kodmätningar	1-2 m
Pseudoavståndskorrigerings eller pseudoavståndsobservationer på bärvågen	Teoretiskt 5 mm + 0,5 mm per km Praktiskt 10 mm + någon mm per km

4.5.2. Översikt av fel

I vanlig civil GPS-mätning med kodmätning på C/A-koden, kommer ingen av felkällorna att kunna korrigeras. Vid mätning på både L1 och L2 kan viss korrigerings på jonosfärsfel och troposfärsfel ske.

I RTK korrigeras SA och banfel totalt då baslinjen är kortare än 500 km (Hofmann-Wellenhof, 1997). Atmosfärsfel korrigeras bra nära referensmottagaren, men positionsnoggrannheten avtar med ökande längd på baslinjen.

En översikt över vilka fel som kan korrigeras i realtid presenteras i tabellen nedan.

Tabell 4-2. Översikt över de fel som kan korrigeras i realtid.

	Enfrekvensmätning	Tvåfrekvensmätning	RTK
Jonosfär	Nej	Något	Avståndsberoende
Troposfär (lokal)	Nej	Något	Avståndsberoende
Klock	Nej	Nej	Ja
SA	Nej	Nej	Ja
Ban	Nej	Nej	Ja

4.6. Nätverk

För att uppnå tillfredsställande positionsnoggrannhet även vid långa baslinjer, kan flera referensmottagare kopplas samman i nätverk. Detta gör att korrektionerna kan modelleras eller interpoleras mellan de olika referensmottagarna, vilket gör att RTK-mätningar kan utföras på längre avstånd från referensstationer med bibehållen positionsnoggrannhet.

Ytterligare fördelar med nätverkssamarbete mellan referensmottagare är att det blir möjligt att täcka ytor där det är svårt att placera referensmottagare och att en god positionsnoggrannhet uppnås även om en referensstation av någon anledning slutar fungera.

4.6.1. Felkorrektionsmodeller

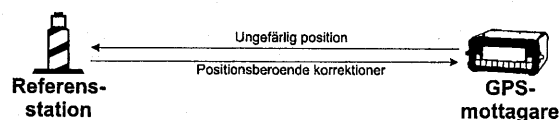
Genom att utnyttja data från flera referensstationer och flera satelliter, erhålls ett större antal signalvägar. Informationen för de olika signalvägarna kan sedan tas emot och behandlas i en modell, en felkorrektionsmodell. Modellen skall kunna ge information om hur avståndsberoende felen är samt beskriva felen som en funktion av koordinaterna i ett koordinatsystem.

Felkorrektionsmodeller kan göras på många olika sätt. En enkel modell är att rätlinjigt interpolera korrektionerna mellan referensstationerna och på så sätt uppskatta felen. Modelleringen är dock ofta komplex och de fel som uppstår på grund av banfel och atmosfär korrigeras så att en felmodellering över hela områden kan ges.

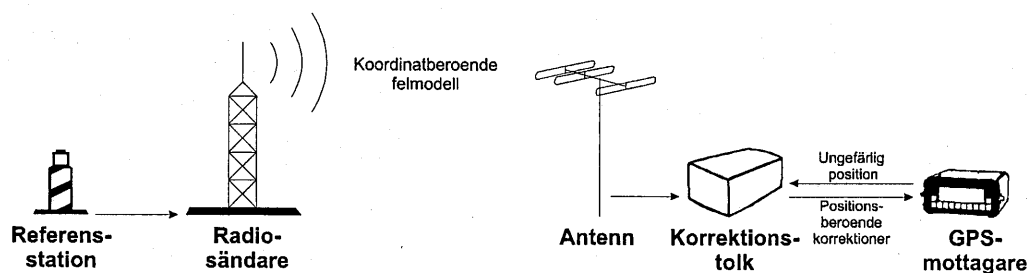
Den fundamentala idén är alltså att bearbeta bärvågsinformation från flera referensstationer simultant med en mjukvara, och härleda parametrar i en lämplig felmodell som beskriver den avståndsberoende felsituationen i nätverksområdet. Modellparametrarna överförs sedan till användaren.

4.6.2. Realtid

Vid realtidspositionering tillkommer ytterligare en komplikation eftersom information om korrektionsmodellen måste sändas till användaren. Detta kan antingen ske genom att användaren kontaktar en server och skickar sina ungefärliga koordinater dit, varefter referensstationen skickar tillbaka korrektioner gällande för den positionen. Alternativt skickas hela felmodellen ut till användaren, varpå användaren måste sätta in lämpliga indata i modellen för att få sin position. Fördelen med det senare är att endast envägskommunikation behövs då en återkoppling från användaren till referensstationen är onödig.



Figur 4-4. Tvåvägskommunikation



Figur 4-5. Envägskommunikation

4.6.3. Virtuellt referensstation

För att användaren skall kunna ha någon nytta av den felkorrektionsmodell som skickas ut, måste en ungefärlig position anges som indata eftersom felkorrektionsmodellen är positionsberoende. Den ungefärliga positionen anges till exempel med hjälp av kodmätning med en GPS mottagare. Konceptet brukar benämnas *virtuell referensstation*, eftersom det kan sägas skapas en referensstation i den position som användaren anger som sin ungefärliga. Det maximala avståndet till den virtuella referensstationen kommer, enligt avsnitt 2.2.2. *Störningar och kryptering*, att som mest bli 100 m i plan vilket medför att felen i den faktiska positionen kommer att vara näst intill identiska med felen vid den virtuella referensstationen. Under förutsättning att nätverkskorrektionerna är korrekta kommer därmed en mycket god position att erhållas, oberoende av baslinjelängd.

5. Referensstationer och koordinatsystem

5.1. Koordinatsystem

För att kunna bestämma inbördes lägen mellan punkter måste punkterna vara belägna i ett gemensamt väldefinierat koordinatsystem. Över små områden är det relativt enkelt att definiera ett koordinatsystem, men över större områden, nationellt eller globalt, måste hänsyn tas till faktorer som jordens form, kontinentaldrift och landhöjning.

En förutsättning för att kunna använda globala satellitpositioneringssystem, är att det finns ett väldefinierat globalt koordinatsystem. Ett modernt koordinatsystem definieras av origo samt tre axlar och en ellipsoid. Origo bör ligga nära jordens tyngdpunkt och ellipsoiden bör på bästa sätt beskriva jordens form (havsmedelytan). För att bibehålla koordinatsystemets läge används kvasarer och jordbundna satelliter. Resultatet blir ett väldefinierat system med origo mycket nära jordens tyngdpunkt.

5.1.1. Presentation av koordinater

Positioner i ett globalt koordinatsystem beräknas normalt i X-, Y- och Z-koordinater utgående från koordinatsystemets origo. Koordinatsystemets axlar kommer inte att skära jordens yta vinkelrätt i mer än ett fåtal punkter, vilket gör det svårt att få fram meningsfulla förhållanden mellan olika punkter. I praktiska sammanhang önskas plankoordinater vinkelrätt mot gravitationen samt en höjdkoordinat i motsatt riktning till gravitationen. Denna typ av koordinater presenteras i global skala ofta som latitud, longitud samt höjd över ellipsoiden. Latitud och longitud utgår från ekvatorn respektive nollmeridianen. Latitud ligger i intervallet 0° - 90° nord respektive syd och longitud ligger i intervallet 0° - 180° ost respektive väst. Exempelvis ligger Göteborg vid latitud $57^{\circ}42'$ nord, longitud $11^{\circ}58'$ ost.

Globala koordinater givna i X,Y,Z-form respektive i latitud, longitud och höjd över ellipsoiden är fullt utväxlingsbara, det vill säga exakta matematiska samband existerar mellan dem.

5.1.2. WGS 84

GPS använder sig av systemet World Geodetic System 1984 (WGS 84), vilket är ett system som uppfyller de ovan nämnda kriterierna för ett väldefinierat koordinatsystem. Eftersom jordytan förflyttar sig och koordinatsystemet är låst med avseende på kvasarer, kommer jordytan att förflytta sig i koordinatsystemet. Därmed förändras koordinaterna för en viss punkt med tiden (Reit, 1994).

5.1.3. EUREF 89

Ett föränderligt koordinatsystem är inte alltid att föredra, därför beslutade Europa att låsa WGS 84-koordinatsystemet vid en viss tidpunkt. Detta nya koordinatsystem fick namnet EUREF 89. Resultatet blev ett koordinatsystem som inte rör sig på samma sätt som WGS 84.

5.1.4. SWEREF 93

Den i Sverige använda tillämpningen av EUREF 89 kallas SWEREF 93. Detta koordinatsystem skiljer sig från EUREF 89 på så sätt att det även tar hänsyn till landhöjningen.

Sedan SWEREF 93 definierades har lantmäteriverket mätt in ett antal punkter som skall möjliggöra anslutning av lokala (kommunala) koordinatsystem till SWEREF 93. Dessa inmätta punkter kallas SWEREF-punkter.

För praktisk lokal användning finns ofta ett lokalt koordinatsystem som inte är fullt utväxlingsbart med SWEREF, det vill säga endast empiriska samband med begränsad noggrannhet existerar mellan systemen.

5.1.4.1. Noggrannhet

SWEREF-punkter är inmätta med GPS-mottagare under 48 timmar och efterberäknade med ett kvalificerat beräkningsprogram. Detta ger en positionsnoggrannhet på 5 mm i plan och 10-15 mm i höjd (Lantmäteriverket, 2000).

SWEREF-punkterna påverkas av landhöjning och kontinentaldrift, vilket ger upphov till en förflyttning av punkten i storleksordningen någon millimeter per år.

5.2. Referensstationer

I alla koordinatsystem finns vissa punkter som används som referenspunkter. I de fall där referenspunkterna mäts kontinuerligt med en GPS-mottagare kallas de för referensstationer.

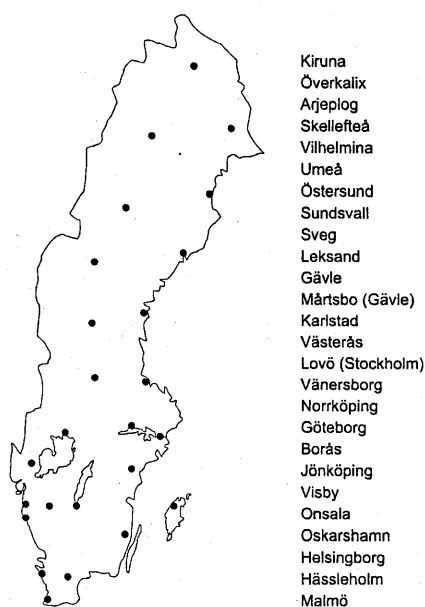
5.2.1. SWEPOS

SWEPOS är ett nationellt nät av referensstationer som byggts upp i samarbete mellan bland andra Lantmäteriverket (LMV) och Onsala Rymdobservatorium. Dessa referensstationer tillhandahåller data från GPS-satelliterna till ett flertal olika tillämpningar, exempelvis navigering, geografisk information samt jordskorpanns rörelse.

En SWEPOS-station består av en betongpelare som är temperaturkontrollerad och omgiven av lokala kontrollpunkter. På pelaren finns en GPS-antenn av hög kvalitet med känd prestanda. Över antennen finns en halvsfär av plast vars syfte är att förhindra oönskade föremål på antennen. Denna halvsfär kommer att påverka GPS-signalerna något, men den sfäriska formen gör att signalerna får samma påverkan oavsett från vilken riktning de kommer (Jonsson, 1997).

Stationerna är strategiskt placerade över landet för att ge så stort nationellt mätunderlag som möjligt med få stationer. Som resultat av detta är avståndet mellan två närbelägna referensstationer alltid mindre än 200 km. Dessutom förekommer förstärkningar i vissa tätbebyggda områden, exempelvis Göteborg och Malmö.

Idag (februari 2000) finns totalt 26 stationer i landet men systemet kompletteras kontinuerligt med fler referensstationer.



Figur 5-1. SWEPOS-stationer

6. Korrektioner

6.1. RTCM-korrektioner

I definitionen för GPS finns ingen standard för hur GPS-korrektioner skall sändas ut. Den standard som har blivit allmänt vedertagen är framtagen av The Radio Technical Commission for Maritime Services (RTCM) Special Committee 104 (SC-104). Standarden har reviderats ett antal gånger och den nuvarande versionen är version 2.2 (februari 2000).

RTCM SC-104 bygger på utsändningen av olika meddelandetyper, där varje meddelandetyper innehåller en särskild typ av information. Som RTK-korrektioner används antingen typerna 18 och 19 eller typerna 20 och 21. Typerna 18 och 19 innehåller okorrigerade bärvågsobservationer respektive okorrigerade pseudoavstånd och används således enligt avsnitt 4.3.2. *Pseudoavståndsobservationer*. Typerna 20 och 21 innehåller bärvågskorrektioner respektive pseudoavståndskorrektioner och används enligt avsnitt 4.3.1. *Pseudoavståndskorrektioner*. Kombinationerna ger var för sig tillräcklig RTK-information, varför man antingen väljer att använda typkombinationen 18 och 19 eller typkombinationen 20 och 21.

Version 2.2 av RTCM SC-104 innehåller inget stöd för utsändning av nätverkskorrektioner.

En komplett beskrivning av de olika meddelandetyperna och deras innehåll finns i bilaga G.

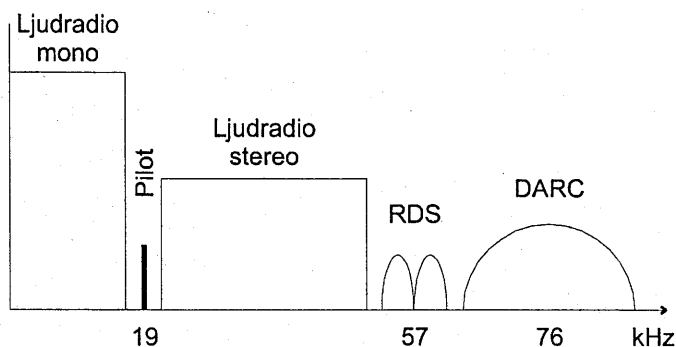
6.2. Distribution

För att kunna användas i praktiska RTK-tillämpningar måste korrektionerna från referensstationen kunna sändas till mottagaren i realtid på ett tillförlitligt sätt. Ofta saknas möjlighet till fast koppling mellan referensmottagare och användare. Därför finns ofta inga andra alternativ än att föra över korrektionerna via någon form av radiokommunikation, exempelvis rundradio eller mobiltelefoni.

Den typ av distribution som kanske lämpar sig allra bäst är rundradio, dels därför att en befintlig infrastruktur redan finns uppbyggd, dels därför att många mottagare kan dela på samma information och att denna typ av radio når stora områden.

6.2.1. FM-nätet

Vanliga rundradiosändningar utnyttjar inte all tillgänglig bandbredd. Den bandbredd som inte används för ljudutsändningar kan utnyttjas för att sända data. Datakanalerna sänds på underbärvågor, vilket innebär att det vanliga ljudradiolyssnandet inte påverkas. I Sverige används idag två datakanaler: Radio Data System (RDS) och Data Radio Channel (DARC). Dessa är placerade i frekvensspektrumet enligt figuren nedan.



Figur 6-1. Frekvensspektrum för FM-sändningar

6.2.1.1. RDS

RDS (Radio Data System) är en standard som utvecklats av European Broadcasting Union och fastslogs 1984. Den primära användningen av RDS är utsändning av programinformation, till exempel namnet på radiostationen. Sedan 1989 sänds i Sverige dynamisk RDS, vilket tillåter utsändning av ytterligare information, bland annat GPS-korrekationer.

Bruttoöverföringshastigheten i RDS är 1187,5 bps, vilket netto ger cirka 400 bps (Teracom, 1999).

6.2.1.2. DARC

DARC (Data Radio Channel) är, liksom RDS, en underbärvågskanal på FM-bandet. DARC antogs 1995 som standard av International Telecommunication Union. Kanalen möjliggör en betydligt högre överföringshastighet via FM-nätet än RDS.

Bruttoöverföringshastigheten i DARC är 16000 bps, vilket sjunker till mellan 6800-9800 bps netto beroende på korrektionsmetod (Teracom, 1999).

6.3. Tjänster

6.3.1. Epos

Epos är en differentiell GPS-tjänst som sänder ut kodkorrekationer, se avsnitt 4.2 *Korrektionsmetoder vid kodmätning*. Korrektionerna beräknas i 12 SWEPOS-stationer över Sverige. Epos-korrektionerna sänds ut nationellt via RDS-kanalen. Varje FM-station sänder korrekationer från den Epos-station som ligger geografiskt närmast. Positions noggrannheten beräknas bli cirka 2 meter i plan (Teracom, 2000).

Eftersom korrektionerna som sänds ut är kodkorrekationer blir mängden data som överförs till användaren begränsad.

6.3.2. Ciceron

Ciceron är en RTK-tjänst som för närvarande tillhandahålls över ett begränsat antal områden i Sverige. Systemet använder bärvågsobservationer från SWEPOS-stationerna och sänder ut RTCM-meddelanden av typerna 18 och 19. Utsändningen sker via DARC-kanalen över FM-sändarna i de områden där tjänsten tillhandahålls.

Tidiga utvärderingar av positionsnoggrannheten med Ciceron tyder på att felen ökar från någon centimeter nära referensstationen upp till några centimeter på avstånd över 20 km från referensstationerna (Johansson, 1999). På längre avstånd från referensstationerna ökar tiden till fix och dessutom kan inte centimeterprecision garanteras.

7. Testplattform

För att möjliggöra en rikstäckande positionsnoggrannhet med centimeternivå finns principiellt två olika alternativ. Ett alternativ är att öka antalet referensstationer så att kortare baslinjer erhålls. I Sverige skulle detta medföra en så stor utbyggnad av referensstationssystemet att det inte är ekonomiskt försvarbart. Ett effektivt och mer ekonomiskt sätt torde istället vara att använda ett nätverk av referensstationer och modellera felen över stora områden. (se avsnitt 4.6. *Nätverk*). Nätverks-RTK är under utveckling och används endast på ett fåtal platser i världen idag.

Sverige har med avseende på GPS-positionering speciella förutsättningar, till exempel gör vår geografiska lokaliseringen att satellitgeometrin ofta är annorlunda än på sydligare breddgrader. Dessutom har Sverige glest utplacerade stationära referensstationer samt en atmosfär som är svårare att förutsäga. En noggrann utvärdering av ett framtida nätverkskoncept är därför av stor vikt innan kommersiell implementering. Det är gynnsamt om utvärderingen sker efter så verkliga förhållanden som möjligt, därför bör en testplattform utnyttjas. Testplattformen skall i så stor utsträckning som möjligt avspejla de verkliga förhållandena, detta för att säkerställa att testplattformens olika delar samverkar på ett tillfredsställande sätt vid realtidspositionering.

Detta kapitel beskriver uppbyggnaden av en testplattform för nätverks-RTK där information från ett antal referensstationer samlas in, bearbetas och sänds ut.

7.1. Kriterier

Uppbyggnaden och lokaliseringen av en testplattform för nätverks-RTK baseras på ett antal kriterier.

7.1.1. Drift

För att kunna driva en nätverks-RTK-tjänst måste vissa grundläggande krav vara uppfyllda:

- Tillförlitliga referensstationer.
- Säkert dataflöde i realtid från referensstationer.
- En dator som kan hantera dataflödet från referensstationerna samt beräkna korrekationer i realtid.
- Tillförlitlig distribution av korrekationer i realtid.

7.1.2. Befintlig infrastruktur

Vid skapandet av ett nätverks-RTK-system bör befintlig infrastruktur utnyttjas i största möjliga mån. I praktiken innebär detta att:

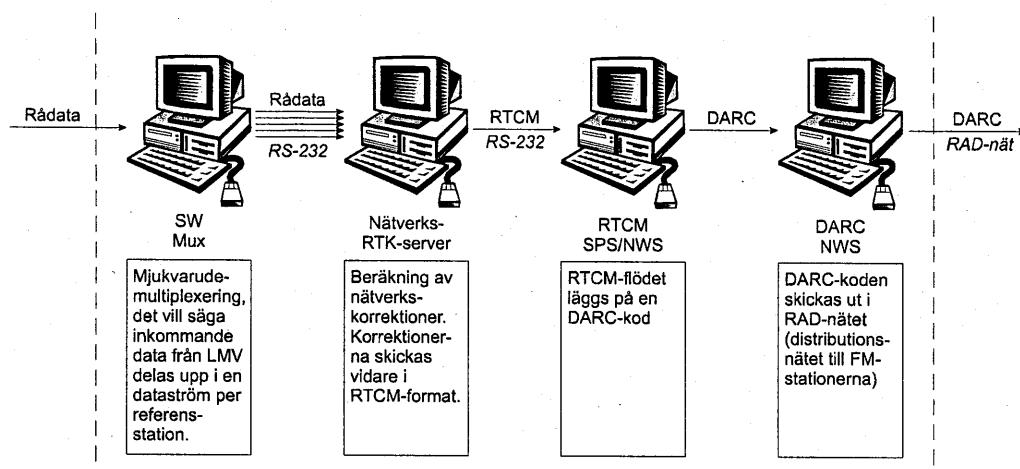
- SWEPOS stationerna används som referensstationer.
- Utsändningen av korrekationer sker via DARC i befintliga rundradiosändningar.
- Kaknästornet är beräknings- och distributionscentral.

7.1.3. Lokalisering av testplattform

Testplattformen lokaliseras i Västsverige, baserat på följande:

- God täthet av referensstationer.
- Korrektionsutsändning kan ske via Borås FM-sändare, som inte ingår i Ciceron.
- Närhet till Onsala Rymdobservatorium vid Chalmers tekniska högskola, där expertkunskap om GPS och atmosfären finns.

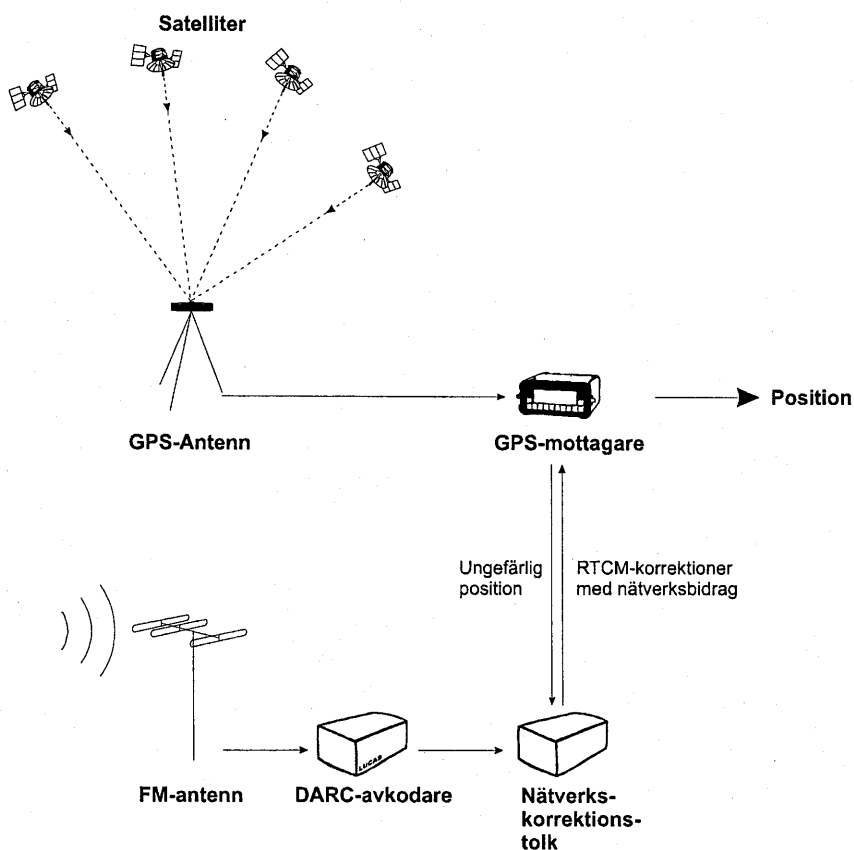
Den goda tätheten av referensstationer i Västsverige är en förutsättning för att utföra tester med varierande baslinjekonfiguration. I Västsverige finns fem SWEPOS-



Figur 7-3. Detalj. Dataflöde i Kaknäs

7.3. Roversidan

Korrektionerna i DARC-signalen från Borås FM-sändare tas emot och avkodas med hjälp av en DARC-avkodare. Därefter kan korrektioner och position utnyttjas i en nätverkskorrektionsstolk, enligt principen för virtuell referensstation i avsnitt 4.6.3. *Virtuell referensstation.*



Figur 7-4. Princip för nätverks-RTK på roversidan

8. Mätpunkter

För att kunna utvärdera positionsnoggrannheten i ett nätverks-RTK-system, måste testmätningar utföras i kända punkter. Mätningar bör dessutom göras i olika punkter för att belysa olika fall. Ju fler fall som belyses och ju fler mätningar som görs desto bättre blir bedömningsunderlaget.

8.1. Urval

Inom täckningsområdet för Borås FM-station finns ett stort antal redan inmätta mätpunkter. De punkter som bör väljas i första hand är SWEREF-punkter, inmätta av Lantmäteriverket, då dessa är de bäst bestämda punkterna i koordinatsystemet SWEREF 93 som finns i Sverige. I andra hand kan kommunala punkter inmätta med GPS övervägas. En sista möjlighet är att själv etablera en ny mätpunkt, då förslagsvis enligt SWEREF-standard, se bilaga E.

Då tätheten av SWEREF-punkter i Västsverige är god har endast dessa punkter kommit att vara aktuella.

8.1.1. Urvalskriterier

Vid valet av mätpunkter bör följande kriterier vara uppfyllda:

- God DARC-mottagning.
- Lämplighet för GPS-mottagning.
- Kända koordinater med hög noggrannhet.
- God tillgänglighet.
- Lämpliga avstånd och riktningar till SWEPOS-stationerna.

8.2. Urvalsgenomförande

Det viktigaste kriteriet för att en mätpunkt skall kunna användas är att DARC-mottagningen är fullständigt korrekt. I ett första skede mättes denna i de SWEREF-punkter som finns tillgängliga inom täckningsområdet för Borås FM-sändare. Samtidigt observerades lämpligheten för GPS-mottagning samt tillgänglighet i dessa punkter. Resultaten av denna utvärdering återfinns som bilaga F.

I nästa steg utvärderades möjligheten att i vissa punkter göra mätningar med olika uppsättningar referensstationer. Genom att variera användningen av antalet referensstationer vid olika mätningar kan ett större antal mätresultat fås i färre punkter. Detta är effektivt då restid och uppställningstid minskas. Samtidigt blir jämförelser mellan olika referensstationsuppsättningar mer relevant och fler och bättre slutsatser kan dras om nätverksprogramvarans prestanda.

Således koncentreras mätningarna till få punkter där flera olika referensstationsuppsättningar används.

8.3. Data för utvalda punkter

Efter ovanstående kriterier har tre mätpunkter valts ut: SWEREF Annelund, SWEREF Landvetter samt Borås SWEPOS-station.

8.3.1. SWEREF Annelund

8.3.1.1. Punktdata

DARC-mottagning	Fullgod.
GPS-mottagning	Punkten ligger på ett öppet fält. Lämpligheten för GPS har bedömts som bra i Lantmäteriverkets punktbeskrivning.
Koordinatnoggrannhet	SWEREF-punkt, inmätt 1996.

SWEREF-beteckning 772678
 Tillgänglighet Punkten ligger 7 m från farbar väg, och det är mindre än 10 m mellan område med parkeringsmöjlighet och mätpunkt.

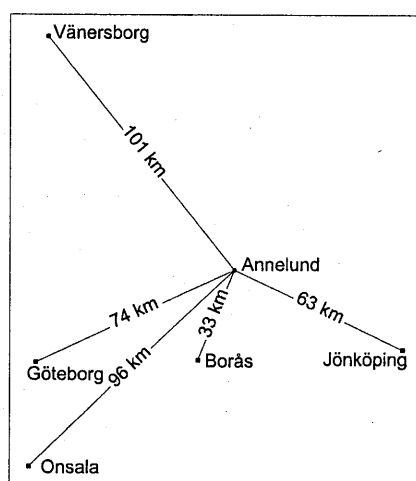
8.3.1.2. Avstånd till referensstationer

Tabell 8-1. Avstånd från Annelund till referensstationer

Borås	Göteborg	Jönköping	Onsala	Vänersborg
33 km	74 km	63 km	96 km	101 km

8.3.1.3. Mätvarianter

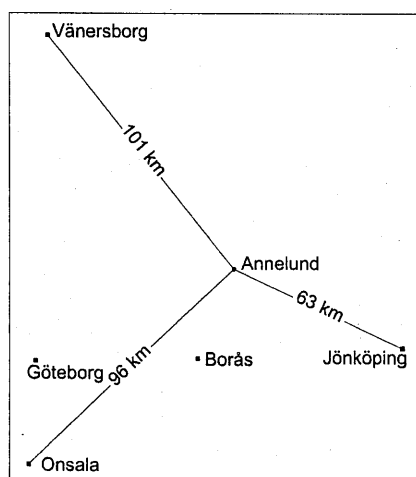
Annelund A



Figur 8-5. Annelund A

I denna mätvariant är alla referensstationer inkopplade, referensstationen i Borås ligger närmast och borde bidra mest till positionsbestämningen.

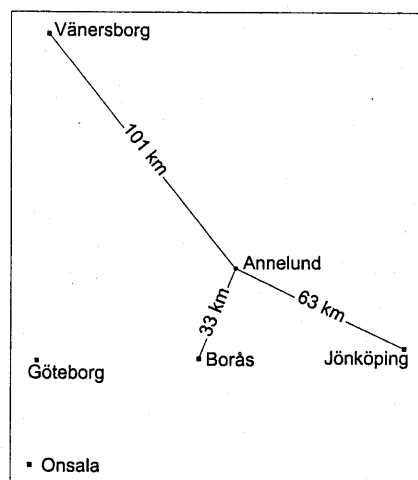
Annelund B



Figur 8-6. Annelund B

Denna variant kan ses som ett normalfall för det svenska referensstationsnätet utanför storstäderna, endast tre stationer med långa baslinjer till alla.

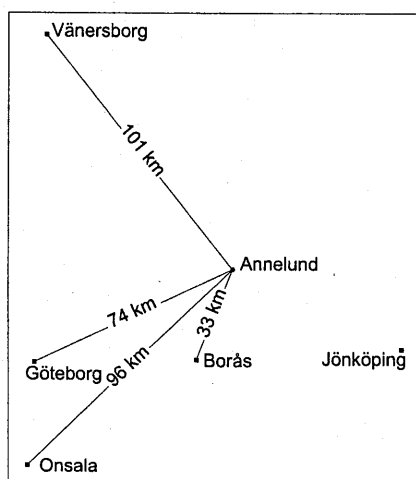
Annelund C



Figur 8-7. Annelund C

Denna mätvariant påminner geometriskt om Annelund B, men den längre baslinjen till Onsala har bytts ut mot en kortare till Borås.

Annelund D



Figur 8-8. Annelund D

I denna variant saknas referensstationer i östlig riktning, dock ligger referensstationen i Borås ganska nära. Denna variant kan ge en indikation på systemets funktion vid extrapolation.

8.3.2. SWEREF Landvetter

8.3.2.1. Punktdata

DARC-mottagning

Fullgod.

GPS-mottagning

Punkten ligger på ett öppet fält. Lämpligheten för GPS har bedömts som mycket bra i Lantmäteriverkets punktbeskrivning.

Koordinatnoggrannhet

SWEREF-punkt, inmätt 1995.

SWEREF-beteckning

761988

Tillgänglighet

Punkten ligger 10 m från en parkeringsplats.

Då avståndet från Landvetter till Göteborgs SWEPOS-station, som ingår i Ciceron, endast är 20 km kan Ciceronkorrektioner tas emot från Göteborg, vilket möjliggör en direkt jämförelse mellan Ciceron och den nätverks-RTK-programvara som utvärderas.

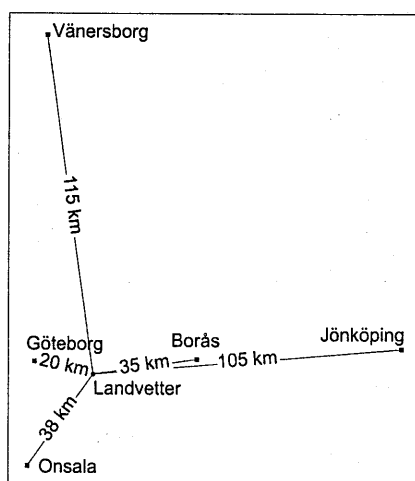
8.3.2.2. Avstånd till referensstationer

Tabell 8-2. Avstånd från Landvetter till referensstationer

Borås	Göteborg	Jönköping	Onsala	Vänersborg
35 km	20 km	105 km	38 km	115 km

8.3.2.3. Mätvarianter

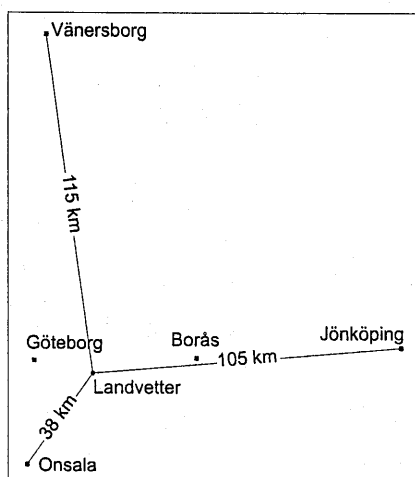
Landvetter A



Figur 8-9. Landvetter A

Alla referensstationer är inkopplade, men Jönköping och Vänersborg torde inte bidra mycket till positionsberäkningen.

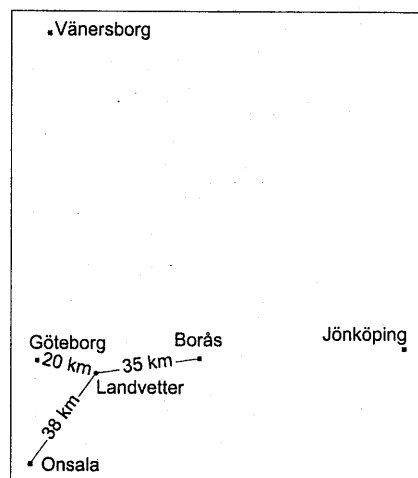
Landvetter B



Figur 8-10. Landvetter B

Detta fall kan jämföras med Landvetter A, här torde emellertid Jönköping och Vänersborg betydligt större inverkan på positionsberäkningen

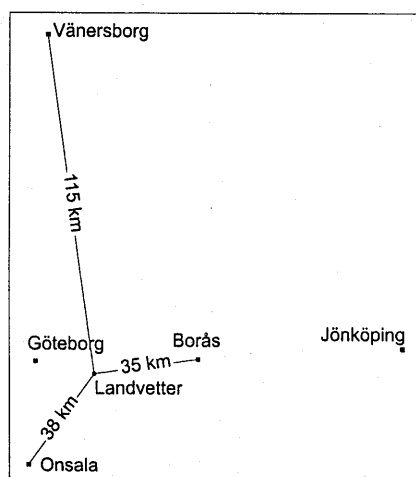
Landvetter C



Figur 8-11. Landvetter C

Denna mätvariant med endast korta baslinjer och en bra geometri bör ge en bra positionsnoggrannhet. Varianten liknar baslinjeförhållandena i Kontinentaleuropa.

Landvetter D



Figur 8-12. Landvetter D

Mätvarianten kan ge information om hur nätverksprogramvaran hanterar en referensstation på långt avstånd då två andra referensstationer finns relativt nära.

8.3.3. SWEPOS Borås

8.3.3.1. Punktdata

DARC-mottagning

Fullgod.

GPS-mottagning

GPS-antennen för SWEPOS-stationen används, vilket innebär att GPS-mottagningen är mycket bra.

Koordinatnoggrannhet

SWEPOS-station under kontinuerlig övervakning, vilket innebär extremt hög noggrannhet.

Tillgänglighet

Mätningar kan ske inomhus i Statens provnings- och forskningsinstituts lokaler.

De mätningar som utförs i Borås använder inte Borås som en referensstation. Det finns dock möjlighet att inkludera Borås i kontrollsyfte eller under felsökning.

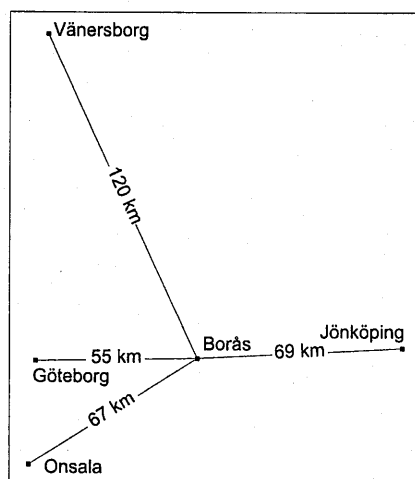
8.3.3.2. Avstånd till referensstationer

Tabell 8-3. Avstånd från Borås till referensstationer

Borås	Göteborg	Jönköping	Onsala	Vänersborg
-	55 km	69 km	67 km	120 km

8.3.3.3. Mätvarianter

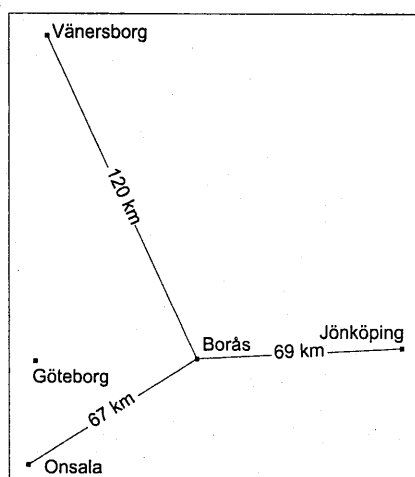
Borås A



Figur 8-13. Borås A

Denna mätvariant använder fyra referensstationer med en lång och tre medellånga baslinjer.

Borås B



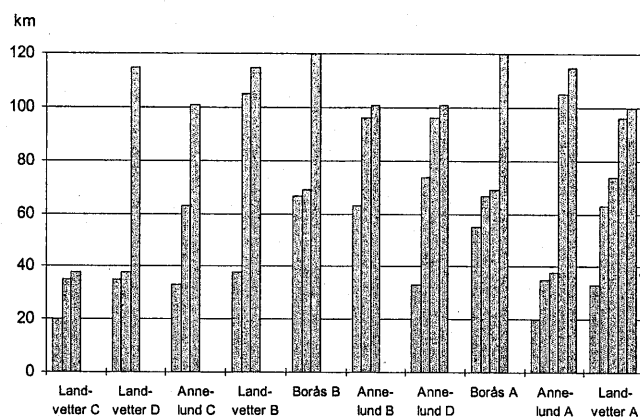
Figur 8-14. Borås B

Precis som Annelund B, kan denna mätvariant ses som ett vanligt förekommande fall i Sverige.

8.3.4. Sammanställning av mätpunkter

I de fall där tre referensstationer används, ger de olika mätvarianterna en bra spridning på baslinjernas längd. Även riktningarna till referensstationerna är väl spridda eftersom vinklarna mellan baslinjerna aldrig underskrider 180 grader och är till övervägande delen större än 90 grader.

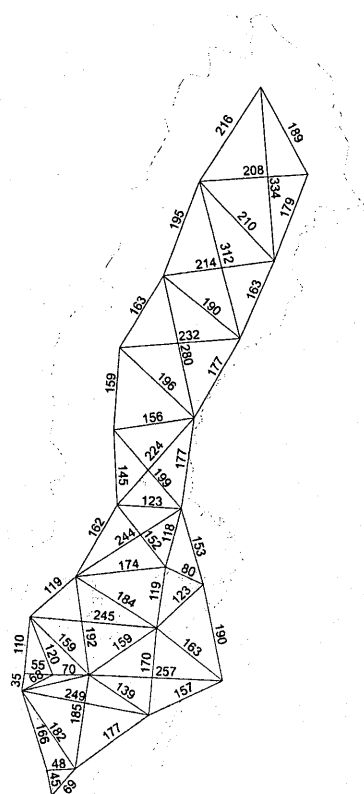
Baslinjernas längder illustreras i följande diagram:



Figur 8-15. Sammanställning av mätvarianter

8.4. Representativitet för verkliga förhållanden

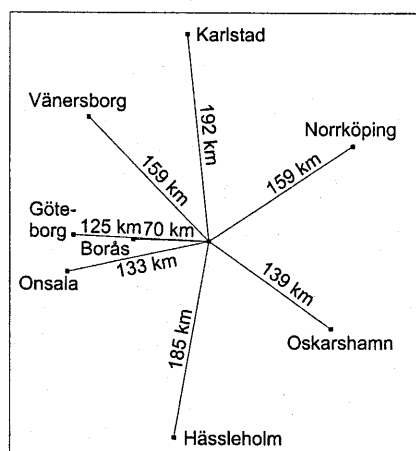
De mätvarianter som beskrivs ovan är representativa för större delen av Sverige, undantaget väster om linjen Karlstad - Östersund - Kiruna, där referensstationer endast finns i östliga riktningar. Dessutom förekommer längre baslinjer i vissa delar av Norrland.



Figur 8-16. Baslinjer mellan alla SWEPOS-stationer i Sverige

En annan skillnad är att det i verkligheten finns tillgång till fler än tre referensstationer, dock kommer vissa att befinna sig på mycket långa avstånd från användaren.

Med de fem referensstationer som används i mätvarianterna ovan finns ingen möjlighet att utvärdera mätningar med riktigt långa baslinjer. Det finns dock möjlighet att göra mätvarianter med riktigt långa baslinjer om ytterligare referensstationer kopplas in. Mätningarna kan då göras i Jönköpings SWEPOS-station, där möjlighet finns att välja baslinjer mellan 140 km (Borås endast 70 km) och 200 km i olika riktningar genom att använda valfria kombinationer av SWEPOS-stationerna Borås, Göteborg, Hässleholm, Karlstad, Norrköping, Onsala, Oskarshamn och Vänersborg.



Figur 8-17. Baslinjer från Jönköpings SWEPOS-station

8.5. Mättingsförfarande

8.5.1. Mätprocedur

För att kunna utvärdera mätningar i en test av nätverks-RTK-system bör mätningar ske enligt ett noggrant specificerat förfarande. Om detta förfarande följs, kan dessutom jämförelser mellan olika typer av system följas, eftersom många möjliga källor till olikheter då elimineras.

Den mätprocedur som använts vid mätningar återfinns som bilaga C.

8.5.2. Måtråd

Vid implementeringen av ett nätverks-RTK-system är det inte helt otroligt att vissa problem kan uppstå i startskedet. För att minimera arbetet vid felsökning och grovkorrigering av systemet rekommenderas att de första mätningarna görs i Borås. Ingen onödig tid kommer då att spillas på uppställning av mätutrustning, eftersom såväl GPS-antenn som FM-antenn redan finns på plats.

Beroende på hur nätverks-RTK-systemet är uppbyggt kan vissa mätfall komma att bli mindre intressanta. Vilka av mätfallen som skall genomföras och vilka som inte antas bidra med några relevanta resultat är i så fall en avvägning som får göras från fall till fall.

Mätningarna bör hela tiden vara en adaptiv process beroende på hur mätresultaten verkar. Troligen kan tidigt slutsatser dras om vilka mätningar som är intressanta och om något ytterligare fall skall utvärderas eller kompletteras. Eventuellt kommer det också vara möjligt att utesluta några mätfall utan att för den sakens skull förlora viktig information.

Det krävs kontinuerlig bedömning i syfte att minimera mätarbetet och fortfarande få ut tillräckligt med utvärderingsunderlag.

9. Nätverksprogramvara

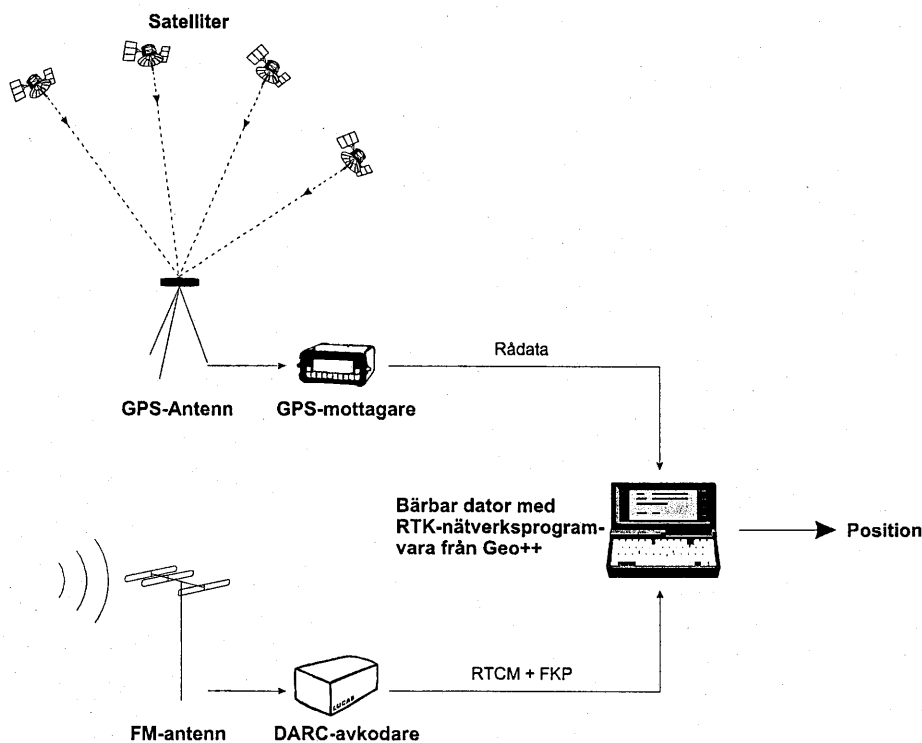
För att kontrollera testplattformen under verkliga förhållanden, har en kommersiell nätverksprogramvara implementerats i plattformen. Detta har dessutom möjliggjort en utvärdering av den använda nätverksprogramvaran under de svenska förhållanden som tidigare beskrivits, det vill säga de glesst placerade referensstationerna och den fluktuerande atmosfären samt den sämre satellitgeometrin. Utvärderingen kan även ge en indikation på möjligheterna och svårigheterna med nätverks-RTK-system i Sverige.

Den nätverksprogramvara som har använts är ett system skapat av det tyska företaget Geo++. Systemet har testats på ett flertal platser i Kontinentaleuropa, men inte under förhållanden liknande de svenska.

9.1. Metod

På serversidan följer metoden helt principbeskrivningen i kap 7.2. *Dataflöde*, det vill säga de referensstationsdata som kommer in i Kaknästornet bearbetas i en server med Geo++ programvara. Denna programvara beräknar korrektioner som sänds ut via FM-sändaren i Borås.

Roversidan i Geo++ metod fungerar inte riktigt som principbeskrivningen i avsnitt 7.3 *Roversidan*, istället för att skicka standard-RTCM-korrektioner från en nätverkskorrektionstolk tillbaka till GPS-mottagaren och där beräkna positionen, samlas korrektioner och rådata från GPS-mottagaren i en bärbar dator innehållande Geo++ programvara. Positionen beräknas sedan i den bärbara datorn, anledningen till att positionen inte beräknas i GPS-mottagaren är att förfarandet rekommenderades av Geo++. Resultatet skall dock, enligt Geo++, bli detsamma som om positionen hade beräknats i GPS-mottagaren. Det finns emellertid en färdigutvecklad produkt, SMARTgate, som fungerar som en nätverkskorrektionstolk för Geo++ programvara. Denna är dock inte anpassad för korrektioner via DARC men kan relativt enkelt justeras för detta (NAVSYS, 1999).



Figur 9-1. Databehandling på roversidan

9.1.1. Server

Serverns huvuduppgift är att bearbeta bärvågsinformation från flera referensmottagare simultant. Med hjälp av programvaran utnyttjas informationen från referensmottagarna till att skapa en lämplig felmodell. Felmodellen beskriver de parametrar som ger upphov till positioneringsfel, dessa parametrar är koordinatberoende. Felmodellen överförs sedan till användaren i realtid.

9.1.1.1. Felmodellering

Den felmodell som Geo++ metod använder består av två delar. Den första delen beskriver jonosfärsvariationer, vilka är mycket fluktuerande och en stor mängd information är nödvändig för att beskriva dessa variationer. Den andra delen är en sammanslagning av alla övriga felkällor, bland annat banfel och troposfärsfel. Detta medför att lokala fel i troposfären inte kan modelleras separat.

Alla kombinationer av satelliter och referensmottagare ger ett stort antal signalvägar genom atmosfären. Genom att utnyttja alla dessa signalvägar, kan modellen bli mer realistisk. För att kunna ta emot så mycket information som möjligt om jonosfären använder programmet noll grader elevationsmask.

Parametrarna modelleras till ett lutande plan (ekvation av första ordningen) om nätverket består av tre referensstationer. I ett nätverk med fler referensstationer, kan ett högregradspolynom skapas (Wübbena, 1996). Korrektionerna beskrivs matematiskt som funktion av plankoordinater. De plankoordinatberoende korrektioner som Geo++ använder sig av kallas av företaget för Flächenkorrekturparameter (FKP), ytkorrekturparametrar på svenska.

9.1.1.2. FKP

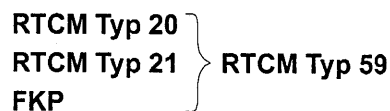
Programmet försöker inte beräkna en generell korrektionsbild över hela nätverksområdet, utan beräknar istället FKP förknippade med varje enskild satellit. Programmet beräknar dock inte FKP för alla satelliter samtidigt utan försöker beräkna FKP för varje satellit separat. Beräkningsprocedurerna för varje satellit är inte kopplade till varandra utan sker parallellt. Detta är en komplex procedur som tar tid att göra eftersom det för varje epok, skall beräknas FKP för två (L1 och L2) pseudoavstånd för varje kombination av satellit kontra referensstation. Proceduren liknar beräkningsarbetet vid fixberäkning på så sätt att programmet söker en FKP-lösning och när denna lösning är beräknad för en satellit bevaras den.

De satelliter för vilka FKP har beräknats benämns härnäst *FKP-justerade satelliter*.

9.1.1.3. Korrektionsformat

Grunden i Geo++ korrektionsformat är bärvågskorrektioner av RTCM-typerna 20 och 21. Den nominella datamängden på typerna 20 och 21 är samma som för typerna 18 och 19, dock innehåller 20 och 21 mer redundant data, vilket möjliggör en högre komprimeringsgrad.

Korrektionerna sänds ut i RTCM-format, de vanliga DGPS-korrektionerna (typ 1, typ 2 och typ 3) sänds okodat, medan bärvågsinformationen, typerna 20 och 21, komprimeras tillsammans med FKP och läggs in på typ 59. Detta är tillåtet enligt RTCM-standarden, då typ 59 får innehålla information specificerad av användaren. Förfarandet kräver att en avkodare finns på mottagarsidan för att kunna separera och använda typerna 20 och 21 samt FKP.



Figur 9-2. Innehåll i RTCM typ 59 i Geo++ metod

Korrektionerna av typ 20 och 21 sänds varje sekund, detta är nödvändigt för att erhålla hög precision. FKP, som varierar främst med avseende på atmosfären, är mindre dynamisk och sänds därför endast ut var tionde sekund, och på ett sådant sätt att en tiondel av FKP-korrektionen sänds varje sekund. En användare behöver därför ta emot korrektioner i minst tio sekunder innan en positionsbestämning med FKP är möjlig.

9.1.1.4. Huvudreferensstation

Skapandet av RTCM sker genom att en station väljs som huvudreferensstation, från vilken meddelandetyperna 20 och 21 alstras. Vilken station som helst kan användas som huvudreferensstation, resultatet kommer ändå alltid att vara detsamma eftersom dessa meddelandetyper korrigeras med hjälp av FKP (Wübbena, 1996). Dessutom medför detta att systemet kan användas även utan FKP, då övergår systemet dock till att bli enstations-RTK.

9.1.2. Rover

Roverns huvuduppgift att beräkna en position med hjälp av bärvågsobservationerna från en GPS-mottagare och korrektionerna från servern. Positionsnoggrannheten skall enligt Geo++ vara homogen över hela nätverksområdet.

9.1.2.1. Korrektioner

De komprimerade korrektionerna i typ 59 packas upp på roversidan. Typerna 20 och 21 lägeskorrigeras för den aktuella positionen med hjälp av FKP och kan därmed användas i RTK-beräkningen.

9.1.2.2. Adaptiv jonosfärmodell

I roverdatorn beräknas kontinuerligt en adaptiv jonosfärmodell, baserad på observationerna från huvudreferensstationen samt observationerna i roverbmottagaren. Denna modell uppdateras och används varje epok oavsett om FKP tas emot eller inte.

9.1.2.3. Fixbestämning

Roverdatorn försöker hela tiden beräkna en fixlösning. Beräkningen av fixlösningen baseras på ett förvalt kvalitetskriterium, där den bästa och den näst bästa heltalsgissningen jämförs. Innan fixlösning har uppnåtts presenteras den aktuella flytlösningen.

9.2. Iakttagelser

9.2.1. Serversidan

Servern fungerar direkt efter starten som en enstations-RTK-server, det vill säga enstations-RTK-lösningar beräknas och sänds ut omedelbart. Detta sker utgående från den förvalda huvudreferensstationen. Samtidigt börjar servern även beräkna FKP.

9.2.1.1. Beräkning av FKP

Programmet är designat för att beräkna FKP för de satellituppsättningar som förekommer vid observationer i Kontinentaleuropa och med korta baslinjer mellan referensstationerna. Under svenska förhållanden, med den satellitstruktur som observeras här och de långa avstånden som finns mellan referensstationerna hade programmet

svårt att beräkna FKP. Då fem referensstationer användes lyckades programmet ofta beräkna FKP för ett flertal satelliter (3-7), då färre referensstationer användes lyckades programmet endast i undantagsfall beräkna FKP, och då endast för ett fåtal satelliter (1-3).

Beräkningen av FKP tog generellt sett mycket lång tid, dessutom förlorade programmet ofta redan beräknade FKP och började om från början. Detta kan vara ett tecken på att FKP beräknas felaktigt, i likhet med en falsk fixlösning som förloras.

9.2.1.2. Datorkapacitet

Eftersom servern hade problem att beräkna FKP, övervakades processoranvändningen i servern. Denna utnyttjades inte fullt ut, vilket tyder på att problemen med att beräkna FKP inte härrör från otillräcklig beräkningskapacitet.

9.2.1.3. Distribution av korrekationer

Korrekktionerna som Geo++ använder skall inte behöva större överföringskapacitet än 2400 bps (Wübbena, 1996). För att verifiera detta, övervakades DARC-utsändningen. Det visade sig att den utnyttjade kapaciteten låg kring 1000 bps.

RTCM-överföringen fungerade generellt bra, men i Kaknäs uppstod ibland problem vilket medförde kortare uppehåll i utsändningen av RTCM. Problemen härrörde dock inte från Geo++ server.

Störningarna i RTCM-överföringen har dock inte påverkat mätresultaten, varken precisionen eller tiden till fix på nämnvärt sätt. Naturligtvis kommer avsaknandet av RTCM-korrekktioner vid vissa epoker att förlänga tiden till fix, dock verkar det inte påverka med mer än de sekunder som data saknas. Känsligheten för störningar i distributionen av korrekktioner får därför anses vara låg.

9.2.1.4. Stabilitet

Geo++ server har haft få störningar och det har varit lätt att uppdatera eller ändra programvaran i servern utan att ha allt för långa driftavbrott. Kontakten mellan server och rover har fungerat bra via DARC.

Vissa problem har funnits med leveransen av indata från referensstationerna. Anledningen till detta har oftast varit problem med demultiplexeringen i Kaknästornet.

De driftavbrott som har förekommit i utsändningen av RTCM har uppstått i samband med störningar i Kaknäs.

9.2.2. Roversidan

Målsättningen var att göra en komplett utvärdering av Geo++ system enligt de mätvarianter som föreslagits i kapitel 8. *Mätpunkter*. På grund av fel i programvaran som inte kunnat åtgärdas, trots upprepade försök från programtillverkaren, Geo++, har endast vissa mätningar kunnat utföras. Felen i programvaran har förhindrat korrekt beräkning av FKP och medfört orimligt långa tider till fixlösning, vilket har minskat antalet utförda mätningar.

Oförmågan att kunna beräkna FKP i servern har resulterat i att de mätningar som gjorts kan delas upp i tre olika kategorier: Mätningar utan FKP, kombinerade mätningar och mätningar med endast FKP. Resultaten från mätningarna återfinns i bilaga B.

9.2.2.1. Mätningar utan FKP

I de fall där endast tre referensstationer använts, har programmet endast undantagsvis lyckats beräkna någon FKP. Dessa mätningar har därför genomförts som enstations-RTK-mätningar, med det mycket viktiga undantaget att den adaptiva jonosfärsmode-

len används. Positionsnoggrannheten har i dessa fall varit bra, en mindre spridning och bättre precision jämfört med Ciceron har iakttagits.

9.2.2.2. Kombinerade mätningar

I de fall där fem referensstationer har använts, har servern ofta lyckats beräkna FKP för åtminstone någon eller några satelliter. De flesta av mätserierna är därför utförda med några FKP-justerade satelliter kombinerat med några satelliter utan FKP. Antalet FKP-justerade satelliter har varierat mellan en och fem, med ett vanligaste värde på tre. Dessa mätningar har visat sig ge korta tider till fix samtidigt som positionsnoggrannheten har varit god. Tiden till fix har ökat med antalet FKP-justerade satelliter utan att positionsnoggrannheten har förbättrats.

9.2.2.3. Mätningar med endast FKP

Eftersom programvaran i servern inte klarade av att beräkna FKP kontinuerligt var det mycket svårt att göra mätningar med endast FKP-justerade satelliter. En sådan mätserie gjordes dock i Borås. Då inkluderades även Borås som referensstation för att få tillgång till fem referensstationer och därmed erhålla fler satelliter med FKP. I denna mätserie uppnåddes endast en fixlösning, då med god positionsnoggrannhet. Övriga mät försök resulterade endast i flytlösningar.

9.2.2.4. Datorkapacitet

Då fler än åtta satelliter används, blir beräkningsbördan i roverdatorn lite för stor. Eftersom en bra dator användes, kan beräkningsbördan i roverdelen anses vara mycket stor. Om det skall vara möjligt att använda GPS-mottagaren istället för en fristående dator till att beräkna korrektioner måste beräkningsbördan begränsas för roverdelen.

10. Slutsatser

Slutsatserna baseras på iakttagelser och erfarenheter under implementeringen och användandet av nätverksprogramvaran från Geo++.

10.1. Testplattform

- Den testplattform som byggts upp fungerar bra och kan användas vid utveckling och utvärdering av ett nätverks-RTK-system.
- Befintlig infrastruktur i Sverige möjliggör implementerandet av ett rikstäckande nätverks-RTK-system.
- En framtida nätverks-RTK-server bör stå i Kaknästornet.
- Utsändningen av korrekationer kan i testskedet med fördel ske från Borås FM-station.

10.2. Mätpunkter

- Testmätningar kan med fördel göras i SWEPOS Borås, SWEREF Landvetter och SWEREF Annelund.
- Mätningar med extrema baslinjer kan utföras i SWEPOS Jönköping.

10.3. Nätverksprogram

- Nätverks-RTK-programvaror som fungerar i övriga delar av världen behöver inte nödvändigtvis fungera i Sverige.

10.4. Geo++ nätverksprogram

- Geo++ system kan i sin nuvarande utformning inte användas i Sverige.
- Programmet har mycket svårt att beräkna FKP.
- Mätningar med endast FKP-justerade satelliter ger ett mycket dåligt resultat, detta beror på att programmet beräknar felaktiga FKP, vilka försämrar snarare än förbättrar systemet jämfört med Ciceron.
- Tiden till fix är oberäknelig, ofta är den dock kortare än för Ciceron.
- Det som gör att Geo++ system under vissa omständigheter ger en bättre positionsnoggrannhet och kortare tider till fix än Ciceron verkar till största delen bero på den adaptiva jonosfärmodellen som används i rovermottagaren.

10.4.1. Problemdiskussion

Det har inte varit möjligt att se hur programvaran är uppbyggd, då programkod och algoritmer för denna inte är tillgängliga av kommersiella skäl. Problemdiskussionen baseras därför på iakttagelser samt muntlig kontakt med den tyska tillverkaren Geo++.

Enligt Geo++ beror långa tider till fix ofta på att samma typ av antenner inte används i rovermottagare respektive referensmottagare. Denna felkälla har dock kunnat elimineras genom att använda en SWEPOS-antenn som roverantenn i mätfallen i Borås. Dessa testmätningar visar dock ingen skillnad i tiden till fix, och således är olika antenner i detta fall inte en källa till långa tider till fix.

Ytterligare en möjlig felkälla enligt Geo++ är det faktum att SWEPOS-stationerna använder koordinatsystemet SWEREF 93 istället för WGS 84. Enligt muntlig kontakt med Lantmäteriverket bör detta inte kunna orsaka problem. Efter denna information har inte heller Geo++ ansett detta kunna vara någon anledning till fel.

Enligt Geo++ är det svårt att beräkna FKP då baslinjerna är långa. konsekvensen blir att det inte alltid går ut tillräckligt med FKP till rovermottagaren. Mätningarna har därför genomförts med så många FKP som har funnits tillgängliga. Typiskt antal är

mellan två och fem. Storleken på nätverket (baslinjerna) gör att FKP dessutom blir osäkra.

10.5. Framtida nätverks-RTK-system

10.5.1. Krav

Förutom kravet på god positionsnoggrannhet, bör dessutom följande gälla:

- Antennoberoende.
- Mottagarberoende.
- Tid till fix inom rimliga gränser.
- Okänslighet för störningar i korrektionsöverföringen.

10.5.2. Synpunkter vid utveckling av nätverks-RTK-system

Korrektionerna i nätverks-RTK-systemet kan med fördel utformas som ett komplement till Ciceron, där nätverkskorrektionerna korregerar Cicerons RTCM-data, eftersom systemet då kan fungera som ett enstations-RTK-system om nätverksdelen går ner.

För ett framtida RTK-system som använder principen för virtuell referensstation, se avsnitt 4.6 *Nätverk*, är det inte nödvändigt med en användarvänlig server om användaren inte har någon återkoppling till servern. Vid testmätning är det dock bra om det finns möjlighet att ha tillgång till servern via nätverk eller modem för att underlätta vid omkonfigurering. Det är även önskvärt att status för in- och utdata framgår i både server och rover för att underlätta vid felsökning.

Korrektionerna skall vara sådana att fixlösning kan nås inom rimlig tid. En användare kan tänkas vilja vänta i maximalt 5 minuter innan fix nås.

För att möjliggöra en RTK-tjänst dygnet runt krävs ett stabilt system. Det är önskvärt att minimera övervakningen av systemet och därmed minska driftkostnaderna. För att uppnå en bra stabilitet är det bra om bitöverföringen inte har några toppar utan att informationen går ut med ett ganska konstant antal bitar per sekund.

Det finns idag många olika antenner på marknaden och olika användare har olika antenner. Dessutom finns det idag olika antenner i olika SWEPOS-stationer. Därför är det viktigt att systemet inte är beroende av att likadana GPS-antenner används i referens- och roverbemottagare.

Antennfascentrumfel får inte leda till att fix inte kan beräknas. Det är däremot acceptabelt att antennfelen ger en felaktig position av samma storlek som antennfelen eftersom detta fel kan korrigeras i efterhand.

Programmet bör arbeta enligt principen för virtuell referensstation och endast använda en ungefärlig position från GPS-mottagaren som indata och lämna ut standard-RTCM-korrektioner som kan användas i GPS-mottagaren. Systemet bör innehålla så få och små externa tillbehör som möjligt, vilket innebär att en bärbar dator vid roverbemottagaren är utesluten. Om istället GPS-mottagaren används för att beräkna positionen kan denna tillsammans med en liten, relativt enkel nätverkskorrektionstolk ersätta den bärbara datorn. Detta gör att GPS-mottagarens beräkningsförmåga och beräkningsalgoritmer kan användas, samtidigt som GPS-tillverkarnas utveckling av beräkningsalgoritmer utnyttjas. Vidare undviks återkopplingen från användare och server, vilket underlättar användandet i realtid samt minskar beräkningskraven på servern.

11. Referenser

Antenner och mottagning, Teracom, Luleå, 1999.

Farell, J. och Barth, M., *The Global Positioning System and Inertial Navigation*, McGraw-Hill, New York, 1998.

Gombosi, T. I., *Physics of the Space Environment*, The press syndicate of the University of Cambridge, Cambridge, 1998.

Han, S., *Carrier phase-based long-range GPS kinematic positioning*, University of New South Wales, Sydney, 1997.

Hofmann-Wellenhof, B. m.fl., *Global Positioning System: Theory and Practice*, 4 uppl., Springer-Verlag, Wien, 1997.

ION newsletter, Volume 9, Number 3, The Institute of Navigation, Alexandria, 1999.

Johansson, D., *Lantmäteriverkets inledande tester av Ciceron*, Lantmäteriverket, Gävle, 1999.

Jonsson, B. (red.), *Geodetic Applications of GPS*, LMV-rapport 1997:16, Lantmäteriverket, Gävle, 1997.

Kaplan, E. D. (red.), *Understanding GPS: - principles and applications*, Artech House, Boston, 1996.

Klobuchar, J. A., Ionospheric Effects on GPS, i Parkinson, B. W. och Spikler Jr, J. J. (red.), *Global Positioning System: Theory and Applications*, Vol. 2, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington D. C., 1996.

Lantmäteriverket, *Frågor och svar om SWEPOS - FTP*, <http://swepos.lmv.lm.se/faq/faq.html>, 2000-02-22.

Office of Assistant Secretary of Defense, *DOT and DOD assure GPS access for civil users*, News release 095-97, Department of Defense, Wasinghton D. C., 1997

Reit, B., *SWEREF 93 - ett nytt svenskt referenssystem*, LMV-rapport 1994:28, Lantmäteriverket, Gävle, 1994.

SMARTgate Integrated Communication Solution for Access to GNSS-SMART Systems, NAVSYS GmbH, Garbsen, 1999.

Sundberg, H., *GPS - Teori och praktik*, Teracom, Luleå, 1995.

Teracom AB, *Rätt position med Epos*, <http://www.teracom.se/epos/index.htm>, 2000-02-22.

The Boeing Company, *GPS Block II & IIA Sustainment In the 21st Century*, http://www.boeing.com/defense-space/space/gps/m_sus.html, 2000-02-25.

U.S. Coast Guard Navigation Center, *New Information*,
<http://www.navcen.uscg.mil/whatsnew/default.htm>, 2000-02-04.

Wübbena, G. m.fl., *Reducing Distance Dependent Errors for Real-Time Precise DGPS Applications by Establishing Reference Station Networks*, Proceedings of ION GPS-96, The Institute of Navigation, Alexandria, 1996.

Övriga referenser

Auerswald, F., *Auszüge einer Diplomarbeit zum Thema HEPS im Netz*.

E-post och telefonkontakt med Andreas Bagge och Thomas Hoppe, Geo++ GmbH.

Geo++ GNNET Multistation Software Program Documentation and Reference Manual Stand 2.2.2000, Geo++ GmbH, Garbsen, 2000.

Geo++ GNREF Reference Station Software Program Documentation and Reference Manual Part 2 Programs and Modules 1.11.99, Geo++ GmbH, Garbsen, 1999.

Figurer

Figur 2-1. Principiell skiss av en satellitbana kring jorden	4
Figur 2-2. Principiell skiss av de sex omloppsbanorna över jorden	4
Figur 2-3. En satellit	5
Figur 2-4. Två satelliter	5
Figur 2-5. Tre satelliter	5
Figur 2-6. Kodmätning	8
Figur 2-7. Bärvägsmätning	9
Figur 3-1. Viktiga delar av atmosfärens lager i GPS-sammanhang	10
Figur 4-1. Definitioner i Differentiell GPS	13
Figur 4-2. Vektorkorrektion	14
Figur 4-3. Pseudoavståndskorrektioner	14
Figur 4-4. Tvåvägskommunikation	17
Figur 4-5. Envägskommunikation	17
Figur 5-1. SWEPOS-stationer	19
Figur 6-1. Frekvensspektrum för FM-sändningar	20
Figur 7-1. SWEPOS-stationer och SWEREF-punkter samt täckningsområde för Borås FM-station	23
Figur 7-2. Dataflöde	23
Figur 7-3. Detalj. Dataflöde i Kaknäs	24
Figur 7-4. Princip för nätverks-RTK på roversidan	24
Figur 8-5. Annelund A	26
Figur 8-6. Annelund B	26
Figur 8-7. Annelund C	27
Figur 8-8. Annelund D	27
Figur 8-9. Landvetter A	28
Figur 8-10. Landvetter B	28
Figur 8-11. Landvetter C	29
Figur 8-12. Landvetter D	29
Figur 8-13. Borås A	30
Figur 8-14. Borås B	30
Figur 8-15. Sammanställning av mätvarianter	31
Figur 8-16. Baslinjer mellan alla SWEPOS-stationer i Sverige	31
Figur 8-17. Baslinjer från Jönköpings SWEPOS-station	32
Figur 9-1. Databehandling på roversidan	33
Figur 9-2. Innehåll i RTCM typ 59 i Geo++ metod	35

Tabeller

Tabell 2-1. Kodkaraktäristik (Hofmann-Wellenhof, 1997)	7
Tabell 3-1. Exempel på jonosfärens inverkan på signalvägen (Kaplan, 1996)	10
Tabell 3-2. Exempel på troposfärens inverkan på signalvägen (Kaplan, 1996)	11
Tabell 3-3. Exempel på felens inverkan på positionen i plan (Sundberg, 1995)	12
Tabell 4-1. Typiska noggrannheter (Hofmann-Wellenhof, 1997 och Jonsson, 1997)	16
Tabell 4-2. Översikt över de fel som kan korrigeras i realtid.	16
Tabell 8-1. Avstånd från Annelund till referensstationer	26
Tabell 8-2. Avstånd från Landvetter till referensstationer	28
Tabell 8-3. Avstånd från Borås till referensstationer	30

Ordlista

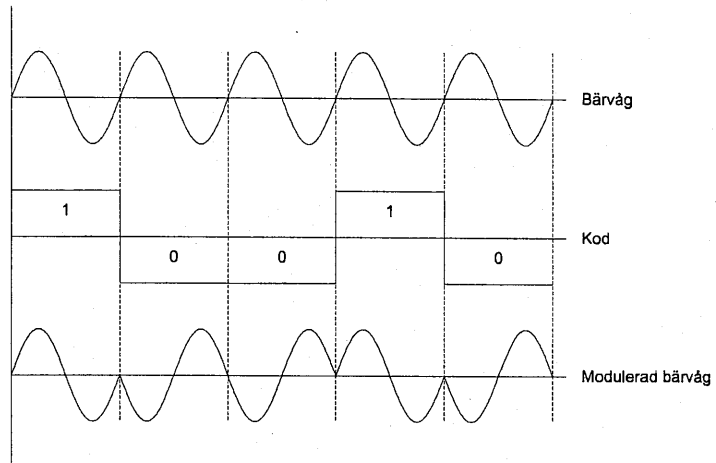
A-S	Anti Spoofing, en kryptering av P-koden.
Asimut	Den horisontella vinkeln mellan mottagare och satellit. (En vinkel mätt medurs från den södra punkten i horisontlinjen, till den punkt där en vertikal cirkel tangerar satellit och mottagaren och skär horisontlinjen vinkelrätt).
Bandbredd	Tillgängligt frekvensområde.
Baslinje	Avståndet mellan referensmottagare och rovermottagare.
Bärvåg	En radiovåg där antingen frekvensen, amplituden eller fasen kan ändras från ett känt referensvärde med hjälp av modulering. Den underliggande radiovågen i GPS-signalen.
Bärvågsmätning	GPS mätning baserad bärvågor.
C/A-koden	Coarse acquisition-koden, en kod modulerad endast på L1. Även kallad civilkoden eftersom den inte är krypterad.
Cycle slip	Temporär störning mellan satellit och mottagare, vilket medför en diskontinuitet i bärvågsmätningen.
DGPS	Differentiell GPS, relativ positioneringsmetod där en GPS-mottagare i en känd punkt utnyttjas för att bättre bestämma positionen på en GPS-mottagare i en okänd punkt.
Demultiplexering	Separering av en gemensam dataström innehållande flera olika typer av data till flera olika strömmar innehållande vardera en typ av data.
Dopplerskiftade signaler	Förändring i frekvens på grund av den relativa rörelsen mellan sändare och mottagare. Frekvensskillnaden ökar mellan en statisk referenssignal och en mottagen signal ut-sänd av en satellit, då hastigheten på satelliten ökar. (jfr med den akustiska versionen av dopplereffekten)
Elevation	Höjden över havsmedelytan (vertikalt avstånd ovanför geoiden)
Elevationsmask	Den minsta elevationsvinkel som används.
Elevationsvinkel	Den vertikala vinkeln mellan mottagare och satellit. (Vinkeln mellan horisontalplanet vid mottagaren och satel-liten).
Ellipsoid	Den matematiska figur som bildas då en ellips roteras runt sin minsta axel. En bra matematisk beskrivning av jorden.

Epok

Mätintervall eller upprepningstiden för datauppdatering.

Fasmodulering

Ett sätt att lägga information på en bärvåg:



FKP

Flächenkorrekturparameter, ytkorrektionsparameter, en benämning som det tyska företaget Geo++ använder för sina nätverks-RTK-korrekationer.

Flerväg

Signaler som tas emot i mottagaren härstammar från en signal som har tagit flera olika vägar på grund av reflektioner i marken eller andra objekt i närheten

Geodesi

Vetenskap baserad på bestämningen av jordens (geoidens) form och storlek genom direkta mätningar.

Geoid

Den yta som sammanfaller med havsmedelytan och som kan tänkas löpa över alla kontinenter. Denna yta är alltid vinkelrät mot gravitationen.

Höjd över ellipsoid

Det vertikala avståndet från ellipsoidens yta. (*inte* samma sak som elevationen)

Höjd över geoid

Samma sak som elevationen.

Inklination

Vinkel mellan två plan, där det ena planet innehåller en omloppsbanan.

Kodmätning

GPS-mätning baserad på C/A-koden eller P-koden.

Kvasar

Himlakropp som befinner sig på extremt långt avstånd från jorden och innehåller så mycket energi att den lätt kan upptäckas från jorden. Det extrema avståndet medför att en kvasar upplevs stå helt stilla och blir således en fast punkt från jorden sett.

L1

Signal med frekvensen 1575,42 MHz som sänds ut av alla GPS-satelliter. L1 moduleras med navigationsmeddelandet, C/A-koden och P-koden.

L2	Signal med frekvensen 1227,60 MHz som sänds ut av alla GPS-satelliter. L2 moduleras med navigationsmeddelandet och P-koden.
Navigationsmeddelandet	Meddelande modulerat på både L1 och L2, innehållande bland annat information om satelliternas interna tid, banddata och status.
P-koden	Precise-koden, en kod modulerad på både L1 och L2. P-koden är som regel krypterad och kallas då Y-koden.
PDOP	Position dilution of precision, PDOP är proportionellt mot inversen av volymen av den tänkta pyramid som bildas mellan linjerna av GPS-mottagaren och tre satelliter. Ju större volymen är desto bättre är satellitkonfigurationen, således blir positioneringen generellt sett bättre med ett lägre PDOP-värde.
Pseudoavstånd	Ett avstånd mellan mottagaren och satelliten, definierat som satellitsignalens löptid multiplicerat med ljusets hastighet.
RTK	Realtidskinematik. Differentiell GPS-mätning där pseudoavstånden mätt på bärvågorna korrigeras.
SA	Selective Availability, en kodning som förvränger satelliternas interna tid och trunkerar banddata för att förhindra en allt för bra positionsnoggrannhet.
SWEREF 93	Det svenska koordinatsystem som används i GPS-sammanhang.
WGS 84	World Geodetic System 1984, den matematiska ellipsoiden som används i GPS-sammanhang.
Y-koden	Den krypterade versionen av P-koden, endast tillgänglig för den amerikanska försvarsmakten.

Mätresultat

Mätningarna har genomförts enligt förfarandet i bilaga C. Målsättningen var att mäta med så många av de utvalda mätvarianterna som möjligt. På grund av brister i Geo++ programvara, har det varit svårt att beräkna FKP. Programmets oförmåga att beräkna FKP har medfört mycket långa tider till fixlösning, vilket har reducerat antalet kompletta mätserier radikalt. De mätserier som utförts har delats upp i tre olika kategorier: Mätningar utan FKP, kombinerade mätningar och mätningar med endast FKP.

Varje mätserie innehåller tio mätningar. Vid varje ny mätning har systemet startas om och en ny beräkningen av positionen har påbörjats.

Hela beräkningsförloppet har loggats och en position har beräknats utifrån medelvärdet av positionerna i de efterföljande 30 sekunderna efter erhållen fixlösning.

De mätningar som inte har uppnått fixlösning efter 600 s har avbrutits och betraktats som flytlösningar. Flytlösningar ingår dock inte i statistiken för fel i plan, fel i höjd och standardavvikelse emedan de är alltför osäkra. Flytlösningar ingår däremot i statistiken över tid till fixlösning eftersom det är en viktig del ur användarsynpunkt.

Mätserier

Annelund A

Endast kombinerade mätningar utfördes, dessa har generellt en bra positionsnoggrannhet och korta tider till fix.

Huvudreferensstation var Borås.

Landvetter A

Endast kombinerade mätningar utfördes, dessa har generellt en bra positionsnoggrannhet och korta tider till fix. I samma punkt utfördes även Ciceronmätningar och det visade sig att mätningarna med Geo++ hade kortare tid till fixlösning och en betydligt bättre positionsnoggrannhet jämfört med Ciceron.

Huvudreferensstation var Borås

Landvetter B

Tre fullständiga mätserier gjordes, tiderna till fixlösning varierade kraftigt och många mätningar hade dålig positionsnoggrannhet.

Endast en av serierna utfördes då systemet i sin helhet fungerade tillfredsställande. Problemen härrörde bland annat från fel i RTCM-överföringen samt experimenterande med olika alternativ i roverdatorn.

Olika huvudreferensstationer valdes för att se om någon skillnad kunde ses mellan fallen.

Landvetter D

I Landvetter D gjordes tre mätserier. Dessa visade en stor variation i tid till fix och positionsnoggrannhet.

Huvudreferensstation var Borås.

Borås A

Ett komplett mätserie utfördes, men alla mätningar utom en var flytlösningar. Den mätning som erhöll en fixlösning, hade en dålig positionsnoggrannhet, och kan antagligen betraktas som en falsk fixlösning.

Huvudreferensstation var Göteborg.

Borås A + SWEPOS Borås

I detta fall med alla fem referensstationer inkopplade användes Borås SWEPOS-antenn. Fem mätningar utfördes med endast FKP, fyra av dem var flytlösningar men den femte var en fixlösning med bra positionsnoggrannhet. Dock var tiden till fixlösningen lång, över nio minuter.

Huvudreferensstation var i detta fall Göteborg. Ytterligare testmätningar gjordes och då sattes Borås som huvudreferensstation, resultatet blev då omedelbar fix med extremt hög precision.

Mätningarna i Borås ledde till slutsatsen att FKP beräknas felaktigt eftersom mätresultaten skilde sig då Göteborg var huvudreferensstation jämfört med när Borås var huvudreferensstation.

Resultat

Mätresultaten från Annelund A och Landvetter A, B och D presenteras grafiskt på följande sidor. I syfte att underlätta tolkningen av mätresultaten, visas först en nyckel med förklaringar till den grafiska presentationen.

Nyckel A

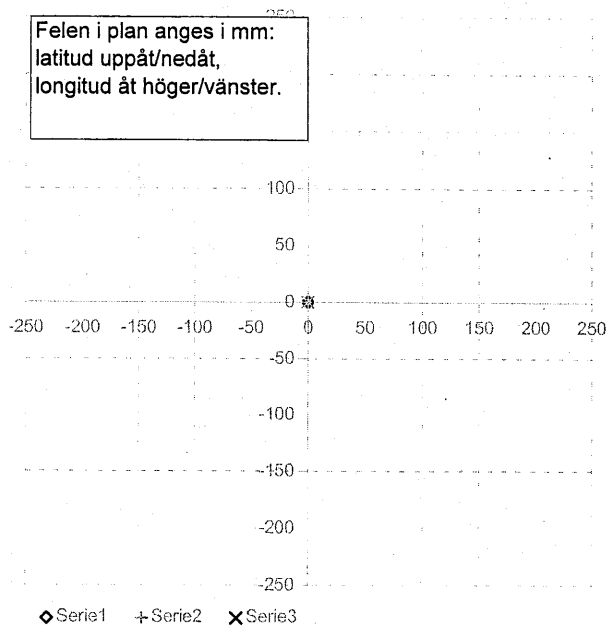
Namn på mätvariant, enligt kapitel 7

Baslinjeuppsättning

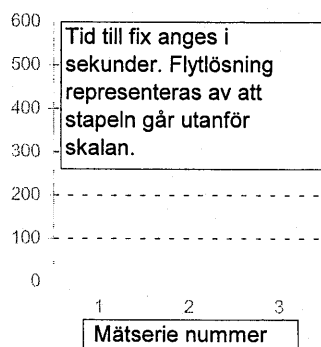
Bilden visar de använda referensstationerna, enligt kapitel 7

Fel i plan (mm)

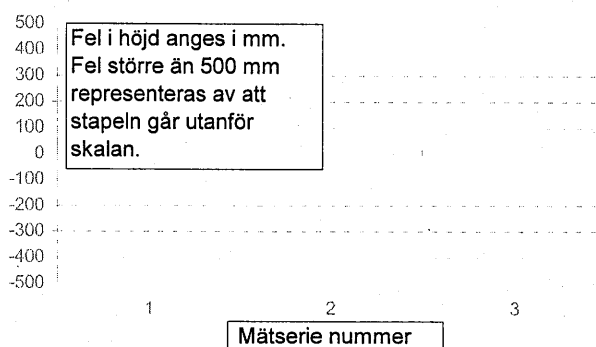
Felen i plan anges i mm: latitud uppåt/nedåt, longitud åt höger/vänster.



Tid till fix (s)



Fel i höjd (mm)



Standardavvikelser (mm)

Medelvärde differens: $\frac{\sum x_i}{n}$

Standardavvikelse för en differens:

$$\sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Standardavvikelse för medelvärdet av differenserna:

$$\frac{\sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}}{\sqrt{n}}$$

Noggrannhet: $\sqrt{\frac{\sum (x_i - x_{sant})^2}{n}}$

n = antal mätningar

x_i = mätning i

$\bar{x}$ = medelvärde

x_{sant} = sant värde

Nyckel A

Sanna koordinater
(officiella SWEREF-
koordinater)

Höjd
(m ö ell h)

0.000

Mätserie 1. 1 januari 2000 kl. 0:00-0:30

Flytlösningar betecknas genom att ingen tid till fix anges.
Fylllösningar och tydliga outliers ingår ej i standard-
avvikelseberäkningarna på föregående sida. De icke ingående
mätningarna är kursiverade.

						Antal sat	Fel Lat (mm)	Fel Long (mm)	Fel Höjd (mm)
2	0	0.00000	0.00000	0.000	0.0	0	0	0	0
3	0	0.00000	0.00000	0.000	0.0	0	0	0	0
4	0	0.00000	0.00000	0.000	0.0	0	0	0	0
5	0	0.00000	0.00000	0.000	0.0	0	0	0	0
6	0	0.00000	0.00000	0.000	0.0	0	0	0	0
7	0	0.00000	0.00000	0.000	0.0	0	0	0	0
8	0	0.00000	0.00000	0.000	0.0	0	0	0	0
9	0	0.00000	0.00000	0.000	0.0	0	0	0	0
10	0	0.00000	0.00000	0.000	0.0	0	0	0	0

Mätserie 2. 2 januari 2000 kl. 0:00-0:30

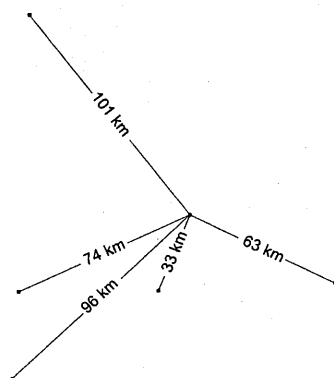
Mätn	Tid till fix (s)	Medel Latitud (hhmmss)	Medel Longitud (hhmmss)	Medel Höjd (m ö ell h)	PDOP	Antal sat	Fel Lat (mm)	Fel Long (mm)	Fel Höjd (mm)
1	0	0.00000	0.00000	0.000	0	0	0	0	0
2	0	0.00000	0.00000	0.000	0	0	0	0	0
3	0	0.00000	0.00000	0.000	0	0	0	0	0
4	0	0.00000	0.00000	0.000	0	0	0	0	0
5	0	0.00000	0.00000	0.000	0	0	0	0	0
6	0	0.00000	0.00000	0.000	0	0	0	0	0
7	0	0.00000	0.00000	0.000	0	0	0	0	0
8	0	0.00000	0.00000	0.000	0	0	0	0	0
9	0	0.00000	0.00000	0.000	0	0	0	0	0
10	0	0.00000	0.00000	0.000	0	0	0	0	0

Mätserie 3. 3 januari 2000 kl. 0:00-0:30

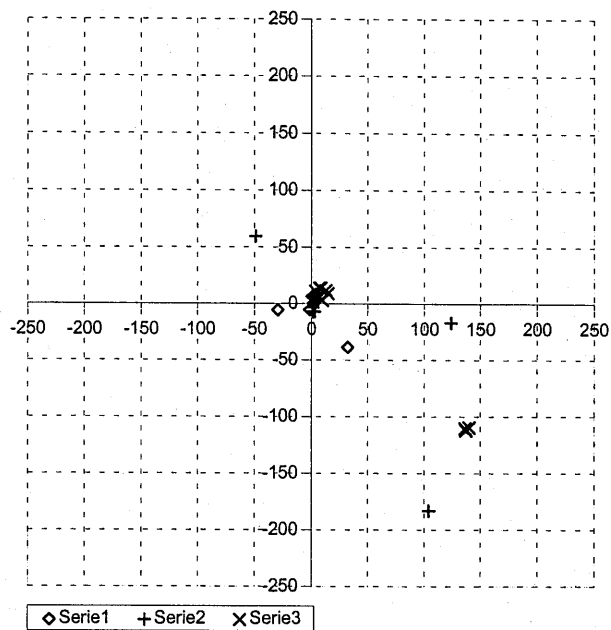
Mätn	Tid till fix (s)	Medel Latitud (hhmmss)	Medel Longitud (hhmmss)	Medel Höjd (m ö ell h)	PDOP	Antal sat	Fel Lat (mm)	Fel Long (mm)	Fel Höjd (mm)
1	0	0.00000	0.00000	0.000	0	0	0	0	0
2	0	0.00000	0.00000	0.000	0	0	0	0	0
3	0	0.00000	0.00000	0.000	0	0	0	0	0
4	0	0.00000	0.00000	0.000	0	0	0	0	0
5	0	0.00000	0.00000	0.000	0	0	0	0	0
6	0	0.00000	0.00000	0.000	0	0	0	0	0
7	0	0.00000	0.00000	0.000	0	0	0	0	0
8	0	0.00000	0.00000	0.000	0	0	0	0	0
9	0	0.00000	0.00000	0.000	0	0	0	0	0
10	0	0.00000	0.00000	0.000	0	0	0	0	0

Annelund A

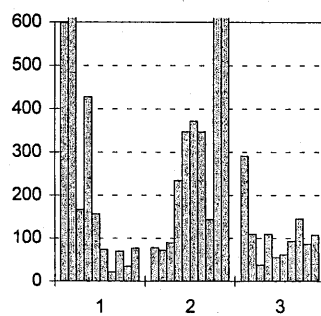
Baslinjeuppsättning



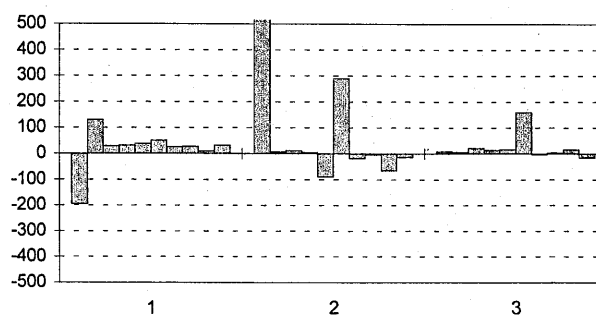
Fel i plan (mm)



Tid till fix (s)



Fel i höjd (mm)



Standardavvikelser (mm)

	Serie 1			Serie 2			Serie 3		
	Lat	Long	Höjd	Lat	Long	Höjd	Lat	Long	Höjd
Medelvärde differens	2	-1	6	-21	9	29	-30	52	8
Std.avv. en differens	5	11	77	75	46	121	61	64	12
Std.avv. för medelv. av diff.	2	4	26	29	17	46	20	21	4
Noggrannhet	5	10	73	73	43	115	65	80	14

Annelund A

Latitud (hhmmss)	Longitud (hhmmss)	Höjd (m ö ell h)
575912.91227	130553.43083	198.254

Mätserie 1. 28 januari 2000 kl. 09:00-09:45

Mätn	Tid till fix (s)	Medel Latitud (hhmmss)	Medel Longitud (hhmmss)	Medel Höjd (m ö ell h)	PDOP	Antal sat	Fel Lat (mm)	Fel Long (mm)	Fel Höjd (mm)
1	599	575912.91209	130553.42904	198.058	1.6	7	-6	-29	-196
2	-	575912.91102	130553.43280	198.385	2.2	7	-39	32	131
3	167	575912.91210	130553.43074	198.284	2.4	7	-5	-1	30
4	428	575912.91248	130553.43087	198.287	3.0	7	6	1	33
5	157	575912.91238	130553.43106	198.294	3.0	8	3	4	40
6	74	575912.91254	130553.43107	198.305	3.2	8	8	4	51
7	22	575912.91225	130553.43096	198.281	3.2	8	-1	2	27
8	70	575912.91253	130553.43114	198.282	3.3	8	8	5	28
9	35	575912.91229	130553.43095	198.264	3.4	8	0	2	10
10	77	575912.91238	130553.43110	198.287	3.5	8	3	4	33

Mätserie 2. 28 januari 2000 kl. 10:30-12:00

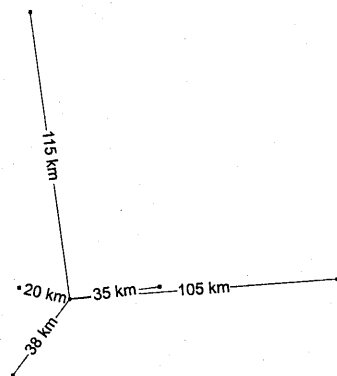
Mätn	Tid till fix (s)	Medel Latitud (hhmmss)	Medel Longitud (hhmmss)	Medel Höjd (m ö ell h)	PDOP	Antal sat	Fel Lat (mm)	Fel Long (mm)	Fel Höjd (mm)
1	78	575912.71652	130553.17078	204.588	1.7	9	-6 056	-4 264	6 334
2	72	575912.91216	130553.43094	198.261	1.7	9	-3	2	7
3	90	575912.91228	130553.43098	198.266	1.7	9	0	2	12
4	235	575912.91204	130553.43101	198.259	1.6	9	-7	3	5
5	348	575912.90635	130553.43717	198.164	1.5	9	-183	104	-90
6	372	575912.91419	130553.42785	198.544	1.7	7	59	-49	290
7	347	575912.91204	130553.43097	198.234	1.4	8	-7	2	-20
8	144	575912.91204	130553.43090	198.249	1.5	7	-7	1	-5
9	-	575912.91173	130553.43838	198.188	1.7	6	-17	124	-66
10	-	575912.90583	130553.45184	198.239	1.2	6	-199	344	-15

Mätserie 3. 28 januari 2000 kl. 13:00-13:45

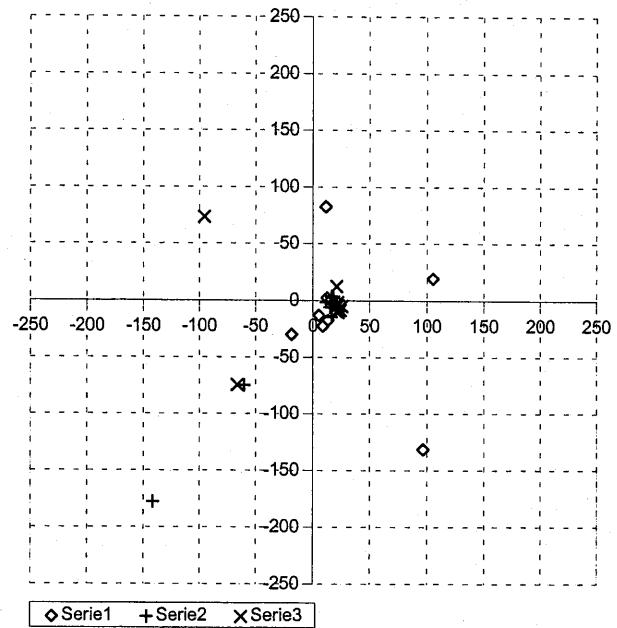
Mätn	Tid till fix (s)	Medel Latitud (hhmmss)	Medel Longitud (hhmmss)	Medel Höjd (m ö ell h)	PDOP	Antal sat	Fel Lat (mm)	Fel Long (mm)	Fel Höjd (mm)
1	291	575912.91272	130553.43135	198.263	1.6	8	14	9	9
2	110	575912.91272	130553.43127	198.261	1.6	8	14	7	7
3	38	575912.91265	130553.43161	198.276	1.6	8	12	13	22
4	110	575912.91256	130553.43174	198.268	1.6	8	9	15	14
5	56	575912.91237	130553.43141	198.272	1.6	8	3	10	18
6	62	575912.94284	130553.37384	198.414	1.6	8	946	-934	160
7	94	575912.90870	130553.43916	198.250	1.7	8	-110	137	-4
8	146	575912.90873	130553.43937	198.258	1.7	8	-110	140	4
9	87	575912.91263	130553.43105	198.270	1.7	8	11	4	16
10	108	575912.90865	130553.43920	198.238	1.7	8	-112	137	-16

Landvetter A

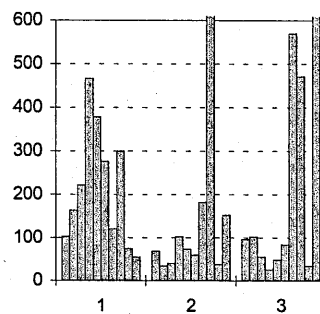
Baslinjeuppsättning



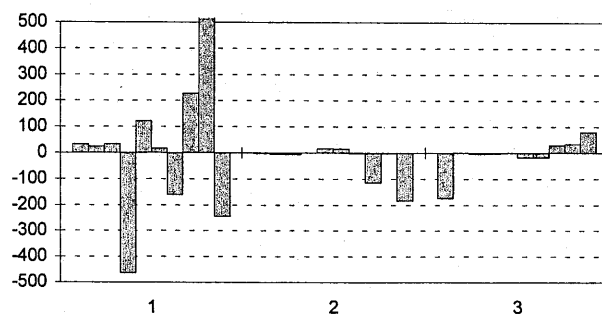
Fel i plan (mm)



Tid till fix (s)



Fel i höjd (mm)



Standardavvikelser (mm)

	Serie 1			Serie 2			Serie 3		
	Lat	Long	Höjd	Lat	Long	Höjd	Lat	Long	Höjd
Medelvärde differens	-26	60	-46	-12	8	-19	-12	12	-17
Std.avv. en differens	67	100	210	24	25	63	25	30	62
Std.avv. för medelv. av diff.	22	33	70	8	8	21	8	10	21
Noggrannhet	68	111	203	26	25	62	26	31	61

Landvetter A

Latitud (hhmmss)	Longitud (hhmmss)	Höjd (m ö ell h)
574010.16548	121804.18947	197.594

Mätserie 1. 21 januari 2000 kl. 15:30-16:45

Mätn	Tid till fix (s)	Medel Latitud (hhmmss)	Medel Longitud (hhmmss)	Medel Höjd (m ö ell h)	PDOP	Antal sat	Fel Lat (mm)	Fel Long (mm)	Fel Höjd (mm)
1	103	574010.16555	121804.19024	197.627	1.6	7	2	13	33
2	164	574010.16476	121804.19002	197.619	1.2	8	-22	9	25
3	222	574010.16506	121804.18979	197.628	1.2	9	-13	5	34
4	467	574010.16150	121804.20761	197.129	1.3	9	-123	300	-465
5	379	574010.16611	121804.19584	197.716	1.7	8	19	105	122
6	277	574010.16492	121804.19028	197.612	1.9	8	-17	13	18
7	121	574010.16815	121804.19016	197.432	2.0	8	83	11	-162
8	300	574010.16123	121804.19533	197.822	2.0	8	-131	97	228
9	75	574010.13413	121804.23661	199.566	2.0	8	-970	780	1 972
10	55	574010.16451	121804.18836	197.350	2.0	8	-30	-18	-244

Mätserie 2. 26 januari 2000 kl. 13:45-14:15

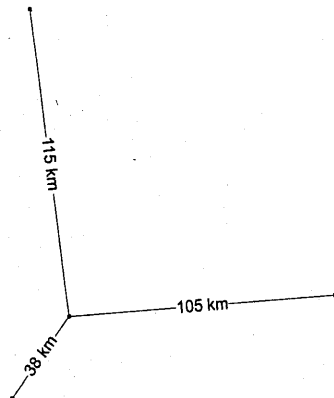
Mätn	Tid till fix (s)	Medel Latitud (hhmmss)	Medel Longitud (hhmmss)	Medel Höjd (m ö ell h)	PDOP	Antal sat	Fel Lat (mm)	Fel Long (mm)	Fel Höjd (mm)
1	69	574010.16538	121804.19043	197.592	1.6	8	-3	16	-2
2	35	574010.16561	121804.19048	197.589	1.6	8	4	17	-5
3	40	574010.16555	121804.19058	197.588	1.6	8	2	18	-6
4	103	574010.16529	121804.19038	197.594	1.6	8	-6	15	0
5	74	574010.16543	121804.19019	197.612	1.6	8	-1	12	18
6	60	574010.16543	121804.19052	197.611	1.5	8	-2	17	17
7	183	574010.16500	121804.19046	197.592	1.5	8	-15	16	-2
8	-	574010.15974	121804.18091	197.480	1.7	7	-178	-142	-114
9	38	574010.16501	121804.19046	197.592	1.7	7	-14	16	-2
10	153	574010.16306	121804.18583	197.411	1.8	7	-75	-60	-183

Mätserie 3. 26 januari 2000 kl. 14:15-15:00

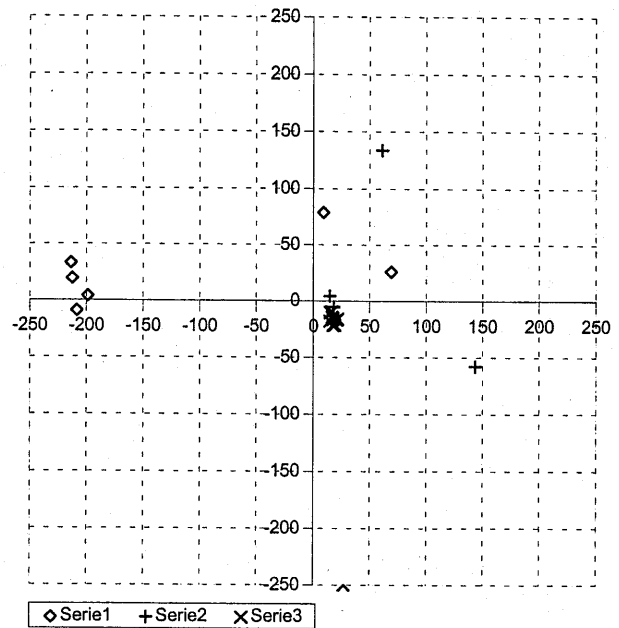
Mätn	Tid till fix (s)	Medel Latitud (hhmmss)	Medel Longitud (hhmmss)	Medel Höjd (m ö ell h)	PDOP	Antal sat	Fel Lat (mm)	Fel Long (mm)	Fel Höjd (mm)
1	97	574010.16306	121804.18546	197.419	1.7	7	-75	-66	-175
2	102	574010.16520	121804.19093	197.595	3.7	6	-9	24	1
3	56	574010.16514	121804.19083	197.590	3.7	6	-10	23	-4
4	26	574010.16544	121804.19061	197.592	3.7	6	-1	19	-2
5	49	574010.16516	121804.19073	197.595	3.7	6	-10	21	1
6	84	574010.16531	121804.19102	197.577	3.7	6	-5	26	-17
7	570	574010.16543	121804.19080	197.576	1.7	6	-2	22	-18
8	472	574010.16534	121804.19084	197.624	3	6	-4	23	30
9	34	574010.16587	121804.19074	197.629	3	6	12	21	35
10	-	574010.16785	121804.18369	197.674	3	6	73	-96	80

Landvetter B

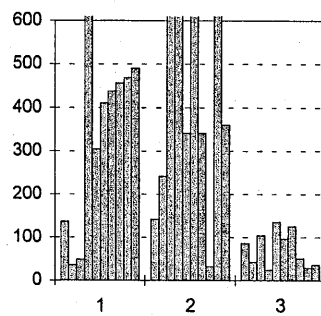
Baslinjeuppsättning



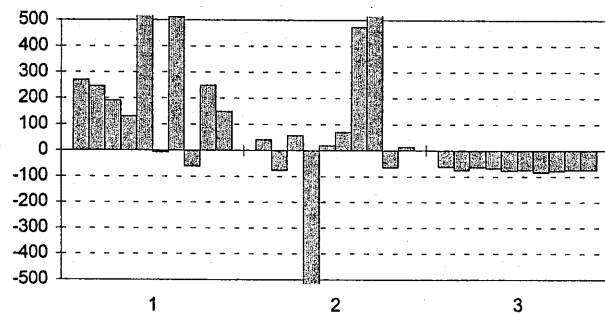
Fel i plan (mm)



Tid till fix (s)



Fel i höjd (mm)



Standardavvikelser (mm)

	Serie 1			Serie 2			Serie 3		
	Lat	Long	Höjd	Lat	Long	Höjd	Lat	Long	Höjd
Medelvärde differens	-42	-15	230	91	8	95	-16	18	-75
Std.avv. en differens	195	342	198	151	48	217	4	2	6
Std.avv. för medelv. av diff.	65	114	66	67	21	97	1	1	2
Noggrannhet	188	323	296	163	43	216	16	18	75

Landvetter B

Latitud (hhmmss)	Longitud (hhmmss)	Höjd (m ö ell h)
574010.16548	121804.18947	197.594

Mätserie 1. 24 januari 2000 kl. 14:15-15:15

Jönköping huvudreferensstation

Mätn	Tid till fix (s)	Medel Latitud (hhmmss)	Medel Longitud (hhmmss)	Medel Höjd (m ö ell h)	PDOP	Antal sat	Fel Lat (mm)	Fel Long (mm)	Fel Höjd (mm)
1	137	574010.16655	121804.17656	197.864	3.0	5	33	-214	270
2	36	574010.16610	121804.17662	197.841	3.0	5	19	-212	247
3	49	574010.16518	121804.17687	197.786	2.3	6	-9	-208	192
4	-	574010.15724	121804.19111	197.727	1.6	7	-255	27	133
5	305	574010.15110	121804.23949	198.113	1.6	7	-445	827	519
6	411	574010.17164	121804.17344	197.586	1.2	9	191	-265	-8
7	438	574010.15651	121804.19283	198.105	1.3	9	-278	56	511
8	457	574010.16802	121804.19001	197.532	1.4	9	79	9	-62
9	469	574010.16560	121804.17745	197.844	1.7	8	4	-199	250
10	491	574010.16632	121804.19365	197.743	1.9	8	26	69	149

Mätserie 2. 24 januari 2000 kl. 16:45-18:00

Onsala huvudreferensstation

Mätn	Tid till fix (s)	Medel Latitud (hhmmss)	Medel Longitud (hhmmss)	Medel Höjd (m ö ell h)	PDOP	Antal sat	Fel Lat (mm)	Fel Long (mm)	Fel Höjd (mm)
1	142	574010.16504	121804.19053	197.636	2.8	6	-14	18	42
2	242	574010.16980	121804.19316	197.516	2.7	6	134	61	-78
3	-	574010.16361	121804.19815	197.652	2.3	6	-58	144	58
4	-	574010.25083	121804.41451	197.064	1.6	7	2 640	3 722	-530
5	341	574010.16531	121804.19058	197.614	1.5	7	-5	18	20
6	-	574010.16382	121804.22272	197.664	1.7	6	-51	550	70
7	341	574010.17642	121804.18527	198.068	1.6	6	339	-70	474
8	32	574010.14585	121804.40559	204.385	1.6	6	-607	3 575	6 791
9	-	574010.16387	121804.20700	197.528	1.6	6	-50	290	-66
10	361	574010.16562	121804.19037	197.608	1.6	8	4	15	14

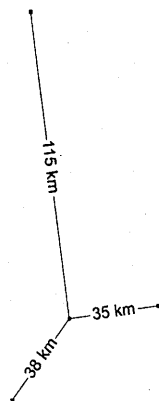
Mätserie 3. 1 februari 2000 kl. 9.45-10.15

Onsala huvudreferensstation

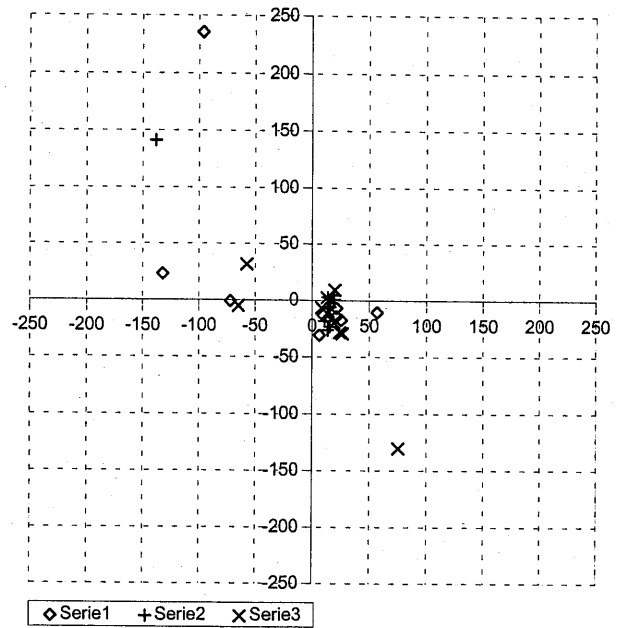
Mätn	Tid till fix (s)	Medel Latitud (hhmmss)	Medel Longitud (hhmmss)	Medel Höjd (m ö ell h)	PDOP	Antal sat	Fel Lat (mm)	Fel Long (mm)	Fel Höjd (mm)
1	86	574010.16517	121804.19046	197.530	2.8	7	-10	16	-64
2	43	574010.16479	121804.19062	197.517	2	8	-21	19	-77
3	105	574010.16490	121804.19036	197.528	2	8	-18	15	-66
4	24	574010.16514	121804.19038	197.524	2	8	-10	15	-70
5	136	574010.16495	121804.19053	197.514	2	8	-16	18	-80
6	97	574010.16499	121804.19051	197.518	2	8	-15	17	-76
7	126	574010.16501	121804.19048	197.509	1.9	8	-15	17	-85
8	51	574010.16496	121804.19078	197.514	1.9	8	-16	22	-80
9	29	574010.16494	121804.19072	197.518	1.9	8	-17	21	-76
10	36	574010.16478	121804.19053	197.518	1.9	8	-22	18	-76

Landvetter D

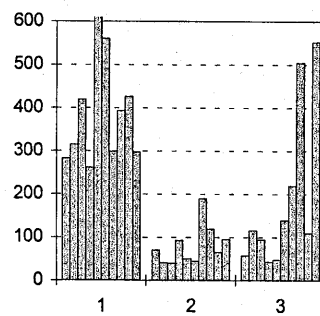
Baslinjeuppsättning



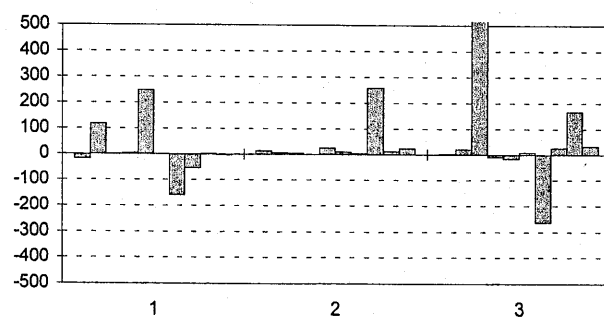
Fel i plan (mm)



Tid till fix (s)



Fel i höjd (mm)



Standardavvikelser (mm)

	Serie 1			Serie 2			Serie 3		
	Lat	Long	Höjd	Lat	Long	Höjd	Lat	Long	Höjd
Medelvärde differens	18	-3	-14	6	0	36	-20	7	-3
Std.avv. en differens	83	49	72	49	49	79	46	43	112
Std.avv. för medelv. av diff.	28	16	24	15	15	25	15	14	37
Noggrannhet	80	46	69	46	46	83	47	42	106

Landvetter D

Latitud (hhmmss)	Longitud (hhmmss)	Höjd (m ö ell h)
574010.16548	121804.18947	197.594

Mätserie 1. 24 januari 2000 kl. 11:00-13:15

Mätn	Tid till fix (s)	Medel Latitud (hhmmss)	Medel Longitud (hhmmss)	Medel Höjd (m ö ell h)	PDOP	Antal sat	Fel Lat (mm)	Fel Long (mm)	Fel Höjd (mm)
1	283	574010.16526	121804.19077	197.575	1.5	9	-7	22	-19
2	315	574010.16545	121804.18512	197.712	1.7	7	-1	-72	118
3	420	574010.16491	121804.19102	197.594	2.1	6	-18	26	0
4	262	574010.16502	121804.19078	197.598	2.2	6	-14	22	4
5	-	574010.16623	121804.18148	197.842	1.4	7	23	-132	248
6	561	574010.16499	121804.19035	197.594	1.2	6	-15	15	0
7	299	574010.17309	121804.18364	197.435	1.4	6	235	-96	-159
8	394	574010.16514	121804.19292	197.540	1.6	6	-11	57	-54
9	427	574010.16448	121804.18987	197.596	1.3	7	-31	7	2
10	298	574010.16506	121804.19007	197.590	1.5	7	-13	10	-4

Mätserie 2. 24 januari 2000 kl. 14:30-15:00

Mätn	Tid till fix (s)	Medel Latitud (hhmmss)	Medel Longitud (hhmmss)	Medel Höjd (m ö ell h)	PDOP	Antal sat	Fel Lat (mm)	Fel Long (mm)	Fel Höjd (mm)
1	70	574010.16526	121804.19031	197.608	3.4	6	-7	14	14
2	41	574010.16489	121804.19014	197.601	1.7	7	-18	11	7
3	40	574010.16473	121804.19042	197.598	1.7	7	-23	16	4
4	93	574010.16463	121804.19031	197.593	1.7	7	-26	14	-1
5	50	574010.16549	121804.19065	197.619	1.7	6	0	20	25
6	44	574010.16529	121804.19044	197.605	3.7	6	-6	16	11
7	190	574010.16563	121804.19063	197.599	3.6	6	5	19	5
8	119	574010.17004	121804.18111	197.853	3.6	6	141	-138	259
9	65	574010.16556	121804.19032	197.607	3.5	6	3	14	13
10	96	574010.16529	121804.19040	197.618	3.5	6	-6	15	24

Mätserie 3. 25 januari 2000 kl. 13:00-14:45

Mätn	Tid till fix (s)	Medel Latitud (hhmmss)	Medel Longitud (hhmmss)	Medel Höjd (m ö ell h)	PDOP	Antal sat	Fel Lat (mm)	Fel Long (mm)	Fel Höjd (mm)
1	58	574010.16555	121804.19028	197.596	1.5	8	2	13	2
2	116	574010.16526	121804.18999	197.615	1.5	9	-7	9	21
3	95	574009.98421	121803.67810	202.811	1.7	8	-5 608	-8 458	5 217
4	43	574010.16456	121804.19094	197.584	1.5	8	-28	24	-10
5	47	574010.16453	121804.19108	197.578	1.5	8	-29	27	-16
6	139	574010.16484	121804.19065	197.603	1.9	7	-20	20	9
7	219	574010.16126	121804.19405	197.330	1.7	7	-130	76	-264
8	505	574010.16577	121804.19068	197.621	3.7	6	9	20	27
9	110	574010.16650	121804.18600	197.762	3.7	6	32	-57	168
10	553	574010.16532	121804.18556	197.628	3.5	6	-5	-65	34

Mätningsförfarande

Allmänt

Vid varje mätpunkt utförs mätningar vid tre tillfällen under olika dagar. Dessa tillfällen bör fördelas över dygnet så att en mätning sker på morgonen, en mitt på dagen och en på eftermiddagen.

Lämpliga datum och tidpunkter bestäms utgående från satellitkonfigurationer. Det är önskvärt att belysa fall med olika antal satelliter synliga.

Utrustning

GPS-mottagare Ashtech Z-12.

Chokeringantenn Ashtech.

Trefot med optiskt lod och vridbar rörlibell.

Laptop med nätverks-RTK-mjukvara från Geo++.

DARC-mottagare Lucas från SECTRA.

FM-antenn som klarar av att ta emot hundraprocentig DARC-signal i den punkt där positioneringsmätningar utförs.

Förkontroll

Utrustningen kontrolleras innan avfärd till uppställningsplatsen.

Uppställning

FM-antennen ställs upp och riktas in så att bra DARC-kvalitet erhålls. Mottagningen övervakas under minst en minut med hundraprocentig DARC-mottagning innan positioneringsmätning påbörjas.

Trefoten ställs upp över punkten med hjälp av optiskt lod. Trefotens horisontering kontrolleras.

Höjden mellan mätpunkt och underkant på chokeringantennens fläns mäts tre gånger före och tre gånger efter positioneringsmätningen.

Positioneringsmätning

Vid varje tillfälle utförs tio mätningar enligt nedan:

- Mottagaren sätts på
- Positionen loggas under 30 sekunder efter fix.
- Mottagaren stängs av

Protokoll

Vid varje mätserie skall ett protokoll enligt nästa sida nedskrivas.

Loggning

Följande parametrar loggas:

- Tid till fix.
- PDOP (PDOP>4 förkastas).
- Positionen under 30 sekunder efter fix. Medelvärde under denna tid ger upphov till den position som används i statistiken. Medelvärdesbildningens syfte är att eliminera tillfälliga fel.
- Standardavvikelse enligt nätverks-RTK-mjukvaran.

MÄTPROTOKOLL

Punkt

Datum

Använda referensstationer

- ☐ Borås
☐ Göteborg
☐ Jönköping
☐ Onsala
☐ Vänersborg

GPS-Mottagare

Väder

Övriga kommentarer

Antennhöjd före mätning (mm)

Mätningens start (kl)

Mätningens slut (kl)

Antennhöjd efter mätning (mm)

Tekniska specifikationer

Serverdator Dell PowerEdge 1300

Processor	Pentium III 500 MHz
Processorcaché	512 KB
Internminne	128 MB
Hårddisk	9 GB Ultra2/LDV SCSI
SCSI-Controller	Integrerad Adaptec 7890 Ultra2/LVD
Operativsystem	OS/2 WARP 4

Roverdator Dell Latitude Xpi

Processor	Pentium 133 MHz
Processorcaché	256 KB
Internminne	24 MB
Hårddisk	1216 MB IDE
Extra serieport	PCMCIA Socket Serial I/O Adapter
Operativsystem	OS/2 WARP 4

Övrig utrustning

GPS-mottagare	Ashtech Z-12 Serienummer LP05203 Firmware 6J00-1C63
GPS-antenn	Ashtech Choke Ring Antenna 700936 Rev. F Serienummer CR1998380119
DARC-mottagare	SECTRA Lucas 2.0 1-112-1.0 Serienummer 159834036
FM-antenn	Dipolantenn WISI UA05 UKW

Inmätning av SWEREF-punkter

Ur Lantmäteriverkets *RIX 95 Teknisk specifikation*, v.1.0, 1997-02-18.

Mätning

I det följande beskrivs dels utrustning, såväl kravmässigt som hanteringsmässigt, dels mätningen i fält.

Utrustning

GPS-mottagare
och antenn:

För SWEREF-punkter krävs enhetlig 2-frekvensutrustning som även vid A-S ger full våglängd på L2 (t.ex. Ashtech Z12). Övriga punkter kan mätas med enhetlig 1-frekvensutrustning särskilt beträffande antenn. Speciellt viktigt är detta för höjdbestämmningen.

När SWEREF-punkter bestäms skall en "Dorne- Margolin"-antenn användas. (Se kommentar i avsnitt 12.1)

Trefötter :
(med rörlibell)

Trefötterna påverkar noggrannheten i punktbestämningen. De skall därför kontrolleras inför varje projekt. Dessutom skall de vara försedda med en vridbar rörlibell, för kontroll av horisonteringen.

Master:

Ibland krävs mast på befintliga punkter. Med 12 m klaras de flesta situationer, men i en del fall krävs det en 20 m mast för att nå upp till trädkronhöjd.

Stativ:

Stativen kontrolleras regelbundet inför varje projekt liksom trefötterna.

Teodoliter:

Teodoliter för enbart lodning av master behöver inte ha särskilt hög prestanda, dock skall de kontinuerligt kontrolleras och vid behov justeras.

Avvägningsinstrument:

En ambition är att avväga så många nypunkter som möjligt. För att avvägningen skall ha något att bidra med skall den utföras med utrustning för finavvägning. Elektroniskt instrument t.ex. NA3000 går bra. Likaså optiskt instrument med planparallellplatta.

Instrumentkontroll

Alla mätinstrument som skall användas i ett projekt, skall naturligtvis kontrolleras regelbundet och kontrollerna skall dokumenteras. Särskilt viktigt är det att trefötterna hanteras varsamt och kontrolleras kontinuerligt. Kontroll och justering av instrument m.m. görs enligt HMK-Ge:S respektive HMK-Ge:GPS.

Mätning i fält

SWEREF-punkt:

För bestämning av SWEREF-punkt skall särskilt mätförfarande användas, se särskilt avsnitt nedan.

Mätprincip:	Alla närsamband skall mätas. Det innebär bl.a. att nätet byggs upp av trianglar (ej fyrhörningar). Alla närsamband mellan befintliga riksnätspunkter bör mätas. Dock kan det i områden där riksnätet är glest vara onödigt att mäta allt för långa (≥ 20 km) baslinjer, sambandet mellan dessa punkter fås indirekt via mellanliggande nypunkter. Alla nypunkter skall interpoleras inom en ram bildad av samband mellan riksnätspunkter. (Konvexa höljet)
Mätmetod:	Statisk mätning tillämpas. 15 s loggningsintervall, 15° elevationsmask och observationstid 45 - 120 minuter, beroende på satellittillgång och eventuella sikthinder. Det är svårt att bestämt säga hur lång observationstid som skall tillämpas. Erfarenheten visar att 45 minuter/15 s räcker för att beräkna L1-fixlösningar av baslinjer ≤ 15 km om alla mottagarna har helt ostörd satellitmottagning. För perioder med tidvis få satelliter, är det lätt hänt att en något skyddad antenn tidvis endast har kontakt med 3 satelliter. Detta innebär att observationstiderna måste förlängas för dessa sessioner.
Sikthinder: (Röjning)	Är sikthindren alltför störande måste detta åtgärdas. Detta kräver omdöme och kontakt med markägarna.
Sikthinder: (Mastbygge)	En annan metod är att bygga en mast som når över/upp till trädtopparna. Mastbygge ger bättre mottagningsförhållanden men däremot införs osäkerhet i centreringen, speciellt i höjd. Alternativt kan istället sly och "värdelös" skog gallras bort och observationstiden förlängas till ≥ 120 minuter. Vid användning av en mast måste den centreras väl över punkten. Två teodoliter ställs upp med 90° vinkel emellan. Nedlodningen skall göras i båda cirkellägena. Innan masten tas ned skall lodningen åter kontrolleras. Masthöjder mäts med kontroll. Mät höjd före och efter mätningen. Masthöjder skall verifieras med trigonometrisk höjdmätning. Två teodoliter krävs för inlodning av master.
Antennorientering:	Antennerna orienteras mot norr.
Antennhöjd:	Höjden mäts lutande från markeringen till en referenspunkt på antennen. Mätningen upprepas till minst tre sidor av antennen. Höjden knappas in i mottagaren samt protokollförs. Vid nedtagning kontrolleras centreringen och antennhöjden mäts ånyo.
Höjdbestämmning:	Försök att höjdbestämma så många punkter som möjligt inom området, i första hand genom avvägning, jfr avsnitt 7.1. Är avvägningssavstånden för långa så använd GPS-

	teknik från flera utgångsfixar. Alla nypunkter skall höjdbestämmas.
Felkällor:	I huvudsak två felkällor förekommer vid mätning; centrer- ing i plan respektive höjd. Noggrannheten bestäms av trefötterna, antennutformningen och antennhöjds- mätningen.
"Mätprotokoll":	Datum, punktnamn, punktnummer, uppställningspunkt, instrumenthöjd före och efter mätning, instrument- och antennnummer, sessionsnummer, av- och påslagstid och projektbeteckning antecknas i en protokollbok.
Mätprogram:	Mätprogrammen sparas (1 omgång).

[illegible]

	Höjd	Avstånd till referensstationer (km)						Signal- styrka		DARC %		
	m ö ell.h	Borås	Göteborg	Jönköping	Onsala	Vänersborg	Rel	dBm	Okorr	Korr	Tillgänglighet	
752968 Tovhult	212	58	85	86	70	176	53	65	100	100	Mycket bra	
761161 Öaknalten	157	60	48	119	21	155	ej uppmätt					
761471 Björnåsen	177	48	36	111	22	141	58	72	100	100	Mycket dålig	
761558 Kaptensberg	79	56	27	123	12	136	ej uppmätt					
761658 Bräckan	115	55	22	122	15	131	ej uppmätt					
761738 Billdal	88	60	16	128	19	126	ej uppmätt					
761780 Bulveråsen	222	38	25	106	31	125	62	78	100	100	Dålig	
761988 Landvetter	197	35	20	105	38	115	62	78	100	100	Mycket bra	
763640 Höcklan	298	51	104	33	106	161	53	65	100	100	Dålig	
771238 Göteborg Säve	59	62	10	131	43	102	ej uppmätt					
772678 Annelund	198	33	74	63	96	100	fullgod					Mycket bra
773218 Ulricehamn	211	33	87	39	101	127	57	71	100	100	Mycket bra	
773948 Falköping	362	63	108	51	129	110	60	75	100	100	Mycket bra	
781038 Ödsmålsbron	120	74	45	135	80	65	49	59	80	100	Mycket bra	
781398 Trollhättan	76	72	70	117	103	48	48	57	0	0	Mycket bra	
782581 Lidköping Synnerål	113	74	101	89	130	73	47	56	80	100	Bra	
782641 Sätenäs	103	80	92	109	124	50	ej uppmätt					
SWEPOS Borås	220	0	55	69	67	120	fullgod					Mycket bra

RTCM SC-104 v2.2

Ur *RTCM Recommended standards for differential GNSS (Global navigation satellite systems) service version 2.2*, RTCM Paper 11-98/SC104-STD.

To date there are 33 of a possible 64 message types defined, either tentatively or in final fixed form retired, or reserved. They are given in table 4-3.

Table 4-3. Message types

Message Type No.	Current Status	Title
1	Fixed	Differential GPS Corrections
2	Fixed	Delta Differential GPS Corrections
3	Fixed	GPS Reference Station Parameters
4	Tentative	Reference Station Datum
5	Fixed	GPS Constellation Health
6	Fixed	GPS Null Frame
7	Fixed	DGPS Radiobeacon Almanac
8	Tentative	Pseudolite Almanac
9	Fixed	GPS Partial Correction Set
10	Reserved	P-Code Differential Corrections
11	Reserved	C/A-Code L1, L2 Delta Corrections
12	Reserved	Pseudolite Station Parameters
13	Tentative	Ground Transmitter Parameters
14	Tentative	GPS Time of Week
15	Tentative	Ionospheric Delay Message
16	Fixed	GPS Special Message
17	Tentative	GPS Ephemerides
18	Fixed	RTK Uncorrected Carrier Phases
19	Fixed	RTK Uncorrected Pseudoranges
20	Tentative	RTK Carrier Phase Corrections
21	Tentative	RTK /Hi-Acc. Pseudorange Corrections
22	Tentative	Extended Reference Station Parameters
23-30	--	Undefined
31	Tentative	Differential GLONASS Corrections
32	Tentative	Differential GLONASS Reference Station Parameters
33	Tentative	GLONASS Constellation Health
34	Tentative	GLONASS Partial Differential Correction set ($N > 1$)
		GLONASS Null Frame ($nN \leq 1$)
35	Tentative	GLONASS Radiobeacon Almanac
36	Tentative	GLONASS Special Message
37	Tentative	GNSS System Time Offset
38-58	--	Undefined
59	Fixed	Proprietary Message
60-63	Reserved	Multipurpose Usage