



Lantmäteriet

Lantmäteriverket - National Land Survey
S - 801 82 GÄVLE SWEDEN

Tekniska skrifter - Professional Papers

LMV-RAPPORT
1995:14

ISSN 0280-5731

Positionsnoggrannheten för differentiell GPS via EPOS-tjänsten

examensarbete av
Anna Bergman och Anders Frisk

Gävle 1995

Lantmäteriverkets senaste Tekniska skrifter i geodesi

- 1991:8 Lithén T & Persson C-G: Planering av GPS-nät.
- 1991:17 Jivall L: Jämförande GPS-beräkningar med TRIMVEC-PLUS.
- 1991:18 Jivall L: GPS-beräkning för stomnät. (Engelsk version 1991:22.)
- 1992:10 Ekman M: Om lokala massors inverkan på geoiden. (On the Effect of Local Masses on the Geoid - Summary in English.)
- 1992:14 Hedling G, Jivall L, Jonsson B, Andreasson J: Some Swedish GPS Activities 1991 - Geodetic Control Surveying, Aerial Photography and a Swedish DGPS Network.
- 1992:16 Almgren K & Sandvik L H: Alternativa metoder vid framställandet av orienteringskartor.
- 1992:21 Eurenus B & Norin D: GPS inom förrättningsmätning.
- 1993:1 Ekman M: Geoiden i Sverige och geoidhöjdssystemet RN 92.
- 1993:2 Ottoson C: Undersökning av Wild GPS-system 200 - GPS-mottagare samt tillhörande programvara.
- 1993:4 Jivall L & Ottoson C: Jämförelse mellan Leicas och Ashtechs GPS-System.
- 1993:5 Svensson R: Utvärdering av geodetiska nät-utjämningsprogram på PC.
- 1993:7 Hedling G & Jonsson B: PREF - a test of a Swedish network of reference stations for positioning.
- 1994:14 Johnson M: Regionalt studium av riksnäten med GPS - en homogenitets- och transformationsstudie.
- 1994:24 RIX 95 - en utredning om förtätning av de geodetiska riksnäten och anslutning av lokala stomnät.
- 1994:25 Persson K & Persson C-G: Datafångst för GIS med användning av GPS.
- 1994:28 Reit, B-G: SWEREF 93 - ett nytt svenskt referenssystem.
- 1995:3 Kurkinen, K: Radiolänkar för överföring av GPS-data.
- 1995:4 Persson, C-G: Terrestrial Methods in Surveying, Mapping and Establishment of Geographic Data Bases.

Titel

POSITIONSNOGGRANNHETEN FÖR DIFFERENTIELL GPS VIA
EPOS-TJÄNSTEN

Examensarbete av Anna Bergman och Anders Frisk

Huvudinnehåll

Examensarbetet avser undersökning av positionsbestämning med differentiell GPS via EPOS-tjänsten, som tillhandahålles av Teracom. Förhållandena för mottagning av utsända korrektionsdata via EPOS-tjänsten har studerats i Gävle-området. De med differentiell GPS bestämda positionerna har jämförts med positioner från efterbearbetning av GPS-bärvågsdata och tröghetspositionering.

Handledare för examensarbetet har varit

Jadwiga Piechocinski	Bo Jonsson
Högskolan Gävle/Sandviken	Geodetiska utvecklingsenheten Lantmäteriverket, Gävle

LDOK

Beställs hos

Lantmäteriverket
Blankettförrådet
801 82 GÄVLE



FÖRORD

Vid geodetisk kinematisk positionsbestämning används kinematisk relativ bärvågsmätning i realtid eller med efterberäkningar. Styrkan med denna metod är den ger många positioner relativt snabbt och enkelt med hög noggrannhet (centimeternoggrannhet). Svagheten är att metoden är känslig för signalavbrott. Under några år har försök gjorts med att finna en rationell kinematisk metod som är mindre känslig för signalavbrott.

En sådan metod är relativ bärvågsunderstödd kodmätning med differentiella korrektioner från de fasta referensstationerna i det så kallade SWEPOS-nätet, överförda via det svenska rundradionätet, och mottagna med hjälp av en speciell radiomottagare. Metoden skulle innebära, om den har tillräckligt hög noggrannhet, att man har en metod som kan ge positioner rationellt, det vill säga billigt, enkelt och i realtid. Därför tyckte vi att det vore intressant att som examensarbete undersöka vilken positionsnoggrannhet som kan erhållas med denna metod.

Examensarbetet utfördes på geodetiska utvecklingsenheten (KG) vid Lantmäteriverket (LMV) i Gävle. Det omfattade förstudier, planering, fältmätningar, beräkningar samt redovisning av resultatet av mätningarna. Syftet var i första hand att undersöka om metoden uppfyllde den specificerade noggrannheten \pm två meter i 95% av fallen.

Vi vill här passa på att tacka alla på LMV-KG, speciellt Dan Norin, samt Martin Lidberg och Kurt Nilsson på LMV-PG.

Handledare för vårt examensarbete har varit Bo Jonsson på geodetiska utvecklingsenheten vid Lantmäteriverket.

Examinator är Jadwiga Piechocinska, Högskolan Gävle-Sandviken, Gävle.

Gävle den 9 augusti 1995

Anna Bergman

Anders Frisk

SAMMANFATTNING

Syftet med detta examensarbete var att undersöka vilken positionsnoggrannhet som kan erhållas vid kinematisk differentiell bärvågsunderstödd kodmätning, DGPS med avståndskorrekationer mottagna via RDS-mottagare. Teracom, som ansvarar för utsändningen av dessa utlovar en noggrannhet på ± 2 meter i 95% av fallen.

Jämförelse gjordes dels med kinematisk bärvågsmätning med efterbearbetningar i Asctechs beräkningsprogram PNAV dels med tröghetsteknik som referens.

Kinematisk bärvågsmätning med efterbearbetningar i PNAV kan enligt PNAVs manual ge en noggrannhet på 1-10 centimeter. Nackdelen med denna metod är att den är känslig för signalavbrott och är därför olämplig som referens där förhållanden för GPS-mätning är sämre. Kodmätningen är mindre känslig för signalavbrott och då intresse fanns att få reda på hur DGPS+RDS fungerade i stad och skog där signalavbrott kan uppkomma användes tröghetsteknik som referens i dessa omgivningar. Tröghetsteknik är en metod som ger positioner kontinuerligt och är oberoende av fri sikt till satelliter och därför lämplig som referens. Noggrannheten för tröghetstekniken ligger på decimeternivå, enligt HMK-Ge, Detaljmätning.

Vid jämförelsen av den differentiella kodmätningen mot bärvågsmätning utfördes mätningarna med bil. GPS-mottagaren samlade in både koddata och bärvågsdata samtidigt. Koddata bearbetades i realtid i mottagaren och tillsammans med korrekationerna från RDS-mottagaren beräknades en relativ position varje sekund. Bärvågsdata användes för att i efterhand beräkna positioner vid samma tidpunkt, men med bättre noggrannhet. De med differentiell kodmätning i realtid erhållna koordinaterna jämfördes sedan med de med bärvågsmätning efterberäknade koordinaterna.

Vid jämförelsen mot tröghetsteknik användes Lantmäteriverkets tröghetsbil. I tröghetsbilen registrerades positioner kontinuerligt. Liksom vid jämförelsen mot bärvågsmätningen samlade GPS-mottagaren in både kod- och bärvågsdata samtidigt. Bärvågsunderstödd koddata användes till att beräkna positioner i realtid som tidigare medan bärvågsdata användes för att i efterhand beräkna kända punkter till utjämnningen av tröghetsmätningen. DGPS+RDS- och tröghets koordinater jämfördes som tidigare.

Noggrannheten på positionbestämningen varierade. Vid sämre förhållande för GPS, framför allt i stadsmiljö, erhöles stora avvikelser mellan koordinater bestämda med DGPS+RDS och referensen, hundratals meter, trots att bra differentiella korrekationer användes. Ibland erhöles inga GPS-positioner alls.

Då GPS-mottagaren mottog både bärvågs- och koddata samt korrekationer gav DGPS+RDS-metoden en avvikelse under ± 1 meter i plan och i höjd under ± 2 meter 95% av tiden. Då signalavbrott skett och bärvågsdata inte längre understödde koddata, försämrades noggrannheten något, till ± 2 meter i plan.

Där radiomottagningen fungerade sämre och färre korrekationer mottogs, erhöles avvikelser på cirka ± 4.5 meter i plan i 95% av fallen. Högsta avvikelserna blev dock då inga korrekationer mottogs, detta på grund av att GPS-mottagaren var inställd så att positionerna då inte uppdaterades.

SUMMARY

The aim for this diploma work was to investigate the position accuracy which can be achieved in kinematic differential code measurements smoothed with integrated doppler, with pseudorange corrections received by a RDS-receiver. Teracom, which handle the broadcasting of this corrections, specifies an accuracy of ± 2 meters in 95% of the cases.

Comparison was made partly with kinematic relative carrier phase measurement with postprocessing in Ashtechs software, PNAV, and partly with inertial technique as reference.

Kinematic carrier phase measurements with postprocessing in PNAV can according to PNAV's manual give an accuracy of 1-10 centimetres. The drawback with this method is that it is sensitive for cycle slips and therefore unsuitable as reference where the conditions for GPS is not so good. Pseudorange measurements are less sensitive for cycle slips and since it was of interest to find out how DGPS+RDS works in town and forest, where cycle slips can occur, inertial technique was used as reference there. Inertial technique is a method which gives positions continuously and the technique is independent of clear line of sight to the satellites and therefore suitable as reference. The accuracy of inertial technique is in decimetre-level, according to the guide "HMK-Ge, Detaljmätning".

When comparing DGPS+RDS and carrier phase measurements, the measurements were done by car. The GPS-receiver recorded both code data and carrier phase data at the same time. Code data were processed together with the pseudorange corrections from the RDS-receiver in real-time and a position was computed each second. Carrier phase data were used to postprocess the same positions but with better accuracy. The difference between code measured positions and carrier measured positions were computed.

When comparing DGPS+RDS and inertial technique the National Land Survey inertial surveying car was used. In the car the positions, determined by inertial technique, were recorded continuously. Like the comparison between DGPS+RDS and carrier measurement, the GPS-receiver registered both code- and carrier data. Code data smoothed with integrated doppler was used to compute positions in real-time as before but carrier data was used to postprocess known points for the adjustment of inertial positions. The DGPS+RDS and inertial coordinates were compared as earlier.

The accuracy of the positions determined with DGPS+RDS varied. Large deviations, hundred of meters, were achieved when the conditions for GPS were bad, especially in the town, even though good corrections were used. Sometimes no GPS-positions at all were received.

When the GPS-receiver had both carrier- and code data as well as DGPS-corrections, the method was giving deviations from the reference positions lower than ± 1 metre horizontally and ± 2 metres in height. When cycle slip occurred and carrier data no longer supported code data, the accuracy decreased to ± 2 metres horizontally.

When the radio transmission was worse and fewer corrections were received, deviations of around ± 4.5 metres horizontally 95% of the cases were achieved. The largest deviations were found when no DGPS-corrections were received.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1 INLEDNING	5
2 GPS	6
2.1 KODMÄTNING OCH DIFFERENTIELL GPS.....	6
2.1.1 <i>Differentiell GPS med Ashtech Z-12</i>	7
2.2 BÄRVÅGSMÄTNING	7
2.2.1 <i>Kinematisk bärvågsmätning med efterberäkning i PNAV</i>	8
3 SWEPOS	9
4 EPOS	10
5 TRÖGHETSTEKNIK	11
5.1 SAMUTNYTTJANDE MELLAN GPS- OCH TRÖGHETSTEKNIK	12
6 ÖVERSIKTLIG TEST AV RDS MOTTAGNING	14
6.1 TEST MED GPS-MOTTAGARE	14
6.1.1 <i>Metod och utrustning</i>	14
6.1.2 <i>Planering och genomförande</i>	15
6.1.3 <i>Resultat test 1 och 2</i>	15
6.1.4 <i>Resultat test 3</i>	16
6.2 TEST MED RTCMON'S TEXTFIL	19
6.3 RESULTATUTVÄRDERING	19
7 JÄMFÖRELSE MED BÄRVÅGSMÄTNING	20
7.1 METOD OCH UTRUSTNING	20
7.2 PLANERING OCH GENOMFÖRANDE	20
7.3 BERÄKNINGAR	23
7.4 RESULTAT	23
7.5 RESULTAT UTVÄRDERING	24
8 JÄMFÖRELSE MED TRÖGHETSTEKNIK	25
8.1 METOD OCH UTRUSTNING	25
8.2 PLANERING OCH GENOMFÖRANDE	26
8.3 BERÄKNING	26
8.4 RESULTAT	27
8.5 RESULTATUTVÄRDERING	29
9 SLUTSATSER	30
10 KÄLLOR OCH LITTERATUR	31

Bilaga 1: Diagram över avvikelserna av DGPS+RDS mot bärvågsmätning

Bilaga 2: Diagram över avvikelserna av DGPS+RDS mot tröghetsteknik

Bilaga 3: Programkod till programmet RDSBORT

1 INLEDNING

Uppgiften var att undersöka vilken positionsnoggrannhet som kan erhållas vid kinematisk differentiell GPS (bärvågsunderstödd kodmätning) med användning av Teracoms Epostjänst i realtid, DGPS+RDS.

Vid differentiell GPS bestäms positionen för en punkt genom kodmätning och i realtid mottagna differentiella korrektioner från en fast referensstation. Överföringen av korrektionerna från de fasta referensstationerna sker med användning av Epostjänsten. Denna tjänst innebär att de differentiella korrektionerna sänds ut via RDS (Radio Data System) och det befintliga nätet av FM-radiostationer. Korrektionerna mottas av Teracoms speciella RDS-mottagare, Eposmottagaren.

Lantmäteriet har använt differentiell GPS med differentiella korrektioner från de fasta referensstationerna via Epostjänsten för inmätning av gränser. Dessa har utförts till fots med GPS-mottagaren monterad på en ryggsäck med tillkopplad RDS-mottagare och fältdator. Noggrannheten vid dessa mätningar var 0,5-1 meter i plan relativt den använda referensstationen, se Prisma nr 2 1995. Försök att använda DGPS och Epostjänsten för kinematisk positionsbestämning med bil har inte gjorts vid LMV.

Teracom utlovar för Epostjänsten en noggrannhet bättre än ± 2 meter i plan i 95% av fallen.

För undersökning av noggrannheten för DGPS+RDS behövs en referens med högre noggrannhet. Kinematisk bärvågsmätning med efterbearbetningar i PNAV kan enligt PNAVs manual ge en noggrannhet på 1-10 centimeter. Nackdelen med denna metod är att den är känslig för signalavbrott och är därför olämplig där förhållanden för GPS-mätning är dåliga. Kodmätningen är mindre känslig för signalavbrott och då intresse finns att få reda på hur DGPS+RDS fungerar i stad och skog där signalavbrott kan uppkomma behövs en annan referens i dessa omgivningar. Tröghetsteknik är en metod som ger positioner kontinuerligt och är oberoende av fri sikt till satelliter och därför lämplig som referens. Noggrannheten för tröghetsteknik är decimeternivå och det är tillräckligt för att visa om DGPS+RDS håller den specificerade noggrannheten ± 2 meter i 95% av fallen.

Projektet utfördes i tre steg. Första steget var att få ett allmänt intryck om RDS-mottagarens förmåga att ta emot radiosignaler. Detta gjordes i olika förhållanden som stad, skog och öppen terräng.

I andra steget undersöktes DGPS+RDS med tvåfrekvens bärvågsmätning som referens. Dessa mätningar genomfördes där förhållandena för bärvågsmätning var bra.

I tredje steget gjordes mätningar där förhållandena för GPS var sämre och med tröghetsteknik som referens.

2 GPS

GPS (Global Positioning System) är ett system för navigation och positionsbestämning med hjälp av satelliter. Systemet som drivs av det amerikanska försvaret består av 24 satelliter som kretsar i olika banor runt jorden. Satelliterna sänder ut kodade signaler på två frekvenser, L1 och L2. På L1-frekvensen sänds både så kallad P-kod (precision) och så kallad C/A-kod (Coarse/Acquisition) medan L2-frekvensen endast innehåller P-kod. Dessutom sänds ett satellitmeddelande som innehåller nödvändig information för att beräkna satellitens position och satellitklockans korrektion.

Principen för positionsbestämning med GPS är att GPS-mottagaren mäter tiden det tar för signalen att gå från satelliten till mottagaren. Med kännedom om satellitens position och signalens utbredningshastighet (ljushastigheten) kan avståndet mellan satellit och mottagare beräknas.

Genom att mäta avståndet till minst fyra satelliter kan man bestämma en tredimensionell positionen för en punkt. Mätning av avståndet mellan satellit och mottagare kan ske enligt två olika principer, kodmätning och bärvågsmätning.

2.1 Kodmätning och differentiell GPS

Kodmätning innebär att tiden det tar för signalen att gå från satelliten till mottagaren mäts genom att det i GPS-mottagaren skapas en kopia av satellitens kod. Den från satelliten mottagna koden jämförs därefter med den i mottagaren skapade koden och fördröjningen mellan koderna kan mätas upp med hjälp av tidsmarkeringar. Den uppmätta fördröjningen motsvarar den tid det tar för signalen att gå från satellit till mottagare. Med hjälp av den mätta tiden kan sedan avståndet beräknas, då signalens utbredningshastighet är känd.

Fördelarna med kodmätning är att mycket kort observationstid behövs, bråkdelen av en sekund. Metoden är ej beroende av kontinuerlig mätning och således ej så känslig för signalavbrott. Nackdelen är att absolut kodmätning ger låg positionsnoggrannhet, kring 100 meter i 95% av fallen enligt specifikationen för GPS-systemet. För att få bättre noggrannhet vid C/A kodmätning använder man sig av differentiell GPS (DGPS), vilket kan ge ett medelfel på 4-10 meter (enligt Hoffman-Wellenhof, Lichtenegger, Collins).

Vid differentiell GPS-mätning behövs en stationär mottagare, referensstation, samt en eller flera mobila mottagare. Referensstationen placeras på en känd punkt där den mäter avståndet till så många satelliter som möjligt. Som referensstation kan någon av de fasta referensstationerna i SWEPOS-nätet, se kapitel 3, användas. Satellitavståndskorrekationer kan sedan beräknas genom att det mätta avståndet jämförs med avståndet som beräknas med hjälp av koordinaten för den kända referenspunkten och positionerna för satelliterna. Om mottagarna inte är placerade för långt ifrån varandra, cirka 500 km (enligt Hoffman-Wellenhof, Lichtenegger, Collins), kommer fel i avstånden till satelliterna att bli ungefär lika stora för både referensstation och den mobila mottagaren och korrekationerna kan appliceras på den mobila mottagarens mätningar. Detta sker vanligen i realtid och korrektionsmeddelandet måste överföras via någon typ av kommunikationslänk som kan överföra digital data. Exempel på kommunikationslänk är radiolänk, telefonlinje eller satellitkommunikationslänk. Den mobila mottagaren placeras där positionen ska fastställas och måste ta emot minst fyra med

referensmottagaren gemensamma satelliter samtidigt. Mottagaren kan vara uppställd eller, som vid kinematisk mätning, i rörelse.

Korrektionerna kompenserar för fel gemensamma för de två mottagarna, de mottagaroberoende felen. Korrektionerna kompenserar inte för mottagarberoende fel.

Mottagarberoende fel orsakas bland annat av så kallad SA (Selective Availability), vilket innebär att USAs försvarsdepartement lägger till stör signaler som förvränger satelliternas klockinformation och kan ge försämrade data om deras banor och därigenom upphov till positionsfel. Enligt HMK, GPS brukar felet på grund av SA anges till 20-80 meter. Dessutom kompenseras för fördröjningar av signalen i troposfären och jonosfären. Fördröjningarna leder till fel i tidsmätningen och om de inte beaktas, kan de orsaka fel i avståndsbestämningen mot satelliterna på 2-20 meter respektive 5-150 meter, enligt HMK, GPS. Fel på grund av atmosfären blir störst vid låga elevationer. Korrektionerna blir mindre noggranna vid längre baslinje, något hundratal kilometer, eftersom inverkan av de ovanstående felen inte är exakt lika stora på referensmottagare och den mobila mottagaren.

En metod för att öka noggrannheten är så kallad bärvågsunderstödd kodmätning varvid bärvågen utnyttjas för att förbättra kodmätningen. Metoden bygger på att kodmätningen filtreras med den ur bärvågsmätningar beräknade ändringen i avstånd mellan satelliten och mottagarantennen mellan två epoker, så kallad integrerad Doppler. Det relativa medelfelet för den här typen av mätningar uppskattas till 0.5-3 meter (enligt HMK, GPS) beroende på avståndet till referensmottagaren och referenspunktens kvalitet.

2.1.1 Differentiell GPS med Ashtech Z-12

Ashtechs GPS-mottagare Ashtech Z-12 är en tvåfrekvensmottagare som mäter både på L1- och L2-signalerna. Referensstationens mottagare bestämmer avståndskorrektioner genom att subtrahera det mätta avståndet från det "sanna" avståndet, den beräknar differentiella korrektioner för upp till tolv satelliter. Det sanna avståndet fås genom att använda den kända positionen för referensmottagaren och de predikterade positionerna för satelliterna. Korrektionerna överförs vanligtvis i RTCM SC-104-format, se kapitel 3. Den mobila mottagaren subtraherar den mottagna korrektionen från dess mätta avstånd och använder det korrigerade avståndet för att beräkna positionen.

2.2 Bärvågsmätning

Bärvågen innehåller inga tidsmärken och fördröjningen kan inte mätas upp direkt som vid kodmätning. I GPS-mottagaren skapas istället en signal som har samma frekvens som GPS-systemets bärvåg. Avståndet mellan satelliten och mottagaren är ett antal hela bärvågsperioder plus en del av period. Satellitsignalen, vars frekvens är dopplerförskjuten, kombineras med den i mottagaren skapade signalen. Bestämning av delen av perioden sker genom fasmätning, den del av sist inkomna bärvågen som är kortare än en hel från satelliten mäts direkt av mottagaren. Antalet hela bärvågsperioder, så kallade periodobekanta, går inte att mäta utan måste beräknas. Se exempelvis, Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger, Collins.

Bärvågsmätning utförs vanligen som relativ mätning. Det behövs minst två mottagare. Vid kinematisk bärvågsmätning är den ena mottagaren placerad på en punkt med känd position,

referensmottagare. Den andra mottagaren, den mobila mottagaren, är i rörelse. Vid mätningens början bestäms periodobekanta och därefter måste den rörliga mottagaren ha låsning till minst fyra satelliter gemensamma med referensmottagaren. Observationsdata registreras i båda mottagarna samtidigt. Vid signalavbrott, som innebär att låsning till färre än fyra satelliter erhålls, behöver periodobekanta bestämmas på nytt. Positionerna efterberäknas vanligtvis men det kan även ske i realtid. Bärivåsmätningen är noggrann, medelfel på någon till några centimeter. Nackdelen är att metoden är känslig för signalavbrott, behöver fri sikt till satelliterna, och kräver bestämning av periodobekanta.

2.2.1 Kinematisk bärivåsmätning med efterberäkning i PNAV

PNAV (Precise Differential GPS Navigation and Surveying) är ett program för efterberäkning av GPS data, insamlade med Ashtechs GPS mottagare. PNAVs största fördel är möjligheten att lösa eller fixera periodobekanta medan mottagaren är i rörelse, så kallad "flygande bestämning av periodobekanta", vid tvåfrekvens bärivådata (L1 med P-kod, C/A-kod och L2 med P-kod). Därför behövs ingen initial bestämning av periodobekanta mot känd punkt. När PNAV bearbetar datan, utgör första 2-10 minuterna av en stabiliseringsperiod. PNAV löser då periodobekanta och får fram bra positioner. Vid mätning bör hänsyn tas till initialiseringsperioden innan själva mätningen börjar. Om låsning behålls efter initialiseringsperioden och satellitgeometrin förblir bra, behålls maximala noggrannheten för varje epok. PNAV ger också möjlighet att beräkna mätdata baklänges, och därigenom kan positioner även fås för initialiseringsperioden. Om låsningen tappas, speciellt om alla satelliter tappas, måste PNAV beräkna om periodobekanta när låsning mot satelliterna erhålles igen.

PNAV beräknar GPS-data differentiellt, med andra ord, PNAV beräknar positionen av den mobila mottagaren relativt till referensmottagaren genom att bearbeta den data som insamlats från båda mottagarna samtidigt tillsammans. Observationsdata består av både kod- och bärivåobservationer. PNAV använder alla observationer som finns tillgängliga.

PNAV är ett Kalmanfilterbaserat program som beräknar GPS-observationerna sekvensiellt. PNAV beräknar varje epoks råa mätdata genom kalmanfiltret och genererar en lösning för epoken. När Kalman filtret används vid bearbetning av kinematisk data, beräknar inte PNAV varje epok enbart med hänsyn till aktuell mätdata utan tar även hänsyn till tidigare mätdata. Detta baseras på att aktuell position är relaterad till föregående position, du kan inte komma hit från ingenstans. Därav blir lösningarna bättre efter stabiliseringsperioden och en stunds mätning då mer data har samlats in. Noggrannheten beror till stor del vilken typ av GPS-observationer som bearbetas. Bästa noggrannhet ger periodobekanta som är bestämda av tvåfrekvens kod och fasmätning, vilket ger noggrannheten 1-10 centimeter inom mindre än tio minuter om följande krav är uppfyllda:

- tvåfrekvens, fullvåglängds data
- PDOP < 4
- minimum av fem satelliter, helst sex satelliter
- ett minimum av periodbortfall
- baslinjelängd mindre än tio kilometer
- reflektionsfri omgivning

PDOP (position dilution of precision) är ett kvalitetsmått på satellitgeometrin. Vid lågt PDOP är satelliterna spridda på himlen och positioner kan bestämas noggrannare än om satelliterna är samlade inom ett litet område på himlen.

Även om inte alla ovan nämnda krav är uppfyllda, kan PNAV beräkna noggranna positioner bestämda med flytlösning eller mycket noggranna positioner bestämda med fixlösning. Fixlösning, eller heltalslösning, är resultatet från utjämnningen av data (dubbeldifferenser) från fasmätning på bärvågen, där antalet våglängder (periodobekanta) har fixerats till heltal. Flytlösning, eller flyttalslösning, är resultatet från utjämnningen av data (dubbeldifferenser) från fasmätningen på bärvågen, där antalet våglängder har lösts ut som flyttal.

Resultatets noggrannhet indikeras även av det så kallade RMS (Root-Mean-Square value), kvadratisk medelvärde, vilket är roten ur aritmetiska medelvärdet av de kvadrerade enskilda värdena.

3 SWEPOS

SWEPOS är ett nät av tjugo fasta referensstationer utspridda över hela Sverige med ett inbördes avstånd av cirka 200 km. En fast referensstation är en mottagare med känd position, där GPS data registreras kontinuerligt, vanligtvis var femtonde sekund, för att kunna distribueras i realtid eller i efterhand.

Stationerna består av en GPS antenn, placerad på en betongpelare, och en mottagare samt kringutrustning, bland annat för kommunikation, i en mindre byggnad bredvid.

Kod och bärvågsdata från samtliga stationer samlas dagligen ihop och lagras på SWEPOS servern. På LMVs driftleningscentral bearbetas datan och denna data är tillgängliga i formatet RINEX (Receiver Independent Exchange format) eller som rådata och går att hämta med modem eller genom datornät för användning vid efterberäkningar. RINEX är ett mottagaroberoende överföringsformat för GPS-data och är utvecklat vid universitetet i Bern.

I realtid kan man få datan i standardformatet RTCM SC-104 (Radio Technical Committee for Maritime services Special Committee 104), kallas även enbart RTCM-format. Det är ett format för överföring av korrektionsmeddelande i realtid från referensstation till GPS-användare vid differentiell GPS och relativ navigering och är utarbetat av Radio Technical Committee for Maritime services.

4 EPOS

EPOS är ett system för utsändning av differentiella GPS korrektioner över rundradionätet i realtid. För att få tillgång till korrektionerna får man köpa ett abonnemang av TERACOM, som ansvarar för systemet. Det finns två olika abonnemang att välja på. Det ena ger en positionsnoggrannhet på ± 2 meter i plan 95% av tiden, om GPS-mottagaren är tillräckligt bra, och det andra ger en noggrannhet på ± 10 meter.

Genom att avståndet till satelliterna mäts kontinuerligt vid referensstationerna, där positionerna redan är kända med hög noggrannhet, kan differentiella korrektioner beräknas vid varje referensstation, se kapitel 2.1.

Epostjänsten innebär att dessa differentiella korrektionerna från tolv av SWEPOS stationerna sänds till Kaknästornet i Stockholm via fasta ledningar och därifrån vidare ut till P3 sändarna över hela landet. Korrektionerna sänds ut genom RDS-kanalen på P3. RDS (Radio Data System) är en datakanal, som sänds tillsammans med det vanliga radioprogrammet. Den är främst avsedd för information om radioprogrammet som sänds. RDS-kanalen kan också användas för transport av annan information. Det mest kända är kanske vägtrafik informationen, som kan tas emot av en RDS-bilradio. Eftersom det finns utrymme över kan även differentiella korrektioner sändas ut. Dessa korrektioner kan sedan tas emot med hjälp av en speciell RDS-mottagare, Epos-mottagaren. Epos-mottagaren förmedlar sedan korrektionerna till den anslutna GPS-mottagaren. Korrektionerna är tillgängliga där P3 kan tas emot i stereo.

Varje FM-sändare skickar ut korrektionerna från den närmaste SWEPOS-stationen. Om fel skulle uppstå på någon referensstation, sänds istället korrektioner från den närmaste fungerande stationen. Korrektionerna sänds ut i standardformatet RTCM SC-104, vilket de flesta GPS mottagare kan använda sig av. EPOS mottagaren söker hela tiden efter den starkaste sändaren.

Genom en dator och programmet RTCMON kan man kommunicera med EPOS-mottagaren. Detta är ett så kallat monitoreringsprogram för RTCM-data. Genom att ansluta EPOS-mottagaren till en dator kan man med detta program studera de korrektioner som vanligtvis sänds till GPS-mottagaren. Dessutom ser man vilken frekvens mottagaren har låsning på samt styrkan på radiosignalen. Programmet kan även användas till att låsa mottagaren på en bestämd frekvens mot en bestämd FM-station. Korrektionerna kan antingen studeras direkt på datorns skärm eller sparas till en fil

När Eposmottagaren tappar kontakten med radiosändaren tar det lång tid att återfinna signalen eftersom mottagaren måste söka över flera frekvenser. På grund av detta kan man vilja låsa frekvensen.

5 Tröghetsteknik

Tröghetsteknik är en tredimensionell mätteknik, det vill säga positioner erhålls samtidigt i både plan (x,y) och höjd i önskat referenssystem. Det är en metod som används när stora mängder data ska samlas in snabbt och billigt med ett noggrannhetskrav på decimeternivå eller sämre. Faktorer som påverkar noggrannheten vid tröghetspositionering är bland annat utrustningens fabrikat/typ, avstånd mellan kända punkter, mät- och beräkningsmetod samt som vid all mätning användarens insikt och erfarenhet av teknikens möjligheter.

Fördelarna med tröghetstekniken är att den ger positioner kontinuerligt och är oberoende av fri sikt mellan punkter eller till satelliter samt att metoden är väderoberoende.

Tekniken bygger på principen att med hjälp av accelerometrar och gyron kontinuerligt mäta accelerationen i tre kända och inbördes vinkelräta riktningar. För detta utnyttjas två av Newtons rörelselagar. Tröghetslagen som säger att en kropp som inte påverkas av en kraft förblir genom sin tröghet i vila eller i likformig rörelse och accelerationslagen som säger att kroppens acceleration är proportionell mot den yttre kraften som påverkar kroppen.

I en accelerometer mäter man upp den kraft som påverkar en testmassa då mätutrustningen är i rörelse. Denna kraft (f) beror, förutom på den kraft som uppkommer vid acceleration eller retardation (a), på tyngdkraften (g) och på centrifugal- och corioliskrafter (c) vilka orsakas av jordrotationen.

$$f = m \cdot (a + c - g)$$

f = yttre kraft
m = massa

På detta sätt kan man beräkna accelerationen. Denna integreras över tiden två gånger för att få först hastigheten och sedan förflyttningen.

$$v(t) = \int a \, dt$$
$$s(t) = \int v \, dt$$

Gyronas funktion är att hålla plattformen horisonterad och att rikta plattformen mot norr samt att bibehålla riktningen under mätning. Ett gyro består av ett hjul eller skiva som roterar med hög hastighet. Om gyrots rotationsaxel utsätts för en yttre kraft vrider sig gyrot i en riktning vinkelrätt mot både rotationsaxeln och den yttre kraften. Gyrot svänger in mot norr eftersom det utsätts för minst kraftmoment i den riktningen på grund av jordrotationen. Detta kallas för norrsökning. Därefter strävar den att behålla denna axelriktning.

LMVs instrument heter ULISS 30 och är tillverkat av franska Sagem. Det består av tre accelerometrar och två gyron och är ett tröghetssystem som har en stabiliserad plattform av local-level typ. Detta innebär att plattformen är fritt upphängd, horisonterad i det lokala horisontalplanet och norriktad. Accelerometrarnas riktningar är alltså norr, öster och upp.

Innan mätning med tröghetssystem av local-level typ påbörjas, måste vissa förinställningar av systemet göras. Detta kallas alignment. Alignment tar med detta instrument 17-20 minuter och utförs på en lugn plats och innebär att temperaturen kring plattformen höjs till arbetstemperatur ($70 \pm 1^\circ\text{C}$), gyronas spinnhastighet uppnås och plattformen horisonteras och norriktas. Horisontering görs genom att med norr- och österaccelometrarna mäta utslaget i

horisontplanet. Detta orsakas av tyngdkraften, vilken endast verkar i vertikalled. Utslaget ska vara noll då plattformen är horisonterad och plattformen justeras tills detta har uppnåtts. Norrsökning sker som beskrivits ovan och fungerar bäst om utrustningens position är känd på 50-100 meter när i latitud, longitud och höjd. Efter alignment är utrustningen klar att användas för mätning i 2,5-3 timmar, innan samma procedur måste upprepas.

För att reducera effekten av drift i gyron och accelerometrar och variationer i jordens tyngdkraftfält under mätningen och därigenom få hög noggrannhet stannas fordonet med jämna mellanrum på cirka tre minuter för så kallad ZUPT (zero velocity update). Under ZUPT mäts plattformens lutning och ackumulerat hastighetsfel upp. Därefter horisonteras plattformen på nytt tills utslaget i norr- och östaccelerometern är noll, hastigheten ska vara noll vid stopp och då den inte är det kan man uppskatta driften i accelerometrarna, och uppmätt förflyttning från föregående ZUPT korrigeras. En ZUPT varar cirka en halv minut.

Vid beräkning av tröghetsmätning måste korrektion ske för följande systematiska fel:

- skalfel i accelerometrarna
- gyrot har inte riktigt hittat norriktningen vid alignment
- gyrot har drivit och ändrat plattformens riktning under pågående mätning
- slumpmässiga fel

För detta krävs minst fem, över mätsträckan jämnt fördelade kända punkter som hålls fast i utjämningen. Inverkan av andra fel t ex bristande rätvinklighet mellan de tre accelerometrarna minimeras genom att ha en kontrollerad och kalibrerad utrustning.

5.1 Samutnyttjande mellan GPS- och tröghetsteknik

Vid mätning bör man börja och sluta i en känd anslutningspunkt. Detta för att få bra kända punkter vid efterbearbetningen, utjämningen av tröghetsdata. Anslutningar bör även göras i mellanpunkter med fem kilometers mellanrum och dessutom i distinkta brytpunkter då hög noggrannhet, fem till tio centimeter, eftersträvas (enligt Schell). En distinkt brytpunkt kan beskrivas som en punkt varifrån man ändrar fortsatt mätningsriktning, till exempel från att först åka mot norr och därefter mot söder.

En anslutningspunkt kan vara en koordinatbestämd fysisk punkt som tröghetsbilen måste uppsöka eller en ny punkt bestämd genom GPS. En utveckling av att använda GPS för att få fram kända positioner till tröghetsmätningen är att använda kinematisk bärvågs-mätning med beräkning i PNAV. Detta görs genom att samla in GPS-data samtidigt som tröghetsmätningen utförs. GPS-data samlas in kinematiskt på vanligt sätt i mottagare eller i en till mottagaren ansluten dator med till exempel en sekunds intervaller. Tröghetsdata samlas in med intervallet 0.16 sekunder vid rörelse och endast en registrering görs vid varje ZUPT. Metoden bygger på PNAVs möjligheter att ur insamlad GPS-data bestämma periodobekanta då antennen varit i rörelse (flygande bestämning av periodobekanta) relativt en lokalt uppställd referensmottagare. De positioner av god kvalitet som man får fram på detta sätt används därefter som kända i utjämningen av tröghetsdata.

För att vid utjämningen kunna använda gemensamma data för GPS och tröghet måste data dels vara i samma koordinatsystem och dels ska de två tidsserierna synkroniseras. I PNAV beräknas

koordinater i SWEREF 93 som sedan transformeras till RT90/RH70. Tröghetstekniken ger koordinater direkt i RT90/RH70.

För att få ett samband mellan tidsserierna sänds signaler från tröghetsdatorm för vissa kända tidpunkter i tröghetsdata till GPS-mottagaren, där signalen tidsmärks i GPS-tid och lagras i den så kallade fotogrammetrifilen. Fotogrammetrifilen används för att få minst en känd gemensam tidpunkt för de båda systemen. Därefter beräknas en tidsfunktion som en linjär regression för att få GPS positionerna till tröghetstid så att utjämning kan utföras.

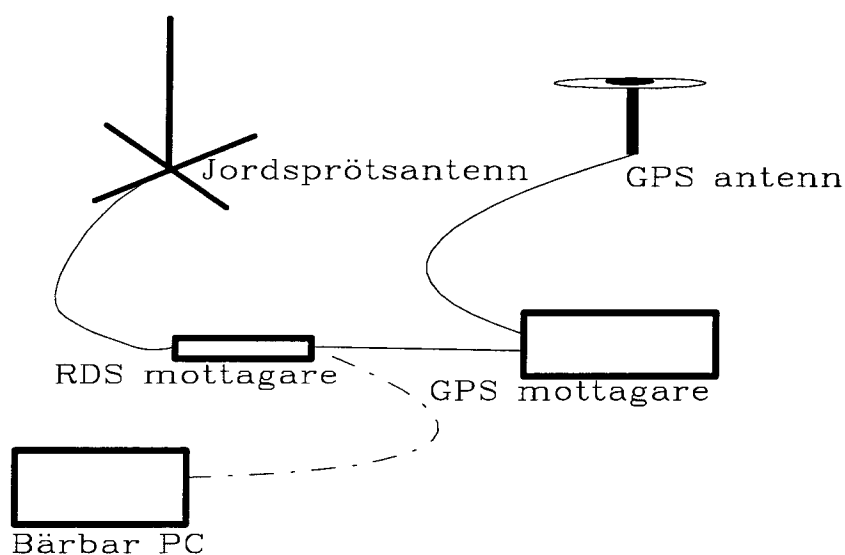
Fördelen med att använda detta samnyttjande mellan bärvågsmätning och tröghetsteknik är att metoden ger positioner kontinuerligt även där signalavbrott skett och att man slipper ansluta mätningen på befintliga kända punkter.

6 Översiktlig test av RDS mottagning

6.1 Test med GPS-mottagare

6.1.1 Metod och utrustning

Vid mätningarna användes Högskolans GPS-mottagare Ashtech-Z12 tillsammans med Eposmottagaren RDS 3000. GPS-antennen och en radioantenn med jordplansspröt monterades på en platta som fästes vid ett vanligt takräcke på bilen, en Talbot skåpbil. Skåpet är av plast och detta ska inte ge några reflektioner av GPS-signalen. Antennerna anslöts till respektive mottagare och mottagarna placerades inuti bilen. En bärbar dator anslöts tillfälligt till RDS-mottagaren för att låsa frekvensen.



Figur 1 Utrustning vid test av RDS mottagning med hjälp av GPS-mottagare.

RDS-mottagaren har ett plåthölje och har dimensionen $2.5 \times 10 \times 13$ centimeter och på mottagaren finns två lysdioder, en röd och en grön. Den gröna dioden blinkar kontinuerligt vid bra mottagning, den röda dioden indikerar fel vid överföringen av korrektioner. Detta kan utnyttjas för att få en uppfattning om hur radiomottagningen är vid mätningstillfället. För att kunna studera när RDS-mottagaren tar emot korrektioner mer ingående kopplades den ihop med GPS-mottagaren. I GPS-mottagaren beräknas positionerna varje sekund och därefter lagras dessa i mottagarens B-fil. När mottagaren är inställd för att göra beräkningar med korrektioner och inga korrektioner erhålls, eller de erhållna korrektionerna är äldre än den

åldersgräns som sätts i GPS-mottagaren, så beräknas ingen ny position utan istället lagras den gamla positionen igen. Detta utnyttjades för att bestämma var RDS bortfallet skett. Nackdelen med att använda GPS-mottagaren är att den måste ha fri sikt till minst fyra satelliter samt att PDOP inte får vara för högt för att nya positioner ska beräknas. Gränsen för hur högt PDOP får vara kan ställas in. Högsta värdet på PDOP kan då sättas till 99. I B-filen finns förutom koordinaterna även uppgift om hur många satelliter som använts vid beräkningen samt PDOP. Med hjälp av dessa uppgifter kan man bestämma vilka oförändrade koordinater som beror på RDS bortfall och vilka som beror på för få satelliter eller för högt PDOP.

6.1.2 Planering och genomförande

En slinga för vårt första försök valdes som gick från Lantmäteriverket genom staden ut mot Bönan vidare mot Harkskär-Utnora-Björke-Oppala-Åbyggeby-Stigslund-Sätra och tillbaka till Lantmäteriverket, se karta 1. Denna skulle representera olika förhållanden som stad, skog och öppen terräng. Åldergränsen på de differentiella korrektionerna sattes till tio sekunder i GPS-mottagaren och RDS-mottagaren låstes mot Gävle sändaren på 99.8 Mhz, som får differentiella korrektioner från SWEPOS-stationen i Mårtsbo. Mottagning mot andra sändare provades men signalerna från dessa var för svaga. Under körningen gjordes minutmarkeringar på karta över sträckan för att senare kunna se var RDS-bortfallen skett. Vid andra försöket ändrades sista delen av slingan så att den från Björke fortsatte direkt till Strömsbro efter gamla E4:an där mottagaren stängdes av, se karta 1. Detta då RDS-mottagningen fungerat utmärkt i den öppna terrängen efter Björke vid det första försöket. De två försöken utfördes på två varandra följande dagar och under i stort sett samma satellitkonfiguration.

Vid de två första försöken gjordes mätningen inom en radie av 15 km från radiosändaren. Då det framkom av senare mätningar att RDS-mottagningen fungerade dåligt utanför en radie på cirka tjugo kilometer genomfördes en tredje mätning för att se hur långt från radiosändaren signal kunde mottagas. För testet användes samma utrustning och metod som vid test 1 och 2. Den dåliga mottagningen misstänktes bero på antennen och därför användes förutom jordsprötsantennen, A, dessutom en annan antenn, B, som tidigare används med gott resultat vid DGPS mätning till fots. Antenn B är en halv vågsantenn med spole istället för jordplan. Denna kunde inte att monteras på bilen, därför stannades bilen på bestämda ställen varvid antennen anslöts och mottagningen undersöktes. Jordsprötsantennen, A, användes när bilen stod stilla samt i rörelse mellan stoppen. RDS-mottagaren låstes under mätningen mot Gävlesändaren. Mätningen utfördes efter sträckan Gävle-Skutskär-Ålvkarleö och därefter kördes E4:an söderut så länge radiokontakt med sändaren erhöles. Stoppen gjordes på bestämda avstånd från radiosändaren, i början med längre intervall och efter 25 kilometer varje kilometer så länge jordsprötsantennen tog emot signaler. Därefter gjordes några stopp med längre avstånd där endast mottagningen med halv vågsantennen, B, undersöktes.

6.1.3 Resultat test 1 och 2

B-filen som erhålls vid mätningen är i binärformat. För att kunna studera mätningen omvandlas filen därför till en textfil i programmet BSHOW. I denna textfil får man sedan leta upp de tillfällen där positionen inte förändras. På grund av de stora datamängderna användes ett programmet, RDSBORT, programmerat av Anders Frisk se bilaga 3, för att upptäcka de uppdaterade koordinaterna. Programmet läser filen från BSHOW, tar fram de positioner som inte ändras och skriver dessa till en ny fil. Ur denna fil togs tiden fram dels för samtliga bortfall

dels för antalet bortfall på grund av dålig RDS-mottagning, se kapitel 6.1.1. Detta skedde manuellt.

	Test 1		Test 2	
	tid [s]	%	tid [s]	%
total tid	4000		2980	
alla bortfall	465	11.6	788	26.4
bortfall p.g.a. RDS	204	5.1	374	12.6
längsta bortfall p.g.a. RDS	51		56	

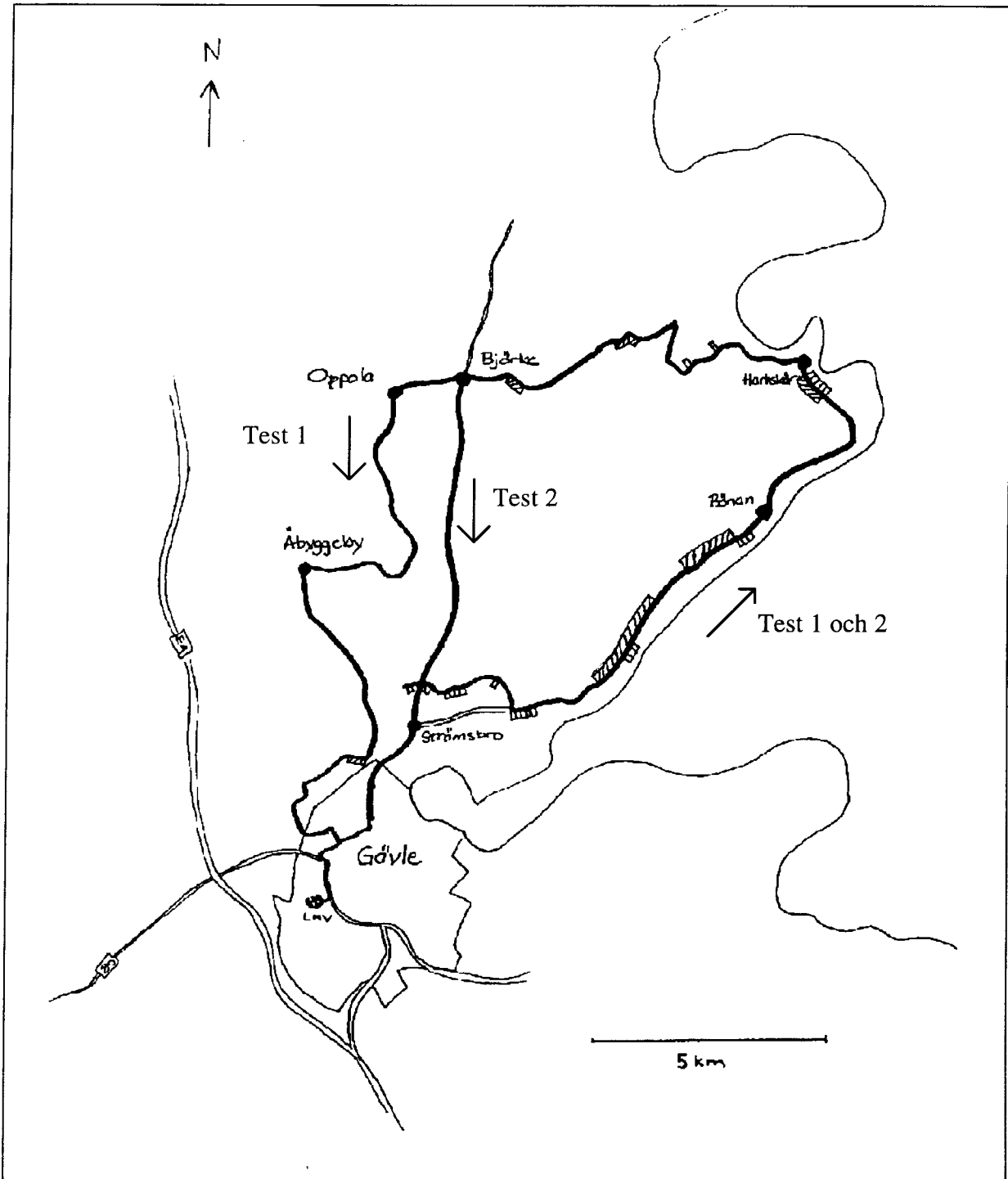
Tabell 1 Resultat av undersökning av RDS mottagning test 1 och 2.

Bortfall som inte beror på RDS-mottagningen berodde i första försöket på att PDOP talet översteg 40 och/eller antalet satelliter understeg 4. I första försöket var elevationsgränsen satt till 10°. Vid andra försöket eliminerades flera orsaker till bortfall genom att elevationsgränsen sattes till 0° och PDOP gränsen till maximala värdet 99. Då PDOP talet inte översteg denna gräns var det endast antalet satelliter som kunde förorsaka bortfall. Antalet bortfall blev trots det fler vid test 2. Både antalet bortfall totalt, 26,4 % mot 11,6 % samt de bortfall på grund av RDS, 12,6 % mot 5,1 %, blev fler. RDS-bortfallen verkar vara slumpmässiga. Vid de två försöken sammanfaller bortfallen endast vid två tillfällen, dels före Bönan och dels vid Harkskär. Bortfallen varade cirka en minut vid båda tillfällena, se karta 1.

6.1.4 Resultat test 3

Mottagningen med jordsprötsantennen (A) började bli dålig redan efter 15 kilometer. Den röda lysdioden på RDS-mottagaren, som indikerar fel vid överföringen av korrektioner, blinkade periodvis mycket. Rödblinket ökade med avståndet till radiosändaren efter detta avstånd. Vid 22,5 kilometer var första tillfället då GPS-mottagaren inte fick några korrektioner från RDS-mottagaren och efter 42 kilometer erhöles inga korrektioner med denna antenn, se tabell 2.

Med antenn B var mottagningen mycket bättre. Bästa mottagningen erhöles när antennen hölls horisontellt. Vid 41 kilometer blinkade den röda lysdioden för första gången. Gränsen för denna antenn verkar gå vid cirka 60 kilometer, se tabell 2. En anledning till det bättre resultatet med denna antenn är att den kunde riktas in så att bästa möjliga mottagning erhöles. Om antennen monterades fast på bilen skulle mottagningen antagligen bli sämre.



Karta 1 RDS bortfall vid test 1 och test 2. På kartan är RDS bortfallen markerade med sneda streck för test 1 och raka streck för test 2.

Avstånd km	Antenn A	Antenn B
10		
15		
i rörelse	tappar några sekunder	X
20		
i rörelse	tappar periodvis	X
22.5	tappar helt	
i rörelse	tappar en period på 36 s	X
25	tappar någon sekund	
i rörelse		X
26		
i rörelse		X
27	tappar helt	
i rörelse		X
28		
i rörelse		X
29		
i rörelse	tappar några sekunder	X
30	tappar en period på 20 s	
i rörelse		X
31		
i rörelse	tappar en period på 20 s	X
32		
i rörelse		X
33		
i rörelse	tappar innan stopp 15 s	X
34	får ej kontakt igen	
i rörelse	får kontakt innan stopp	X
35	tappar helt	
i rörelse	får kontakt , tappar sedan helt	X
36		
i rörelse		X
37		
i rörelse		X
38		
i rörelse	tappar innan stopp helt	X
39	hittar efter en lång stund	
i rörelse	tappar någon sekund	X
40		
i rörelse	tappar periodvis	X
41	tappar helt, får kontakt innan start	
i rörelse	tappar helt	X
42	får ej kontakt	tar en stund innan kontakt fås
i rörelse	får ej kontakt	X
43	får ej kontakt	
i rörelse	får ej kontakt	X
44	får ej kontakt	
51	X	tar 45 s innan kontakt fås
57	X	hittar direkt
65	X	tappar helt, hittar ej vid scanning
63	X	hittar ej, tappat helt
57	X	hittar efter 20 s

Tabell 2 RDS mottagning på olika avstånd från radiosändaren i Gävle, test 3. X = RDS mottagning ej kontrollerad.

6.2 Test med rtcmon´s textfil

Ett försök gjordes att registrera mottagningen till en textfil med hjälp av programmet RTCMON, se kapitel 4. Försöket gjordes efter den del av Bönavägen där radiomottagningen varit sämst vid test 1 och 2. I textfilen gick inte att upptäcka några avbrott. Antalet korrekationer var i stort sett lika trots att RDS-mottagaren hade blinkat rött under mätning. Det gick inte att få något grepp om informationen i filen. Då uppgiften var att få en allmän uppfattning av hur RDS mottagningen fungerade i olika miljöer, vilket vi fått genom att använda oss av GPS-mottagaren, lades inget mer arbete ned på denna metod.

6.3 Resultatutvärdering

RDS-mottagningen verkar fungera bra när avståndet till radiosändaren inte är för långt. För att mottagningen skall vara bra inom radiosändarnas hela normala täckningsområde, en radie på cirka 50-60 kilometer, krävs enligt vår uppfattning bättre antenn och känsligare RDS-mottagare. Valet av antenn verkar vara viktigt. En antenn avsedd för aktuell tillämpning bör användas. Under de två första försöken, som genomfördes inom en radie av 15 kilometer från sändaren, var mottagningen bra både i stadsmiljö och i öppen terräng. I tät skog förekom en del bortfall.

7 Jämförelse med bärvågsmätning

7.1 Metod och utrustning

Vid mätningarna användes samma utrustning som vid det tidigare testet av RDS-mottagningen. Det vill säga GPS-mottagaren Ashtech-Z12 tillsammans med Eposmottagaren RDS 3000. GPS-antennen och en radioantenn med jordplansspröt monterade på en platta fäst vid ett vanligt takräcke på bilen, se bild 1. Antennerna var anslutna till respektive mottagare som var placerade inuti bilen. För att minimera risken för reflektioner från biltaket så kallade flervägsfel användes en förlängningsstång mellan trefoten och GPS-antennen. En bärbar dator anslöts tillfälligt till RDS-mottagaren för att låsa frekvensen.

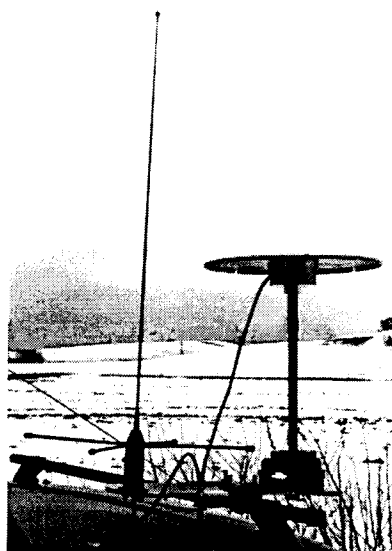


Bild 1 GPS-antenn och radioantenn monterade på takräcke.

GPS-mottagaren med antenn samlar in både koddata och bärvågsdata samtidigt. Koddata bearbetas i realtid i mottagaren och tillsammans med korrektionerna, från EPOS-mottagaren, beräknas en position fram varje sekund. Bärvågsdata används för att i efterhand beräkna samma positioner men med bättre noggrannhet. Koordinaterna från de olika beräkningarna jämförs därefter. Vid beräkning av kinematisk bärvågsmätning i PNAV ska man enligt manualen uppnå en noggrannhet under 1 decimeter vid bra förhållanden. Den förväntade noggrannheten för DGPS+RDS är 1-2 meter. Positionerna som beräknas fram från bärvågsmätningen kan därigenom användas som referens vid bestämning av noggrannheten på DGPS+RDS.

7.2 Planering och genomförande

För att erhålla bra resultat från den kinematiska bärvågsmätningen, som skulle användas som referens vid bestämningen av noggrannheten på DGPS+RDS, krävdes både öppen terräng och god satellittäckning. Förutom detta bör avståndet mellan den mobila mottagaren och referensmottagaren, för bärvågsmätningen, vara under tio kilometer för att erhålla bästa

resultat. För att få bästa möjliga förutsättningar för DGPS+RDS bör avståndet till referensstation och FM-sändare inte vara för långt.

Några olika alternativ undersöktes.

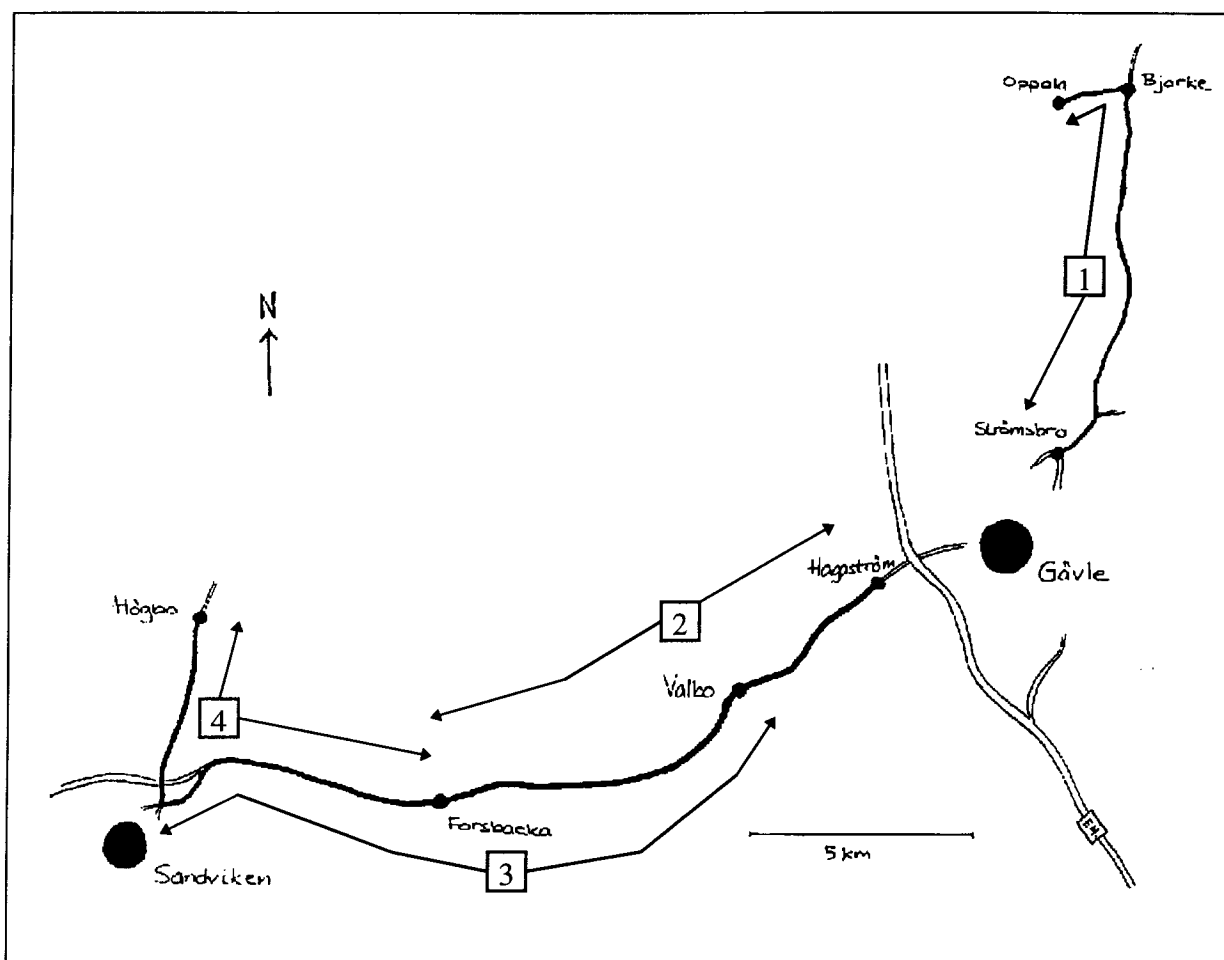
- E4 norrut mot Hagsta: Relativt mycket skog vid sidan av vägen men inte alldeles invid vägbanan. Efter en provtur konstaterades att förhållandena för bärvågsmätningar var för dåliga längs denna sträckning. Vid beräkning i PNAV erhöles fixlösning bara för cirka tio minuter av totalt en timmes mätning. Detta alternativ fick därför strykas.
- Tierp: Öppen åkermark, vilket ger mycket bra förhållanden för bärvågsmätningen. Området ligger cirka 45 kilometer från både radiosändaren och referensstationen och därför lämpligt för undersökning om det större avståndet påverkar noggrannheten. Även detta alternativ tvingades avskrivas, detta på grund av för dålig radiomottagning. Redan 25 kilometer från Gävle sändaren var förhållandena för dåliga för att erhålla några korrektioner. I Tierp provades mottagning även från andra sändare men signaler från dessa var ännu svagare.
- Gamla E4:an från Strömsbro till Björke och vägen mellan Björke och Oppala: Blandad skog och åkermark, öppen terräng framförallt runt Björke
- Riksväg 80 mellan Gävle och Sandviken: Motorväg, där långa etapper går över åkermark och på de delar där vägen går genom skog är avståndet till träden relativt stort.

Slutligen valdes de båda senare alternativen för detta test. För att få mer mätningar på det avstånd från radiosändaren, där mottagningen började bli dålig, togs även sträckan mellan Sandviken och Högbo med. FM sändaren i Gävle som sänder korrektioner från den fasta referensstationen i Mårtsbo användes.

För att inte få sämre resultat vid bärvågsmätningen på grund av för långa avstånd mellan referensmottagaren och den mobila mottagaren delades alternativet med motorvägen Gävle-Sandviken upp i etapper, se karta 2. För delen närmast Gävle användes antennen på LMVs tak. För resten av sträckan ställdes en mottagare upp vid avfarten mot Forsbacka. Positionen för denna mottagare bestämdes genom statisk mätning mot de fasta referensstationerna i Mårtsbo, Lovö och Sveg.

Tidpunkterna för mätning planerades så att det alltid fanns minst fem stycken satelliter och PDOP var under fyra.

Alla sträckorna kördes fram och tillbaka. På sträcka 3, Valbo-Sandviken, hände något med GPS mottagaren. Den tog inte emot några signaler från någon satellit under två längre perioder, på vardera cirka fem minuter. Detta berodde antagligen på antensladden till GPS-mottagaren. Efter byte av antensladd fungerade mottagningen bra och hela sträckan kördes en gång till. De delar där mottagningen fungerat före antensladdsbytet användes i de fortsatta bearbetningarna.



Karta 2 Teststräckor vid undersökning av DGPS+RDS med bärvågsmätning som referens. 1) Gamla E4:an, 2)Hagström-Forsbacka, 3) Valbo-Sandviken 4) Forsbacka-Högbo.

Sträcka nr:	1	2	3	4
	Gamla E4	Hagström-Forsbacka	Valbo- Sandviken	Forsbacka- Högbo
Referens-mottagare till bärvågsmätning	LMV tak	LMV tak	avfart Forsbacka	avfart Forsbacka
Avstånd Referens-mottagare.	4 - 11 km	3 - 13 km	0 - 7 km	0 - 6 km
Avstånd Mårtsbo referensstation	12 - 20 km	13 - 19 km	13 - 25 km	13 - 25 km
Avstånd radiosändare	8 - 15 km	4 - 13 km	6 - 19 km	13 - 19 km

Tabell 3 Sammanställning av mätområden vid undersökning av DGPS+RDS med bärvågsmätning som referens.

7.3 Beräkningar

I PNAV beräknades positionerna fram ur observationerna från den relativa bärvågsmätningen. För att uppskatta kvaliteten på beräkningen av en position kan man se på två saker. För det första om bestämningen av periodobekanta givit fixlösning eller flytlösning. För det andra storleken på det så kallade RMS värdet, se kapitel 2.2.1. Enbart de koordinater som beräknats fram med fixlösning och lägre RMS än 0.2 meter användes som referens. I tabell 4 visas medelvärden och standardavvikelsen av RMS-värdena för alla epoker på de olika sträckorna.

	Gamla E4	Hagaström-Forsbacka	Valbo- Sandviken	Forsbacka- Högbo
RMS medel [m]	0.044	0.051	0.039	0.064
RMS standard avvikelse [m]	0.013	0.017	0.013	0.031

Tabell 4 RMS från beräkningen av bärvågsmätning i PNAV.

Positionerna från DGPS+RDS beräknades i realtid i Astechmottagaren och omvandlades i efterhand i programmet Bshow från binärt till ascii-format. Dessa positioner och de som erhållits från beräkningen i PNAV är angivna i SWEREF93. För att kunna göra jämförelser i plan och höjd transformerades alla positioner i programmet Trans (LMV) till ett lokalt plant koordinatsystem. Koordinaterna jämfördes därefter i programmet Snoopy (LMV) med hjälp av enkel koordinatdifferens.

7.4 Resultat

Radiomottagning fungerade utmärkt (100%) på de tre första sträckorna och på den första delen av den fjärde sträckan, mellan Forsbacka och Sandviken. Mellan Sandviken och Högbo försvann dock RDS signalen periodvis helt, under ca 6% av den totala tiden för sträcka fyra.

När GPS-mottagaren inte fick några korrektioner till kodmätningen beräknades inte någon ny position medan koordinaterna från bärvågsmätningen fortfarande förändrades. Bilen färdades på denna sträcka med en hastighet av cirka 70 km/timme och därför blev avvikelsen mellan PNAV-positionen och den ej uppdaterade positionen från DGPS+RDS snabbt mycket stor.

Om åldersgränsen på korrektionerna satts högre, än de tio sekunder mottagaren var inställd på, hade mottagaren fortsatt att beräkna positioner ett tag till, eventuellt hela tiden, och avvikelserna hade inte blivit så stora. Därför gjordes även en beräkning för sträcka fyra där de stora avvikelserna beroende på detta bortogs. Även när dessa har tagits bort är avvikelserna större än för de tre tidigare mätningarna. När RDS-signalen kom fram var det ofta bara korrektioner för ett fåtal satelliter. Detta kan förklara de större felen för denna mätning.

		G:a E4	Hagaström- Forsbacka	Valbo - Sandviken	Forsbacka - Högbo	Forsbacka - Högbo utan RDS bortfall
95 % under	radiellt	1.210	0.826	1.287	212.945	4.605
	höjd	1.969	1.427	1.643	12.206	11.110
Medelvärde	x	0.036	-0.144	0.118	24.144	0.338
	y	-0.067	-0.111	-0.024	0.829	0.343
	h	0.057	0.038	-0.030	0.216	0.606
	radiellt	0.563	0.446	0.637	35.976	1.553
Standard avvikelse	x	0.580	0.384	0.635	154.388	2.519
	y	0.280	0.257	0.344	29.401	1.980
	h	0.963	0.711	0.883	4.355	4.142
	radiellt	0.323	0.218	0.361	154.885	2.843
Största absolut avvikelse	x	1.539	1.836	1.863	1196.378	14.394
	y	0.749	0.904	1.113	215.045	20.169
	h	3.151	2.334	3.840	21.265	21.265
	radiellt	1.553	1.965	1.863	1212.080	24.778

Tabell 5 Sammanställning av avvikelser vid jämförelse mot bärvågsmätning.

Avvikelseerna visas även i diagram, se bilaga 1.

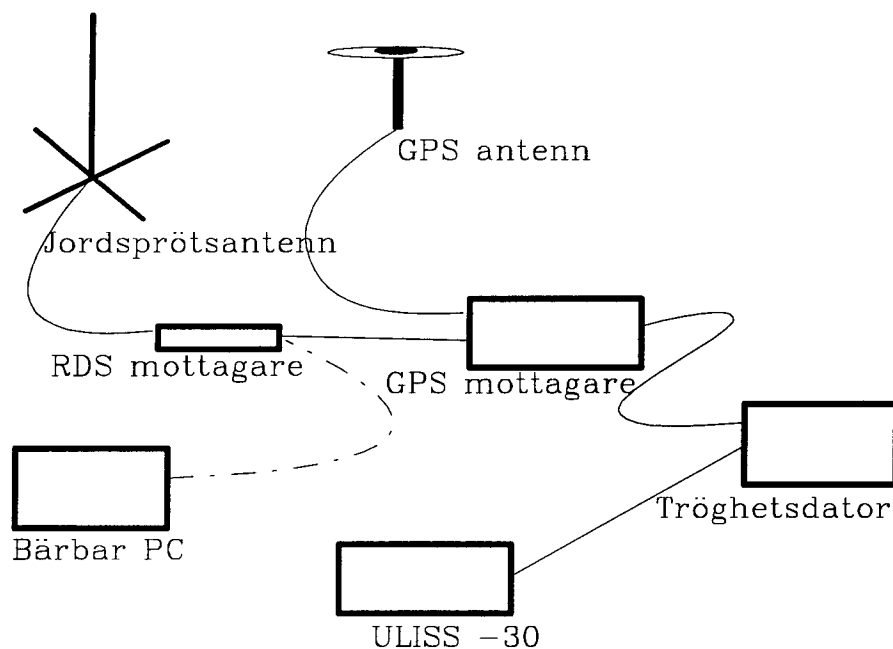
7.5 Resultat utvärdering

Försöken visar att där RDS mottagningen och kodmätning fungerar bra ger metoden en noggrannhet på strax över en meter i plan och cirka två meter i höjd 95% av tiden. Där RDS mottagningen av korrektioner är sämre blir också positionsnoggrannheten sämre. Vid försöket Forsbacka-Högbo där radiomottagningen var sämre blev noggrannheten runt ± 4.5 meter i plan och i höjd cirka ± 11 meter under 95% av tiden.

8 Jämförelse med tröghetsteknik

8.1 Metod och utrustning

Vid detta försök användes LMVs tröghetsbil. I denna bil finns en tröghetsutrustning, ULISS-30, som kopplats till en bärbar dator för lagring och beräkning av tröghetsdata. Dessutom användes GPS-mottagaren Aschtech-Z12 och Eposmottagaren RDS 3000. GPS- och radioantennerna monterades fast på bilens takräcke. GPS-antennen anslöts till GPS-mottagaren och radioantennen till RDS-mottagare. RDS-mottagaren kopplades därefter till en av GPS-mottagarens COM-portar och tröghetsdatorn till GPS-mottagarens kameraport. Se figur 2. I mätbilen har man definierat ett lokalt koordinatsystem, som har sitt origo i tröghetsplattformens centrum. I detta system är olika referenspunkter på bilen koordinat bestämda, däribland GPS-antennen som är bestämd på centimeternivå.



Figur 2 Utrustning i tröghetsbilen vid testet.

Liksom vid jämförelsen mot bärvågsmätningen samlar GPS-mottagaren in både kod- och bärvågsdata samtidigt. Bärvågsunderstödd kodata används till att beräkna positioner i realtid och bärvågsdata används för att i efterhand beräkna kända punkter till utjämnningen av tröghetsmätningen, se kapitel 5.1. Det går att ansluta till markerade kända punkter med hjälp av det mekaniska lodet på tröghetsbilen, men istället utnyttjas alltså GPS-mottagaren även till att bestämma kända punkter genom relativ kinematisk bärvågsmätning och beräkningar i

PNAV. Fler kända punkter kan därigenom användas vid tröghetsutjämnningen eftersom man inte är hänvisad till ett fåtal kända punkter utan också kan använda punkter som mäts när bilen är i rörelse.

Anslutningen till kameraporten används för tidssynkronisering av mätningarna. Från tröghetsdatorn sänds signaler till GPS-mottagaren, där de tidsmärks i GPS-tid och lagras i den så kallade fotogrammetrifilen. Denna synkronisering är nödvändig eftersom GPS-data lagras med en sekunds intervall medan tröghetsdata lagras med ett intervall av 0.16 sekunder och endast en gång under ZUPT.

8.2 Planering och genomförande

Syftet med tröghetsmätningen var att få en referens för beräkning av noggrannheten på DGPS+RDS även under svårare förhållanden där bärvågsmätning inte kan utföras. En sträcka valdes som gick genom öppen terräng, stadsmiljö och under broar, från Valbo genom centrala Gävle till industriområdet Näringen och tillbaka, se karta 3. Delen med bra förhållanden för GPS-mätning i öppen terräng, från Valbo till Hagaström, är en del av sträckan som mättes tidigare vid jämförelse mot bärvågsmätning.

Innan mätningen kopplades en referensmottagaren, för bärvågsmätningen, till antennen på LMVs tak. Differentiella korrektioner emottogs från den fasta referensstationen i Mårtsbo. Alignment gjordes i Valbo och tog cirka 40 minuter. Under körningen gjordes stopp för ZUPT med 3.5 minuters intervall. Vid några av dessa, där GPS mottagningen var bra, gjordes längre uppehåll, på cirka fem minuter, för att få bra data på bärvågsmätningen. Av för oss oförklarig anledning startade GPS-mottagaren om mitt under mätning, vid södra änden av Staketgatan, och en ny mätfil bildades. De båda filerna slogs ihop vid beräkningen och detta missöde påverkade inte den fortsatta mätningen.

8.3 Beräkning

Beräkningen av den kinematiska bärvågsmätningen gjordes i PNAV. Koordinaterna från PNAV transformerades till RT 90/RH 70 i två steg. Först med programmet GTRANS (LMV) till RT 90 och höjd över Besselellipsoiden och därefter beräknades höjderna i RH 70 i programmet GEODEN (LMV). Koordinaterna från DGPS+RDS togs fram ur B-filen med programmet BSHOW. Detta program skapar en fil med geocentriska koordinater (X,Y,Z). Innan transformationen till plan kunde göras måste dessa omvandlas till geodetiska koordinater (lat, long, H). Därefter skedde transformationen på samma sätt som för PNAV-positionerna.

I nästa steg utjämnades tröghetsdata, med punkter från bärvågsmätningen som kända, i programmet INTE (LMV). GPS-positionerna beräknades först till tröghetstid som en linjär regression så att utjämnningen kunde utföras. Utjämningsprogrammet använde bara de punkter där bra lösning erhöles vid GPS-beräkningen. Antalet kända punkter blev 709 stycken och de var väl fördelade över sträckan. De punkter som valdes ut som kända punkter hade efter PNAV-lösningen ett RMS under 0.15, PDOP låg under 3.5 och antalet satelliter var minst fem. Se kapitel 2.2.1 för förklaring av RMS och PDOP. Kända positioner fanns i stort sett från starten i Valbo, längs R80 fram till E4a bron, från bron till strax efter infarten mot högskolan efter Västra vägen. Därifrån blev det ett hopp på strax över en kilometer tills efter Nygatan. Från slutet av Nygatan till passage under järnvägsbron erhöles positioner igen och därifrån till

Närningen och tillbaka till järnvägsbron. Därifrån blev det igen ett hopp på nästan en kilometer längs Staketgatan. Från Staketgatan erhöles positioner fram till mätningen slut.

Programmet använde sig av fotogrammetrifilen för att hitta en gemensam tidpunkt i båda filerna. Därefter provades olika värden på tröghetsystemets tidsdrift och korrektion för synkronisering av tröghetsystemets klocka med GPS-tid för att nå den bästa lösningen. Vid utjämnings av tröghetsdata till de kända GPS-bestämda punkterna uppstår passfel, se tabell 6.

Under utjämnings gjordes även omräkning av excentricitet så att tröghetspositionerna hamnade i GPS-antennens centrum.

Efter utjämnings och innan koordinaterna från tröghetsmätning och DGPS+RDS jämfördes, beräknades de framräknade tröghetskoordinaterna om till GPS-tid för att kunna jämföras med DGPS+RDS. Koordinater interpolerades fram från tröghetsutjämnings 0.16 sekunders intervall till jämna GPS-sekunder. Detta gjordes också i INTE. Interpolation av tiden försämrar noggrannheten något, men noggrannheten torde vara bättre än två decimeter, enligt Martin Lidberg.

	Max (m)	Min (m)
x:	0.175	-0.148
y:	0.112	-0.199
h:	0.152	-0.200

Tabell 6 Passfel efter utjämnings av tröghetsdata med kända punkter bestämda med GPS.

plan:	0.068 m
höjd:	0.096 m

Tabell 7 Standardavvikelse av passfelen efter utjämnings.

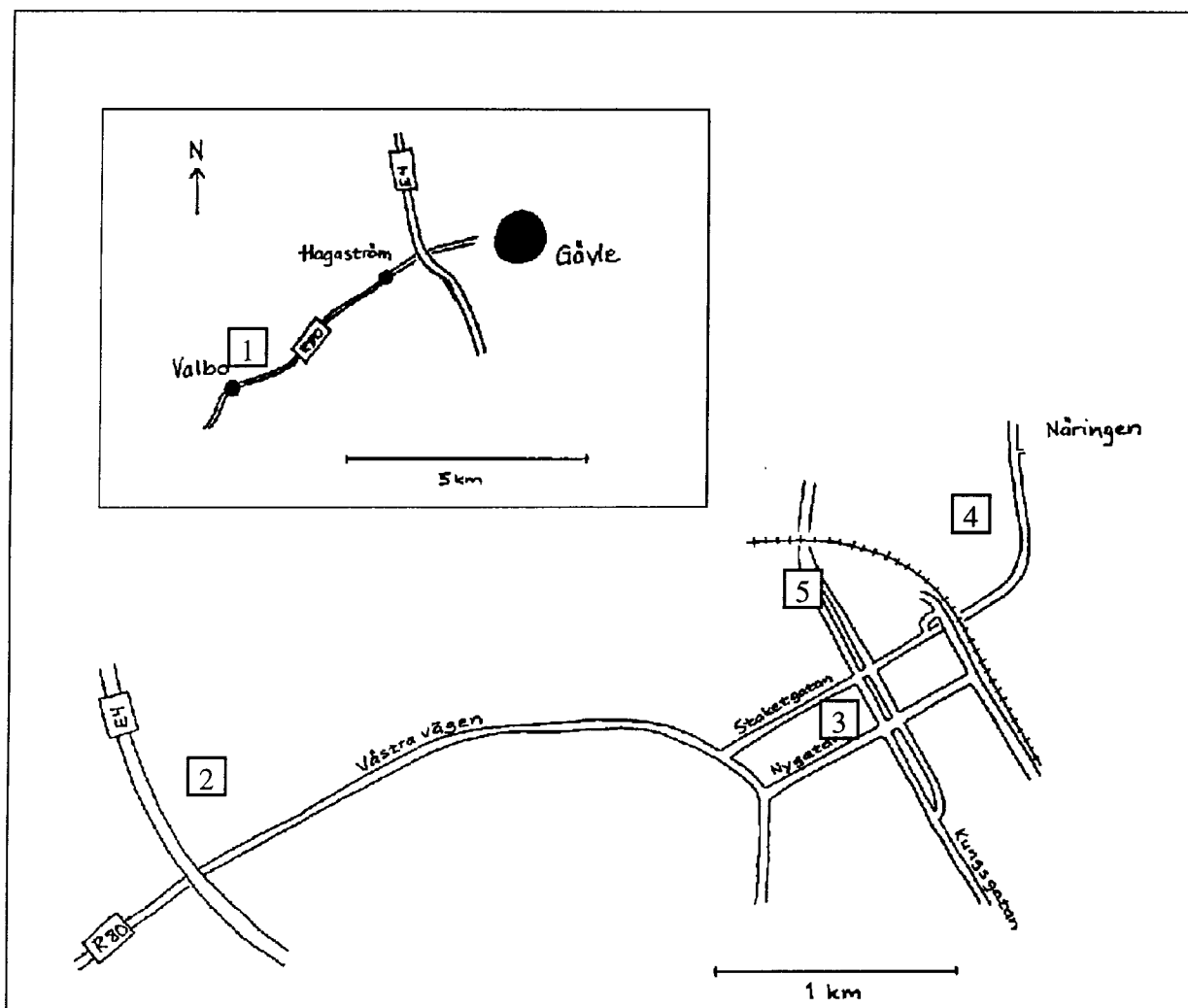
tidskorrektion:	-0.001 s
-----------------	----------

Tabell 8 Korrektion av tidsfunktionen - tröghetstid.

8.4 Resultat

Radiomottagningen fungerade hela tiden där GPS mottagaren tog emot satellitsignaler.

Vid några tillfällen tappade GPS-mottagaren helt kontakten med satelliterna. Det inträffade vid passage under två breda broar, under E4:an (2) och under järnvägen (4), samt längs Nygatan (3) där husen är höga. Efter Staketgatan (5) höll mottagaren låsning mot färre satelliter, ner till tre stycken, och avvikelserna blev stora. Både före och efter det att GPS-mottagaren tappade kontakten med satelliterna blev felet mycket större. Framförallt längs Nygatan där avvikelsen var ända upp till 220 meter i plan. De stora avvikelserna beror på att kodmätningen fungerade dåligt i den täta stadsmiljön.



Karta 3 Sträckan som kördes med tröghetsbilen. 1) bro vid Valbo, 2) bro E4:an, 3) Nygatan, 4) Järnvägsbro, 5) Staketgatan.

Två delsträckor studerades separat. En delsträcka där både kodmätningen och bärvågsmätningen hade låsning mot satelliterna hela tiden var på Näringsen. Avvikelserna blev lägre än tidigare jämförelser med enbart bärvågsmätning.

På delsträckan Valbo-Hageström blev avvikelserna större men fortfarande mindre än inne i staden. Största avvikelsen på denna sträcka blev vid passage under bron vid Valbo (1). Kodmätningen höll där låsningen mot nio satelliter förutom i en sekund, antagligen under bron, där satellitantalet sjönk till fyra medan bärvågsmätningen tappade satelliterna helt under 15 sekunder. Se även diagrammen bilaga 2.

		Hela sträckan	Delsträcka Näringen	Delsträcka Valbo-Hagaström
95 % under	radiellt	9.993	0.764	2.002
	höjd	3.071	1.105	2.294
Medelvärde	x	-0.735	-0.193	-0.385
	y	-0.432	-0.007	-0.369
	h	0.056	-0.041	0.091
	radiellt	1.912	0.405	0.775
Standard avvikelse	x	4.911	0.239	0.474
	y	6.287	0.337	0.519
	h	2.506	0.631	0.882
	radiellt	7.792	0.212	0.422
Största absolut avvikelse	x	112.809	0.824	2.096
	y	189.539	0.837	1.760
	h	53.168	1.759	6.438
	radiellt	220.570	0.959	2.115

Tabell 9 Sammanställning av avvikelserna med tröghetsteknik som referens.

8.5 Resultatutvärdering

Försöken visar att mottagningen av differentiella korrektioner via Epos-mottagaren RDS 3000 med extern antenn fungerar bra i stadsmiljö med höga byggnader och broar. Då en åldersgräns på korrektionerna satts till tio sekunder, visar försöken att denna gräns ej överskreds. Korrektioner som var tio sekunder eller yngre användes i dessa förhållanden, då GPS-mottagaren beräknade positioner. Höga byggnader och broar påverkar däremot kodmätningen och framförallt bärvågsmätningen. Metoden, DGPS+RDS, har gett en positionsnoggrannhet under en meter radiellt 95% av tiden där kodmätning och bärvågsmätning fungerat. Positionsnoggrannheten blir sämre då bärvågsmätningen inte fungerat, cirka två meter radiellt 95% av tiden. De stora avvikelserna radiellt för hela sträckan, se tabell 9, beror på att den bärvågsunderstödda kodmätningen inte gav tillräckligt bra positioner i hög och tät stadsmiljö. Metoden gav under vissa förhållanden inga positioner alls, då kodmätning inte fungerade. Detta skedde i trång, hög stadsbebyggelse och under broar. Positioner erhöles då inte under några kortare perioder på cirka 15 sekunder.

9 Slutsatser

Teracom utlovar en noggrannhet bättre än ± 2 meter i plan i 95% av fallen. I stort sett kan man säga att metoden ger denna noggrannhet, det vill säga, om radiomottagningen fungerar bra samt att förhållandena för GPS är relativt goda.

Inom en radie på femton kilometer från radiosändaren visade sig DGPS+RDS fungera bra med den antenn som användes vid försöken. Metoden gav bra positioner i förhållanden som öppen terräng, ej för tät skog och i ej för tät och hög stadsmiljö.

I hög och tät stadsmiljö blev resultatet sämre. Radiomottagningen med hjälp av EPOS-mottagaren begränsade inte GPS-mottagarens möjligheter att beräkna positioner. Det var snarare GPS som utgjorde begränsningen. Avvikelserna från referensen kunde uppgå till hundratals meter, trots att korrekationer yngre än tio sekunder använts, och periodvis gav DGPS+RDS-metoden inga positioner alls.

Jämförelsen med tröghetsteknik visar att då GPS-mottagaren mottar både bärvågs- och kodddata kan metoden ge en noggrannhet under ± 1 meter i plan och i höjd under ± 2 meter 95% av tiden. Då signalavbrott sker och bärvågsdata inte längre understödjer kodddata, försämras noggrannheten något, till ± 2 meter i plan.

Vid jämförelsen mellan DGPS+RDS och bärvågsmätning och på längre avstånd från radiosändaren, cirka tjugo kilometer, erhöles periodvis färre korrekationer och det gav upphov till större avvikelser på cirka ± 4.5 meter i plan. Förhållandena för GPS-mätning var bra, så det torde vara radiomottagningen som fungerade sämre.

Metoden, kinematisk differentiell bärvågsunderstödd kodmätning med differentiella korrekationer överförda via Teracoms Epostjänst från SWEPOS-stationerna, behöver utvecklas för att kunna användas i fält.

I praktiken måste en bil utrustad för ändamålet användas. Dels behövs färdiga konstruktioner för utrustningen inuti bilen, till exempel hållare till GPS-mottagaren, dels bör radioantennen kunna monteras fast direkt på bilen.

Det som kan hindra användningen av metoden är att inga korrekationer erhålls ibland. Metoden bör därför automatiseras med någon form av kontroll av inkommande korrekationer så att mätningarna kan stoppas och påbörjas igen, där korrekationer med önskad åldersgräns erhålls.

Rekommendationer på vilka antenner som är lämpliga för olika tillämpningar av EPOS-tjänsten borde tas fram, däribland en antenn avsedd för kinematisk mätning med bil.

Radiomottagningen var det stora problemet under våra försök och detta berodde antagligen på dålig antenn. Radiomottagningen var begränsad till en radie på cirka tjugo kilometer från radiosändaren, även om det bitvis gick att ta emot signaler på längre avstånd.

Ett intressant framtida examensarbete vore att se hur gamla korrekationer som kan användas vid kinematisk användning av EPOS-tjänsten. Hur mycket sämre noggrannhet ger äldre korrekationer?.

10 Källor och litteratur

Ashtech, Inc.: Astech™ Loking Into Prism, Document number 600116, revision B, Publication date 17 March, 1994

Astech, Inc.: Z-12 GPS Receiver Operating Manual, Document number 600224, revision B, Publication date May 1994

Becker, Lidberg, Nilsson, Olsson: Artikel "Tröghetspositionering inom Lantmäteriet", Svensk Lantmäteri Tidskrift, 1990:4

Featherstone, Will: Applications of GPS, Curtin University, Western Australia

Forsberg, Rene: Inertial Surveying Methods, Denmark, september 19-30, 1988

Hofmann-Wellenhof, Lichenegger, Collins: Global Positioning System Theory and Practice, third, revised edition

Kjellman, Staffan: PM "Semikinematisk GPS-mätning med bil", LMV, 1994-09-30

Lantmäteriverket, Geodesi 90: LMV-rapport 1990:1

Lantmäteriverket, HMK - Geodesi: GPS, Handbok till mätningkungörelsen, Gävle, 1993

Lantmäteriverket, HMK - Geodesi: Detaljmätning, Handbok till mätningkungörelsen, Gävle, 1994

Lantmäteriverket, PRISMA: Lantmäteriets kundtidning, Artiklar sidorna 4-9, nummer 2 1993

Lantmäteriverket, PRISMA: Lantmäteriets kundtidning, Artiklar sidorna 4-12, nummer 2 1995

Lidberg, Martin: PM "Idéer om samutnyttjande mellan GPS- och tröghetsteknik", LMV, 93-09-13

Lidberg, Martin: PM "I vilken ordning skall punkter väljas ut vid bildande av normalekvationer?", LMV, 94-08-03

Lidberg, Martin: PM "Forsatta idéer om samutnyttjande mellan GPS- och tröghetsteknik enligt PNAV-konceptet", LMV, 94-04-11.

Standardiseringskommissionen i Sverige, SIS: Svensk Standard SS637001, utgåva 2, nov 1994

Schell, Caroline: "Tröghetspositionering", LMV Gävle

Sjöberg, Jonsson, Hedling: "Presentation av DGPS via RDS", LMV Gävle

Teracom: Teknikinfo "Epos-differentiell GPS" November 1994

Weber & Tiwari: "Performance of a FM sub-carrier (RDS) based DGPS system"

Diagrammen visar avvikelserna för koordinater bestämda med DGPS+RDS med bärvågsmätning som referens.

Avbrotten på kurvorna visar att inga referenskoordinater från bärvågsmätningen erhöjts.

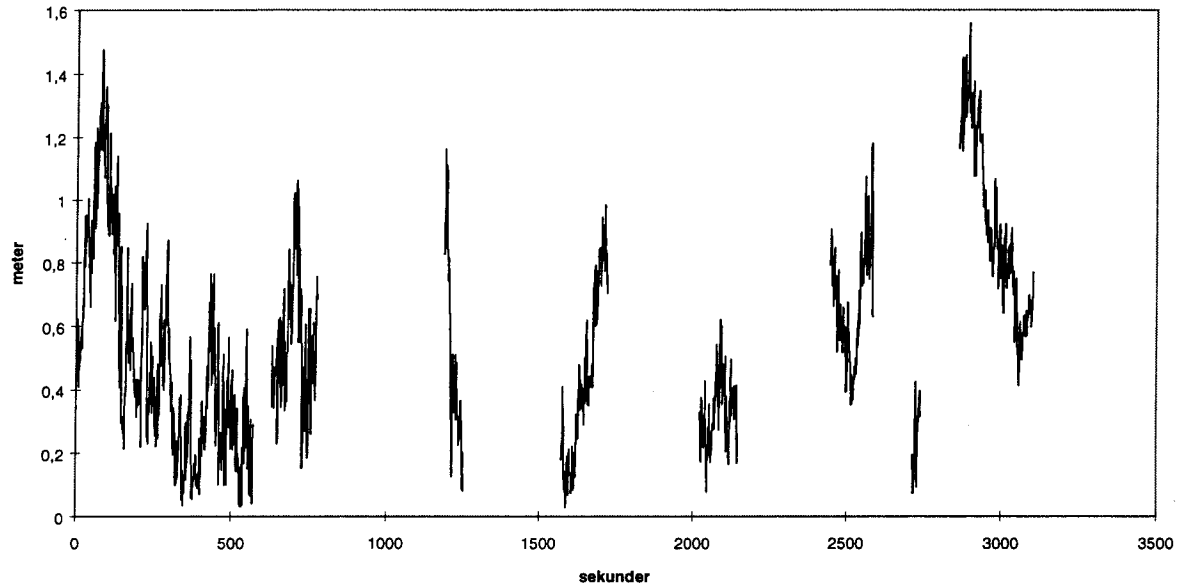


Diagram 1 Radiellt fel gamla E4:an med bärvågsmätning som referens.

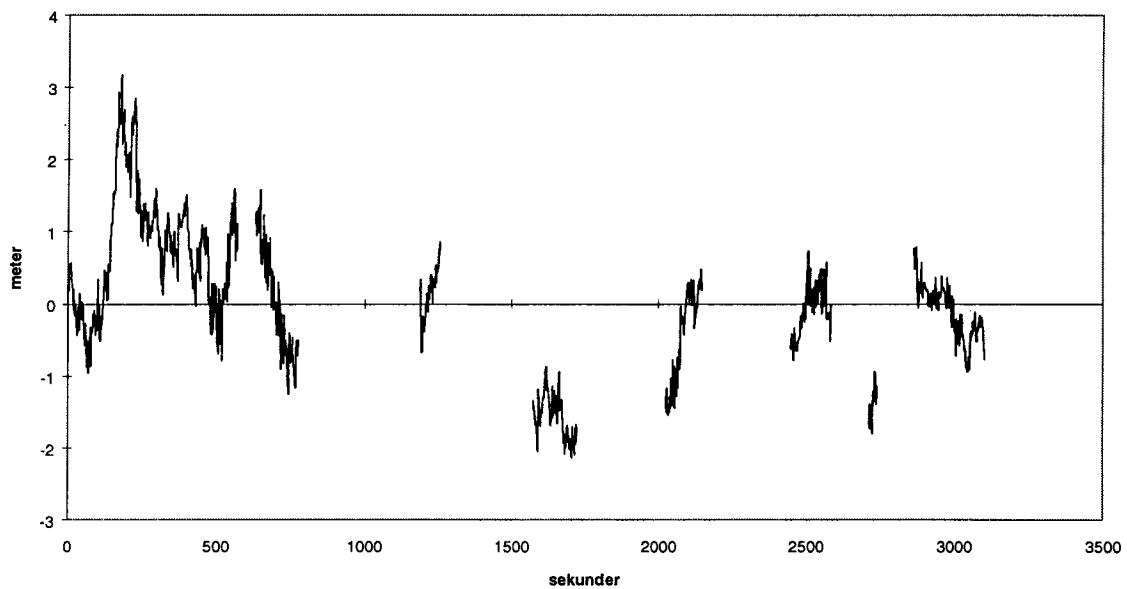


Diagram 2 Fel i höjd gamla E4:an med bärvågsmätning som referens.

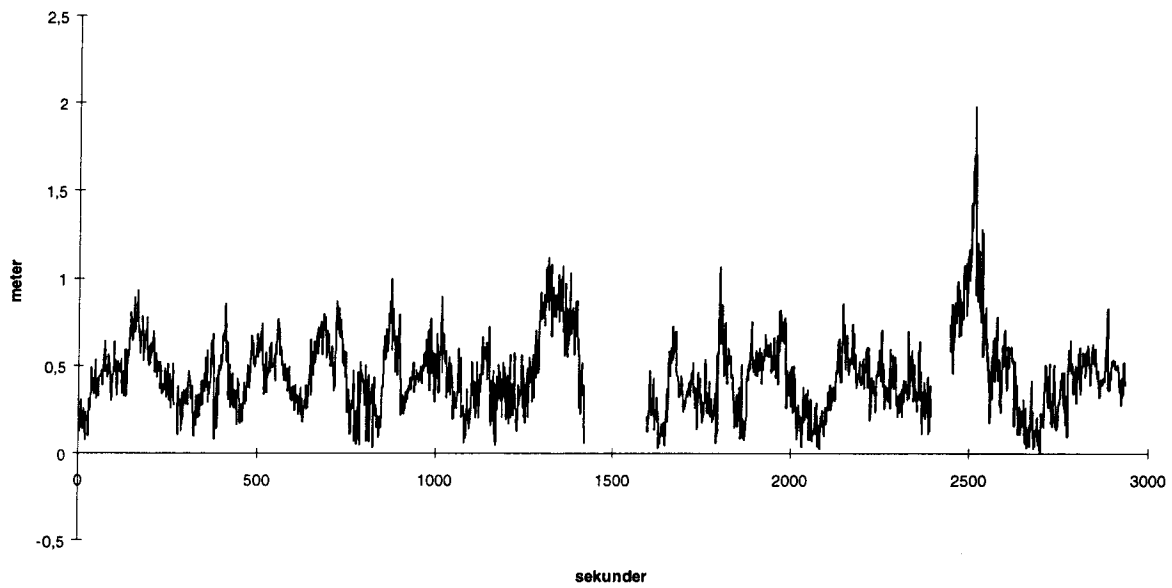


Diagram 3 Radiellt fel R80 Hogaström-Forsbacka med bärvågsmätning som referens.

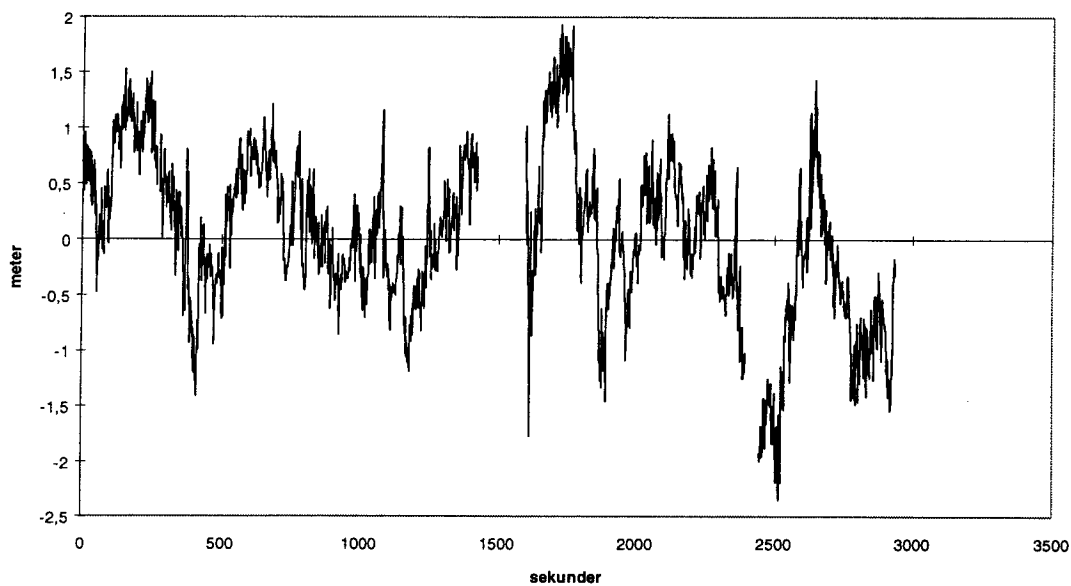


Diagram 4 Fel i höjd R80 Hogaström-Forsbacka med bärvågsmätning som referens.

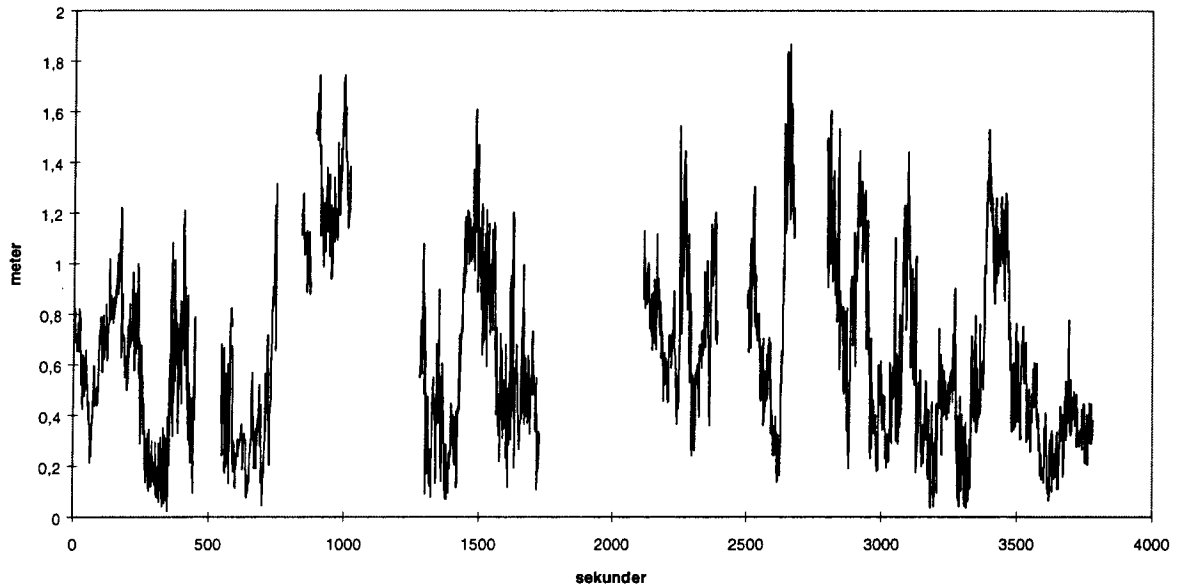


Diagram 5 Radiellt fel R80 Valbo-Sandviken med bärvågsmätning som referens. Vid cirka 2100 sekunder skedde antensladdsbytet. De två längre hoppen efter 1000 och 1700 sekunder är avbrotten som orsakades av antensladden.

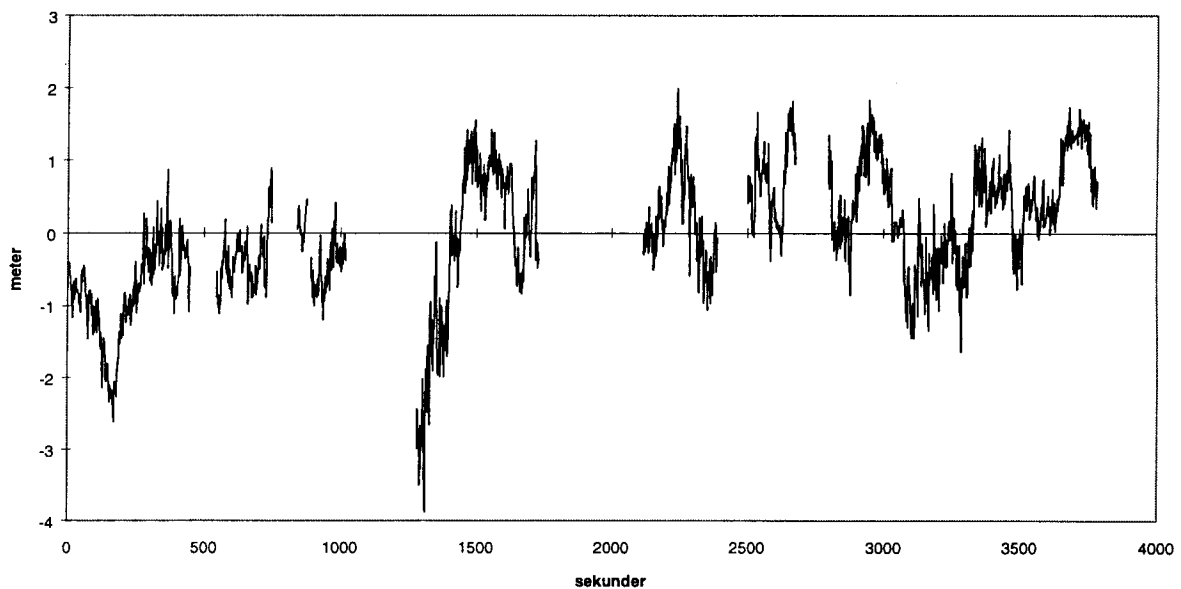


Diagram 6 Fel i höjd R80 Valbo-Sandviken med bärvågsmätning som referens.

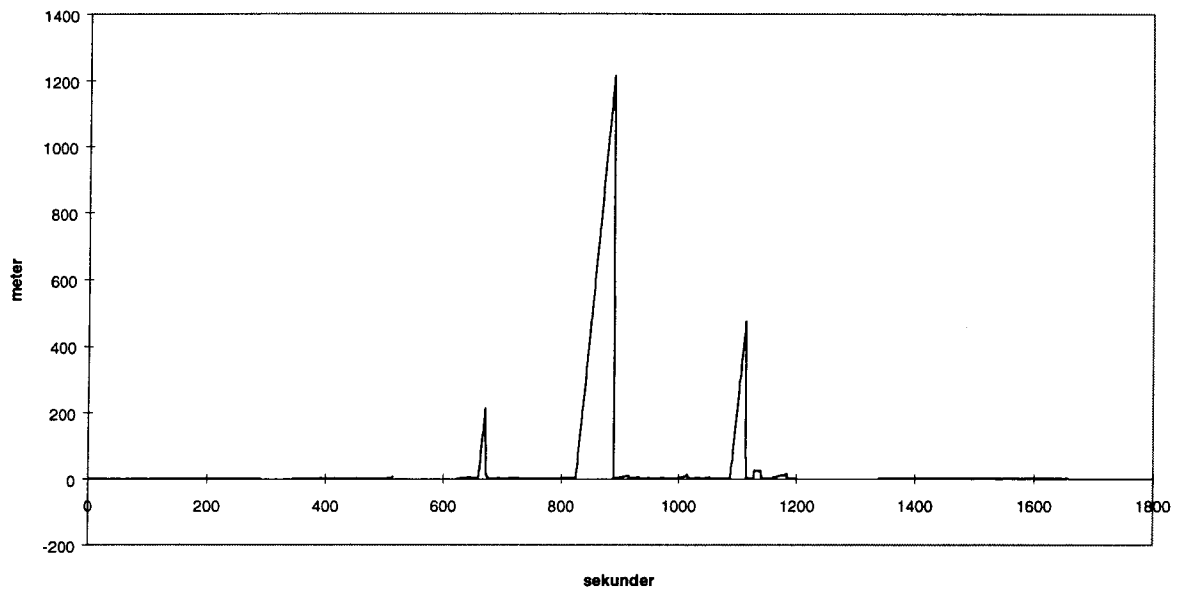


Diagram 7 Radiellt fel Forsbacka-Högbo med bärvågmätning som referens.

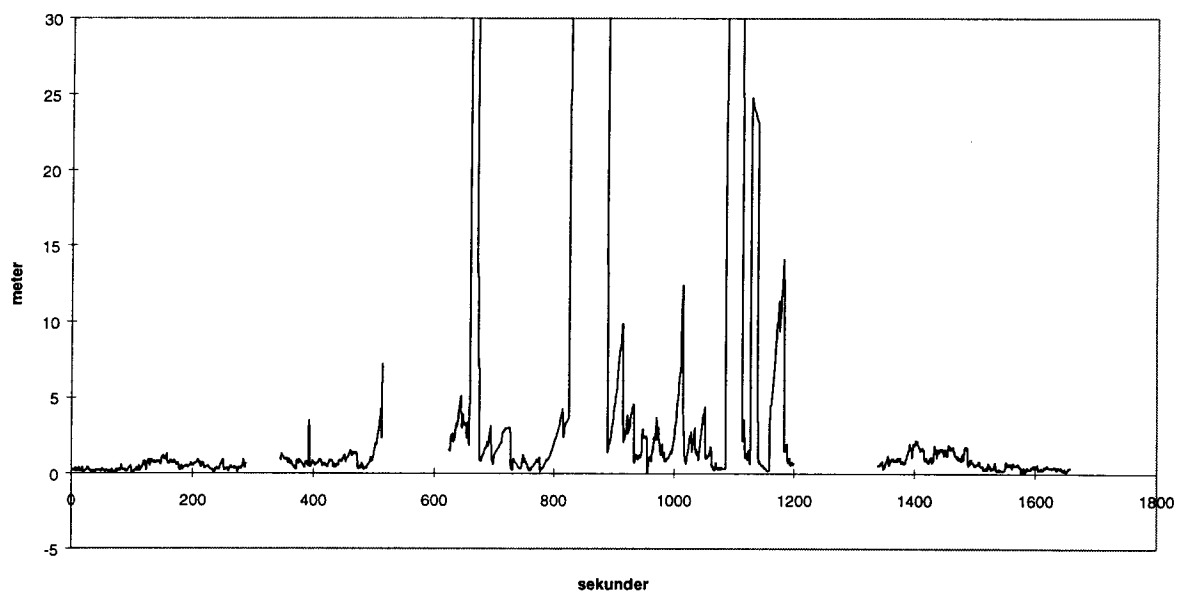


Diagram 8 Radiellt fel Forsbacka-Högbo med bärvågmätning som referens. Kurvan avskuren vid 30 meter för att visa de mindre avvikelserna.

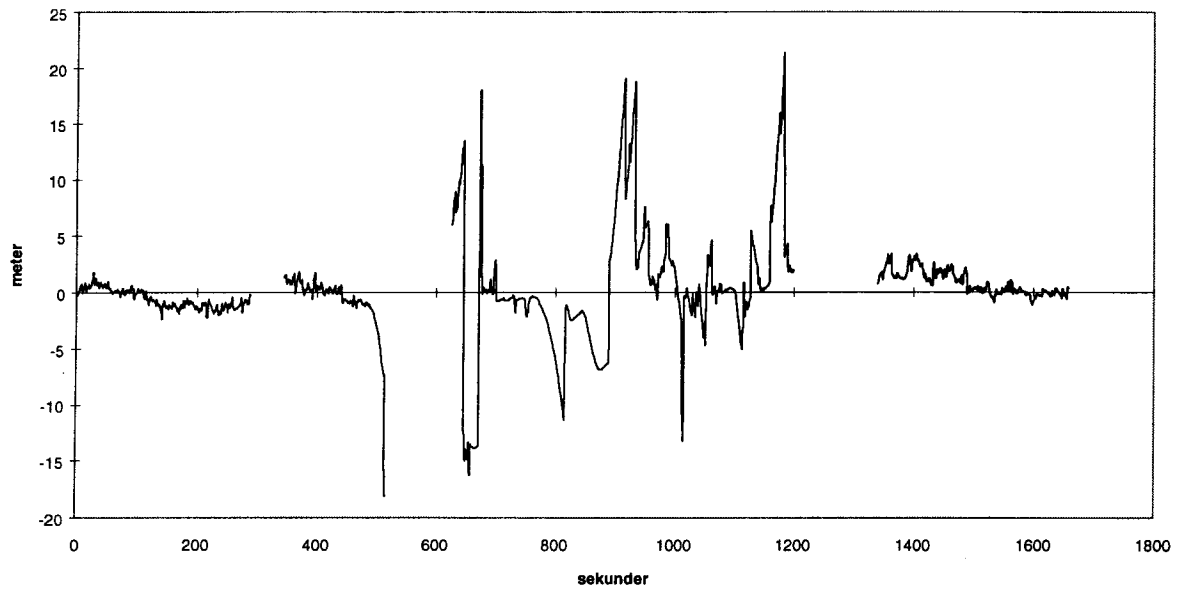


Diagram 9 Fel i höjd Forsbacka-Högbo med bärvågsättning som referens.

I diagrammen visas avvikelserna från koordinater bestämda med DGPS+RDS med tröghetsteknik som referens.

Minusvärde på meterskalan visar att där har inga positioner erhållits med DGPS+RDS under mätningarna.

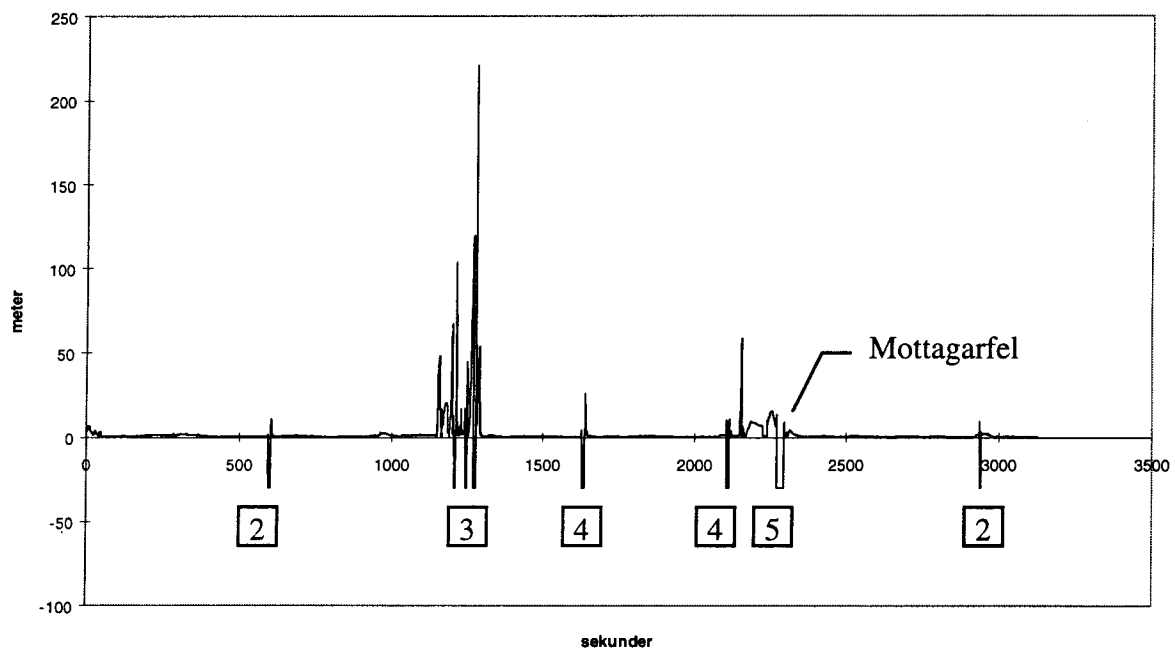


Diagram 1 Radiellt fel hela sträckan med tröghetsteknik som referens. Vid minusvärde har DGPS+RDS inte fungerat, förutom vid 2300 s där GPS mottagaren startade om. 1) bro vid Valbo, 2) bro E4:an, 3) Nygatan, 4) Järnvägsbro, 5) Staketgatan.

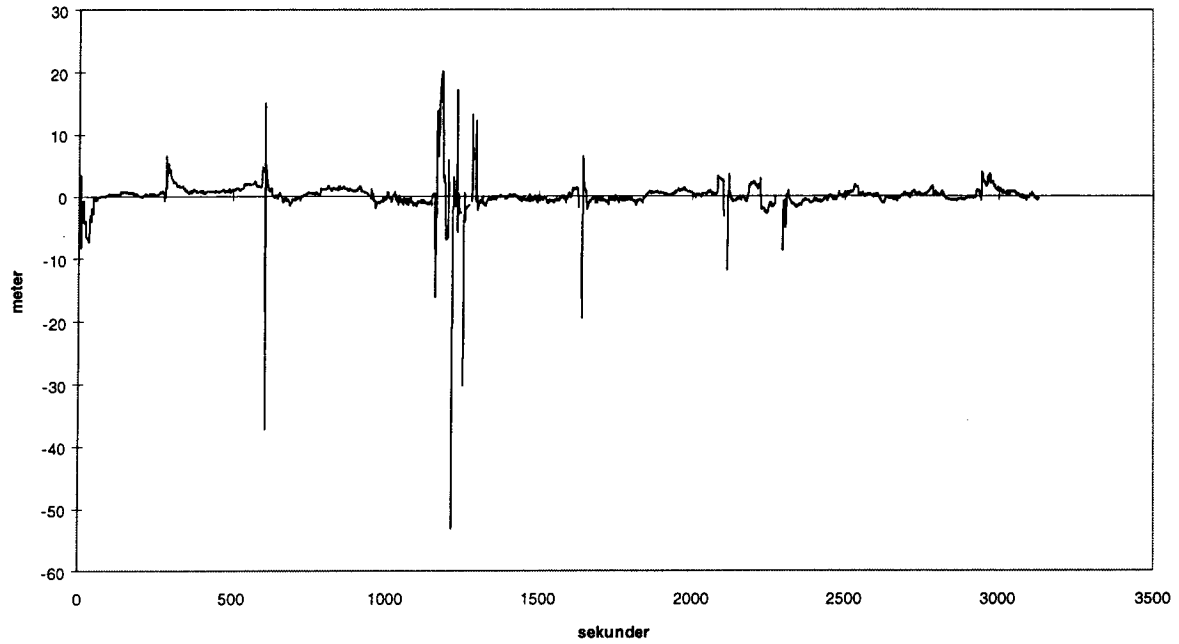


Diagram 2 Fel i höjd hela sträckan med tröghetsteknik som referens.

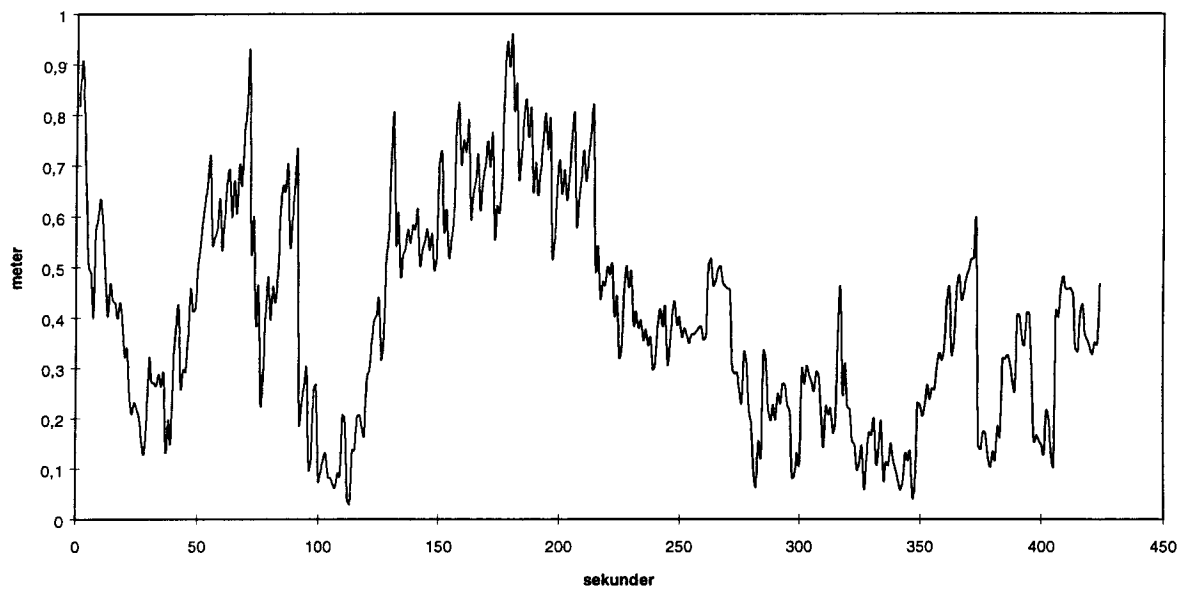


Diagram 3 Radiellt fel vid Näringen med tröghetsteknik som referens. Största absoluta avvikelserna är 0.959 meter.

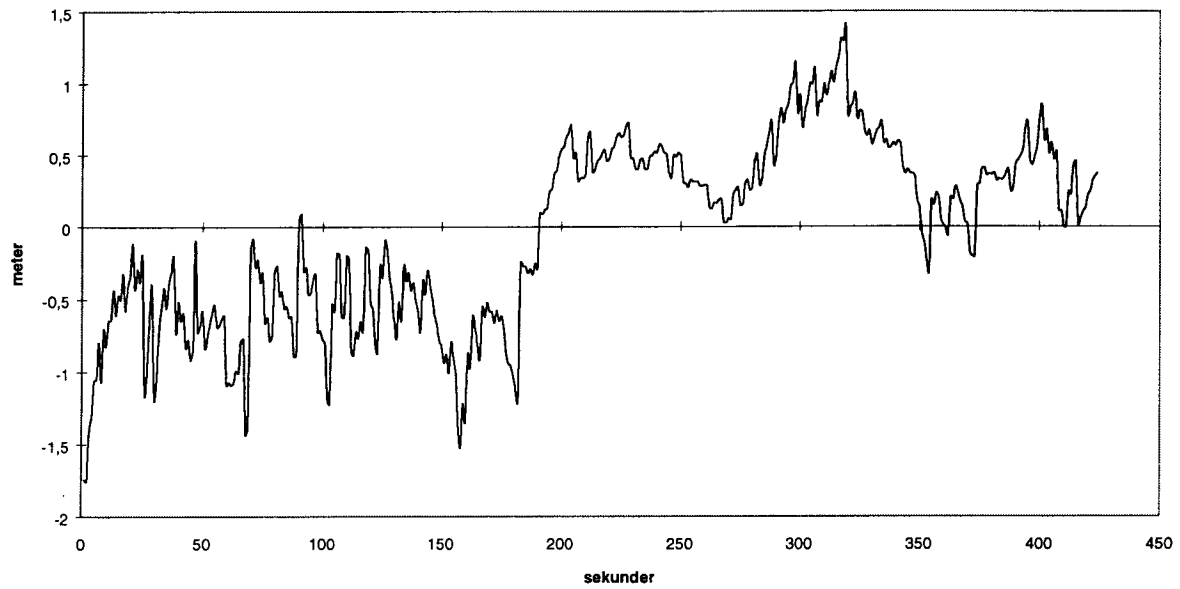


Diagram 4 Fel i höjd på Näringen med tröghetsteknik som referens.

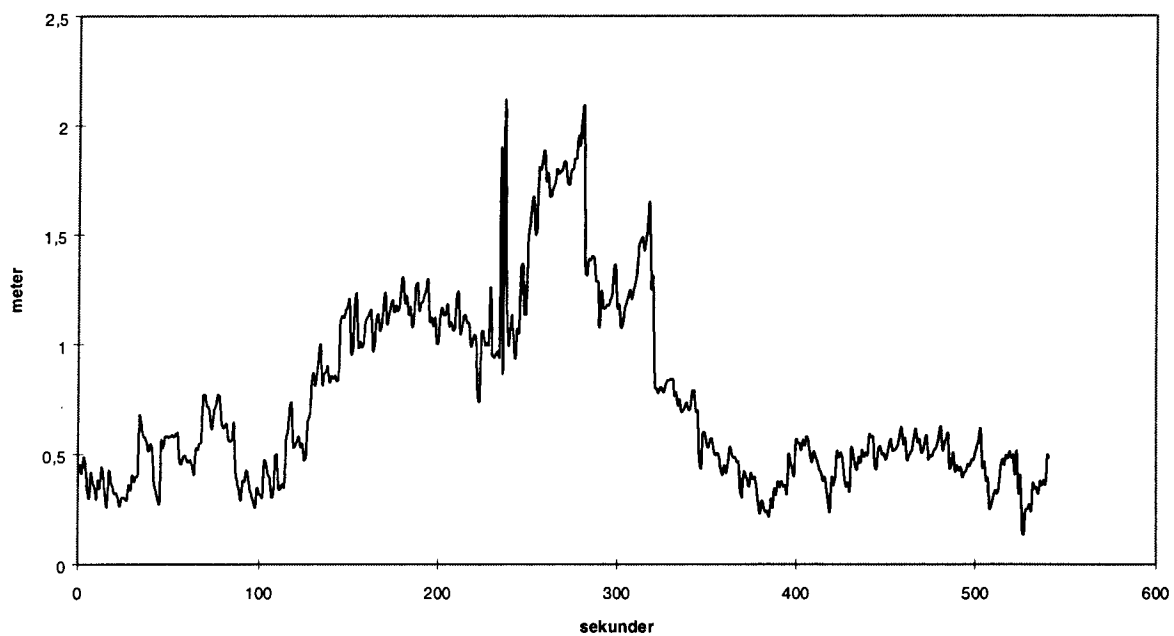


Diagram 5 Radiellt fel Valbo-Hagatröm med tröghetsteknik som referens. Största absoluta avvikelserna är 2.115 meter och inträffar när bärvågen upphör att understödja kodmätningen under Valbo bron.

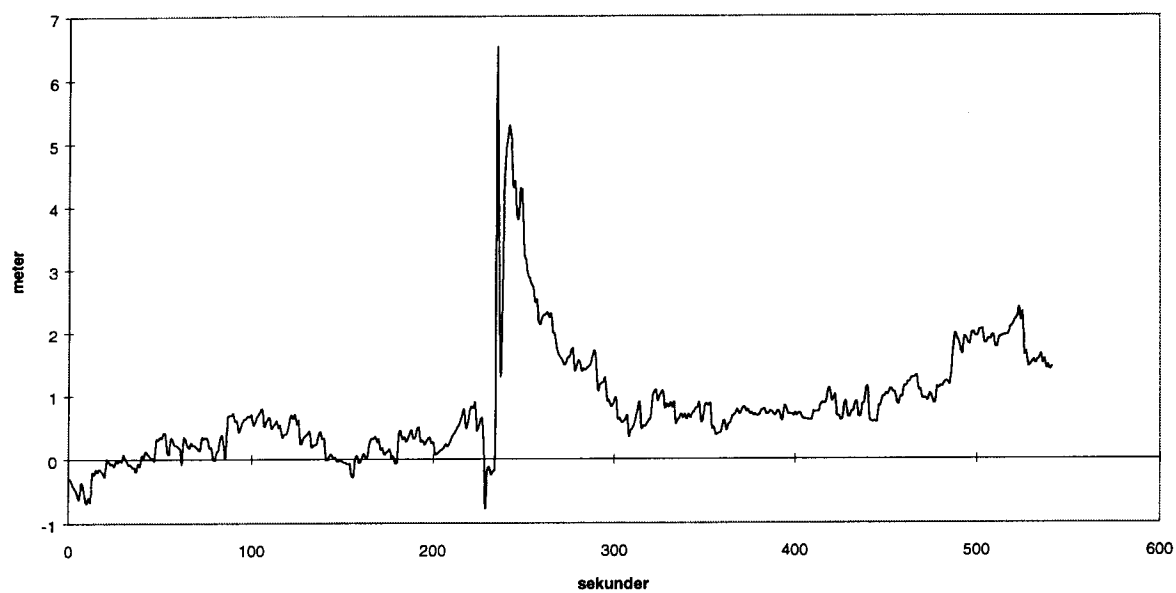


Diagram 6 Fel i höjd Valbo-Hagström med tröghetsteknik som referens.

Programkod till programmet RDSBORT

```

/*****/
// <<<< RDSBORT.CPP >>>>
// Program för att hitta avbrott i RDS-signalen
// Programmet läser en fil från BSHOW med utseendet:
//
// Site Time      X          Y          Z          pdop sats
// ???? 10:41:37.0 2993526.70 922973.22 5537272.10 6 5
// ???? 10:41:38.0 ...      ...      ...      ... ...
// o.s.v.
//
// Om det inte är någon förändring av x,y och z koordinaterna från
// föregående raden skrivs aktuell rad till en ny fil. När uppdatering
// återkommer skrivs även längden på RDS-avbrottet i sekunder.
// Programmet kompilerat i Borland Turbo C++ 1.00
/*****/

#include <string.h>
#include <fstream.h>
#include <iostream.h>
#include <iomanip.h>

int main()
{
    char fromfil[20], tillfil[20];
    char bort[15];
    char tid [2] [11];
    int pdop[2], satelliter[2];
    int n, i=0, antal=0;
    double koordinat [2] [3];

// Om filen som skall läsas ligger i ett annat bibliotek än programmet
// måste man skriva sökvägen dit.
/*****/

    cout << "Ange fil med koordinater som skall undersökas. " << "\n";
    cin >> fromfil;
    cout << "Vad skall den nya filen heta? " << "\n";
    cin >> tillfil;
    ifstream infil ( fromfil, ios::in);
    ofstream utfil(tillfil, ios::out);
    for (n=0; n<12; n++){
        infil >> bort;
    }
    utfil << "Tid" << "\t" << "pdop" << "\t" << "Antal satelliter" << "\n";
    infil >> bort >> tid[0] >> koordinat [0][0] >> koordinat [0][1]
        >> koordinat [0][2] >> pdop[0] >> satelliter[0] ;
    infil >> bort >> tid[1] >> koordinat [1][0] >> koordinat [1][1]
        >> koordinat [1][2] >> pdop[1] >> satelliter[1];
    while (bort [0]== '?')

```

```

{
    if (koordinat [0][0]==koordinat [1][0]
        && koordinat [0][1]==koordinat [1][1]
        && koordinat [0][2]==koordinat [1][2])
    {
        utfil << tid[0] << '\t'<< pdop[0] << '\t'<< satelliter[0] << '\n';
        antal++;
        i=1;
    }
    else if (i==1)
    {
        utfil << tid[0] << '\t'
            << pdop[0] << '\t' << satelliter[0] << '\t' << antal << " s"
            << '\n' << '\n';
        i=0;
        antal=0;
    }
    strcpy (tid[0], tid[1]);
    koordinat [0][0]=koordinat [1][0];
    koordinat [0][1]=koordinat [1][1];
    koordinat [0][2]=koordinat [1][2];
    pdop[0]=pdop[1];
    satelliter[0]=satelliter[1];
    infil >> bort >> tid[1] >> koordinat [1][0] >> koordinat [1][1]
        >> koordinat [1][2] >> pdop[1] >> satelliter[1];
}
cout << "Färdig";
return 0;
}

```