

EGNOS

- European Geostationary Navigation Overlay Service



Et afgangprojekt om systemets opbygning og anvendelighed i en landmålingsmæssig kontekst

Peter Erbs | Arnt Elgaard Madsen | Jens-Erik Svensson

Landinspektøruddannelsen
Measurement Science

2006

EGNOS

- EUROPEAN GEOSTATIONARY NAVIGATION OVERLAY SERVICE

ET AFGANGSPROJEKT OM SYSTEMETS OPBYGNING OG ANVENDELIGHED I
EN LANDMÅLINGSMÆSSIG KONTEKST.

PETER ERBS

ARNT ELGAARD MADSEN

JENS-ERIK SVENSSON

AFGANGSPROJEKT 2006
MÅLING OG MÅLING
LANDMÅLINGSDANDELSEN



Titel: EGNOS - Et afgangprojekt om systemets opbygning og anvendelighed i en landmålingsmæssig kontekst.

Projektperiode: 1. februar 2006 - 15. juni 2006.

Projektgruppe: Peter Erbs
Arnt Elgaard Madsen
Jens-Erik Svensson

Hovedvejleder: Lektor, Karsten Jensen

Bivejleder: Lektor, Jens Peter Cederholm

Oplagsantal: 7

Sideantal: 183

Bilagsantal: 3 (inkl. DVD)

Appendiksantal: 6

Forsideillustration: Fotos fra dataindsamling samt ESA
(URL: <http://www.esa.int/images/galileo/03865A4.jpg>)

Copyright: Gengivelse er tilladt med tydelig kildeangivelse

SYNOPSIS

Dette afgangsprøjt omhandler det europæiske satellitnavigationsstøttesystem, EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service), herunder systemets anvendelsesmuligheder i en landmålingsmæssig kontekst. I foranalysen gennemføres en mindre test som antyder, at jo højere kvalitet af GPS-modtagere der anvendes, jo større forbedringer er det muligt at opnå ved anvendelse af EGNOS i realtime.

I projektets problemanalyse tages der udgangspunkt i tre problemstillinger:

For det første udvikler projektgruppens software til at foretage postprocessering, hvor EGNOS-korrektioner påføres stand-alone GPS observationer. Det lykkes ikke konsekvent at opnå forbedret præcision og nøjagtighed ved postprocesseringen, på trods af at ESA's anvisninger for anvendelse af EGNOS-korrektioner følges.

For det andet analyseres det om kvaliteten af EGNOS-korrektionerne er varierende over tid. Analysen viser, at der er stor forskel på effekten af at anvende EGNOS på forskellige tidspunkter af døgnet. I testperioden medfører det store forbedringer at anvende EGNOS i realtime i tidsrummet 2-12 (UTC), mens der ikke er nogen synlig effekt de resterende timer af døgnet.

Den tredje del undersøger hvorvidt de integritetsoplysninger der udsendes via EGNOS kan anvendes som kvalitetsindikatorer ved landmålingsopgaver hvor der benyttes GNSS. Ud fra projektgruppens analyser kan det ikke påvises at integritetsmeddelelserne direkte kan anvendes som kvalitetsindikatorer.

ABSTRACT

This master thesis discusses the European Geostationary Navigation Overlay Service, EGNOS, and focus specifically upon the applications of this system through the context of land surveying. From the project's preliminary analysis, it can be concluded that the use of better GPS receivers, will allow more significant improvements to be achieved by using EGNOS in real time

The project's main analysis is based upon three issues:

First of all; the project group develops software to perform post processing, where EGNOS-corrections are applied to stand-alone GPS observables. It fails to consequentially achieve improved precision and/or accuracy with the post processing procedure, in despite the fact that the guidelines from ESA concerning application of EGNOS-corrections, are followed.

Secondly it is analyzed whether the quality of the EGNOS-corrections varies over time. The analysis shows great differences on the influence of using EGNOS depending of the time of the day. During the test period it shows great improvements to use EGNOS in real time in the hours from 2-12 (UTC), while no improvements are seen throughout the remaining parts of the day.

The third part concerns determination of whether the integrity messages broadcasted by EGNOS are applicable as quality indicators in relation to land survey applications, when using GNSS. From the analysis carried out it cannot be proved that the integrity messages directly can be applied as quality indicators.

FORORD

Dette afgangprojekt er udarbejdet af projektgruppe MS 10.01 på landinspektøruddannelsens 10. semester ved studieretningen Measurement Science, Institut for Samfundsudvikling og Planlægning, Aalborg Universitet. Rapporten er udarbejdet i perioden fra den 1. februar 2006 til den 15. juni 2006.

Ved udarbejdelsen af et afgangprojekt inden for studieretningen Measurement Science, er formålet med semestret, jf. Studievejledningen:

”At dokumentere at den studerende selvstændigt er i stand til at planlægge og gennemføre et projektforsøg på et højt fagligt niveau. Afgangsprojektet skal dokumentere den studerendes evne til at anvende videnskabelige teorier og metoder på et tilstrækkeligt højt niveau. Afgangsprojektet skal således udformes med henblik på at dokumentere, at studiets formålsparagraf er opfyldt.”

Projektgruppen har valgt at udarbejde en projektrapport, der omhandler EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service), som er første skridt på vejen mod det fælleseuropæiske GNSS-system GALILEO. Hovedvægten af rapporten omhandler en række tests af EGNOS, herunder hvilke muligheder og begrænsninger der er ved anvendelse af EGNOS i landmålingsmæssige sammenhænge.

Projektet henvender sig til projektgruppens vejledere og censorer samt andre med interesse for den landmålingsmæssige anvendelse af EGNOS.

Projektgruppen vil gerne takke Brian Hansen, Leica Geosystems A/S, for at stille referencedata fra GPS-Referencen til rådighed samt takke Trimble Center Danmark for produktsupport.

Aalborg, den 15. juni 2006.

Peter Erbs

Arnt Elgaard Madsen

Jens-Erik Svensson

LÆSEVEJLEDNING

Rapporten er inddelt i følgende tre faser, som svarer til de arbejdsfaser, projektudarbejdelsen har medført:

Fase 1: Foranalyse

Fase 2: Problemanalyse

Fase 3: Afslutning

Projektopbygningen og de anvendte metoder er nærmere beskrevet i Afsnit 1.1 (Projektstruktur). For at få det fulde udbytte af rapporten, forudsættes det, at læseren besidder et grundlæggende kendskab til GNSS-systemer og landmåling ved hjælp af GNSS-systemer. Desuden vil det være en fordel ved tolkning af de opnåede resultater, at læseren er bekendt med landmålingens fejlteori.

De i rapporten anvendte referencer er angivet i kantede parenteser med forfatterens efternavn, udgivelsesår, eventuelt indeks ved identiske kilder samt sidetal eller afsnitsnummer, eksempelvis: [Hofmann- Wellenhof et al., 2001, s. 347]. Generelt er litteraturhenvisninger placeret efter et afsnit, og henviser således til hele det ovenstående afsnit. Dog refererer litteraturhenvisninger, placeret umiddelbart efter citater, formler og figurer, udelukkende til det/den pågældende citat/formel/figur. I referencelisten bagest i rapporten er de enkelte referencers bibliometriske data uddybet.

Alle figurer og tabeller i rapporten er nummeret fortløbende med kapitelangivelse. Er

der ikke angivet kilde, er figuren udarbejdet af projektgruppen. Bagest i rapporten findes en samlet figur- og tabeloversigt.

I rapporten optræder en del akronymer, oftest for tekniske termer eller organisationer. Umiddelbart efter indholdsfortegnelsen findes en fortegnelse over disse akronymer. I forbindelse med studier af GNSS-systemer, herunder EGNOS, optræder der i de anvendte referencer en række tekniske termer på engelsk. I de tilfælde hvor det vil være meningsforstyrrende eller på anden vis uhensigtsmæssigt at oversætte termene til dansk, anvendes de engelske termer.

I forbindelse med projektet har projektgruppen udarbejdet en mængde scripts i programmeringssproget Matlab[®]. Kildekoden til disse scripts findes på den vedlagte DVD, Bilag 1, bagest i rapporten, hvor der også findes en oversigt over disse scripts samt deres funktioner. Oversigten indeholder også scripts, som er anvendt i projektet, men som er udarbejdet af andre.

Bilag til rapporten er angivet fortløbende med arabertal og indeholder diverse testresultater mm. Appendiks til rapporten er angivet fortløbende med bogstaver og indeholder uddybende beskrivelser af emner, som berøres i rapporten.

INDHOLD

1 Indledning	13
1.1 Projektstruktur	14

FASE 1: FORANALYSE

2 Introduktion til differentiell GNSS	19
2.1 DGPS	19
2.2 Wide Area Differential GPS (WADGPS)	21
3 EGNOS	25
3.1 Systemarkitektur	26
3.2 Signalstruktur og opbygning	29
3.3 EGNOS-meddelelser	30
4 Pilottest	33
4.1 Testplanlægning	33
4.2 Gennemførelse	35
4.3 Databehandling	37
4.4 Resultater	39
5 Problemformulering	49

FASE 2: PROBLEMANALYSE

6 Metode og empiri	55
6.1 Problemafklarung	55
6.2 Valg af modtagere	59
6.3 Planlægning	59
7 Dataindsamling	63
7.1 Indsamling af testdata	63
7.2 Referencemåling	64
8 Dataklargøring	67
8.1 Konvertering fra binære datasæt til RINEX-format	67
8.2 Tilpasning af RINEX-filer	67
8.3 Kontrol for multipath	69
8.4 Beregningsgrundlag	69
9 Samlet nøjagtighed og præcision	73
9.1 Trimble GeoXT modtagerne	73
9.2 Trimble R8 GNSS-modtagerne	74
9.3 Delkonklusion	76
10 Postprocessing: EGNOS-korrektioner	77
10.1 Begrænsninger og fravalg i software	77
10.2 Programmering	77
10.3 Resultater	84

10.4 Delkonklusion.....	88
11 Time- og dagsvariationer.....	89
11.1 Programmering.....	89
11.2 Resultater.....	90
11.3 Delkonklusion.....	96
12 Integritetsindikatorer og kvalitetssikring.....	99
12.1 Programmering.....	99
12.2 Resultater.....	100
12.3 Delkonklusion.....	106

FASE 3: AFSLUTNING

13 Konklusion.....	111
13.1 Spørgsmål I: Postprocessering: EGNOS-korrektioner.....	112
13.2 Spørgsmål II: Time- og dagsvariationer.....	113
13.3 Spørgsmål III: Integritetsindikatorer og kvalitetssikring.....	114
14 Perspektivering.....	115
15 Generelle erfaringer.....	119
15.1 Erfaringer med EGNOS.....	119
15.2 Erfaringer med Garmin Etrex.....	121
15.3 Erfaringer med Trimble GeoXT.....	121
15.4 Erfaringer med Trimble R8 GNSS.....	121
Referencer.....	123
Matlab-scripts.....	129
Figuroversigt.....	131
Tabeloversigt.....	135
Bilag 1: DVD.....	139
Bilag 2: TEQC-Kvalitetsrapport.....	141
Bilag 3: Resultater fra postprocessering.....	143
Appendiks A: Præcision og nøjagtighed.....	147
Appendiks B: EMS-serveren.....	151
Appendiks C: EGNOS' meddelelsetyper.....	155
Appendiks D: NMEA.....	173
Appendiks E: RINEX-format v.2.10.....	177
Appendiks F: Rinex2ENh.....	181

AKRONYMER

AOR:	Atlantic Ocean Region
ARTEMIS:	Advanced Relay and TEchnology MISSion
ASQF:	Application Specific Qualification Facility OS: Open Service
C/A:	Coarse Acquisition
CCF:	Central Control Facility
CORS:	Continuously Operating Reference Stations
CPF:	Central Processing Facility
CRC:	Cycle Redundancy Check
DGPS:	Differential Global Positioning System
E:	Easting koordinat (UTM)
EC:	European Commission
ECEF:	Earth Centered Earth Fixed
EGNOS:	European Geostationary Navigation Overlay Service
ENT:	EGNOS Network Time
EMS:	EGNOS Message Server
ESA:	European Space Agency
EU:	European Union
EWAN:	EGNOS Wide Area Network
GBAS:	Ground Based Augmentation System
GIVE(I):	Grid Ionospheric Vertical Error (Indicator)
GNSS:	Global Navigation Satellite System
GLONASS:	GLObal NAvigation Satellite System
GPS:	Global Positioning System
h:	Ellipsoidehøjde
IGP:	Ionospheric Grid Points
IODF:	Issue Of Data Fast corrections
IODP:	Issue Of Data PRN mask
IOR/IND	Indian Ocean Region
LADGPS:	Local Area Differential Global Positioning System
MCC:	Mission/Master Control Centre
MOPS:	Minimum Operational Performance Standards for GPS/WAAS Airborne Equipment
MSAS:	Multi-Functional Satellite Augmentation System
MT:	Message Type

N: Northing koordinat (UTM)
NAVSTAR: NAVigation Satellite Timing And Ranging
NLES: Navigation Land Earth Stations
NMEA: National Marine Electronics Association
Ntrip: Networked Transport of RTCM via Internet Protocol

PACF: Performance Assessment and System Checkout Facility
PDOP: Dilution of Precision
PRC: Pseudo Range Corrections
PRN: Pseudo Random Noise

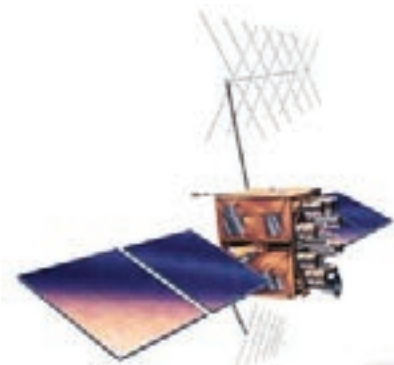
RIMS: Ranging and Integrity Monitoring Stations
RINEX: Receiver INdependent Exchange Format
RMS: Root Mean Square
RTCA: Radio Technical Commission for Aeronautics
RTK: Real Time Kinematic

S/A: Selective Availability
SBAS: Satellite Based Augmentation System
SOW: Second Of Week
SV: Satellite Vehicle

TEQC: Translate Edit Quality Check

UDRE(I): User Differential Range Error (Indicator)
UHF: Ultra High Frequency
UNAVCO: University NAVstar Consortium
UTC: Coordinated Universal Time
UTM: Universal Transversal Mercator

WAAS: Wide Area Augmentation System
WADGPS: Wide Area Differential Global Positioning System
WN: Week Number



KAPITEL

1

INDLEDNING

Siden det amerikanske satellitbaserede navigationssystem, NAVSTAR-GPS (NAVigation Signal Timing And Ranging – Global Positioning System), herefter GPS, blev erklæret fuldt operationelt i år 1993, er der sket en markant udvikling i anvendelsen af satellitbaserede navigationssystemer.

Flere og flere personer anvender i dag satellitbaserede navigationssystemer – ofte omtalt som GNSS (Global Navigation Satellite System) – til stadig flere formål. På systemsiden har det amerikanske GPS i mange år domineret GNSS-markedet. Systemet er løbende blevet moderniseret, og har til enhver tid leveret større global tilgængelighed end det russiske system, GLONASS (GLOBAL Navigation Satellite System), som modsat har været præget af manglende vedligeholdelse og åbenhed om systemets funktionalitet. GPS opererer i dag med 30 satellitter, hvoraf 24 indgår som aktive, mens GLONASS p.t. (maj 2006) har 13 fungerende satellitter. Der er forlydender om, at GLONASS er under udvikling, og at systemet forventes at være fuldt operationelt med 24 fungerende satellitter i omløb i år 2011. [Klimov et al., 2006]

Et samarbejde mellem bl.a. ESA (European Space Agency) og EU (European Union) medfører imidlertid, at der om ganske få år bliver et alternativ til det amerikanske og det russiske GNSS. Alternativet er det europæiske GNSS, som er navngivet GALILEO efter den italienske videnskabsmand, Galileo Galilei. GALILEO forventes jf. EU at være fuldt operationelt i år 2008 med 30 fungerende satellitter i omløb. [European Commission, 2006a] Ved siden af rent politiske formål med projektet, er det hensigten, at GALILEO skal kunne levere forbedret nøjagtighed og integritet i forhold til de eksisterende GNSS'er. Dette vil bl.a. øge anvendelsesmulighederne indenfor transportsektoren, herunder specielt luftfarten, som har et stort behov for, at et GNSS kan levere høj integritet ved positionsbestemmelsen, specielt i forbindelse med start og landing.

Som en del af ESA's arbejde hen mod realiseringen af et europæisk GNSS, har ESA siden 1994 stået for udviklingen af et GNSS-støttesystem – et såkaldt SBAS (Satellite Based Augmentation System). Systemet, som forkortet kaldes EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Ser-

vice), skal senere indgå som en integreret del af GALILEO, hvor EGNOS bl.a. skal sikre den øgede integritet. [Council of Europe, 2003]

I praksis fungerer EGNOS som et WAD (Wide Area Differential) GPS, hvor der fra en række geostationære satellitter bl.a. udsendes ionosfæreforsinkelseskorrektioner, korrektioner vedr. satelliturfejl og en række integritetsindikatorer, der beskriver GNSS-signalernes pålidelighed i realtime.

Der har tidligere været flere nationale DGPS-udbydere i Danmark, herunder NAV-DK, Spot-FM og Beacon. Disse nationalt udbudte tjenester vandt frem indtil maj 2000, hvor S/A (Selective Availability) som bekendt blev slået fra på GPS-systemet. Efter S/A blev slået fra, har det – afhængigt af modtager og beregningsmetode – været muligt at opnå positioner med absolutte nøjagtigheder, i planen, på meterniveau.

Med et system som EGNOS er det ikke nødvendigt at modtage korrektionsdata særskilt via f.eks. UHF-radio, GSM-mobiltelefon eller Ntrip-protokol. Selv med billige kodemodtagere til priser under 2.000 kr. er det muligt at modtage og anvende EGNOS-meddelelser, og dermed opnå en forbedret nøjagtighed. Den forbedrede nøjagtighed kan medføre mange nye anvendelsesmuligheder – nogle af disse kan være, at billigere kodemodtagere kan anvendes til eksempelvis ledningsregistrering eller ejendomsregistrering som et led i etablering af matrikelsystemer i udviklingslande.

Som nævnt bliver EGNOS, som primært er rettet mod transportsektoren, på sigt en del af GALILEO. Landmålingsbranchen er en lille niche i forhold til transportsektoren, men det kan alligevel være interessant at undersøge, hvorvidt det kan være en fordel at anvende EGNOS i forbindelse med landmåling og øvrig positionering med GPS.

Selvom forbedringer på positionen måske ikke direkte kan anvendes i forbindelse med landmåling, kan det tænkes, at integritetsmeddelelserne kan anvendes – f.eks. som kvalitetssikringsindikatorer ved opmåling med GPS, eller som dokumentation for kvalitetssikrede GPS-observationer i forbindelse med indførelsen af MiniMAKS i den matrikulære sagsbehandling fra efteråret 2006.

For at kunne vurdere muligheden for om EGNOS kan være anvendelig til disse formål, er det nødvendigt at skabe en forståelse for, hvordan EGNOS-systemet er opbygget. På baggrund af ovenstående, samt at der ikke tidligere er udarbejdet projektrapporter på landinspektøruddannelsen omhandlende EGNOS i landmålingsmæssig sammenhæng, opstilles følgende initierende problem for dette projekt:

Initierende problem

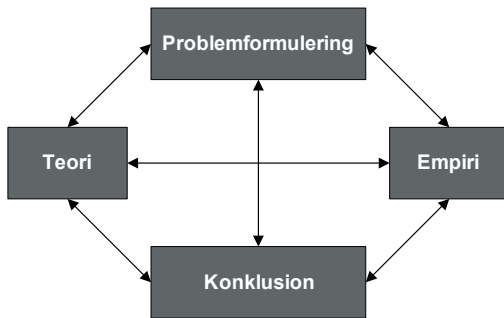
Hvordan er EGNOS opbygget, og medfører anvendelsen af EGNOS forbedret nøjagtighed, præcision og integritet, og kan de eventuelle forbedringer være til gavn i forbindelse med landmåling?

Hvad angår begreberne præcision og nøjagtighed henvises til Appendiks A (Præcision og nøjagtighed), hvor projektgruppens definition og fortolkning af begreberne findes.

1.1 Projektstruktur

Efter det initierende problem er opstillet, præsenteres det overordnede metodevalg, som danner grundlag for udarbejdelsen af denne projektrapport. Desuden uddybes det, med udgangspunkt i et strukturdiagram over projektopbygningen, hvorledes den valgte metode implementeres.

Projektet er udarbejdet som et problemorienteret arbejde, se nærmere [Andersen, 2003]. Overordnet kan det problemori-



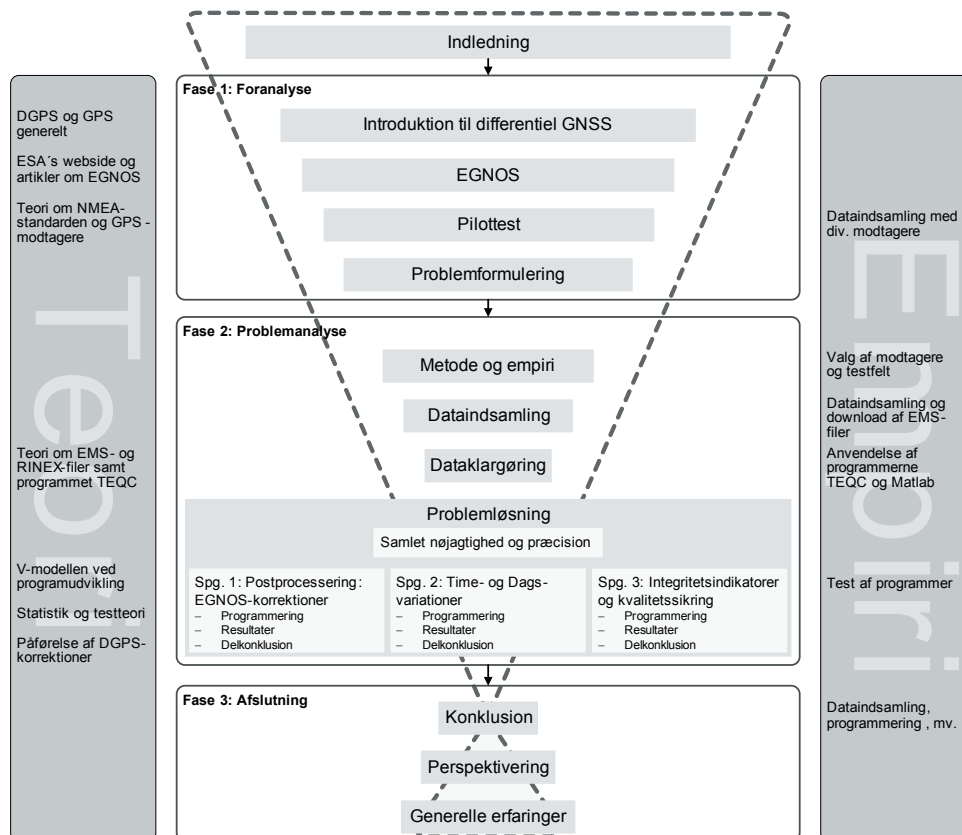
Figur 1.1: Illustration af videnskabsprocessens fire hovedelementer. [Andersen, 2003]

enterede arbejde indeles i videnskabsprocessens fire hovedelementer, se Figur 1.1. Problemformuleringen kan være et praktisk problem, hvortil der søges en løsning i form af en konklusion. For at nå frem til en konklusion er det nødvendigt at opbygge en indgående viden om emnet. Denne viden tilegnes gennem dels teoretiske studier af den tilgængelige litteratur samt gen-

nem empiriske erfaringer, som stammer fra praktiske problemstillinger og forsøg. Gennem analyse og tolkning af den tilegnede viden samt dannelse af synteser mellem elementerne i teorien og empirien, er det muligt at besvare den opstillede problemformulering.

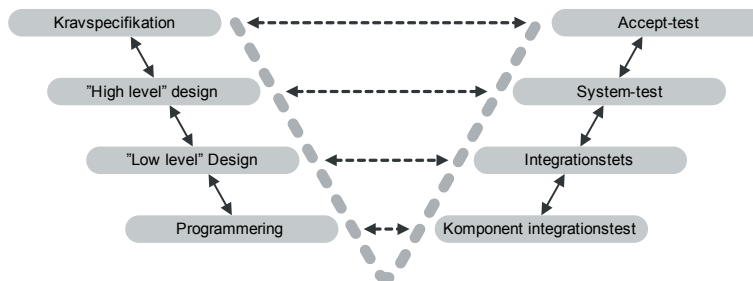
Videnskabsprocessen implementeres i denne projektrapport som illustreret i Figur 1.2, der ligeledes illustrerer projektopbygningen. Strukturdiagrammet læses oppefra og nedefter, mens det på begge sider af diagrammet angives hvilken teori og empiri, der anvendes.

Med udgangspunkt i det initierende problem igangsættes første fase af projektet, foranalysen, hvor empiri fra pilottesten (se Figur 1.2) sammen med teori om emnet muliggør, at problemformuleringen



Figur 1.2: Strukturdiagram.

kan opstilles. Problemformuleringen fører videre til projektets anden fase: Problemanalysen. I denne fase diskuteres, hvordan spørgsmålene fra problemformuleringen kan løses og der gennemføres indsamling af tilstrækkelige datamængder (empiri) til sikring af, at resultater fra testen vil muliggøre besvarelse af problemformuleringen. De indsamlede observationer klargøres i forhold til de dataformater, der er nødvendige for problemløsningen, som er sidste del af projektets anden fase. For at besvare problemformuleringen, skal der, i forbindelse med problemløsningen, foretages en del databehandling og programmering. Til denne proces har projektgruppen anvendt V-modellen, som fremgår af Figur 1.3. Der findes mange udgaver af V-modellen, idet den kan implementeres ved mange forskellige opgavetyper. I dette tilfælde er den anvendt ved programudviklingen. V-modellen skal læses fra venstre mod højre, således at V-formen følges. De skrå pile, der går begge veje, angiver, at der er tale om en iterativ proces, hvor det ikke er unormalt at gå et trin tilbage og foretage ændringer inden processen fortsættes. De vandrette pile angiver hvordan/hvornår elementerne til venstre i V-modellen testes. Eksempelvis kan det med sidste trin – accept-testen – sikres, at kravspecifikationen er opfyldt. [Andersen, 2003]



Figur 1.3: V-modellen beskriver fremgangsmåden for programmeringen af de scripts der udvikles gennem dette projektforsøg. Frit efter: [Jepsen et al., 2003, s. 22]

I relation til denne projektrapport, er det første trin, at der opstilles en kravspecifikation hvori det defineres, hvad formålet med det enkelte program skal være. Herefter designes programmet, først på et overordnet niveau (High level design) og senere på et mere detaljeret niveau (Low level design), inden den egentlige programmering igangsættes. I løbet af programmeringsfasen testes de enkelte programelementer løbende, hvorefter komponenter samles, og integrationen mellem komponenterne testes. Endeligt gennemføres system- og accept-testen, der sikrer, at det overordnede design og selve kravspecifikationen er opfyldt, hvilket betyder, at spørgsmålet fra problemformuleringen kan besvares.

Med besvarelsen af alle tre spørgsmål som indgår i problemanalysen, jf. strukturdiagrammet Figur 1.2, kan der udarbejdes en samlet konklusion der samler trådene i forhold til problemformuleringen. Efter problemformuleringen bringes perspektiveringen som sætter den udarbejdede projektrapport ind i en større sammenhæng. Som det sidste element i strukturdiagrammet, indgår de generelle erfaringer som er opnået gennem udarbejdelsen af denne projektrapport.



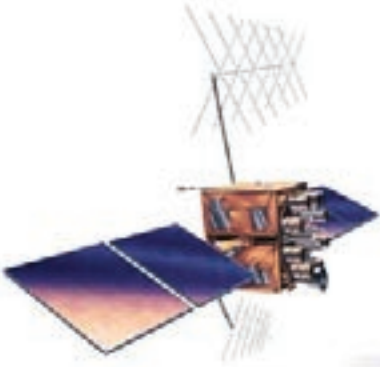
FASE 1

Foranalyse

Projektets første fase indledes med en generel introduktion til differentiell GNSS, herunder begreberne Wide Area Differential GPS, DGPS og SBAS. I Kapitel 3 præsenteres EGNOS mht. systemets arkitektur, signalopbygning og EGNOS-meddelelsernes indhold.

Foranalysen afsluttes med en pilottest, hvor det undersøges, hvorvidt anvendelse af EGNOS-realtime medfører forbedret nøjagtighed/præcision, når systemet anvendes på forskellige modtagertyper. Datagrundlaget for pilottestens undersøgelser bygger på i alt 12 timers observationer fordelt på tre modtagertyper, indsamlet af projektgruppen.

På baggrund af foranalysens resultater opstilles en problemformulering, som efterfølgende danner rammen for projektets anden fase: Problemanalysen.



KAPITEL

2

INTRODUKTION TIL DIFFERENTIEL GNSS

Da EGNOS er en differentiel GNSS-løsning, har projektgruppen valgt at indlede foranalysen med et generelt kapitel om differentiel GNSS, herunder begreberne DGPS og WADGPS.

Differentiel GNSS er en overordnet betegnelse for, at udføre en GNSS-måling med to modtagere samtidig: En modtager placeres i et kendt punkt og benævnes ofte referencestationen, mens den anden GNSS-modtager anvendes til selve opmålingen og benævnes ofte roveren. Ideen bag differentiel GNSS er herefter, at da referencestationen står i et kendt punkt, kan denne beregne korrektioner til de indsamlede pseudoafstande, enten i realtime eller som postprocessering. Disse korrektioner påføres observationer indsamlet med roveren, hvormed præcisionen, af de positioner der kan beregnes, forbedres. Der findes idag forskellige differentielle GNSS-metoder, og deraf forskellig opbygning af systemerne, som vil blive beskrevet i dette kapitel. En af de mest kendte differentielle GNSS-metoder er DGPS da dette har været anvendt til differentiel måling med GPS-systemet. Metoden kan dog tænkes anvendt

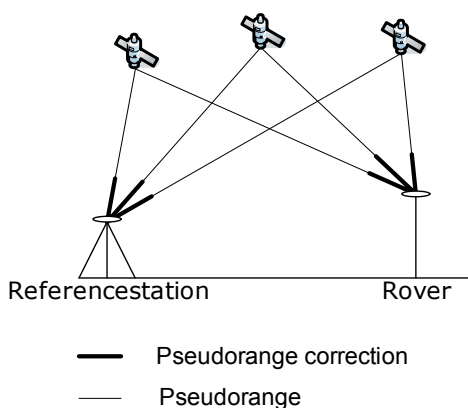
sammen med andre GNSS-systemer og knytter sig derfor ikke specifikt til GPS.

2.1 DGPS

Tidligere var der af det amerikanske forsvar introduceret en fejl på GPS-signalet kaldet S/A (Selective Availability), som var en bevidst degradering af signalet der blev påført, således at civile brugere ikke kunne opnå bedre nøjagtighed end omkring 100 m. Oprindeligt blev DGPS udviklet for at eliminere indflydelsen fra S/A, og efter fejlen blev fjernet i maj 2000, af det amerikanske forsvar, medførte anvendelsen af DGPS ikke længere samme forbedring af præcisionen, som det var tilfældet med S/A slået til.

Når referencestationen beregner korrektioner til roveren, er disse beregnet ud fra lokale forhold, idet signalvejen gennem atmosfæren fra satellit til modtager afhænger af modtagerens geografiske placering. Den relative nøjagtighed af DGPS (ved kodemåling) er ca. 1 m, så længe afstanden mellem referencestation og rover ikke overskrider ca. 50 km, og alderen på korrektionen ikke er over ca. 10 sek. Ved disse afstande benævnes metoden ofte LADGPS (Local Area

DGPS). Dog kan LADGPS også anvendes, hvor afstanden mellem rover og referencestationen er op til 1.000 km, men dette vil betyde en dårligere præcision. Beregningen af de korrektioner som roveren bruger til at forbedre målingen med, foretages af referencestationen. Idet referencestationen står i et kendt punkt, kan den sande afstande til hver satellit der modtages signal fra beregnes. Da referencestationen samtidig registrerer de målte pseudoafstande til satellitterne, kan forskellen mellem de beregnede og de målte afstande bestemmes. Denne korrektion kaldes PRC (Pseudo Range Correction) og er et tal, der angiver, hvor meget pseudoafstanden til hver synlig satellit, skal korrigeres med. Se desuden Figur 2.1. [Parkinson og Enge, 1996, s. 4-11]



Figur 2.1: Pseudorangekorrektion.

En anden og mere simpel måde at beregne DGPS-korrektioner på er ved at beregne forskellen mellem den position, som referencestationen beregner på baggrund de målte pseudoafstande og opstillingspunktets referencekoordinater. Denne forskel kan så udtrykkes som en vektor. Ved at sende denne vektor til roveren, vil den efterfølgende kunne rette sin position jf. komponenterne i vektoren.

DGPS-korrektionen mindsker nogle af de fejl, som opstår ved måling med GPS, og de største af fejlene beskrives herunder.

- Atmosfæriske fejl: Ionosfære og troposfæreforsinkelse
- Satellitur fejl
- Satellitefemeridefejl

Den største fejl er de atmosfæriske fejl, der påvirker GPS-signalet, når det gennemtrænger atmosfæren. Signalvejen fra den samme satellit til de to modtagere kan, såfremt de to modtagere er tæt på hinanden, antages at blive påvirket ens af atmosfæren. Ved hjælp af disse antagelser om signalvejen kan der ved hjælp af en referencestation opnås forbedret præcision.

Ionosfærefejlen er den største af de atmosfærelaterede fejlkilder og opstår, fordi frie elektroner i ionosfæren påvirker signalet. Ved kodemåling forsinkes signalet ved ionosfærepassagen, mens signalet fremskyndes ved fasemåling. Ved kodemåling svarer forsinkelsens størrelse til en forøgelse af afstanden på maksimalt 20 m, når signalet passerer lodret gennem ionosfæren. Hvis signalet derimod passerer skråt igennem ionosfæren, bliver fejlen større. Den største fejl opstår midt på dagen, hvor ionosfæreaktiviteten er størst eller i perioder med forhøjet ionosfærisk aktivitet. Uden DGPS kan der fjernes omkring 50-75 % af denne fejl ved at bruge modeller for forsinkelsen, som er indeholdt i navigationsmeddelelsen fra GPS-satellitten. Ved at bruge DGPS kan ionosfærefejlen mindskes til omkring 1 m.

Troposfærefejlen bidrager med en noget mindre fejl end ionosfæren og opstår pga. refraction af signalet, når en satellit står lavt på himlen. 90% af troposfærefejlen kan fjernes ved hjælp af modeller, som beregner forsinkelsen som funktion af den pågældende satellits højde over horisonten samt tryk og temperatur. Ved at benytte DGPS kan fejlen elimineres.

Satelliturfjelen har direkte indvirkning på afstandsmålingen mellem satellit og modtager, og der kan derfor opstå store fejl i positioneringen, hvis uret i satellitten ikke er synkroniseret med GPS-tiden. Satelliturfjelen er defineret som den difference, der er mellem den sande transmissionstid og den transmissionstid, der er indeholdt i navigationsmeddelelsen.

Den udsendte navigationsmeddelelse indeholder også informationer omkring satellitpositionen/efemeriden, som også kan være fejlbehæftet, men ved at benytte DGPS-korrektioner vil denne fejl blive minimeret. Forsøg har vist, at hvis satellittens position er 100 m forkert, vil der med DGPS ikke ske fejl større end 1 m på den beregnede afstand til satellitten. For efemeridefejlen gælder det også, at afstanden mellem rover og referencestation ikke skal være for stor, idet vektoren mellem satellittens position, jf. navigationsmeddelelsen, og den rigtige position af satellitten vil give en forkert rettelser af pseudoafstanden. [Parkinson og Enge, 1996, s. 16-24]

Samlet set kan der opstilles et fejlbudget, der viser de forskellige fejltypers størrelse ved henholdsvis stand-alone GPS og DGPS, se Tabel 2.1. Som det ses i tabellen, elimineres mange af de gennemgåede fejltypers ved anvendelse af DGPS.

Fejltype	Stand-alone GPS σ [m]	DGPS σ [m]
Efemeridefejl	2,1	0,0
Satelliturfejl	2,1	0,0
Ionosfære	4,0	0,4
Troposfære	0,7	0,2
Multipath	1,4	1,4
Modtagerstøj	0,5	0,5
Total	10,8	2,5

Tabel 2.1: Fejlbudget ved henholdsvis SPS og DGPS. [Wormley, 2006]

De fejl, der ikke kan rettes vha. DGPS, er modtagerstøj og multipath, som begge er

lokale fejlkilder, der påvirker de to modtagere forskelligt.

I designet af et velfungerende DGPS system skal der tages højde for følgende:

- Beregningen af pseudoafstande skal foregå ens i både rover og på referencestationen, således at korrektionen bliver medtaget på det rigtige sted i beregningerne i roveren.
- Referencestationen og roveren skal benytte de samme efemerider.
- Der skal ikke beregnes korrektioner til fejl, som kun påvirker referencestationen, f.eks. multipath. Derfor er det vigtigt, at placeringen af referencestationen nøje planlægges.
- I korrektionen skal der desuden medtages det tidspunkt, som beregningen er foregået på, således at integriteten og tidsafhængigheden kan bestemmes.

[Parkinson og Enge, 1996, s. 11]

2.2 Wide Area Differential GPS (WADGPS)

Wide Area Differential GPS (WADGPS) er en metode, der minder en del om DGPS, men er brugbart over større områder, og består af flere referencestationer. Et WADGPS-system består af et netværk af referencestationer, der indsamler observationer fra de synlige GNSS-satellitter. Alle observationerne sendes til en central station, der foretager alle korrektionsberegninger for hele netværket og som efterfølgende sender korrektioner ud via geostationære satellitter. SBAS (Satellite Based Augmentation System) er en undertype af WADGPS og betegner de systemer, der fungerer efter en speciel standard. Brugeren kan ved hjælp af specielle modtagere anvende disse korrektioner til at opnå en større integritet og præcision. [Kee, 1995, s. 81].

I dag findes der en række SBAS-systemer, der udsender korrektioner via geostationære

satellitter. Disse tjenester opererer alle efter RTCA DO-229C-standarden og fungerer derfor alle efter de samme principper. [RTCA, 2001]

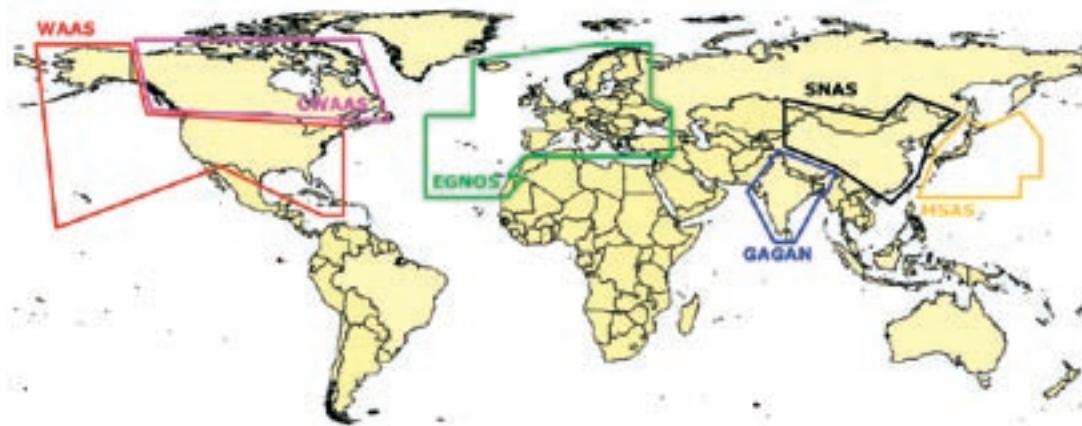
I Figur 2.2 ses de forskellige tjenesters dækningsområde. Ikke alle tjenester er i dag fuldt ud operationelle. I Tabel 2.2 ses en status over de fungerende tjenester.

2.2.1 DGPS vs. SBAS

Den væsentligste forskel mellem DGPS og SBAS er den måde de forskellige fejl bliver korrigeret på. Derudover sendes korrektionerne i SBAS ud via geostationære satellitter, som modtageren kan modtage signaler fra. De geostationære satellitter optræder også som en ekstra GNSS-satellit og kan således også indgå i beregningen af modtagerens position vha. observationer af pseudoafstanden til satellitten.

SBAS-systemerne fungerer efter RTCA DO-229C-standarden og i forhold til konventionel DGPS, er der flere forskelle. I DGPS indeholder korrektionerne til pseudoafstandene alle fejlbidrag og der korrigeres således kun én gang. I SBAS korrigeres målinger både ved hjælp af korrektionerne til pseudoafstandene, men også med en ionosfæremodel samt andre mindre rettelser, se nærmere Afsnit 3.2. [Abousalem et al., 2000, s. 4]

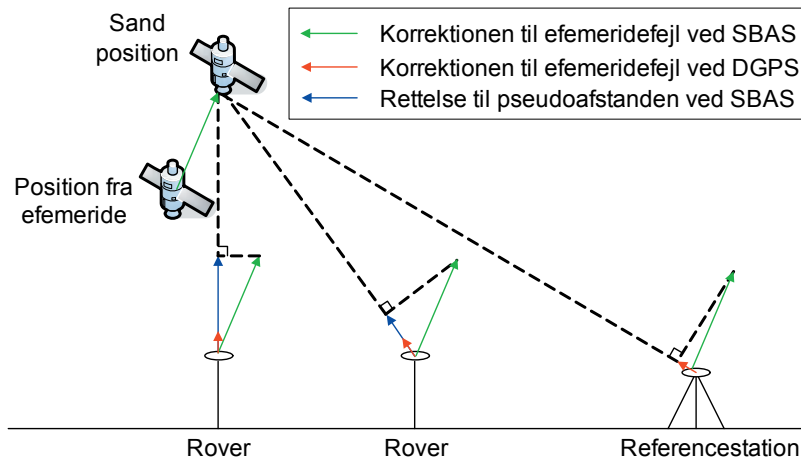
Efemeridefejl kan ved hjælp af SBAS bestemmes ved at bruge fire eller flere referencestationer, der har kontakt til den samme satellit. Hvis disse referencestationer modtager signal fra den samme satellit, kan der, ved hjælp af de beregnede afstande til den pågældende satellit, foretages rumlig indbinding, og hermed kan efemeridefejlen estimeres, og der kan beregnes korrektioner. Som illustreret på Figur 2.3, betyder afstanden mellem rover og referencesta-



Figur 2.2: SBAS-tjenesternes dækningsområder. Frit efter [ESA, 2003]

Navn	Region	Status
EGNOS	Europa	Operationelt (testfase) siden 2003
WAAS	Nordamerika	Operationelt siden 2000
CWAAS	Canada	Operationelt siden 2005
MSAS	Japan	Operationelt siden 2004
GAGAN	Indien	Operationelt 2006/2007
SNAS	Kina	Under udvikling

Tabel 2.2: Status for SBAS-systemer. [ESA, 2003]



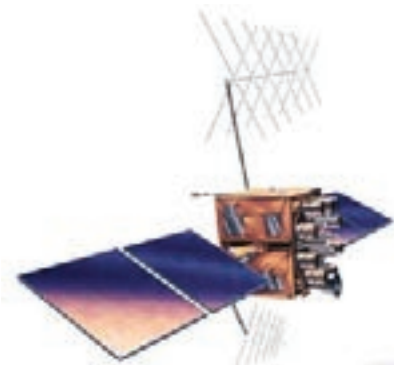
Figur 2.3: Efemeridefejl ved DGPS. Figuren illustrerer, at desto længere der er mellem rover og referencestation, desto større bliver fejlbidraget fra korrektionen til efemeridefejlen, der er indeholdt i DGPS-korrektionen. Frit efter [Kee, 1995, s. 81-83]

tion en del for efemeridefejls korrektion. I SBAS bruges den vektor, der udspændes mellem den sande position af satellitten og den position, der fås fra efemeriden. Ved hjælp af denne vektor beregner SBAS-systemet de korrektioner, som bruges af modtageren. [Kee, 1995, s. 92] og [Eurocontrol, 2003]

I SBAS bliver ionosfærefejlen beregnet ved hjælp af netværket af referencestationer. Beregningen af ionosfæremodellen sker på den centrale beregningsenhed, og anvendes et grid af virtuelle punkter i ionosfæ-

ren, som dækker pågældende SBAS-tjenestes dækningsområde. Ionosfæremodellen indbygges i de korrektionsdata, som brugeren modtager. Ud fra denne model kan GPS-modtageren selv interpolere sig frem til netop den ionosfæreforsinkelseskorrektion, der skal anvendes på den pågældende position. [Eurocontrol, 2003]

Dette afsnit har gennemgået den overordnede teknik bag DGPS og SBAS. I foranalysens næste kapitel præsenteres systemarkitekturen bag EGNOS.



KAPITEL

3

EGNOS

EGNOS er, som forklaret i det foregående kapitel, et SBAS-system. EGNOS er første skridt på vejen mod GALILEO og parterne, der har været med til at udvikle EGNOS, er således ESA (European Space Agency), EC (European Commission) og Eurocontrol, som er Den Europæiske Organisation for Luftfartens Sikkerhed. Udviklingen af EGNOS påbegyndtes i år 1994 og forventes, som system, at være færdigudviklet i løbet af år 2006. [ESA, 2006d]

Overordnet opstiller ESA fire målsætninger med anvendelsen af EGNOS:

- Forbedret tilgængelighed: Ved udsendelse af signaler fra tre geostationære satellitter.
- Forbedret nøjagtighed: Ved udsendelse af differentielle korrektioner til GNSS-signaler. Der forventes at kunne opnå nøjagtigheder på 1-2 meter i planen og 2-4 meter i højden.
- Forbedret integritet: Ved udsendelse af advarselssignal i tilfælde af fejl på GNSS-signalet.
- Sikret kontinuitet: Ved den valgte systemarkitektur og implementering i GALILEO.

EGNOS er i første omgang forbeholdt GNSS-brugere i Europa, men på sigt også i Afrika, Sydamerika og dele af Asien. De fire målsætninger er yderst væsentlige for, at GNSS-navigation kan anvendes i forbindelse med luftfart og den øvrige transportsektor, idet bl.a. luftfartssektoren stiller strenge krav til integritet ved anvendelse af satellitbaseret navigation. [ESA Publications Division, 2004]

Den første EGNOS satellit – ARTEMIS – blev opsendt i 2001, mens EGNOS for første gang udsendte korrektioner i oktober 2003. [ESA, 2004, s. 1-2]

Der er mange muligheder for som bruger at få adgang til EGNOS. En mulighed er, at EGNOS-signalet modtages fra de geostationære satellitter via brugerens GNSS-modtager. Andre muligheder er at modtage EGNOS-korrektionerne via Internettet, enten i real time ved anvendelse af Ntrip (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol), eller efterfølgende ved at downloade korrektionerne fra ESA's EMS-server (EGNOS Message Server), se Appendiks B (EMS-serveren).

EGNOS vil, når systemet er færdigudviklet, blive udbudt på tre forskellige service-niveauer, som også kommer til at indgå i

GALILEO, når det bliver operationsdygtigt. De tre serviceniveauer er:

- EGNOS Open Service: Signaler til positionering og tidsbestemmelse.
- EGNOS Commercial Service: Signaler til kommerciel positionering og tidsbestemmelse (ikke præciseret yderligere).
- EGNOS Safety of Life service: Foruden ovenstående også integritetsbeskeder.

[Oehler et al., 2005]

Gratistjenesten, Open Service, der efter planen burde være operationel, men p.t. (april 2006) stadig er i testfasen, giver alle brugere, der er i besiddelse af en EGNOS-kompatibel GNSS-modtager, mulighed for at anvende EGNOS. [ESA, 2006a]

Som det fremgår af Tabel 3.1 vil der, ved anvendelse af gratistjenesten ikke blive givet garanti for systemets funktionalitet. Den kommercielle tjeneste, der forventes at blive igangsat fra midten af 2006, tilbyder desuden service garanti, mens det kun er Safety of Life tjenesten, der forventes at blive udbudt fra 2007, der er garanteret til sikkerhedsbrug. For at anvende Safety of Life tjenesten er det et krav, at brugeren er i besiddelse af en godkendt SBAS modtager. [Lyon, et al., 2005]

3.1 Systemarkitektur

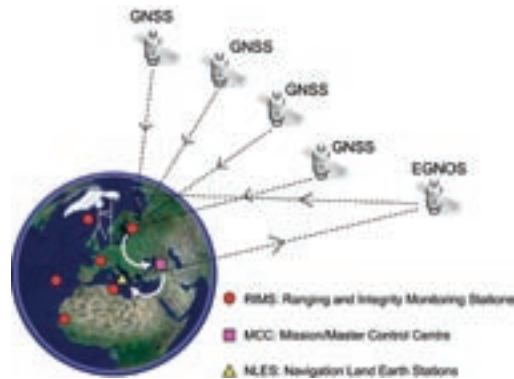
EGNOS er opbygget efter SBAS-princippet, som også anvendes i det amerikanske WAAS (Wide Area Augmentation System). EGNOS-systemet kan indeles i fire segmenter:

Service	Accuracy	Safety Assured	Service Guarantees
Open Service	✓	✗	✗
Commercial Service	✓	✗	✓
Safety of Life Service	✓	✓	✓

Tabel 3.1: Indhold i de tre services der udbydes af EGNOS. Frit efter [Solari, G., 2004]

- Space segment
- Ground segment
- User segment
- Support segment

Sammenhængen mellem de forskellige segmenter er illustreret i Figur 3.1 og desuden er hvert af de fire segmenter beskrevet nærmere nedenfor.



Figur 3.1: Overordnet systemarkitektur. Jordklode: Copyright Google Earth 2006..

3.1.1 Space segment

Space segmentet udgøres af tre geostationære satellitter over ækvator, der udsender EGNOS-meddelelser og rangingsignaler til brugerne. De tre satellitter er beskrevet i Tabel 3.2.

Satellit	Geografisk længde	PRN
AOR-E	15,5 V	120
Artemis	21,5 Ø	124
IOR/IND	65,5 Ø	126

Tabel 3.2: Navn og placering på de tre geostationære EGNOS-satellitter. [Yeazel, 2006]

RIMS-stationen i Paris har en anden funktion end de øvrige 33 stationer, idet denne enhed styrer tiden i EGNOS-systemet betegnet ENT (EGNOS Network Time), så denne er synkron med GPS tiden. [Brocard et al., 2003]

MCC

MCC-stationerne har til formål at foretage de beregninger, der skal til for at omsætte de rå observationer fra RIMS-stationerne til EGNOS-korrektionsmeddelelser. Kun én af de fire MCC-stationer kører konstant, mens de tre øvrige er stationer, som kan tages i brug i tilfælde af tekniske problemer. [ESSP, 2005a]

En MCC-station består af to underdele:

- Central Control Facility (CCF)
- Central Processing Facility (CPF)

CCF-delen anvendes til monitorering og kontrol af Ground segmentet, og sørger samtidig for at alle observationer, der modtages fra RIMS-stationerne, lagres. CPF-delen beregner korrektionerne og er ligeledes den enhed, der foretager de nødvendige kontrolberegninger, for at systemets integritet kan sikres over for brugerne. [Hernández-Pajares et al., 2006]

MCC-stationen modtager observationer fra alle RIMS-stationerne og processerer disse, hvorved der beregnes korrektioner for de enkelte GNSS-satellitter samt efemerider for de geostationære satellitter og en ionosfære grid model. Dette sendes sammen med integritetsmeddelelser fra MCC-stationen til NLES-stationerne via EWAN. [Ventura-Traveset et al., 2001]

NLES

Der er placeret to NLES-stationer for hver af de geostationære satellitter. En af dem er konstant i brug, og den anden er en ekstra, som kan tages i brug ved tekniske proble-

mer. NLES-stationernes primære opgave er at modtage de processerede korrektionsdata fra MCC-stationerne og uploade disse til de geostationære satellitter, som videre-sender EGNOS meddelelser til brugerne af systemet. NLES-stationerne omsætter de modtagne korrektionsdata, således at de kan påmoduleres L1, samt sikre, at signalet er synkroniseret med ENT. [Brocard et al., 2003]

3.1.3 User segment

Brugerdelen af EGNOS afhænger naturligvis af anvendelsen, men som udgangspunkt kræver det en speciel modtagertype at afkode EGNOS-signalet, og anvende de differentielle korrektioner, der er indeholdt i meddelelsen.

3.1.4 Support segment

Udover de tidligere beskrevne segmenter, består EGNOS af et tilsyneladende meget omfattende, men ikke særlig veldokumenteret support segment. Der er to hovedelementer i support segmentet:

- Application Specific Qualification Facility (ASQF)
- Performance Assessment and System Checkout Facility (PACF)

ASQF udbyder de tekniske løsninger, der er nødvendige for de brugergrupper, der stiller særligt høje krav til sikkerheden i forbindelse med anvendelsen af EGNOS-signalet, såsom det eksempelvis er tilfældet i forbindelse med luftfart. Det vil sige, at ASQF bruges til bl.a. kontrol og verifikation af EGNOS-systemets funktionalitet og samspil med øvrige SBAS- og GBAS-systemer (Ground Based Augmentation System) [ESA, 2005a]

PACF anvendes til bl.a. efterforskning af uregelmæssigheder i systemets drift samt til support af de stationer, der indgår i Ground segmentet. [ESSP, 2005b]

3.2 Signalstruktur og opbygning

Efter gennemgangen af systemarkitekturen bag EGNOS rettes fokus i dette afsnit mod selve signalet, som udsendes fra EGNOS-satellitterne. Der redegøres således for signalets struktur og opbygning, herunder hvilke informationer signalet indeholder, samt hvordan disse informationer implementeres i modtagerens positionsberegning.

EGNOS-signalets struktur og indhold er specificeret gennem RTCA-standarden (Radio Technical Commission for Aeronautics), MOPS DO-229C (Minimum Operational Performance Standards for GPS/WAAS Airborne Equipment). Denne standard anvendes som tidligere nævnt også ved andre SBAS-systemer, hvilket gør systemerne indbyrdes kompatible. I praksis betyder dette, at en modtager, som kan dechiffrere beskeder fra eksempelvis EGNOS, samtidig kan anvendes i forbindelse med andre SBAS'er. Efterhånden som systemerne udvikles, og nye systemer

oprettes, kan der på sigt tales om et sømløst verdensdækkende netværk af SBAS'er. [ESA, 2005b, s. 21-23]

Selve signalets bærebølge udsendes med samme frekvens som L1 GPS-signalet (1.575,42 MHz), ligesom de traditionelle ranging-koder i GPS-signalet også er indeholdt i EGNOS-signalet.

Den primære forskel mellem det traditionelle GPS-signal og EGNOS-signalet findes i de meddelelser, som er påmoduleret bærebølgen. Se Tabel 3.3 for en kvalitativ sammenligning af signalernes struktur og indhold

Som det fremgår af Tabel 3.3, indeholder EGNOS-signalet en langt større datamængde end GPS-signalet. Dette skyldes de korrektioner og integritetsmeddelelser, som er påmoduleret bærebølgen ved EGNOS-signalet. Netop disse påmodulerede meddelelser er nøglen til at kunne opnå de i forrige kapitel opstillede målsætninger med EGNOS: Forbedret tilgængelighed, nøjagtighed, integritet og kontinuitet, hvorfor

	GPS-signalet	EGNOS-signalet
Frekvenser, bærebølge:		
L1, 1575.42 MHz	✓	✓
L2, 1227.60 MHz	✓	✗
Modulation, bærebølge	Binær bifase	Binær bifase
Datamængde	50 bps	250 bps
Ranging koder:		
C/A-kode	✓	✓
Y-kode	✓	✓
Navigationsmeddelelse	✓	✓
Korrektioner til pseudoafstandene	✗	✓
Korrektioner til ionosfæreforsinkelsen	✗	✓
Integritetsbeskeder	✗	✓

Tabel 3.3: Sammenligning af GPS- og EGNOS-signale.t

nedestående afsnit fokuserer på indholdet af de påmodulerede meddelelser.

3.3 EGNOS-meddelelser

De rå EGNOS-meddelelser består af datablokke af 250 bits, som udsendes i et-sekunds intervaller. Alle datablokkene følger det samme basisformat, defineret i RTCA DO-229C-standarden. I Figur 3.3 ses en grafisk fremstilling af datablokkenes opbygning.

Den første del af hver datablok består af et såkaldt præambel. Præamblet har til formål at sikre, at modtageren får besked om, at der startes på en ny meddelelse. Selve præamblet består af én af tre følgende 8-bits binære tal:

01010011 10011010 11000110

Præamblet efterfølges af et 6-bit binært meddelelses-ID, som angiver, hvilken meddelelsestype den pågældende datablok indeholder. Der er i den nuværende RTCA DO-229C-standard reserveret plads til 64 forskellige meddelelsestyper, hvoraf 19 udsendes af EGNOS-satellitterne i den nuværende systemkonfiguration. Efter meddelelses-ID'et følger selve EGNOS-meddelelsen, som består af en 212-bit binær kode. Indholdet og opbygningen af meddelelsen afhænger af meddelelsestypen – se Appendiks C (EGNOS' meddelelsestyper) for en nærmere gennemgang af meddelelsernes indhold. Hver datablok afsluttes af en

24-bits CRC (Cycle Redundancy Check) paritetskode. Paritetskoden anvendes af modtageren som kontrol for, at hele meddelelsen er korrekt modtaget. [Eurocontrol, 2003, s.17]

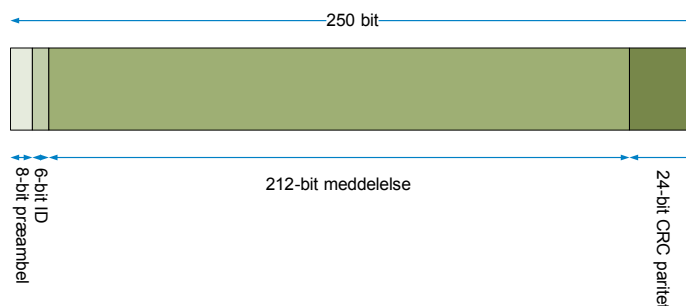
I Tabel 3.4 ses en oversigt over de 19 meddelelsestyper og deres primære indhold.

I Appendiks C (EGNOS' meddelelsestyper), redegøres nærmere for meddelelsernes indhold, for herigennem at give læseren klarhed over, hvilke oplysninger der konkret er mulighed for at modtage og anvende ved brug af en SBAS-modtager.

3.3.1 Frekvens af meddelelser

De forskellige meddelelsestyper udsendes ikke efter et bestemt mønster eller med faste intervaller men mest efter behov. For nogle af meddelelsestyperne gælder det dog at de som minimum udsendes med et vist interval. I stedet for at se på hvor ofte de forskellige meddelelsestyper som minimum udsendes, er det valgt at analysere EMS-filer fra en uge i starten af marts (9.-15. marts), hvor EGNOS jf. broadcastarkivet har udsendt korrektioner i hele perioden. [ESA, 2006a].

Med softwaren SISNeTlab fra ESA, er det muligt at foretage forskellige analyser af de beskeder der udsendes. I dette tilfælde er programmet anvendt til at analysere i, hvor stor en procentdel hver meddelelsestype udgør af det samlede antal transmitterede beskeder i perioden.



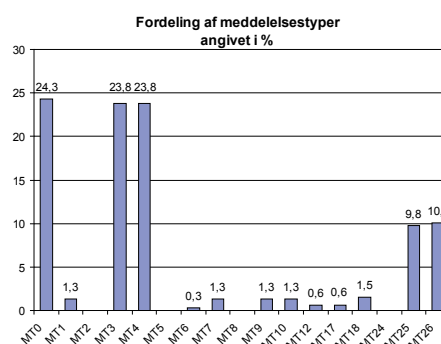
Figur 3.3: Datablokformat for EGNOS-meddelelse.

ID	Indhold	Beskrivelse
0	Fast corrections	I testfasen udsendes meddelelsestype 2, Fast corrections, som meddelelsestype 0. Ellers anvendes meddelelsestype 0 til udsendelse af advarsel om, at ingen af EGNOS-meddelelserne bør anvendes.
1	PRN Mask Assignments	Satellitmaske. Angiver, hvilke satellitter de efterfølgende korrektioner relaterer sig til.
2-5	Fast Corrections	Korrektioner til pseudoafstande for satellitter angivet i meddelelsestype 1, samt integritetsindikatoren UDREI for hver pseudoafstandskorrektion.
6	Integrity Information	Samling af alle UDREI'er udsendt i meddelelestyperne 2-5. Anvendes bl.a. ved alarmering (UDREI=15).
7	Integrity Degradation Information	Angiver hvor lang tid integritetsindikatorerne, UDREI og GIVEI, kan antages at være gyldige.
9	SBAS Ephemeris	Efemerider for EGNOS-satellitterne. Bemærk: Ikke Kepler-elementer som ved GPS, men ECEF-positioner mm.
10	Degradation of Corrections	Angiver, hvor lang tid de udsendte korrektioner (Meddelelestyperne 2-5, 25 og 26) kan antages at være gyldige.
12	SBAS Network Time/UTC Offset	Angiver tidsforskydningen mellem tidsangivelser i SBAS og tidsangivelser i UTC.
17	SBAS Almanac	Almanakker for EGNOS-satellitterne.
18	Ionospheric Grid Point Mask	Gridmaske. Angiver, hvilke punkter i ionosfæregrid'et, der udsendes ionosfæreforsinkelseskorrektioner til.
24	Mixed Fast and Slow Corrections	Ikke implementeret endnu. Skal på sigt indeholde fast+slow corrections, hvis EGNOS-satellitterne udsender korrektioner for mindre end 6 satellitter.
25	Slow Corrections	Korrektioner for langsomt voksende fejl (Satellitposition, hastighed og urfejl) for satellitter angivet i meddelelsestype 1.
26	Ionospheric Delay Corrections	Ionosfæreforsinkelseskorrektioner for gridpunkter angivet i meddelelsestype 18.
27	SBAS Service Region	Angiver det geografiske område, hvori EGNOS-meddelelserne kan anvendes.
62	Internal Test Message	Testmeddelelse. Anvendes af ESA til interne testbeskeder.
63	Null Message	Tom meddelelse.

Tabel 3.4: Meddelelestyper i EGNOS-signalet. [Eurocontrol, 2003, s. 18-20]

Af Figur 3.4 fremgår det, at meddelelestyperne 0¹, 3 og 4 er de meddelelestyper, der oftest forekommer, idet de sammenlagt udgør næsten $\frac{3}{4}$ af de samlede EGNOS-beskeder i testperioden. Slow corrections (MT25) og ionosfære korrektioner (MT26) forekommer hver med en andel svarende til ca. 10% af det samlede antal beskeder. De øvrige meddelelestyper forekommer relativt sjældent.

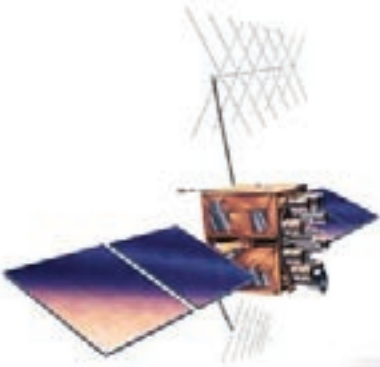
På baggrund af de to foregående kapitler, er der nu oparbejdet et vidensniveau om differential GNSS, herunder DGPS- og SBAS-systemer, samt EGNOS' systemarkitektur og signalstruktur. Næste del af foranalysen



Figur 3.4: Procentvis fordeling af meddelelestyper over syv døgn, svarende til 604.800 meddelelser.

omhandler en undersøgelse af, hvorvidt anvendelse af EGNOS resulterer i forbedrede positioner, jf. ESA's målsætninger.

¹ Som forklaret i Tabel 3.4 udsendes MT2 i testperioden som MT0.



PILOTTEST

Jævnfør det initierende problem, er det projektgruppens primære ønske at få afklaret, hvorvidt anvendelsen af EGNOS medfører forbedret nøjagtighed og præcision, samt hvorvidt eventuelle forbedringer som følge af EGNOS kan anvendes i landmålingssammenhæng. Der blev desuden indledningsvist diskuteret øvrige anvendelsesmuligheder, eksempelvis anvendelse af billige kodemodtagere til matrikulær måling i udviklingslande, såfremt anvendelsen af EGNOS for denne modtagertype kan medføre væsentlig forbedret præcision/nøjagtighed. I forsøget på at afklare disse spørgsmål, vil der blive gennemført en pilottest, som beskrives i de følgende afsnit.

4.1 Testplanlægning

For at afgøre hvordan pilottesten skal udføres, er det nødvendigt først at definere formålet med testen og på baggrund heraf opstille en dækkende kravspecifikation til dataindsamlingen

4.1.1 Modtagervalg og modtagerspecifikationer

Da det primære formål med pilottesten er at undersøge, hvorvidt der kan opnås no-

gen præcisions-/nøjagtighedsmæssig forbedring ved at anvende EGNOS-realtime, og om en eventuel forbedring afhænger af modtagerkvaliteten, er det vigtigt, at modtagere af forskellig kvalitet/type indgår i testen. Med modtagerkvalitet menes der i denne forbindelse, hvor høj præcision/nøjagtighed det kan forventes at opnå ved normal brug af modtageren. Dette afhænger følgelig af mange faktorer, heriblandt antenntype, anvendte signaler og firmware (positionsberegningstype). Da pilottesten ikke sigter på at afgøre, indenfor hvilke anvendelsesområder EGNOS egner sig bedst, ønskes det derfor at gennemføre testen med modtagere af både lav og høj kvalitet - eksempelvis modtagere som udelukkende anvender C/A-koden ved positionsbestemmelsen, og modtagere som både anvender bærebølgerne og de påmodulerede koder ved positionsbestemmelsen. Endeligt skal modtagerne følgelig kunne anvende EGNOS-meddelelsernes differentielle korrektioner.

På baggrund af disse overvejelser, samt adgangen til forskellige modtagere på landinspektøruddannelsen, har projektgruppen valgt at lade følgende modtagertyper indgå i pilottesten:

- Fritidsmodtager: 1 stk. Garmin Etrex Legend + 1 stk. Garmin Etrex Venture
- GIS-modtager: 2 stk. Trimble GeoXT
- Geodætisk modtager: 2 stk. Trimble R8 GNSS

Da projektgruppen ikke kunne tilvejebringe to identiske fritidsmodtagere, anvendes i stedet to modtagere med samme antenne og firmware. Hermed antages det, at signallerne behandles ens i modtagerne, og at resultaterne fra de to modtagere hermed kan sammenlignes.

I Tabel 4.1 ses en oversigt over udvalgte instrumentspecifikationer for de anvendte modtagertyper.




4.1.2 Kravspecifikation

For at afgøre hvorvidt der kan opnås forbedret nøjagtighed og præcision ved an-

vendelsen af EGNOS-meddelelserne, er det nødvendigt at foretage sammenligning mellem positioner indsamlet henholdsvis med:

- *EGNOS-realtime*: Modtageren påfører EGNOS-korrektionerne til de indsamlede observationer.
- *Stand-alone GPS*: Modtageren indsamler rå GPS-observationer (ukorrigerede observationer).

Af hensyn til at opnå sammenlignelige resultater er det et krav, at der simultant indsamles to datasæt under ens forhold, således at påvirkninger fra eksempelvis multipath og atmosfæriske forstyrrelser kan antages at være ens for de to datasæt. Det optimale for at sikre at dataindsamlingen sker under ens forhold er, at positionerne indsamles med den samme antenne,

Modtagertype	Garmin Etrex Legend/Venture	Trimble GeoExplorer XT	Trimble R8 GNSS
			
Antenne	Built-in patch	Internal GeoXT	Advanced Trimble Maxwell™ Custom Survey GNSS Chip
Understøttede frekvenser: - GPS-L1 - GPS-L2 - GPS-L5 - GLONASS-L1 - GLONASS-L2	Kode Nej Nej Nej Nej	Kode+Fase Nej Nej Nej Nej	Kode+Fase Kode+Fase Kode+Fase Kode+Fase Kode+Fase
SBAS-kompatibel	Ja	Ja	Ja
Antal kanaler	12	12	72
Maksimal epokefrekvens	0,5 Hz	1 Hz	1 Hz
Hukommelse	8 mb	512 mb	11 mb (512 mb i TSC2)
Output - NMEA 183 - Rå observationer	Ja Nej	Ja Ja	Ja Ja

Tabel 4.1: Udvalgte instrumentspecifikationer for modtagertyper anvendt ved pilottest.

og at signalet efterfølgende splittes op og behandles i to modtagere af samme type. Da modtagerstøjen selvsagt er modtagerafhængig, bør forsøget gentages med omvendt konfiguration af de to modtagere.

Af hensyn til valget af modtagere, er det ikke muligt at anvende splitterkabel, idet alle tre modtagertyper har interne antenner. I stedet er det valgt, så vidt muligt at opsætte modtagerne under ens forhold, hvilket er nærmere beskrevet i Afsnit 4.2.1.

Datagrundlag

For at kunne udtale sig om hvorvidt anvendelse af EGNOS generelt medfører forbedret præcision og nøjagtighed, kræves et vist datagrundlag. Det er valgt at lade modtageren med den laveste outputfrekvens definere, hvor ofte der indsamles observationer. Det betyder jf. Tabel 4.1, at der indsamles positioner med en frekvens på $\frac{1}{2}$ Hz, da det er det maksimalt mulige for Garmin Etrex, når der ønskes NMEA-output. Det er valgt at lade hver af modtagerne måle én time med henholdsvis stand-alone GPS og EGNOS-realtime. Det giver et samlet datagrundlag på $2 \cdot 60 \cdot 30 = 3600$ positioner pr. modtager. Positionerne lagres i NMEA-0183-strengene som geografiske koordinater angivet i WGS84 og ellipsoidehøjder i forhold til GRS80-ellipsoiden.

For at kunne afgøre hvilken nøjagtighed der kan opnås med henholdsvis stand-alone GPS og EGNOS-realtime, skal koordinaterne til de punkter, hvori der måles, være kendte. Bestemmelsen af koordinater til disse punkter forklares i Afsnit 4.2.2.

4.2 Gennemførelse

På baggrund af de krav til pilottesten, som blev fremsat i planlægningsfasen, jf. ovenstående afsnit, kan testen herefter gennemføres. Denne fase af pilottesten omfatter tre

trin: Valg af testfelt, referencemåling og praktisk gennemførelse af test.

4.2.1 Valg af testfelt

Forud for dataindsamlingen opstilles følgende krav til testfeltet:

- Fra testfeltet skal der være frit udsyn mod syd, af hensyn til at kunne modtage signal fra EGNOS-satellit PRN120. (Elevationsvinkel: 20 grader)
- Objekter, som kan forårsage multipath, skal i videst muligt omfang undgås i testfeltet.
- Modtagere skal kunne monteres og orienteres ens for hver testperiode.
- Montering af modtagerne skal være stabil og skal kunne forblive stabil under hver testperiode.

På taget af Fibigerstræde 11 (Institut 20, Aalborg Universitet), findes en række veldefinerede punkter i form tre jernplader, hvor der på hver af disse er svejset gevind til et standardfodstykke, se Figur 4.1. Disse punkter opfylder alle ovennævnte krav til testfeltet, hvorfor det vælges at udføre pilottesten ved disse punkter.

Testen gennemføres over tre testperioder (én for hver modtagertype), hvor der i hver testperiode måles simultant med to modtagere, hvoraf den ene konfigureres til at modtage EGNOS-realtime og den anden som stand-alone GPS. For at kunne måle simultant med to modtagere ved det ene punkt på taget af Fibigerstræde 11, har projektgruppen først monteret et fodstykke på gevindet, hvorpå der efterfølgende er monteret en 1-meter kulfiberbom², centreret over fikspunktet. I hver ende af denne kulfiberbom kan der monteres en modtager, se Figur 4.1. Hermed kan formålet med testen opfyldes, samtidigt med at kravene til testfeltet er opfyldt.

² Kulfiberbommen fungerer normalt som en del af Thales ADU5 GPS-modtager. Se http://products.thalesnavigation.com/assets/datasheets/ADU5_EN_1.pdf



Figur 4.1: Billede A: Fikspunkt ved Fib. 11. Billede B og C: Montering af GeoXT-modtagere.

4.2.2 Referencemåling

For at det i forbindelse med databehandlingen skal kunne afgøres, hvorvidt der opnås forbedret nøjagtighed ved anvendelse af EGNOS-realttime, skal punkterne for enden af den omtalte kulfiberbom, hvori modtagerne monteres, indmåles. Indmålingen skal foretages med overlegen nøjagtighed, i forhold til, hvad der kan forventes af pilottestens målinger. Til dette formål har projektgruppen anvendt RTK GPS med en geodætisk modtager af typen Leica GPS System 530, med den instrumentkonfiguration som fremgår af Tabel 4.2.

Med det anvendte udstyr, og den valgte måleindsats, forventes det at kunne opnå en nøjagtighed bedre end 3 cm i både planen og højden, jf. [Madsen & Villadsen, 2003], hvilket er signifikant bedre end den forventelige præcision ved absolut positionering med testmodtagerne.

Udover indmåling af punkterne for enden af kulfiberbommen (Punkt 1 og 2), indmåles de øvrige fikspunkter på taget

af Fibigerstræde 11 (1000,1001 og 1002) også, både før og efter pilottesten, som kontrol.

Som det fremgår af Tabel 4.3, er den maksimale difference i én akseretning mellem første og anden måling 10 mm. Den maksimale 3D-difference er 11 mm. Projektgruppen havde forventet en præcision bedre end 30 mm for RTK-målingen, hvorfor det kan konkluderes, at referencemålingen er forløbet tilfredsstillende i forhold til de fremsatte krav. For at opnå entydige koordinater til punkt 1 og 2 vælges det at anvende middelkoordinaterne af de to målinger. På denne baggrund anvendes referencekoordinater for punkt 1 og 2 jf. Tabel 4.4 i den resterende del af pilottesten.

4.2.3 Gennemførelse af tests

Pilottesten blev gennemført over tre dage (13/3, 14/3 samt 21/3-2006), således at der blev testet én modtagertype pr dag. Det blev tilstræbt at gennemføre testen i

RTK-tjeneste	GPS-Referencen (enkeltstations) Referencestation: Aalborg Afstand fra testfelt til referencestation: 4 km
Observationer	Kode- og faseobservationer på L1- og L2-båndet
Antal epoker	10
Epokefrekvens	1 Hz
Antal målinger	2 (Før og efter pilottest)

Tabel 4.2: Instrumentkonfiguration, referencemåling.

Punkt	1. Måling UTM32/WGS84, GRS80 [m]			2. Måling UTM32/WGS84, GRS80 [m]			Differens [mm]		
	N	E	h	N	E	h	ΔN	ΔE	Δh
1	6319819,766	559346,381	52,884	6319819,756	559346,378	52,888	10	3	-4
2	6319819,775	559345,379	52,883	6319819,769	559345,380	52,881	6	-1	2
1000	6319819,763	559345,889	52,771	6319819,762	559345,883	52,770	1	6	1
1001	6319816,965	559382,706	52,324	6319816,963	559382,706	52,319	2	0	5
1002	6319775,674	559371,409	52,377	6319775,678	559371,410	52,384	-4	-1	-7

Tabel 4.3: Resultat af referencemåling. Differens er lig 1. måling fratrukket 2. måling.

Punkt	UTM32/EUREF89, GRS80 [m]		
	N	E	h
1	6319819,761	559346,380	52,886
2	6319819,772	559345,380	52,882

Tabel 4.4: Referencekoordinater, punkt 1 og 2.

samme tidsrum hver dag, af hensyn til, at alle målingerne blev foretaget under tilnærmelsesvis ens satellitkonstellation. Det er indres dog, at det ikke var den primære hensigt med pilottesten at sammenligne resultaterne på tværs af modtagertyperne, hvorfor det ikke er af afgørende betydning, at målingerne blev foretaget med stjerne-døgnsforskydninger.

Ved dataindsamlingen blev hver modtager tilsluttet en computer, hvorefter programmet *GPS Diagnostics*³ blev anvendt til at logge NMEA 0183-strengene fra computerens kommunikationsport (COM, 600 byte/sek), se Figur 4.2. Trimble GeoXT modtagerne kan imidlertid ikke forbindes direkte med en COM-port, hvorfor der i stedet blev oprettet en bluetooth-forbindelse (1 Mb/sek) mellem hver modtager og computerne, se Figur 4.3. Ligeledes kunne *GPS Diagnostics* ikke anvendes i forbindelse med modtagelse af EGNOS-realtime med Trimble R8 GNSS-modtageren (herafter forkortet R8-modtageren), hvorfor den modtager, som var konfigureret til at modtage EGNOS-realtime, i stedet blev forbundet til en Trimble TSC2-styreenhed. Med denne enhed blev der logget observa-

tioner som muliggjorde at udtrække samme attributoplysninger fra modtageren som ved anvendelse af NMEA-strengene.

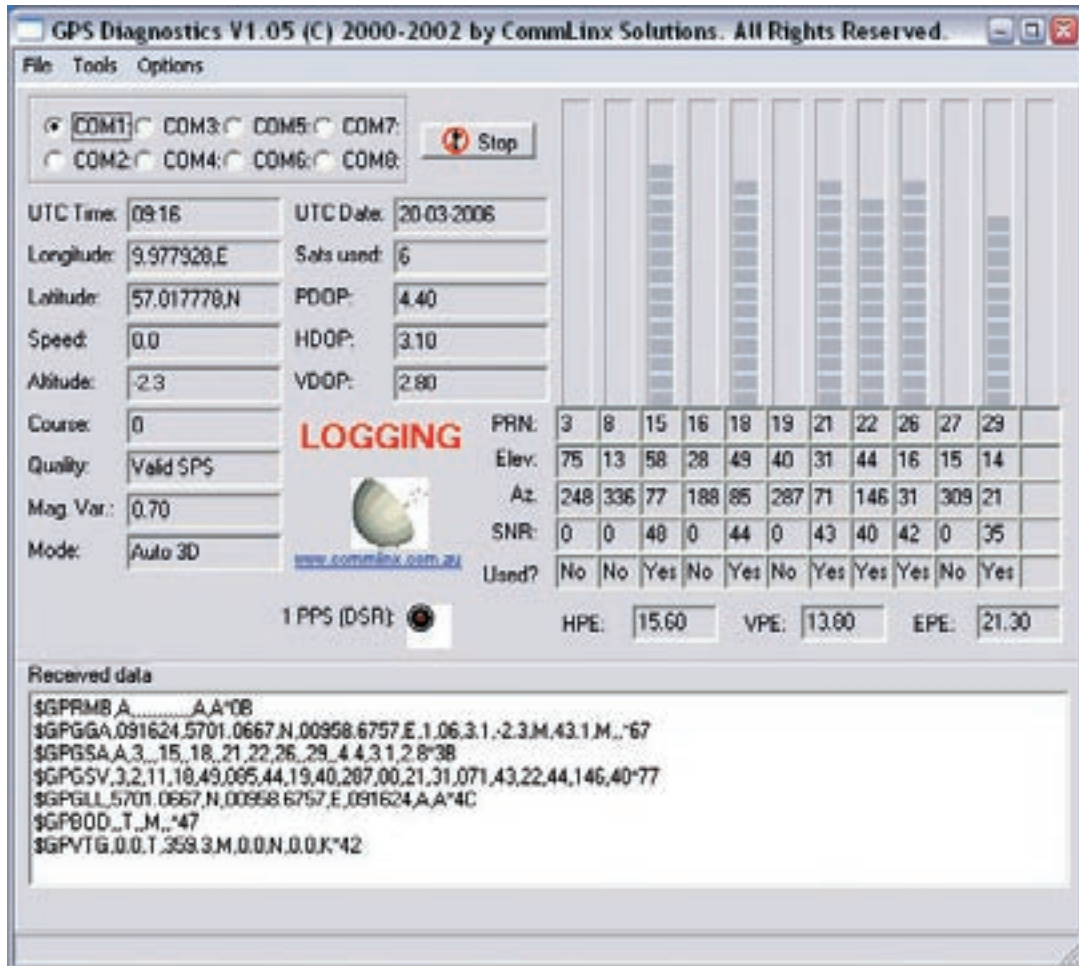
4.3 Databehandling

Dette afsnit redegør for databehandling af de positioner, der blev indsamlet under pilottesten med de tre forskellige modtagertyper. I forbindelse med databehandlingen har projektgruppen udviklet tre Matlabscripts, som danner rammen om nedenstående afsnit.

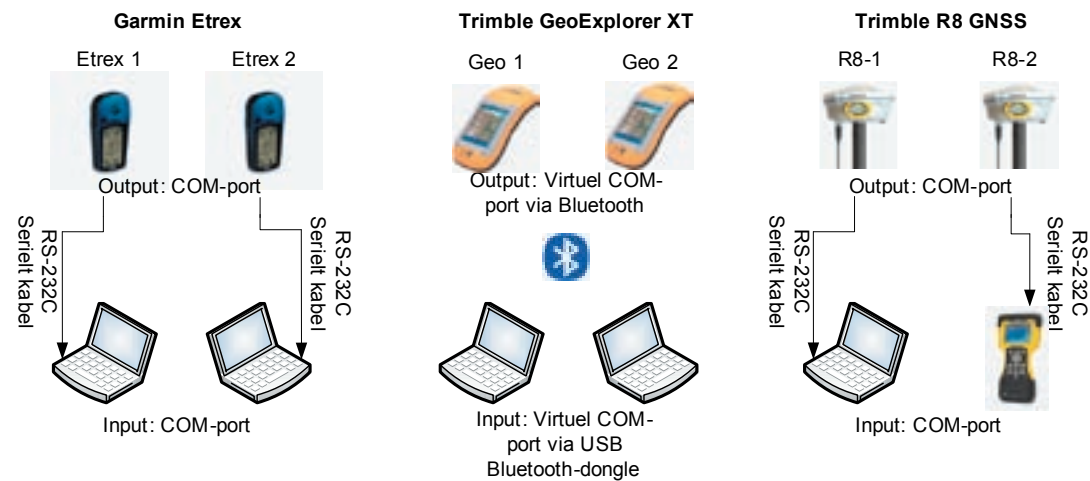
4.3.1 Matlabscript: NMEA_read

Dette Matlabscript læser den rå NMEA-fil fra *GPS Diagnostics* og behandler de forskellige oplysninger deri. I programmet findes de strenge, der starter med \$GPGGA (GGA-sætning), som indeholder positionen til det målte punkt. Positionen er angivet i geografiske koordinater. Højden er angivet ud fra højden over modtagerens indbyggede geoidemodel. Da denne geoidemodel ikke er kendt, er højden over GRS80-ellipsoiden medtaget. Herved kan ellipsoidhøjden bestemmes ved at summere de to størrelser. Længden og bredden er repræsenteret i grader og decimalminutter. Derudover indeholder GGA-strengen også oplysninger om antal satellitter, UTC-tid, og hvorvidt der anvendes EGNOS-realtime eller stand-alone GPS. For at præsentere de beregnede positioner foretages der en omregning til UTM zone 32/WGS84 vha.

³ Freeware udviklet af Laipac Technology Inc. (hard- og softwareproducent til teleindustrien). Kan downloades via: http://www.laipac.com/gps_gpsdiag_eng.htm. Findes desuden på Bilag I (DVD)



Figur 4.2: Screenshot, GPS Diagnostics.



Figur 4.3: Forbindelse mellem GPS-modtagere og computere.

Matlabscriptet *geo2tm*, udviklet af lektor Peter Cederholm. Positionerne i UTM-koordinater samt tid og ellipsoidehøjde skrives til en outputfil.

I NMEA-filen søges der desuden efter \$GPGSA (GSA-sætning), der indeholder PRN-numre på de benyttede satellitter og PDOP-værdier (Position Dilution Of Precision). GSA-sætningen indeholder ingen UTC-tid, men efter hver udsendt GGA-sætning sendes en GSA-sætning, som refererer til den udsendte GGA-sætning. Satellitinformationerne skrives til outputfilen efter koordinaterne og er fremstillet ved et ”flag system”, der består af en linie af 0 og 1-taller. Hvis f.eks. satellit PRN 03 er med i GSA-strengen, vil der i linien på tredje plads være et 1-tal osv., se Figur 4.4. En nærmere beskrivelse af NMEA-formatet findes i Appendiks D (NMEA).

I programmet gennemses de enkelte NMEA-strengte desuden for forskellige fejl, som kan opstå i forbindelse med datatransmissionen. De sidste to tegn i hver sætning er en checksum, der kan vise, om der mangler informationer i den modtagne sætning. Denne checksum beregnes ved hjælp af et program; *NMEA_tjek.m*, udviklet af Steve Dodds. De to checksummer kan efterfølgende sammenlignes og kun, hvis

de er ens, gemmes positionen. Derudover kan der også opstå fejl i selve den label, der angiver, hvilken strengtype, der er tale om. Disse fejlbehæftede sætninger anvendes heller ikke. Matlabscriptet returnerer en rapportfil, der indeholder antallet af disse to fejltypen, se Figur 4.4. Til beregning og visualisering af resultater er Matlab-scriptene *beregning_pilot.m* og *plot_pilot.m* udarbejdet. Disse scripts findes på Bilag 1 (DVD)

4.4 Resultater

I dette afsnit vil resultaterne, der er opnået ved gennemførelsen af pilottesten blive præsenteret og analyseret. For at visualisere resultaterne er der, ved hjælp af *plot_pilot.m* produceret scatter plots, der afbilder hver enkelt position i forhold til referencekoordinaten. Dette gør det muligt rent visuelt at vurdere såvel præcision som nøjagtighed for hver af de gennemførte målinger. Desuden er der lavet plots, som viser afvigelserne i hver af de tre akseretninger i forhold til referencekoordinaterne. Under disse plots findes desuden plots af PDOP og antal satellitter så det kan afgøres, om eventuelle spring i nøjagtigheden fremkommer som følge af disse faktorer.

```

Inputfil: NMEA fil
$GPGGA,105202,5701.0827,N,00958.6447,E,2,05,1.3,7.8,M,43.1,M,,*40
$GPGSA,A,3,03,08,11,14,15,,,,,,,,,2.3,1.3,1.9*33
...

Outputfil: .enh fil
105202 6319819.240 559345.771 50.900 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0...
...

Outputfil: .rap fil
Resultat af oversættelse fra NMEA til .enh fil
Etrex_blaa_time1_m_egnos_pkt2.TXT
NMEA fejl      Checksum fejl
0              0

```

Figur 4.4: Input og outputfiler fra NMEA_read.

Afslutningsvis er der for hver modtagertype beregnet RMS værdier og spredninger, henholdsvis ved anvendelse af stand-alone GPS og EGNOS-realtime.

4.4.1 Garmin Etrex

Af Figur 4.5 fremgår resultatet af de gennemførte tests, der implicerer Garmin Etrex. De to figurer til venstre med røde punkter markerer målingerne med stand-alone GPS, mens de blå punkter i de to figurer til højre angiver målinger med EGNOS-realtime.

Som det fremgår af Figur 4.5, er der i første time tendens til en noget højere spredning med EGNOS-realtime end stand-alone GPS. I anden time er der ikke stor forskel på, hvorvidt der måles med stand-alone GPS eller EGNOS-realtime.

I Figur 4.6 ses det, at der ikke er nogen voldsomme spring i afvigelse på nogen af de tre akseretninger, hverken i første eller anden time af testen, når der måles med stand-alone GPS. Antallet af satellitter kommer ikke under 8, og PDOP'en holder sig under 2,5, hvilket betyder, at der har været gunstige forhold for opmåling i hele perioden.

Når der måles med EGNOS-realtime, ses der væsentligt større afvigelser, specielt i første time, som det fremgår både af Figur 4.5 og Figur 4.7. Afvigelsen på Easting-koordinaten er oppe på 10 meter, og vertikalt er afvigelsen oppe på ca. 30 meter. Som det kan ses, har PDOP'en været støt stigende fra epokenummer. 500 – 1000 og er nået op på ca. 9, hvilket er uacceptabelt højt. Årsagen er tilsyneladende, at antallet af satellitter har været meget lavt (3-5). Projektgruppen vurderer, at dette skyldes, at der ikke er udsendt EGNOS-korrektioner til alle de satellitter som der kan modtages signal fra vha. stand-alone GPS. Såfremt

der ikke udsendes EGNOS-korrektioner til en satellit, der ellers ville have indgået i positionsberegningen, udgår denne satellit fra positionsberegningen. Dette kan, som det ses af resultaterne, have den uheldige konsekvens, at PDOP-værdien stiger markant, ligesom nøjagtigheden falder betydeligt.

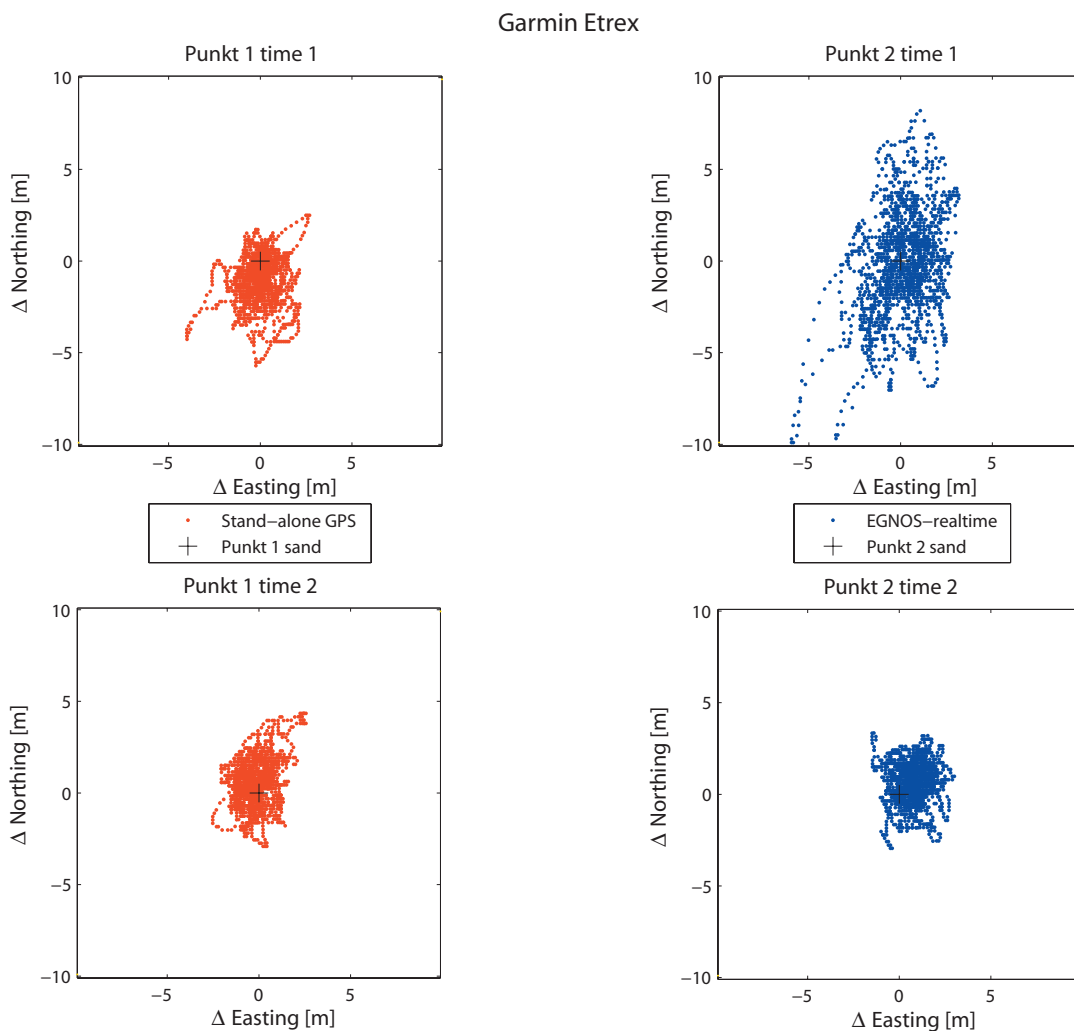
I anden time er der ikke nogen tydelig forskel på resultaterne fra modtagerne, der har målt med henholdsvis stand-alone GPS og EGNOS-realtime, som det også fremgik af Figur 4.5. Afvigelse, antal satellitter og PDOP'en ligger på nogenlunde samme niveau for de to modtagere.

For at give et mere overskueligt overblik over hvorledes modtageres præcision og nøjagtighed påvirkes ved at måle henholdsvis med stand-alone GPS og EGNOS-realtime, er der i Tabel 4.5 beregnet RMS og spredning for planen og højden for hver time af testen.

Ifølge tabellen medfører EGNOS-realtime tilsyneladende ikke forbedringer, hverken i planen eller højden, når der anvendes Garmin Etrex modtagere. Kun i anden time er spredningerne en smule mindre med EGNOS-realtime end stand-alone GPS, men forskellen er så minimal, at der ikke kan drages nogen generel konklusion. Ellers er både RMS og spredningen generelt bedre, når der måles med stand-alone GPS.

4.4.2 Trimble GeoXT

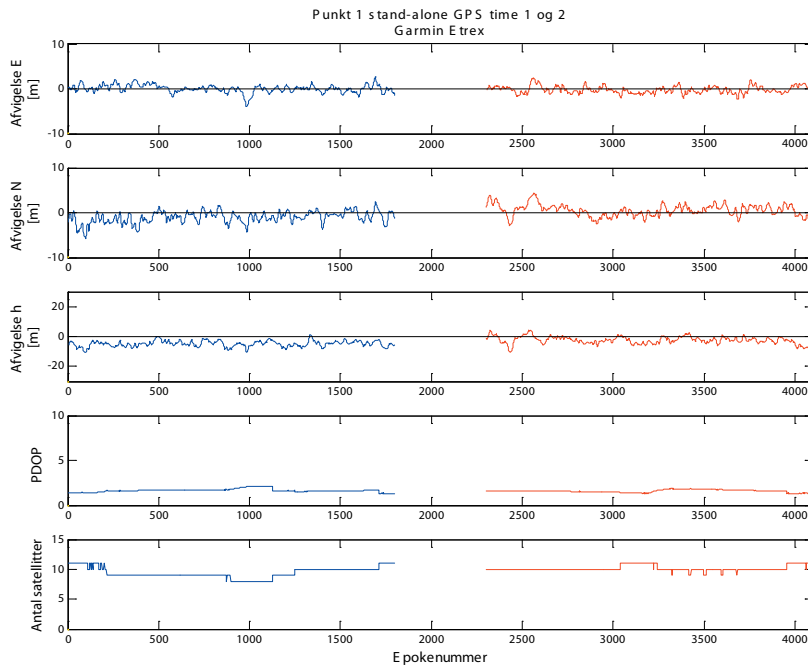
De positioner der er logget med GeoXT-modtagerne, er plottet i Figur 4.8. Først ses det, at spredningen er væsentligt lavere, end den var med Garmin Etrex modtagere, hvilket er forventeligt, da GeoXT-modtagerne er væsentligt dyrere og ikke kun anvender kodeobservationer, men også faseobservationer på L1 i positionsbestemmelsen. Det ser desuden ud til, at der i første time opnås en væsentlig mindre RMS-



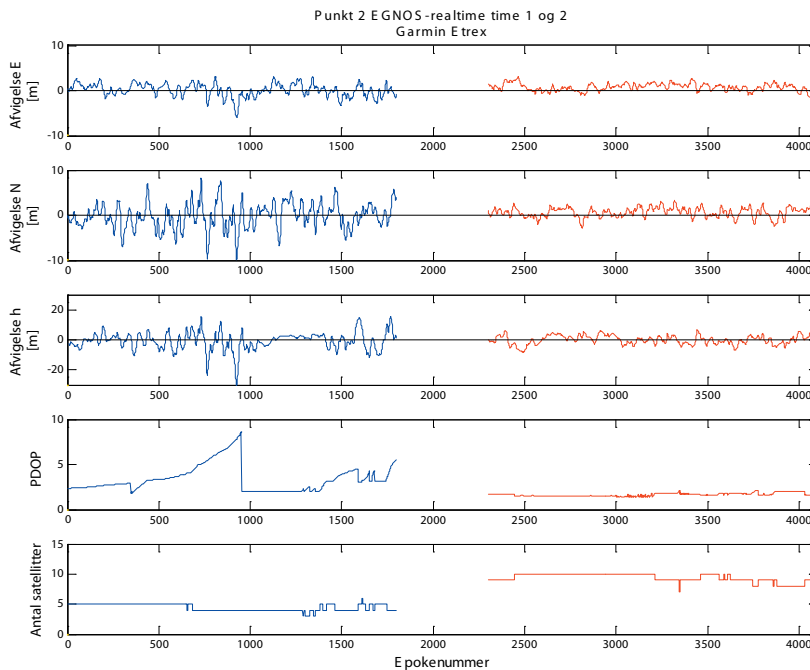
Figur 4.5: Plot af afvigelser i forhold til punktets sande værdi for positioner logget med Garmin Etrex. Røde punkter angiver at målingen er foretaget med stand-alone GPS, mens de blå punkter angiver at der er anvendt EGNOS-realtime.

Garmin Etrex (1800 observationer)	Stand-alone GPS				EGNOS-realtime			
	Plan		Højde		Plan		Højde	
	RMS [m]	σ [m]	RMS [m]	σ [m]	RMS [m]	σ [m]	RMS [m]	σ [m]
Time 1	1,91	1,60	5,22	2,04	3,21	3,20	5,97	5,91
Time 2	1,65	1,54	3,46	2,50	1,69	1,38	3,10	3,10

Tabel 4.5: Værdier for RMS og spredningen i plan og højde samt antal observationer logget med Garmin Etrex stand-alone GPS og EGNOS-realtime.



Figur 4.6: Plot af afvigelserne i hver akseretning i forhold til den sande værdi, samt plot af PDOP og antal anvendte satellitter for Garmin Etrex i stand-alone GPS mode. De blå kurver angiver første time af dataindsamlingen, mens de røde angiver time 2.



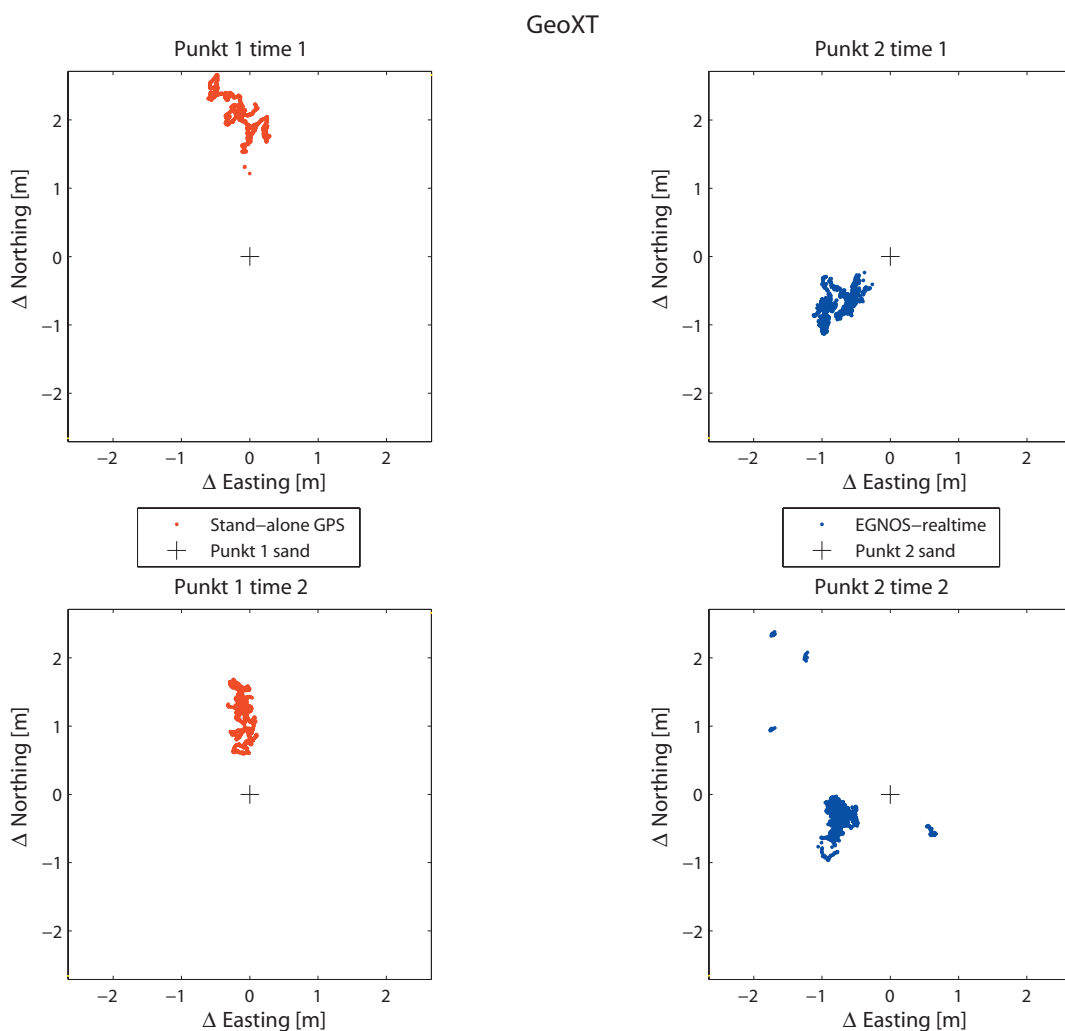
Figur 4.7: Plot af afvigelserne i hver akseretning i forhold til den sande værdi, samt plot af PDOP og antal anvendte satellitter for Garmin Etrex EGNOS-realtime mode. De blå kurver angiver første time af dataindsamlingen, mens de røde angiver anden time.

værdi ved at anvende EGNOS-realtime. I anden time med EGNOS-realtime er der opstået et antal outliers, der ses som fire grupper af punkter, der ikke ligger sammen med de øvrige.

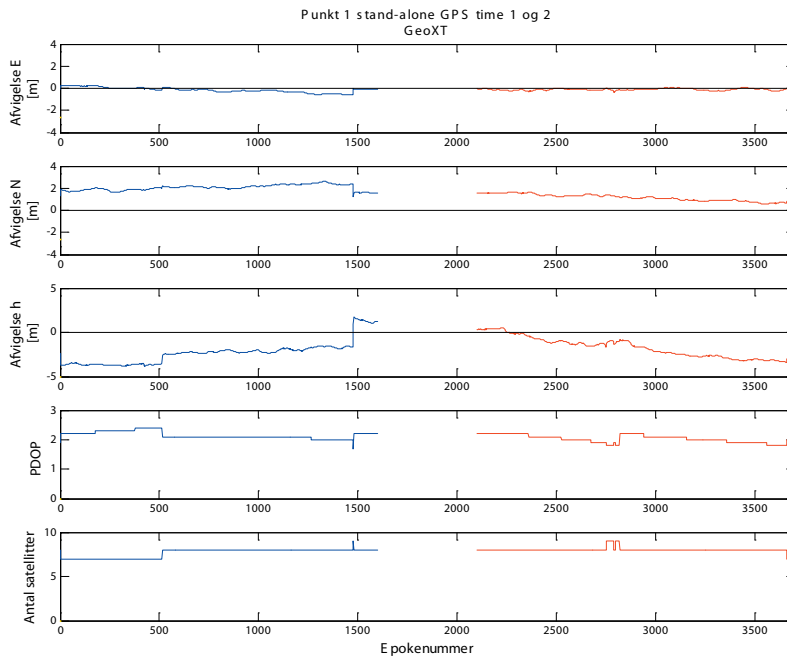
De outliers der ses i Figur 4.8, fremgår også af Figur 4.10, hvor der i starten af anden time, omkring epoke 2200, ses spring på omkring 2 meter i Easting og Northing og 5 meter i højden. Der er ingen tendenser

i PDOP og antal satellitter der kan forklare disse spring.

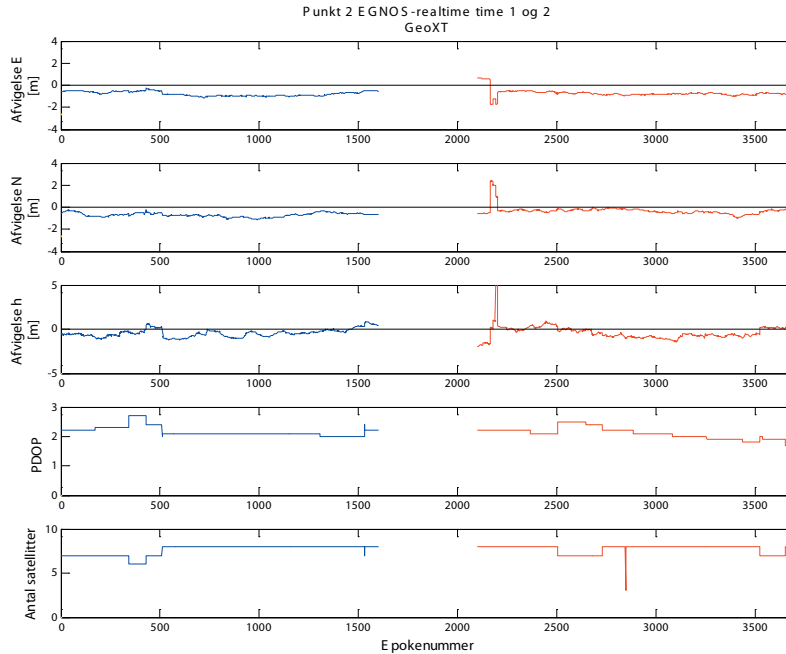
Udover det ovenfor nævnte forhold er der ikke noget der ud fra Figur 4.9 og Figur 4.10 antyder, at der i testperioden med GeoXT-modtageren er foregået noget usædvanligt. I både første og anden time er nøjagtigheden, i såvel plan som højde, som det fremgår af Tabel 4.6, væsentligt forbedret ved anvendelse af EGNOS-realtime, når der måles med GeoXT-modtagerne. Spredningen i planen er ved anvendelse af EGNOS-



Figur 4.8: Plot af afvigelser i forhold til punktets sande værdi for positioner logget med GeoXT-modtagerne. Røde punkter angiver at målingen er foretaget med stand-alone GPS, mens de blå punkter angiver at der er anvendt EGNOS-realtime.



Figur 4.9: Plot af afvigelserne i hver akseretning i forhold til den sande værdi, samt plot af PDOP og antal anvendte satellitter for GeoXT-modtageren i stand-alone GPS mode. De blå kurver angiver første time af dataindsamlingen, mens de røde angiver anden time.



Figur 4.10: Plot af afvigelserne i hver akseretning i forhold til den sande værdi, samt plot af PDOP og antal anvendte satellitter for GeoXT-modtageren i EGNOS-realtime mode. De blå kurver angiver første time af dataindsamlingen, mens de røde angiver anden time.

Trimble GeoExplorer XT (1800 observationer)	Stand-alone GPS				EGNOS-realtime			
	Plan		Højde		Plan		Højde	
	RMS [m]	σ [m]	RMS [m]	σ [m]	RMS [m]	σ [m]	RMS [m]	σ [m]
Time 1	2,10	0,35	2,65	1,30	1,08	0,27	0,63	0,45
Time 2	1,16	0,33	2,24	1,20	0,93	0,50	0,84	0,75

Tabel 4.6: Værdier for RMS og spredningen i plan og højde samt antal observationer logget med GeoXT-modtagerne med henholdsvis stand-alone GPS og EGNOS-realtime.

realtime, sammenlignet med stand-alone GPS, lidt mindre i første time og væsentligt større i anden time af testen. Dette formodes, at skyldes de før omtalte outliers, som opstår af uforklarlige årsager. Fokuseres der på højden, ses det af Tabel 4.6, at der ved anvendelse af EGNOS-realtime opnås væsentlige forbedringer i forhold til stand-alone GPS.

4.4.3 Trimble R8 GNSS

Positionerne fra R8-modtagerne er i Figur 4.11 plottet i forhold til referencekoordinaten. Som det fremgår, ligger alle punkter beregnet ud fra observationer både med EGNOS-realtime og stand-alone GPS inden for ca. 1 meter fra referencekoordinaten. Det ser ud til, at målingerne foretaget med EGNOS-realtime ligger mere samlet og således har en lavere spredning end stand-alone GPS. I den anden time med EGNOS-realtime er der nogle få outliers.

Ud fra Figur 4.12 og Figur 4.13 ser det umiddelbart ud til, at målingerne foretaget med stand-alone GPS er mere påvirkelige overfor de tidspunkter, hvor der forsvinder en satellit eller kommer en ekstra til syne. Dette fremgår af de små spring, der hoved-

sageligt sker på højden men også i planen, hver gang antallet af satellitter ændrer sig.

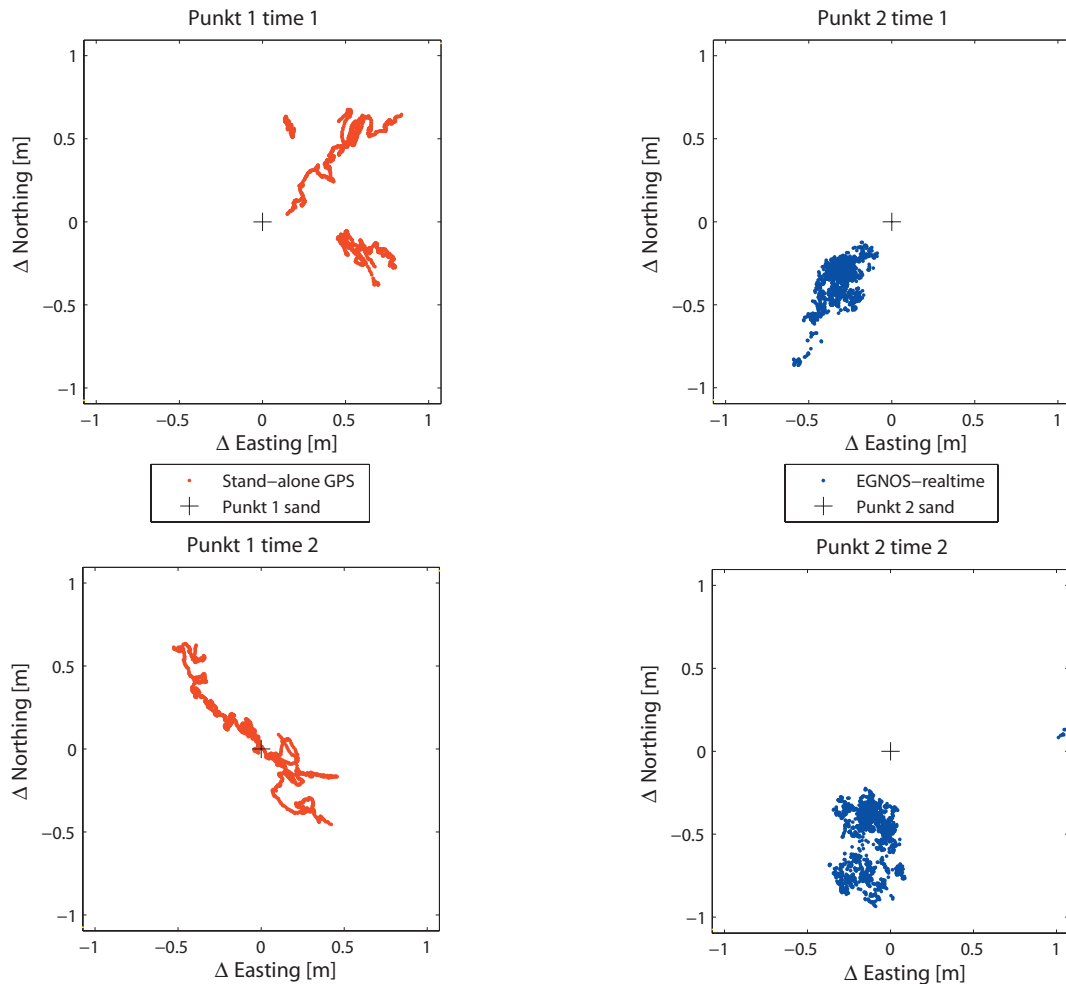
Ud fra Tabel 4.7 fremgår det, at RMS i planen er bedst for EGNOS-realtime målingen i første time, mens stand-alone GPS løsningen giver den laveste RMS i anden time. Ses der derimod på spredningen i planen, ses det, at den omtrentligt er halvt så stor med EGNOS-realtime i både første og anden time. Fokuseres der på højden, fremgår det, at EGNOS-realtime medfører væsentlige forbedringer for både nøjagtigheden og præcisionen i begge måleperioder.

Den meget høje RMS-værdi i højden med stand-alone GPS undrer projektgruppen, idet den er langt mere end 1½ gange RMS-værdien i planen, som oftest er gældende ved måling med GPS. Desuden er spredningerne på et forventeligt niveau. Der kan være tale om en systematisk fejl, som skyldes en fejl i Trimbles definition af NMEA-formatet. Ifølge NMEA-standarden og manualen for R8-modtageren vil der i GGA-sætningen blive givet en ortometrisk højde samt en geoideondulation, hvorved det er muligt at bestemme ellipsoidehøjden. I GGA-sætningen fra R8-modtageren er værdien for geoideondulationen altid

Trimble R8 GNSS (1800 observationer)	Stand-alone GPS				EGNOS-realtime			
	Plan		Højde		Plan		Højde	
	RMS [m]	σ [m]	RMS [m]	σ [m]	RMS [m]	σ [m]	RMS [m]	σ [m]
Time 1	0,67	0,37	3,12	0,76	0,50	0,15	0,51	0,41
Time 2	0,37	0,36	2,70	0,66	0,57	0,22	0,59	0,21

Tabel 4.7: Værdier for RMS og spredningen i plan og højde samt antal observationer logget med R8 stand-alone GPS og EGNOS-realtime.

R8



Figur 4.11: Plot af afvigelser i forhold til punktets sande værdi for positioner logget med R8-modtagerne. Røde punkter angiver at målingen er foretaget med stand-alone GPS, mens de blå punkter angiver, at der er anvendt EGNOS-realtime.

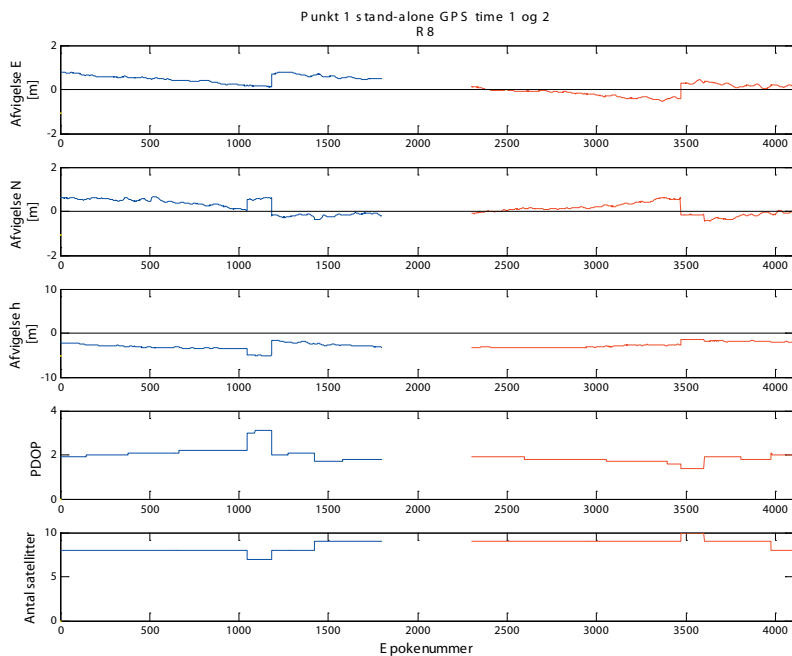
”0”, hvilket betyder, at den angivne ellipsoidehøjde ikke antages at være korrekt, men ligeledes har det ikke været muligt at finde den præcise årsag og ej heller rette op på fejlen.

4.4.4 Opsummering

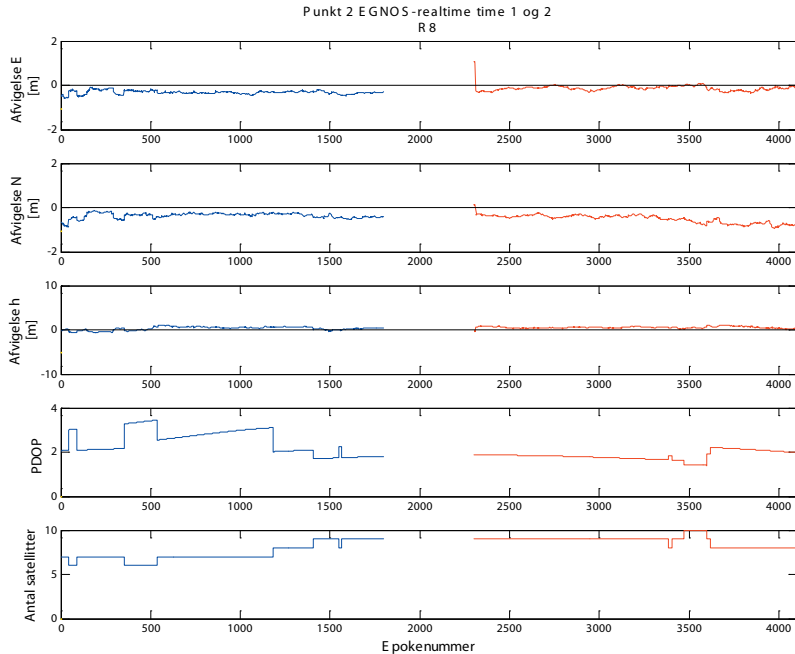
Den gennemførte pilottest antyder, at anvendelsen af EGNOS-realtime ikke altid medfører forbedringer, og at resultaterne ikke kan siges at være entydige for de tre testede modtagertyper.

For Garmin Etrex, som er klart den billigste modtager i testen, havde målingerne fra første time med EGNOS-realtime generelt lavere nøjagtighed og dårligere præcision end stand-alone GPS løsningen i såvel planen som højden. Dette skyldes sandsynligvis, at der kun var 3-5 satellitter med i løsningen med EGNOS-realtime. I anden time var der stort set ikke forskel på nøjagtigheden og præcisionen, hvad enten der blev målt med stand-alone GPS eller EGNOS-realtime.

Anderledes så det ud for de positioner, der blev logget med GeoXT-modtagerne. I



Figur 4.12: Plot af afvigelserne i hver akseretning i forhold til den sande værdi, samt plot af PDOP og antal anvendte satellitter for R8-modtageren i stand-alone GPS mode. De blå kurver angiver første time af dataindsamlingen, mens de røde angiver time 2.



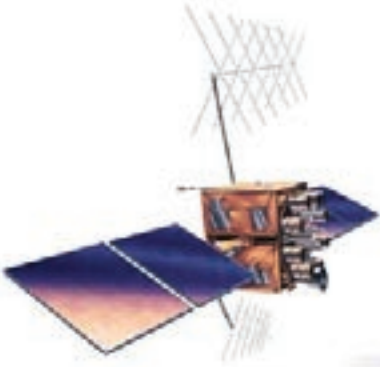
Figur 4.13: Plot af afvigelserne i hver akseretning i forhold til den sande værdi, samt plot af PDOP og antal anvendte satellitter for R8-modtageren i EGNOS-realtime mode. De blå kurver angiver første time af dataindsamlingen, mens de røde angiver anden time.

begge timer blev den plane nøjagtighed væsentligt forbedret ved at anvende EGNOS-realtime. I højden forbedres nøjagtigheden væsentligt ved brug af EGNOS-realtime. Med hensyn til præcisionen opnås der ingen forbedring i planen ved anvendelse af EGNOS-realtime, mens der i højden opnås store forbedringer.

Med de geodætiske R8-modtagere opnås der både forbedringer i nøjagtigheden og præcisionen i planen såvel som i højden ved anvendelse af EGNOS-realtime.

Testresultaterne antyder at der med anvendelse af EGNOS-realtime kan opnås forbedringer i højden – både hvad angår præcision og nøjagtighed, når bedre mod-

tagertyper anvendes. Den gennemførte pilottest antyder således, at modtagertypen har betydning i forhold til hvorvidt EGNOS medfører forbedringer eller ej. Der kan dog også være tale om dagsvariationer i kvaliteten af de EGNOS-korrektioner, der udsendes. Denne problematik har projektgruppen diskuteret nærmere med Kai Borre, Professor i landmåling ved Aalborg Universitet. Ifølge Kai Borre er dagsvariationer en sandsynlig forklaring. Hvis det ønskes afklaret, hvorvidt dagsvariationer er årsagen til de tvetydige resultater, er det nødvendigt at gennemføre yderligere undersøgelser. [Borre, Kai, 2006]



KAPITEL

5

PROBLEMFORMULERING

Med udgangspunkt i det initierende problem som indledte projektet, er der gennem foranalysen oparbejdet et vidensgrundlag omkring opbygningen af EGNOS og indholdet af EGNOS-signalet. Der er ligeledes gennemført en pilottest, hvis formål var at afgøre, hvorvidt der opnås nogen forbedring af såvel præcision som nøjagtighed ved at medtage EGNOS-signalets korrektioner i positionsberegningen. Dette vidensgrundlag medfører, sammen med resultaterne fra pilottesten, en række nye spørgsmål.

Præsentationen af systemarkitekturen og indholdet af signalet påviste, at EGNOS i dag er et fuldt udbygget SBAS-system og befinder sig p.t. (maj 2006) i sidste del af testfasen. Det primære udbytte ved at anvende EGNOS kan, ud fra en samlet anskuelse af systemet og signalets indhold, sammenfattes i følgende to punkter:

1. For det første medfører anvendelse af EGNOS' differentielle korrektioner forbedret nøjagtighed og præcision i såvel højde som plan. De differentielle korrektioner omfatter korrektioner til pseudoafstandene, efemeridefejl, satelliturfejl og ionosfæreforsinkelser.
2. For det andet medfører anvendelse af EGNOS forbedret integritet i forhold

til traditionel GNSS, idet EGNOS-signalet indeholder integritetsindikatorer og advarselsmeddelelser modsat de traditionelle GNSS-systemer, GPS og GLONASS.

Med hensyn til den forbedrede nøjagtighed blev dette forhold undersøgt nærmere gennem pilottesten. Som beskrevet i Afsnit 4.3 viste resultaterne fra pilottesten sig ikke at stemme helt overens med teorien om forbedret nøjagtighed, men da datagrundlaget var relativt beskedent, er det nærliggende at foretage lignende analyser på et større og dermed mere statistisk pålideligt datasæt. Analyse af et større datasæt vil medføre, at der kan foretages en mere generel vurdering af EGNOS' indflydelse på den opnåelige nøjagtighed og præcision ved GNSS-måling. Foruden spørgsmålet om nøjagtighed og præcision, var pilottesten med til at rejse en række nye spørgsmål og problemstillinger – f.eks. hvorfor anvendelsen af EGNOS-signalet ikke entydigt medfører forbedringer af præcision/nøjagtighed. Pilottesten afslørede samtidig heller ikke, hvorvidt integritetsmeddelelserne i EGNOS-signalet anvendes af modtageren og i bekræftende fald hvordan. Endelig

var pilottesten med til at rejse spørgsmål om, hvorvidt kvaliteten af korrektionerne i EGNOS-signalet varierer over tid.

På baggrund af ovenstående, vil der udover en mere dybdegående analyse af den opnåelige præcision og nøjagtighed, blive fokuseret på de tre spørgsmål, som er opstillet i problemformuleringen nedenfor:

Problemformulering

I) Udnytter GNSS-modtagere EGNOS-signalet optimalt, eller kan postprocessering af signalet medføre forbedret præcision og nøjagtighed?

II) Er kvaliteten af korrektionerne i EGNOS-signalet varierende over tid?

III) Kan integritetsindikatorerne i EGNOS-signalet anvendes som kvalitetssikring ved traditionelle landmålingsopgaver?

Ad spørgsmål I)

På baggrund af pilottestens resultater finder projektgruppen det oplagt at undersøge, hvordan EGNOS-korrektionerne anvendes af modtageren for herefter at kunne svare på, hvordan anvendelse af signalet kan medføre forbedret præcision/nøjagtighed.

For at undersøge disse forhold nærmere er det nødvendigt med en mere dybdegående analyse af signalets indhold end præsentationen af signalet i foranalysen og Appendiks C (EGNOS' meddelellestyper). Det skal bl.a. undersøges, hvordan hver enkelt meddelellestype er opbygget, og hvordan indholdet af meddelelserne implementeres i positionsberegningen.

Da pilottestens resultater viste, at der ikke altid kunne opnås entydige forbedringer ved anvendelse af EGNOS-korrektionerne, vil projektgruppen undersøge nærmere, hvorvidt resultatet skyldes, at modtagerne ikke anvender alle korrektionerne i signalet.

For at besvare dette spørgsmål ønsker projektgruppen at sammenligne resultatet af følgende målemetoder:

- *Stand-alone GPS*: Modtageren indsamler rå GPS-observationer (ukorrigerede observationer).
- *EGNOS-realtime*: Modtageren påfører EGNOS-korrektionerne til de indsamlede observationer.
- *EGNOS-postprocesseret*: Påførelsen af EGNOS-korrektioner foretages af projektgruppen, efter observationer er indsamlet. Dette gøres ud fra korrektioner fra EMS-filer, downloadet fra EMS-filserveren, se Appendiks B. Påførelsen sker på stand-alone GPS observationer.

Ovenstående tre begreber vil blive brugt gennem den resterende del af projektet.

Ad spørgsmål II)

På baggrund af foranalysens resultater stiller projektgruppen spørgsmålstegn ved, om kvaliteten af korrektionerne i EGNOS-signalet varierer over tid.

For at besvare spørgsmålet ønsker projektgruppen at undersøge, hvorvidt den præcision/nøjagtighed, der kan opnås ved anvendelse af EGNOS-korrektionerne, varierer over tid, hvis observationer over flere stjernedøgn sammenlignes. Korrektionernes kvalitet kan analyseres ved at fokusere på de beregnede positioner, idet disse kan opfattes som afledte størrelser af EGNOS-korrektionerne.

Ad spørgsmål III)

Uafhængigt af resultatet af de to første spørgsmål i problemformuleringen anser projektgruppen det som essentielt at undersøge, om integritetsmeddelelserne i EGNOS-signalet kan anvendes som kvalitetsindikatorer i forbindelse med traditionelle landmålingsopgaver.

Da ingen GNSS-modtagere, ifølge projektgruppens kendskab, endnu har implementeret nogen former for kvalitetsudtryk, som bygger på EGNOS-signalets

integritetsindikatorer, må integritetsindikatorernes anvendelsesmuligheder studeres vha. filer fra EMS-serveren, sammenholdt med f.eks. egne GPS-målinger.

FASE 2

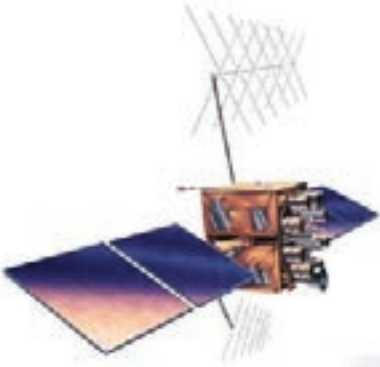
Problemanalyse

I denne fase af projektrapporten gennemføres problemanalysen, som har til formål at besvare problemformuleringen, der er opstillet i foregående kapitel.

Indledningsvist redegøres der gennem en problemafklaring for de tre spørgsmål i problemformuleringen og det diskuteres hvilken datamængde der er påkrævet for at kunne besvare disse.

Omdrejningspunktet for denne fase er at beskrive de processer og de analyser der er nødvendige for at besvare de tre spørgsmål fra problemformuleringen.

 Trimble R8



METODE OG EMPIRI

Formålet med dette kapitel er at forklare de metoder, der anvendes for at besvare spørgsmålene, som blev opstillet i problemformuleringen i det foregående kapitel. Indledningsvist afklares de tre problemstillinger og det diskuteres, hvordan disse kan løses. Derefter planlægges indsamlingen af den nødvendige empiri til besvarelse af problemformuleringen

6.1 Problemafklarung

Ud fra hvert af de tre spørgsmål i problemformuleringen bringes indledningsvis en problemafklarung, som gør det muligt at definere behovet for empiri og software for at kunne besvare problemformuleringen.

6.1.1 Spørgsmål I: Postprocessering

Det første spørgsmål i problemformuleringen omhandler, hvorvidt der ved postprocessering af stand-alone GPS-observationer påført EGNOS-korrektioner (EGNOS-postprocesseret) kan opnås forbedret præcision og nøjagtighed. Resultatet af postprocesseringen skal, jf. Kapitel 5 (Problemformulering), sammenlignes med

henholdsvis stand-alone GPS og EGNOS-realtime.

EGNOS-postprocessering kan tænkes gennemført på mindst to måder: Enten vha. eksisterende software til postprocessering med EGNOS-korrektioner, eller vha. software, udviklet af projektgruppen.

ESA har i forbindelse med EGNOS' testfase udviklet en programpakke til intern brug, kaldet ESPADA. Med ESPADA er det muligt at påføre EGNOS-korrektioner på rå GPS-observationer, og efterfølgende analysere resultatet heraf. [Torán-Martí et al., 2002]

Da ESPADA som nævnt er udviklet til intern brug i ESA, har det ikke været muligt for projektgruppen at erhverve en kopi af programpakken. På baggrund heraf vælger projektgruppen selv at udvikle software til postprocessering af EGNOS-korrektioner. Ved selv at udvikle det nødvendige software, opnås der også en række fordele, som en eventuel anvendelse af ESPADA ikke ville medføre:

- Projektgruppen opnår større viden om EGNOS-signalets indhold.
- Projektgruppen opnår større indsigt i, hvordan EGNOS-korrektioner påføres

rå GPS-observationer, samt hvilke problemstillinger og overvejelser implementeringen af korrektionerne medfører.

For at kunne udvikle det nødvendige software til postprocessering af EGNOS-korrektionerne, er det for det første nødvendigt at kunne dechiffrere størsteparten af de 18 meddelelsestyper, som er indeholdt i EGNOS-signalet. Med dechiffring menes der her, at der dels skal være klarhed over, hvordan hver meddelelsestype er opbygget, dels hvordan indholdet af hver meddelelsestype skal fortolkes med henblik på implementering/postprocessering. Til dette formål er Appendiks C (EGNOS' meddelelsestyper), udarbejdet. Appendikset dokumenterer indholdet af de meddelelsestyper, der er nødvendige at inddrage i besvarelsen af problemformuleringens første spørgsmål, samt hvordan indholdet skal fortolkes. I besvarelse af problemformuleringen henviser læseren derfor til Appendiks C (EGNOS' meddelelsestyper) for nærmere information om EGNOS-signalet – herunder korrektionernes – indhold og opbygning.

I Figur 6.1 ses, som opsamling på foranalysens præsentation af EGNOS-signalet indhold, hvilke korrektionskategorier EGNOS-signalet indeholder, samt hvilke meddelelsestyper der relaterer sig til de pågældende korrektionskategorier. Af figuren kan det udledes, hvilke meddelelsestyper der som minimum skal dechiffreres og implementeres i det software, der skal påføre EGNOS-korrektioner på stand-alone GPS-observationer og derefter foretage postprocessering.

Projektgruppen har ovenfor redegjort for, at der vil blive udviklet software til at påføre EGNOS-korrektioner. For at foretage de ønskede sammenligninger mellem stand-

alone GPS, EGNOS-realtime og EGNOS-postprocesseret skal der også foretages positionsberegning. Mulighederne herfor er blevet diskuteret, og det er valgt ikke at anvende kommerciel software til dette formål, men i stedet anvende et matlab-script kaldet *absgps.m*, udviklet af lektor Peter Cederholm, AAU. Scriptet anvender alene kodeobservationer i beregningen. Ved at anvende dette script kan positionsberegning for alle spørgsmål i problemformuleringen foretages efter samme principper og derved sammenlignes uden forbehold. Endvidere vil positionsberegningen alene ud fra observationer på C/A-koden medføre, at effekten af at anvende EGNOS-korrektioner tydeliggøres, idet der herved ikke indgår faseobservationer, som vil medføre overlegen præcision/nøjagtighed.

Fast Corrections

- MT1: PRN Mask Assignments
- MT2: Fast Corrections (pt. mapped på MT0)
- MT3: Fast Corrections
- MT4: Fast Corrections
- MT5: Fast Corrections
- MT6: Integrity Information
- MT7: Integrity Degradation Information
- MT10: Degradation of Fast, Slow and Ionospheric Corrections

Slow Corrections

- MT1: PRN Mask Assignments
- MT10: Degradation of Fast, Slow and Ionospheric Corrections
- MT25: Slow Corrections

Ionospheric Corrections

- MT1: PRN Mask Assignments
- MT10: Degradation of Fast, Slow and Ionospheric Corrections
- MT18: Ionospheric Grid Point Mask
- MT26: Ionospheric Delay Corrections

Figur 6.1: Korrektionskategorier indeholdt i EGNOS-signalet – inddeling foretaget af projektgruppen.

6.1.2 Spørgsmål II: Time- og dagsvariationer

Problemformuleringens andet spørgsmål, der omhandler, hvorvidt der kan spores dagsvariationer på kvaliteten af EGNOS-korrektionerne, vil i dette afsnit blive uddybet med hensyn til, hvordan projektgruppen angriber problemstillingen. Der vil i dette afsnit blive gennemgået, hvilket datagrundlag, der skal benyttes til at svare på spørgsmålet, samt hvilke krav der stilles hertil.

Dagsvariationer defineres af projektgruppen som, hvorvidt der kan spores ændringer i præcisionen og nøjagtigheden af positioner beregnet på baggrund af observationer indsamlet over flere dage. Præcisionen og nøjagtigheden kan her opfattes som afledte størrelser af kvaliteten af EGNOS-korrektionerne. Projektgruppen har derudover fundet det relevant også at studere timevariationer over døgnets 24 timer. Dette gøres bl.a. for at afklare, hvorvidt EGNOS-korrektionerne er i stand til at fjerne dag/nat-variationer som følge af ionosfærens varierende påvirkning af GPS-signalet.

Timevariationerne defineres som den ændring, der sker af præcision og nøjagtighed fra time til time. Der ses i besvarelsen af dette spørgsmål derfor på to slags variationer, nemlig time- og dagsvariationer. Det skal bemærkes, at når time- og dagsvariationer skal analyseres over flere døgn, skal disse korrigeres til stjernedøgns længde (23 timer, 56 minutter, 13 sekunder).

Hvis ikke der korrigeres, vil det, hvis der eksempelvis indsamles observationer over syv døgn, medføre en tidsforskydning på ca. 27 minutter mellem første og sidste observationsdag. Dette vil i så fald betyde, at timevariationer fra døgn til døgn ikke umiddelbart kan sammenlignes.

Undersøgelserne vil kunne indikere, om anvendelse af EGNOS-realtime altid vil

give forbedrede resultater sammenlignet med stand-alone GPS-målinger.

For at undersøge ovenstående forhold er det nødvendigt at gøre brug af et sammenligningsgrundlag for at afgøre om de eventuelle fremkomne tendenser kan tilskrives EGNOS-realtime eller variationer i GPS-systemet. Derfor er det nødvendigt, at der simultant med EGNOS-realtime målinger indsamles stand-alone GPS-målinger. Sammenligningen foretages på positionsniveau, hvor positionerne beregnes som ved spørgsmål I, ud fra kodeobservationer ved hjælp af *absgps.m*.

For at sikre det nødvendige datagrundlag for denne undersøgelse, er det relevant at afklare hvilke modtagere samt hvor mange observationer, der er brug for.

Da både time- og dagsvariationer kræver, at der indsamles observationer over en længere periode, er det fra projektgruppens side anslået, at syv døgn observationer med både EGNOS-realtime og stand-alone GPS vil udgøre et tilstrækkeligt datagrundlag. Det betyder, at der i alt pr. modtager skal indsamles 168 timers observationer over syv døgn. Begrundelsen for at indsamle observationer over syv døgn, er at det er nødvendigt for at kunne udtale sig repræsentativt om de fremkomne tendenser.

6.1.3 Spørgsmål III: Integritetsindikatorer og kvalitetssikring

Problemformuleringens tredje spørgsmål omhandler hvorvidt EGNOS' integritetsindikatorer kan anvendes som kvalitetssikring, når EGNOS anvendes i landmålingsmæssig sammenhæng. Dette spørgsmål søges afklaret ved at studere følgende forhold: For det første undersøges kvaliteten af kontinuerlige GNSS-observationer over længere tid. Kvaliteten

kan f.eks. være udtrykt ved afledede størrelser som spredninger og RMS-værdier jf. positioner beregnet ud fra observationerne. På de tidspunkter hvor kvaliteten af observationerne pludseligt springer, kan det vha. filer fra EMS-serveren afgøres, om der omtrent samtidig udsendes en integritetsmeddelelse fra EGNOS med besked om ikke at anvende én eller flere satellitter i positionsbestemmelsen. Såfremt der udsendes en integritetsmeddelelse det pågældende tidspunkt, kan det undersøges, om en genberegning af positionen for det pågældende tidspunkt uden observationer for de i integritetsmeddelelsen anførte satellitter vil resultere i forbedret positionskvalitet.

I forhold til spørgsmålet i problemformuleringen ønskes der svar på, om integritetsindikatorerne kan anvendes i *landmålingsmæssig* sammenhæng. På den baggrund bør positionsberegningen i de ovennævnte undersøgelser bygge på metoder, som anvendes i forbindelse med landmåling. Besvarelsen af spørgsmålet inddeles derfor i to trin:

1. Undersøgelse af integritetsindikatorerne som kvalitetssikring, hvor positionsberegningen foretages udelukkende vha. observationer på C/A-koden ved hjælp af *absgps.m*. Dette trin anvender således ikke en positionsberegning metode som normalt anvendes i landmålingen, men er medtaget for at kunne give en generel vurdering af integritetsindikatorerne som kvalitetssikring.
2. Undersøgelse af integritetsindikatorerne som kvalitetssikring, hvor positionsberegningen foretages vha. dobbeltfrekvent kinematisk GPS, og dermed baseres på observationer fra både C/A-koden, L1- og L2-bærebølgen. Kvaliteten af de positioner, der kan beregnes med kinematisk GPS, antages at være sammenlignelig med RTK-GPS, som i dag er den mest anvendte positionsberegning metode, når GPS anvendes i

landmålingsmæssig sammenhæng. Da *absgps.m* ikke kan foretage kinematisk beregning samt anvende faseobservationer, er det valgt at anvende Leica Geo Office til positionsberegning i denne del af spørgsmål III.

I Appendiks C (EGNOS' meddelelsetyper) findes en beskrivelse af EGNOS-signalets integritetsmeddelelser, herunder specielt opbygningen og dechifrerings af integritetsmeddelelserne. Som det også fremgår af Appendiks C, er integritetsindikatorerne, angivet i integritetsmeddelelserne et udtryk for den fejl, UDRE (User Differential Range Error), der begås ved at anvende observationerne fra en bestemt satellit til et bestemt tidspunkt. Integritetsindikatorerne beregnes løbende af RIMS-stationerne, se Afsnit 3.1 (Systemarkitektur). Beregningen af integritetsindikatorerne tager udgangspunkt i den korrektion til de målte pseudoafstande, der kan beregnes af RIMS-stationerne, eftersom RIMS-stationernes koordinater er velkendte. For nærmere oplysninger om de anvendte formler henvises til [Oehler et al., 2005]. Selve kvalitetsindikatorerne angives, jf. Appendiks C, i EGNOS-meddelelserne som et såkaldt UDREI (User Differential Range Error Indicator), som kan antage værdierne 0-15, afhængigt af UDRE'ens størrelse. Udsendes en integritetsmeddelelse for en satellit med UDREI-værdien 15, bør den pågældende satellit ikke indgå i positionsberegningen, jf. [Eurocontrol, 2003] – dette tilfælde beskrives efterfølgende som *alarmtilstand*.

På baggrund af ovenstående forventes det, at såfremt der udsendes integritetsmeddelelser med alarmtilstande, bør der kunne spores en forskel i kvaliteten af de positioner, der beregnes ud fra henholdsvis:

1. Observationer fra alle satellitter til observationstidspunktet for udsendelsen af integritetsmeddelelsen.
2. Observationer fra alle satellitter til observationstidspunktet for udsendelsen af integritetsmeddelelsen på nær observationer fra satellitter, som er i alarmtilstand, jf. integritetsmeddelelsen.

Som angivet i problemformuleringens spørgsmål III er det ønskeligt at finde ud af, om integritetsindikatorerne kan anvendes i landmålingssammenhæng. Idet RTK er den hyppigst anvendte metode ved landmåling med GPS, er det af interesse at afgøre hvorvidt integritetsindikatorerne også kan anvendes i realtime. Dette er ikke muligt at undersøge direkte for projektgruppen, idet det ville kræve, at modtagernes firmware blev omprogrammeret. Det antages i stedet, at hvis satellitter med alarmtilstand fjernes, og observationerne postprocesseres som kinematiske GPS-observationer, kan resultatet sidestilles med en RTK-løsning, hvor modtageren i realtime er i stand til at udelade satellitter med alarmtilstand fra positionsberegningen.

Efter dette problemafkklaringsafsnit, hvor det blev præciseret, at matlabskriptet *absgps.m* vil blive anvendt til positionsberegning samt, at der kun vil blive anvendt kodeobservationer på nær i anden del af spørgsmål III, kan det nu afgøres hvilke modtagere, der skal indgå i denne fase af projektrapporten.

6.2 Valg af modtagere

For at udvælge hvilke modtagere der skal indgå i denne fase af projektet, er det valgt både at inddrage problemformuleringen samt de erfaringer, pilottesten resulterede i. Som det fremgår af spørgsmål III i problemformuleringen samt problemafkklaringen ovenfor, vil der bl.a. blive

fokuseret på mulighederne i EGNOS ud fra et landmålingsmæssigt perspektiv. I den gennemførte foranalyse blev det antydnet, at anvendelsen af EGNOS-realtime ikke medførte forbedringer, når der blev målt med Garmin Etrex modtagere. Af disse årsager er det valgt at udelade Garmin Etrex modtagerne i den videre test af EGNOS, og således vil to typer Trimble modtagere, R8 og GeoXT, blive anvendt i det videre testforløb.

6.3 Planlægning

De tre spørgsmål i problemformuleringen samt problemafkklaringen stiller forskellige krav til, hvilken datamængde der er nødvendig. For at besvare spørgsmål I, er det ikke nødvendigt med store datamængder, og principielt kunne datasæt af samme omfang som indsamlet under pilottesten anvendes i dette tilfælde. Spørgsmål II stiller derimod krav til, at der over flere dage indsamles observationer på de samme tidspunkter, således det kan afgøres, om der er sammenhæng mellem de korrektioner, der udsendes med et stjernedøgns mellemrum og de positioner, der her ud fra kan beregnes. Spørgsmål III kræver ligeledes, at der indsamles observationer over længere tid, idet integritetsmeddelelserne typisk kun optræder nogle få gange i timen, hvilket fremgår af filer fra EMS-serveren samt ud fra ESA's webside med real-time oplysninger om funktionaliteten af EGNOS. [ESA, 2006d]

I Appendiks B (EMS-serveren), kan der findes en nærmere forklaring af EMS-filerens indhold.

Det er besluttet at foretage én samlet dataindsamling, som skal danne grundlag for de videre beregninger og besvarelsen af alle tre spørgsmål i problemformuleringen. For at sikre muligheden for fyldestgørende at besvare alle tre spørgsmål er det besluttet

at indsamle observationer over en periode på én uge, hvor der så vidt muligt indsamles kontinuerlige observationer i døgnets 24 timer.

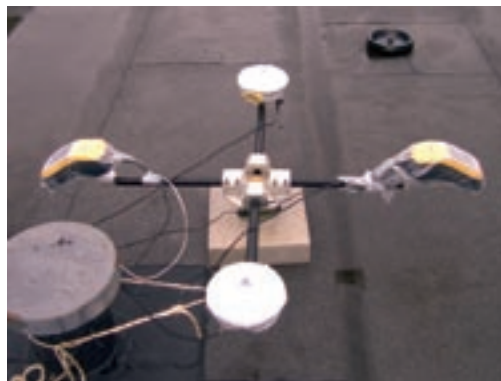
Som nævnt er det valgt at anvende R8- og GeoXT-modtagere til dataindsamlingen. Der anvendes to modtagere af hver type, således at den ene kan indsamle observationer med EGNOS-realtime, og den anden indsamler observationer med stand-alone GPS. De positioner, der kan beregnes ud fra modtageren, der måler med EGNOS-realtime, skal fungere som sammenligningsgrundlag i forhold til de positioner, der opnås, når projektgruppen gennemfører postprocessing, jf. spørgsmål I, og derved påfører EGNOS-korrektioner på de indsamlede stand-alone GPS-observationer.

Da der på baggrund af pilottesten ikke er anledning til at tro, at der er forskel på den opnåelige nøjagtighed og præcision ved anvendelse af identiske modtagere, er det besluttet ikke at bytte rundt på modtagerne i løbet af testperioden, ligesom det blev gjort under pilottesten.

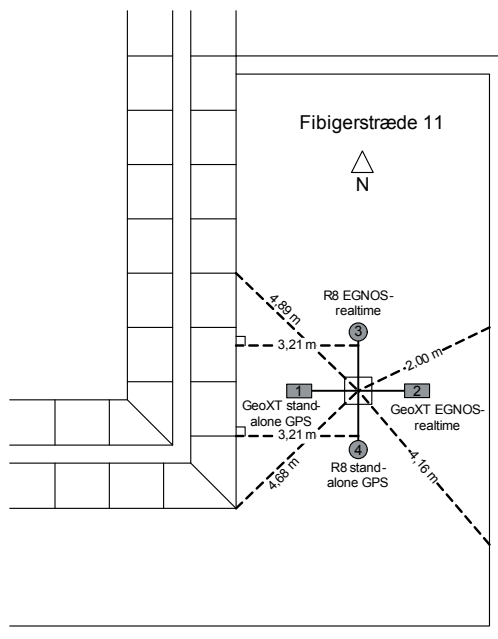
Det er valgt at lade de fire modtagere indsamle observationer simultant, og ligesom ved pilottesten tilstræbes der ens forhold for alle modtagere. Det sikres desuden, at der for alle fire modtagere er frit udsyn til horisonten over de 10 grader, der anvendes som elevationsmaske. Alle fire modtagere monteres på den bom, der blev anvendt under pilottesten, men i stedet for at montere bommen i et af de kendte punkter på taget, er det besluttet at placere modtagerne inde på taget af Fibigerstræde 11. Dette er gjort af hensyn til så vidt muligt at sikre ens forhold for de fire modtagere, hvilket ikke ville opnås ved opstilling af fire modtagere i punktet, der blev anvendt ved gennemførelsen af pilottesten.

6.3.1 Testsetup

Opsætningen af de fire modtagere på taget fremgår af Figur 6.2 og skitsen i Figur 6.3.



Figur 6.2: De fire modtageres placering på taget af Fibigerstræde 11, set fra nord.



Figur 6.3: Placering af modtagere på taget af Fibigerstræde 11 og mål til at kontrollere opstillingen. (Skitsen er ikke målfast).

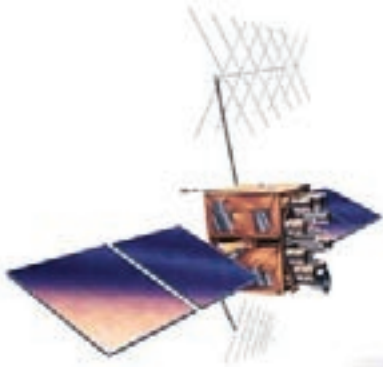
For at sikre stabiliteten af de fire modtagere som skal stå på taget en uge, er bommen monteret i et fodstykke, som er skruet på en ca. 10 kg tung flise. Desuden er centrum af bommen indmålt i forhold til bygningshjørner mv. på taget, og bommens orientering er ligeledes sikret, som det fremgår

af Figur 6.3. Dette muliggør, at det dagligt kan kontrolleres, at modtagernes opstilling er stabil, og i tilfælde af uforudsete hændelser, som forskubber modtagerne, kan opstillingen genskabes.

6.3.2 Konfiguration af modtagere

Modtagerne er konfigureret således, at der logges observationer hvert sekund. Observationerne lagres i modtagernes standardformater, hvilket er dat-format for R8-modtagerne og ssf-format for GeoXT-modtagerne, hvilket muliggør at observationerne senere kan konverteres til RINEX-format. Elevationsmasken er sat til 10 gra-

der, og det er sikret, at alle observationer lagres ved at sætte PDOP-grænsen så højt som muligt. De to modtagere, der måler med EGNOS-realtime, er konfigureret således, at der kun logges observationer, når der modtages differentielle korrektioner, dvs. når der udsendes EGNOS-meddelelser. Det betyder, at det er relativt let at finde de tidspunkter hvor der har været driftsforstyrrelser i EGNOS. I tilfælde af at EGNOS ikke udsender alle korrektioner, hvilket kan forekomme, vil disse perioder efterfølgende blive fraklippet i alle de indsamlede datasæt. Driftsstatus for EGNOS kan følges på EGNOS' broadcast schedule. [ESA, 2006a]



KAPITEL

7

DATAINDSAMLING

Formålet med dette kapitel er at beskrive den praktiske gennemførelse af indsamlingen af testdata samt referencemålingen. Det forklares desuden hvilke afbrydelser, der grundet udefrakommende faktorer, har været i forhold til den planlagte dataindsamling.

7.1 Indsamling af testdata

Som beskrevet i Afsnit 6.3 var det forud for dataindsamlingen projektgruppens hensigt at indsamle observationer kontinuerligt, 24 timer i døgnet, over en periode på syv døgn. Det blev derfor planlagt at gennemføre dataindsamlingen i perioden mandag den 3. april til mandag den 10. april. Efter indsamlingen var igangsat, stoppede ESA uden varsel imidlertid udsendelse af signalet fra EGNOS-satellit PRN120, tirsdag den 4. april. Afbrydelsen skyldtes ifølge ESA's Broadcast Information⁴, at der skulle installeres en antenneforstærker på en NLES-uplinkstation. Udsendelsen af signalet blev først genoptaget fredag den 14. april.

På baggrund af denne afbrydelse af signalets udsendelse, blev dataindsamlingen udskudt til perioden fra tirsdag den 18.

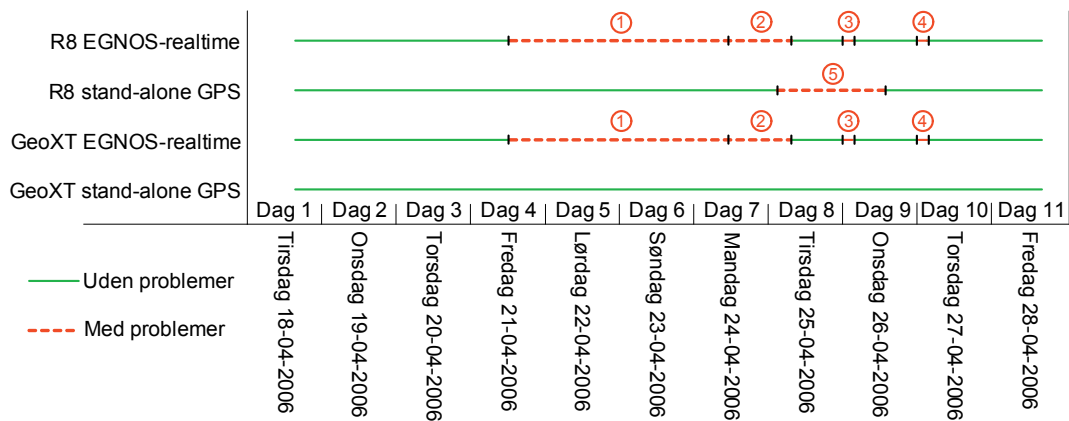
april til tirsdag den 25. april. Projektgruppen kontaktede desuden ESA med henblik på, om der kunne forventes yderligere uvarslede afbrydelser i udsendelsen af signalet. ESA gav som svar herpå meddelelse om, at signalet forventedes at blive udsendt frem til juni 2006 uden større afbrydelser, hvorfor dataindsamlingen blev genstartet tirsdag den 18. april.

I dataindsamlingsperioden løb projektgruppen ind i fem overordnede problemer, som tidsmæssigt er visualiseret i Figur 7.1 og nærmere beskrevet i Tabel 7.1.

Idet GeoXT-modtagerne skulle anvendes til undervisning på landinspektøruddannelsen, kunne projektgruppen ikke disponere over disse længere end til fredag den 28. april. På grund af de problemer der har været undervejs i dataindsamlingen, er det således kun lykkedes simultant at få indsamlet observationer med alle fire modtagere i sammenlagt fem døgn.

Det lykkedes dermed ikke at få indsamlet observationer fra syv døgn, som det var ønsket, men det formodes, at en observationsperiode på fem døgn vil være tilstrækkelig til at besvare problemformuleringen.

⁴ Email nyhedsbrev som udsendes, når der sker ændringer i systemarkitekturen, signalindhold eller udsendelse af signalet. Tilmelding kan ske ved henvendelse til thierry.thuron@cnes.fr



Figur 7.1: Periode for dataindsamling. Numrene over de stiplede liniestykker henviser til beskrivelsen af pågældende hændelse i Tabel 7.1.

Hændelse	Tidsrum	Problem
1	21-04-2006 kl.15.09 til 24-04-2006 kl. 13.15	Ingen EGNOS-beskeder
2	24-04-2006 kl. 13.15 til 25-04-2006 kl. 08.01	Ingen ionosfæreforsinkelseskorrektioner
3	26-04-2006 kl. 00.10 til 26-04-2006 kl. 02.22	Ingen ionosfæreforsinkelseskorrektioner
4	27-04-2006 kl. 00.13 til 27-04-2006 kl. 02.16	Ingen ionosfæreforsinkelseskorrektioner
5	25-04-2006 kl. 08.00 til 26-04-2006 kl. 14.00	Ikke logget observationer af uvis årsag

Tabel 7.1: Oversigt over de forstyrrelser der har været årsag til at EGNOS-meddelelserne har været utilgængelige eller uanvendelige. Alle tidsangivelser er UTC tid.

De fem døgn observationer er ikke sammenhængende, men dette er heller ikke et krav i forhold til at sikre muligheden for at besvare problemformuleringen.

7.2 Referencemåling

Som det var tilfældet i pilottesten, er det valgt at indmåle de punkter, som modtagerne opstilles i med RTK i forhold til GPS-Referencen. Punkterne måles både før og efter testperioden, og desuden indmåles de i forvejen kendte punkter på taget som kontrol af, at de beregnede koordinater er

korrekte. Koordinaterne, der er beregnet til punkterne på kulfiberbommen, kan ses i Tabel 7.2 og Tabel 7.3.

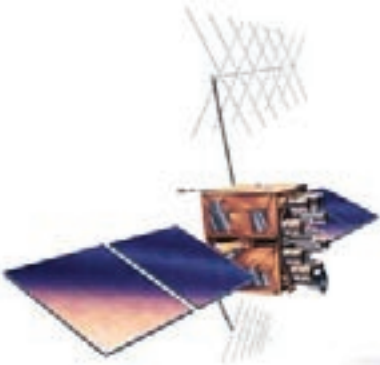
Da de beregnede koordinater til punkterne 1000-1002 stemmer overens med de kendte koordinater, og da afvigelserne mellem første og anden måling ligger inden for det forventede, har projektgruppen valgt at anvende middelkoordinaterne fra de to målinger, som den "sande" værdi for punkt 1 - 4. Middelkoordinaterne for hver af de fire modtageres opstillingspunkter kan ses i Tabel 7.3.

Punkt	1. Måling UTM32/WGS84, GRS80 [m]			2. Måling UTM32/WGS84, GRS80 [m]			Differens [mm]		
	N	E	h	N	E	h	ΔN	ΔE	Δh
1	6319791,729	559373,558	52,326	6319791,721	559373,569	52,322	8	-11	4
2	6319791,697	559374,560	52,325	6319791,692	559374,575	52,323	5	-15	2
3	6319792,212	559374,075	52,326	6319792,221	559374,087	52,340	-9	-13	-14
4	6319791,213	559374,042	52,330	6319791,223	559374,055	52,338	-10	-13	-8
1000	6319819,759	559345,889	52,772	6319819,768	559345,878	52,776	-9	11	-4
1001	6319816,966	559382,711	52,316	6319816,962	559382,711	52,333	4	0	-17
1002	6319775,683	559371,407	52,380	6319775,676	559371,411	52,382	6	-4	2

Tabel 7.2: Koordinater fra de to referencemålinger og differencer herimellem. Differens er lig 1. måling fratrukket 2. måling. Punktnumrene 1 - 4 refererer til modtagerne vist i Figur 6.3, mens punktnumrene 1000 – 1002 refererer til de kendte punkter på taget, som der også er refereret til i pilottestens afsnit 4.2.2.

Punkt	UTM32/WGS84 [m]		
	N	E	h
1	6319791,725	559373,564	52,324
2	6319791,695	559374,568	52,324
3	6319792,217	559374,081	52,333
4	6319791,218	559374,049	52,334

Tabel 7.3: Middelkoordinater fra referencemålingen. Punktnumrene 1 - 4 refererer til modtagerne vist i Figur 6.3.



DATAKLARGØRING

Efter endt dataindsamling skal de rå observationer klargøres for at kunne anvendes ved besvarelse af problemformuleringen. Dataklargøringen omfatter dermed en række processer, som er ens for alle indsamlede datasæt. Kapitlet gennemgår disse processer, som omfatter:

- Konvertering fra binære datasæt til RINEX-format.
- Tilpasning og navngivning af RINEX-filer.
- Kontrol for multipath.
- Omregning fra observationer i RINEX-format til positioner i UTM32/WGS84.

I forhold til de indsamlede datasæt, kan dataklargøringsprocessen visualiseres som vist på Figur 8.1.

8.1 Konvertering fra binære datasæt til RINEX-format

De rå observationer, indsamlet med såvel R8- som GeoXT-modtagere, lagres i modtagerne som binære dataformater. Datasættene fra R8-modtagerne konverteres til RINEX-format vha. programmet *DAT2RINW*, som er en del af *Trimble Geomatics Office*, mens datasættene fra GeoXT-modta-

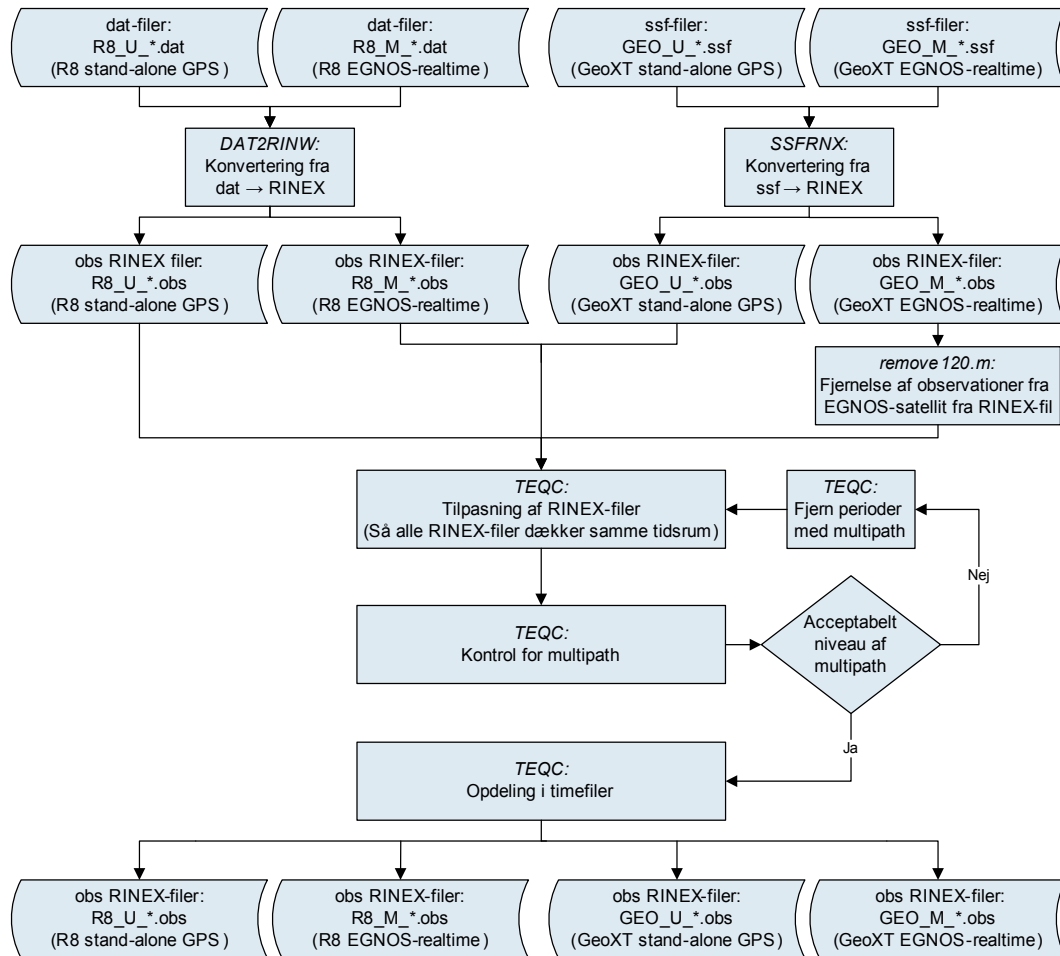
gerne konverteres til RINEX-format vha. programmet *SSFRNX*, som er den del af *Trimble Pathfinder Office*. I Appendiks E (RINEX-format v. 2.10) findes en nærmere forklaring af RINEX-formatet.

De fem datasæt, som er indsamlet med GeoXT-modtageren, som har anvendt EGNOS-realtime, indeholder også pseudoafstande til EGNOS-satellitten PRN120. Disse observationer fjernes efterfølgende fra de fem RINEX-filer vha. Matlab-scriptet *remove120.m*, se Bilag 1 (DVD). Dette gøres for at skabe et ens datagrundlag, hvad enten der er indsamlet observationer som stand-alone GPS eller EGNOS-realtime.

8.2 Tilpasning af RINEX-filer

Ved besvarelse af problemformuleringens andet og tredje spørgsmål, er det hensigtsmæssigt, at de fire grupper af RINEX-filer, jf. Figur 8.1, dækker det samme tidsrum. Det er derfor nødvendigt at tilpasse RINEX-filerne, således at disse indeholder observationer fra det samme tidsrum. Til dette formål anvendes programmet *TEQC*⁵ (Translation, Editing, Quality Check) ud-

⁵ Kan downloades frit fra <http://facility.unavco.org/software/teqc/teqc.html>



Figur 8.1: Flowdiagram for dataklargøringen.

viklet af UNAVCO (UNiversity NAVSTAR Consortium).

TEQC er et ikke-interaktivt, UNIX/DOS-baseret databehandlings- og -analyse-ringsværktøj, som kan anvendes på GPS, GLONASS og SBAS-observationer. Programmet har overordnet følgende anvendelsesmuligheder:

- Datakonvertering: En lang række modtagerspecifikke, binære dataformater kan oversættes til RINEX-format.
- Databearbejdning: RINEX-filer kan sammensættes eller splittes, og der kan foretages headerudtræk eller -ændringer.

- Datakvalitetskontrol: RINEX-filer kan kvalitetsvurderes, herunder kontrol af i hvor høj grad observationer er påvirket af multipath.

[Estey og Meertens, 1999]

TEQC anvendes ved, at programmet kaldes i en UNIX eller DOS-kommandolinie efterfulgt af en række programparametre, herunder hvilke inputfiler programmet skal behandle. På Bilag 1 (DVD) findes nyeste version af programmet i Windows-kompilering, ligesom den nyeste manual også er at finde på DVD'en.

I hvert af de fem døgn, der blev indsamlet observationer, blev modtagerne startet kl. 13.59 (UTC) og slukket den efterfølgende

dag kl. 13.30 (UTC), således at der i tidsrummet mellem 13.30 og 13.59 (UTC) kunne uploades data fra modtagerne til en PC, og en ny opmåling påbegyndes.

Projektgruppen erfarede under forberedelserne til dataindsamlingen, at den R8-modtager, som indsamlede observationer med EGNOS-realtime, kun var i stand til at måle i ca. 7 timer ad gangen. Dette betød, at modtageren tre gange i døgnet skulle genstartes, og at resultatet for denne modtager, efter fem døgnns målinger, således var 15 RINEX-filer⁶. For hvert døgn samles de tre RINEX-filer derfor med TEQC-kommandoen angivet i Figur 8.2.

Kommando: Samling af RINEX-filer
`teqc inputfil1 inputfil2 inputfil3 > outputfil`

Figur 8.2: TEQC – samling af RINEX-filer.

Herefter kan alle RINEX-filer opdeles vha. TEQC, således at RINEX-filernes størrelser gøres mere håndterlige i forhold til den efterfølgende databehandling og besvarelse af problemformuleringen. Det vælges at opdele hver observationsdøgns RINEX-fil i mindre RINEX-filer, således at hver fil indeholder én times observationer. Som eksempel for den første opdeling for første observationsdøgn, den 18. april 2006, gøres dette med TEQC-kommandoen angivet i Figur 8.3.

Kommando: Udtræk observationsperiode fra RINEX -fil
`teqc -st 06:04:18:13:59:59 -dh 1 inputfil > outputfil`

Figur 8.3: TEQC – Udtrækning af observationsperiode fra RINEX-fil.

Navngivningen af RINEX-filerne følger en bestemt skabelon, således at følgende fremgår af filnavnet:

- Modtager
- Stand-alone GPS eller EGNOS-realtime
- Dag
- Time
- Punkt

Se desuden Figur 8.4 for et eksempel.

⁶ For hvert døgn er der således tre huller i observationssættet på en time i forbindelse med genstart af modtager og upload af data – dog kun for den R8-modtager, som indsamlede observationer med EGNOS-korrekationer.



Figur 8.4: Skabelon for filnavne.

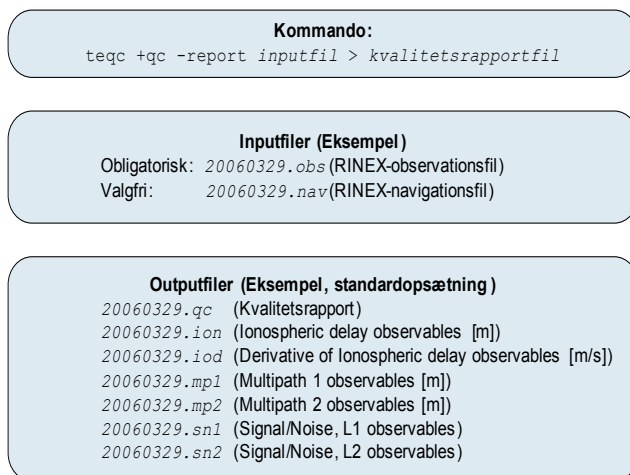
8.3 Kontrol for multipath

Efter de indsamlede datasæt er konverteret til RINEX-format, er det hensigtsmæssigt at kontrollere, hvorvidt observationerne har været påvirket af multipath. Dette skyldes, at såfremt observationerne i høj grad er påvirket af multipath, kan det være vanskeligt at give pålidelige konklusioner ved besvarelse af problemformuleringens spørgsmål.

Når TEQC anvendes som værktøj til datakvalitetskontrol, genererer TEQC en række outputfiler – herunder en kvalitetsrapport, som bl.a. indeholder oplysninger om, hvorvidt de indsamlede observationer er påvirket af multipath. I Figur 8.5 ses en oversigt over eksekvering af programmet som datakvalitetsværktøj, samt hvilke in- og outputfiler, programmet anvender.

Det skal bemærkes, at TEQC kan konfigureres på mange måder, og at oversigten i Figur 8.5 således kun er gældende, såfremt programmets standardopsætning anvendes.

I den omtalte kvalitetsrapport genererer TEQC bl.a. en grafisk oversigt over, hvorvidt observationer fra RINEX-inputfilen har været påvirket af multipath. Derudover indeholder rapporten en række kvalitetsudtryk for de observationer, der findes i inputfilen. I Bilag 2 (TEQC-Kvalitetsrapport) ses



Figur 8.5: Anvendelse af TEQC som datakvalitetsværktøj.

et eksempel på indholdet af en kvalitetsrapport fra TEQC for observationer indsamlet med en R8-modtager i tidsrummet 18. april 2006 kl. 14:00 (UTC) til 19. april 2006 kl. 12:48 (UTC). I Bilag 2 (TEQC-kvalitetsrapport), fremgår det også hvilke symboler den grafiske oversigt kan indeholde samt betydningen af symbolerne.

Beregningen af, hvorvidt observationerne er påvirket af multipath, foretages vha. lineære kombinationer af de observerede pseudoafstande (C/A- og P-kode) og faseforskelle (L1- og L2-bærebølge). Det ligger uden for denne rapports fokus at beskæftige sig med selve beregningstrinene, men det skal dog bemærkes, at der, jf. de lineære kombinationer, altså kræves dobbeltfrekvente observationer for at kunne gennemføre beregningerne. Se desuden [Estey og Meertens, 1999]

På denne baggrund kontrolleres udelukkende observationerne indsamlet med R8-modtagerne, da GeoXT-modtagerne er enkeltfrekvente modtagere. Det kan ikke antages, at alle modtagere har været under helt ens påvirkning af multipath, idet multipath er en diffus størrelse, som ikke kan kontrolleres og forudsiges. Desuden anvender de to modtagertyper ikke samme antenntype, hvilket kan betyde forskellig

resistens overfor reflekterede signaler. Som nævnt kan der vha. TEQC ikke undersøges, hvorvidt observationer fra enkeltfrekvente modtagere er under påvirkning af multipath. Derfor er projektgruppens eneste mulighed at antage, at de to modtagertyper er under tilnærmelsesvis ens påvirkning af multipath på trods af, at dette ikke kan påvises.

I Tabel 8.1 ses det for hvert indsamlet datasæt, hvor stor en andel af observationerne, der, ifølge TEQC, kan antages at være påvirket af multipath.

	R8 EGNOS-realtime	R8 Stand-alone
Dag 1 – Dag 2	0,11 ‰	0,07 ‰
Dag 2 – Dag 3	0,16 ‰	0,72 ‰
Dag 3 – Dag 4	0,14 ‰	0,73 ‰
Dag 9 – Dag 10	0,20 ‰	0,07 ‰
Dag 10 – Dag 11	0,17 ‰	0,07 ‰

Tabel 8.1: Andelen af observationer påvirket af multipath for hvert indsamlet datasæt. Beregningsgrundlaget for multipath er for hvert observationsæt 600.000 – 700.000 observationer.

Som det fremgår af tabellen, udgør andelen af epoker, som kan antages at være påvirket af multipath en særdeles lille del af de samlede observationsæt. Denne viden er dermed, som nævnt ovenfor, med til at gøre resultaterne ved besvarelsen af pro-

blemformuleringen mere pålidelige, idet usikkerheden om, hvorvidt dataene kan tænkes at være påvirket af multipath, hermed er minimeret.

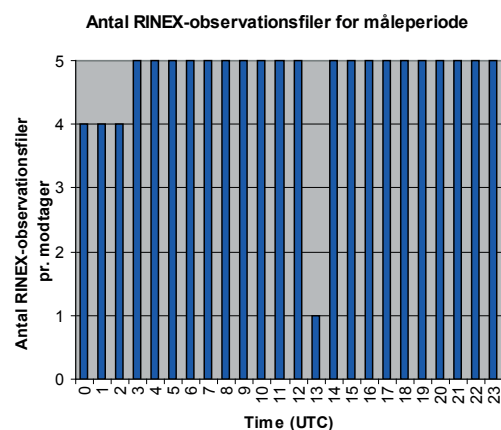
8.4 Beregningsgrundlag

Efter at have gennemgået den indledende dataklargøring, hvor de indsamlede observationer er blevet klargjort til videre analyse, redegøres der i Tabel 8.2 for, hvilke observationer mm. der er behov for ved besvarelse af problemformuleringens tre spørgsmål.

Som nævnt tidligere vil vurderingen af resultaterne foregå på positionsniveau, hvorfor det er nødvendigt at beregne positioner ud fra observationerne i RINEX-observationsfilerne. Selve positionsberegningen foretages på nær spørgsmål III – del 2, med scriptet *absgps.m*. Da outputtet fra *absgps.m* er kartesiske koordinater angivet i WGS84, har projektgruppen valgt at omregne alle koordinater til UTM32/WGS84 vha. scriptet *rinex2ENh.m*.

8.4.1 Fra RINEX-observationsfiler til koordinatfiler (ENh)

Som gennemgået i Afsnit 8.2 (Tilpasning af RINEX-filer), blev observationerne for de fire modtagere delt op i RINEX-timefiler for hver dag i måleperioden. I Figur 8.6 ses en oversigt over antallet af RINEX-observationsfiler for måleperioden fordelt på døgnet 24 timer. At der ikke er fem RINEX-observationsfiler for alle timer, skyldes de uforudsete afbrydelser af data-



Figur 8.6: Antal RINEX-observationsfiler pr. modtager, fordelt på timer af døgnet. I alt 452 RINEX-observationsfiler.

	Observationer (RINEX-format)	Software	EMS-filer
Spørgsmål I: Postprocessering: EGNOS-korrektioner	C/A-kodeobs.	- <i>absgps.m</i> - diverse hjælpescripts	EGNOS korrektioner mv. anvendes
Spørgsmål II: Time- og dagsvariationer	C/A-kodeobs.	- <i>absgps.m</i> - diverse hjælpescripts - scripts til visualisering og præsentation af resultater	Anvendes ikke.
Spørgsmål III – del 1: Integritetsindikatorer som kvalitetssikring	C/A-kodeobs.	- <i>absgps.m</i> - diverse hjælpescripts - scripts til visualisering og præsentation af resultater	Analyse af integritetsmeddelelser
Spørgsmål III – del 2: Integritetsindikatorer som kvalitetssikring	C/A-kodeobs. L1+L2-faseobs.	- Leica Geo Office - scripts til visualisering og præsentation af resultater	Analyse af integritetsmeddelelser

Tabel 8.2: Beregningsgrundlag.

indsamlingen, beskrevet i Kapitel 7 (Dataindsamling).

Hver af de 452 RINEX-observationsfiler indlæses af *rinex2ENh.m*, som, vha. *absgps.m*, efterfølgende beregner positioner i kartesiske WGS84-koordinater ud fra de indsamlede observationer. For at kunne beregne positionerne, skal der anvendes RINEX-navigationsfiler, som dækker måleperioden. Projektgruppen har valgt at benytte RINEX-navigationsfiler fra CORS (Continuously Operating Reference Stations)⁷. Fra CORS kan der downloades globale RINEX-navigationsfiler, som hver dækker 24 timer. Begrundelsen for at anvende disse RINEX-navigationsfiler, frem for de som kan genereres ud fra modtagerens rådata-filer, er, at der herved sikres et ens grundlag ved beregningen af positionerne for alle modtagere.⁸

Designet og programmeringen af *rinex2ENh.m* er nærmere beskrevet i Ap-

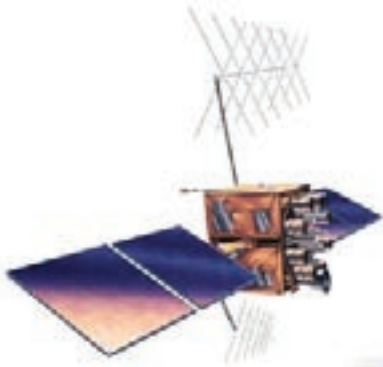
pendiks F (Rinex2ENh), mens nedenstående oversigt beskriver programmets overordnede struktur:

- Dataindlæsning: Der indlæses en RINEX-navigationsfil samt en filliste med RINEX-observationsfiler for pågældende måledag.
- Databehandling: For hver indlæst RINEX-observationsfil beregnes kartesiske koordinater i WGS84 vha. *absgps.m*. Koordinaterne omregnes efterfølgende til UTM32/WGS84 vha. *kar2geo.m* og *geo2tm.m*.
- Dataudlæsning: Beregnede koordinater udlæses for hver RINEX-observationsfil i en ENh-fil med samme navn som den indlæste RINEX-observationsfil.

Efter endt dataindsamling og dataklargøring kan selve problembesvarelsen påbegyndes. De kommende fire kapitler udgør således problemanalysen og -besvarelsen.

⁷ Kan frit downloades fra <http://www.ngs.noaa.gov/CORS/download2/>

⁸ Projektgruppen har desuden erfaring med, at de RINEX-navigationsfiler som kan genereres ud fra modtagernes rådatafiler i nogle tilfælde er fejlbehæftede, idet der indimellem mangler navigationsoplysninger for en eller flere satellitter som der er observationer til.



SAMLET NØJAGTIGHED OG PRÆCISION

Dette kapitel knytter sig ikke direkte til spørgsmålene i problemformuleringen, men som nævnt umiddelbart inden problemformuleringen er det valgt, som en opfølgning på foranalysens resultater vedrørende, hvorvidt EGNOS-realtime medfører forbedret nøjagtighed og præcision, når et større datasæt analyseres. Projektgruppen har valgt at beregne værdier for nøjagtighed og præcision for alle de observationer der er indsamlet i måleperioden (dvs. de tidligere omtalte 452 timers observationer) med henholdsvis stand-alone GPS og EGNOS-realtime. Dermed er datagrundlaget observationer fra ca. fem døgn, som det blev beskrevet i Kapitel 7 (Dataindsamling). Det forholdsvist store datagrundlag medfører, at der er større statistisk sikkerhed for resultaterne. Resultaterne for den samlede nøjagtighed og præcision for hen-

holdsvis GeoXT-modtagerne og R8-modtagerne fremgår af nedenstående afsnit.

9.1 Trimble GeoXT modtagerne

Af Tabel 9.1 fremgår det, at det præcise datagrundlag varierer en lille smule mellem de to GeoXT-modtagere, der indgik i dataindsamlingen, men at det er ca. 360.000 positioner pr. modtager. I tabellen ses RMS-værdier og spredninger for henholdsvis plan og højde, baseret på positioner, beregnet i *absgps.m* på baggrund af kodeobservationer.

Resultaterne for GeoXT-modtagerne viser, at EGNOS-realtime medfører meget små og nærmest ubetydelige forbedringer i præcisionen udtrykt ved den beregnede

Modtager	RMS [m]		Spredning [m]		Positioner [#]
	Plan	Højde	Plan	Højde	
GeoXT stand-alone GPS	3,18	4,09	3,13	3,89	360.965
GeoXT EGNOS-realtime	3,31	4,82	3,09	3,88	359.547

Tabel 9.1: RMS og spredning for de to GeoXT-modtagere der indgik i dataindsamlingen. Grundlaget er positioner beregnet vha. *absgps.m*, som alene anvender C/A-koden i positionsberegningen.

spredning, mens EGNOS-realtime ikke medfører forbedringer på nøjagtigheden udtrykt ved RMS-værdier.

9.2 Trimble R8 GNSS-modtagerne

Af Tabel 9.2 fremgår det, at datagrundlaget varierer en lille smule mellem de to R8-modtagere, der indgik i dataindsamlingen, men at det er knap 360.000 positioner pr. modtager. I tabellen ses RMS og spredninger i plan og højde, baseret på positioner, beregnet i *absgps.m* på baggrund af kodeobservationer.

R8-modtageren med stand-alone GPS resulterer i meget høje værdier for både RMS og spredning, hvilket er overraskende, idet R8-modtageren forventes at have en antenne af bedre kvalitet og en bedre firmware, hvormed den burde være mere præcis end den billigere GeoXT-modtager. Projektgruppen har ud fra outputtet fra *absgps.m* bemærket, at der er store korrektioner til modtageruret for R8-modtageren, specielt for den modtager, der måler som stand-alone GPS. Dette er tilsyneladende den eneste forskel i forhold til de øvrige modtagere, og da indflydelsen herfra elimineres, når der indgår mere end fire satellitter i positionsberegningen, burde dette ikke være årsagen til de høje værdier for spredning og RMS [Dueholm og Laurentzius, 2005, s. 52].

Det er dermed usikkert, hvad der er årsagen til den dårlige nøjagtighed og præcision. Eftersom alle positioner er beregnet

med de samme scripts, kan de høje værdier for R8-modtageren ikke skyldes fejl i beregningerne.

Sammenlignes positionerne beregnet ud fra observationer indsamlet med R8-modtageren, der måler med EGNOS-realtime samt de to GeoXT-modtagere, fremkommer der nogenlunde ens værdier for RMS og spredning i størrelsesordenen 3-5 meter. Dette kan tolkes, som om EGNOS-realtime medfører væsentlige forbedringer, når der måles med R8-modtageren med EGNOS-realtime, men forklaringen kan også være, at R8 stand-alone modtageren er påvirket af en modtagerafhængig fejl, som medfører dårligere kvalitet af kodemålingen.

For at afklare om R8 stand-alone modtageren er påvirket af en modtagerafhængig fejl, eller om anvendelse EGNOS-realtime blot medfører væsentligt større forbedringer ved anvendelse af R8-modtagere end GeoXT-modtagere, har projektgruppen besluttet at gennemføre yderligere undersøgelser af de to R8-modtagere.

9.2.1 Yderligere undersøgelser af R8-modtageren med stand-alone GPS

Projektgruppen har, efter endt dataindsamling, valgt at gennemføre endnu en målekampagne, hvor der opstilles to R8-modtagere under så ens forhold som muligt. Begge modtagere er konfigureret, som stand-alone GPS modtageren var konfigureret under den foregående dataindsamling. Formålet med undersøgelsen er at afgøre, hvorvidt de to modtagere resulterer

Modtager	RMS [m]		Spredning [m]		Positioner [#]
	Plan	Højde	Plan	Højde	
R8 stand-alone GPS	10,11	18,27	8,82	18,00	358.865
R8 EGNOS-realtime	3,27	4,73	3,08	3,83	358.045

Tabel 9.2: RMS og spredning for de to R8-modtagere der indgik i dataindsamlingen. Grundlaget er positioner beregnet vha. *absgps.m*, som alene anvender C/A koden i positionsberegningen.

i positioner med samme kvalitet. Det blev valgt at indsamle observationer med de to R8-modtagere over en periode på fem timer i tidsrummet fra kl. 10 – 15, den 22. maj 2006.

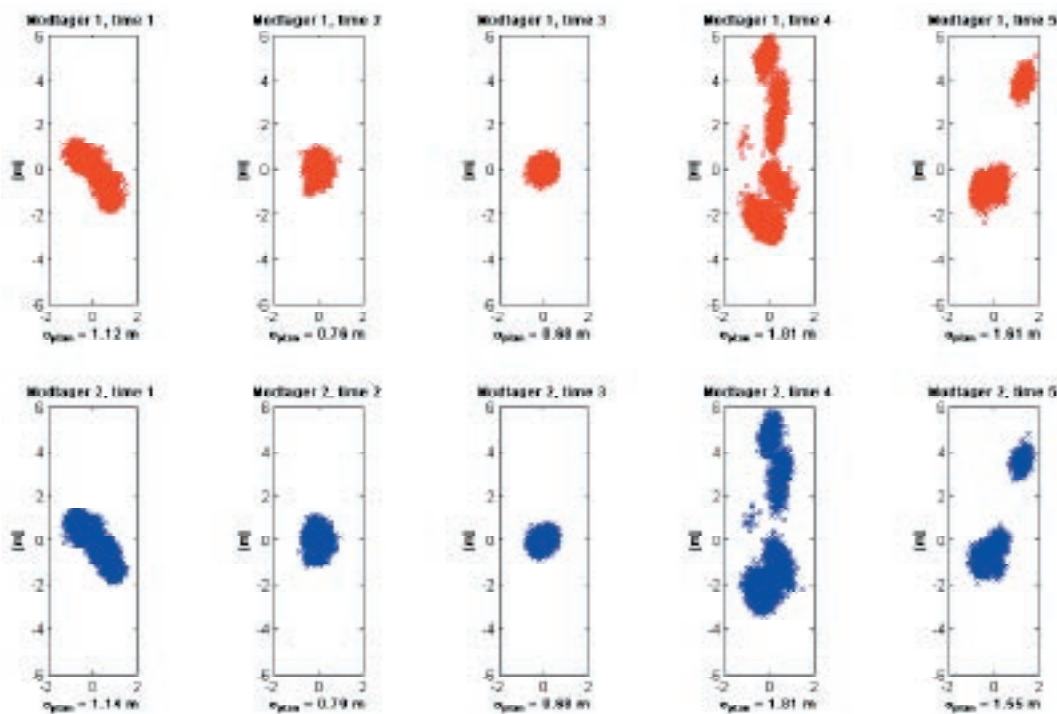
Ud fra de indsamlede observationer blev der atter beregnet positioner på baggrund af kodeobservationer med *absgps.m*. Et plot af positionerne for de to modtagere kan ses i Figur 9.1.

Øverste række af plots i Figur 9.1 viser positioner beregnet for hver af de fem timer med den ene R8-modtager, mens den nederste række plots visualiserer positioner beregnet ud fra observationer indsamlet med den anden R8-modtager. For hver time er der, for hver af modtagerne, beregnet en spredning i planen, som er angivet under hvert plot.

Som det umiddelbart fremgår, er der meget stor lighed mellem positionerne fra de to modtagere, og fokuseres der på de bereg-

nede spredninger, underbygges dette. Den største forskel mellem de beregnede spredninger for de to modtagere fremkommer i time 5, hvor der er 6 cm forskel. Dette betyder, at de to modtagere måler ens på C/A-koden. Dermed er det dokumenteret, at den store forskel mellem nøjagtighed/præcision for stand-alone og EGNOS-realtime ikke er modtagerafhængig, men i stedet skyldes forbedringer som følge af de anvendte EGNOS-korrektioner.

Et andet spørgsmål, der i forlængelse af ovenstående resultat melder sig, er, hvorfor GeoXT-modtageren med stand-alone GPS formår at opnå væsentligt bedre resultater end R8-modtageren med stand-alone GPS. Ud fra resultaterne fra den første datainsamling fremgår det, at positioner fra GeoXT-modtageren med stand-alone GPS har langt bedre præcision end positioner fra R8-modtageren med stand-alone GPS.



Figur 9.1: Plots for hver af de fem timer der er indsamlet observationer med to R8-modtagere konfigureret til stand-alone måling.

I Figur 9.2 er dette vist for en tilfældig udvalgt time i måleperioden.

Hver af de to linier i plottet viser afvigelsen i forhold til middel for henholdsvis GeoXT- og R8-modtagerne med stand-alone GPS for en tilfældig time (dag 4 time 1). Som det fremgår, er den blå linie, der beskriver afvigelser fra middelværdien for GeoXT-modtageren, langt mere jævn, end det er tilfældet med den røde linie, der beskriver afvigelser for R8-modtageren. Den præcise årsag til dette kendes ikke, men projektgruppen antager, at de observationer, der indsamles med GeoXT stand-alone GPS faseudglattes inden de gemmes i ssf-filen som senere konverteres til RINEX-format. Hvis faseobservationer anvendes af modtageren til at udglatte de observerede pseudoafstande, kan dette også forklare, hvorfor der næsten ikke sker nogen forbedring fra GeoXT stand-alone GPS til GeoXT EGNOS-realtime.

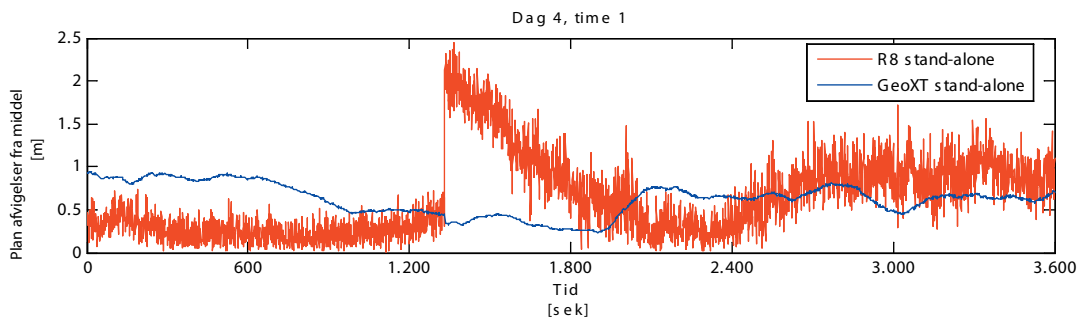
Projektgruppen har søgt i dokumentationen for GeoXT-modtageren [Trimble, 2001], samt kontaktet GEOTEAM A/S (Importør og forhandler af Trimble i Danmark) i håb

om at få be- eller afkræftet denne hypotese. Det har desværre ikke været muligt, at afgøre om GeoXT-modtageren gemmer faseudglattede pseudoafstande i ssf-filen⁹, og projektgruppen er derfor nødt til at lade dette stå hen i det uvisse.

9.3 Delkonklusion

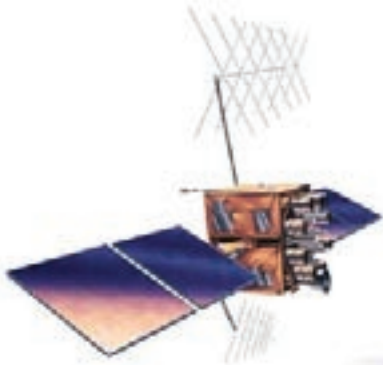
I dette kapitel blev det påvist, at det ikke var en modtagerafhængig fejl, der var årsag til den store forbedring i nøjagtighed og præcision ved anvendelse af R8 EGNOS-realtime i forhold til R8 stand-alone. Det blev således også påvist, at for R8-modtagerens vedkommende medfører anvendelsen af EGNOS-realtime en meget stor forbedring af præcision og nøjagtighed, når der beregnes positioner på baggrund af kodeobservationer. Den beregnede spredning, som udtrykker præcisionen, blev således i planen forbedret fra ca. 9 meter til ca. 3 meter.

For GeoXT-modtageren forblev præcision og nøjagtighed stort set uændret, hvad enten der blev målt med stand-alone GPS eller EGNOS-realtime.



Figur 9.2: Beregnede positioners afvigelser i planen fra middel, for henholdsvis R8 stand-alone (rød linie) og GeoXT stand-alone (blå linie).

⁹ Projektgruppen har efterfølgende forsøgt at faseudglatte stand-alone GPS-observationer fra GeoXT- og R8-modtagerne. Faseudglatningen havde størst indvirkning på R8-observationer og stort set ingen effekt på observationer fra GeoXT-modtageren. Dette understøtter projektgruppens teori, men beviser dog ikke om GeoXT-modtageren reelt faseudglatter observationerne inden disse lagres i ssf-filen.



KAPITEL 10

POSTPROCESSERING: EGNOS-KORREKTIONER

Kapitlet omhandler besvarelsen af problemformuleringens første spørgsmål: *Udnytter GNSS-modtageren EGNOS-signalet optimalt, eller kan postprocessing af signalet medføre forbedret præcision og nøjagtighed?* Besvarelsen følger den struktur, som er præsenteret i projektstrukturdiagrammet, Figur 1.2, og omfatter således afsnittene: Programmering, resultater og delkonklusion.

10.1 Begrænsninger og fravalg i software

En softwarepakke, som skal kunne korrigere stand-alone GPS-observationer med alle de korrektioner, der findes i EGNOS-signalet, skal på baggrund af problemafklaringen kunne dechiffrere og implementere de såkaldte fast-, slow og ionospheric corrections (ionosfæreforsinkelseskorrektioner). Af hensyn til omfanget af projektet og den tid projektgruppen har til rådighed til udvikling af softwaren, fravælges det, at softwaren skal kunne implementere og korrigere stand-alone GPS-observationerne med slow corrections. Begrebet slow corrections dækker, som nærmere beskrevet i Appendiks C (EGNOS' meddelel-

sestyper), over korrektioner for følgende langsomt voksende fejl: Fejl i satelliternes positioner som følge af fejl i de udsendte efemerider, degradering i satellitpositionsberegningen over tid samt fejl i satelliturne. Korrektionerne til disse fejltypen knytter sig i højere grad til beregningstrin i selve positionsberegningen end til selve de observerede pseudoafstande. Desuden findes der allerede en korrektion for satelliturnenes fejl i den navigationsmeddelelse, som udsendes af GPS-satellitterne, hvorfor det ikke er nødvendigt at udvikle et stykke software, som tager højde for den samme korrektion fra EGNOS-signalet. Projektgruppen er dog klar over, at dette fravalg kan påvirke resultaterne.

10.2 Programmering

På baggrund af ovenstående afsnit samt den oparbejdede viden om meddelelsetyperne i EGNOS-signalet, jf. Appendiks C kan der opstilles en kravspecifikation til den softwarepakke, der skal udvikles for at kunne besvare problemformuleringens første spørgsmål. Kravspecifikationen er samlet i Tabel 10.1.

Krav vedrørende	Implementering
Input	- Programmet skal kunne indlæse en ems-fil indeholdende EGNOS-korrektioner jf. [Eurocontrol, 2003]. - Programmet skal kunne indlæse en RINEX-observationsfil (ver. 2.10), indeholdende observationer indsamlet med stand-alone GPS. - Programmet skal kunne indlæse en RINEX-navigationsfil (ver 2.10), indeholdende satellitnavigationsdata.
Output	- Programmet skal kunne udskrive en fil med koordinater beregnet på baggrund af korrigerede observationer i ASCII-format. - Programmet skal kunne udskrive en fil med koordinater beregnet på baggrund af originale observationer i ASCII-format.
Korrektioner	- Programmet skal kunne indlæse og dechiffrere fast corrections og ionosfæreforsinkelseskorrektioner fra en EMS-fil samt korrigere de indlæste observationer med de indlæste korrektioner, jf. [Eurocontrol, 2003].
Kompilering	- Programmet skal udvikles i Matlab 7.0

Tabel 10.1: Kravspeficikation vedr. software til postprocessing.

Efter kravspecifikationen til programmet er opstillet, jf. ovenstående afsnit, kan programmeringen påbegyndes. Første led i programmeringen er, jf. V-modellen i Afsnit 1.1 (Projektstruktur), udvikling af programmets High-level design – altså en overordnet model for programmets opbygning og funktioner. Næste skridt er udvikling af en mere detaljeret plan for programmet – et Low-level design.

I High-level designfasen har projektgruppen besluttet at udvikle softwaren som en række mindre programobjekter, der efterfølgende kaldes fra et styringsobjekt, kaldet masterprogrammet. På denne måde kan hvert programobjekt udvikles hver for sig, hvorved tids- og personressourceforbruget i programmeringsfasen optimeres. Programobjekterne omfatter følgende scripts:

- *get_fast.m*: Udtrækker fast corrections fra EMS-fil. Programmet kalder følgende subscripsts: *getMT1.m*.
- *get_iono.m*: Udtrækker og beregner ionosfæreforsinkelseskorrektioner fra EMS-fil. Programmet kalder følgende subscripsts: *getMT18.m*, *getMT26.m*, *findeph.m*, *eph2xyz.m* samt *satzenit.m*.
- *masterprogram.m*: Indlæser data og implementerer korrektioner udtrykket med *get_fast.m* og *get_iono.m*, samt

beregner positioner for henholdsvis ukorrigerede og korrigerede observationer. Programmet kalder følgende subscripsts: *ret_ems.m*, *obs2matrix.m*, *rinexnav.m*, *get_fast.m*, *get_iono.m*, *match.m*, *rinexobs.m*, *kar2geo.m*, *geo2tm.m* samt *absgps.m*.

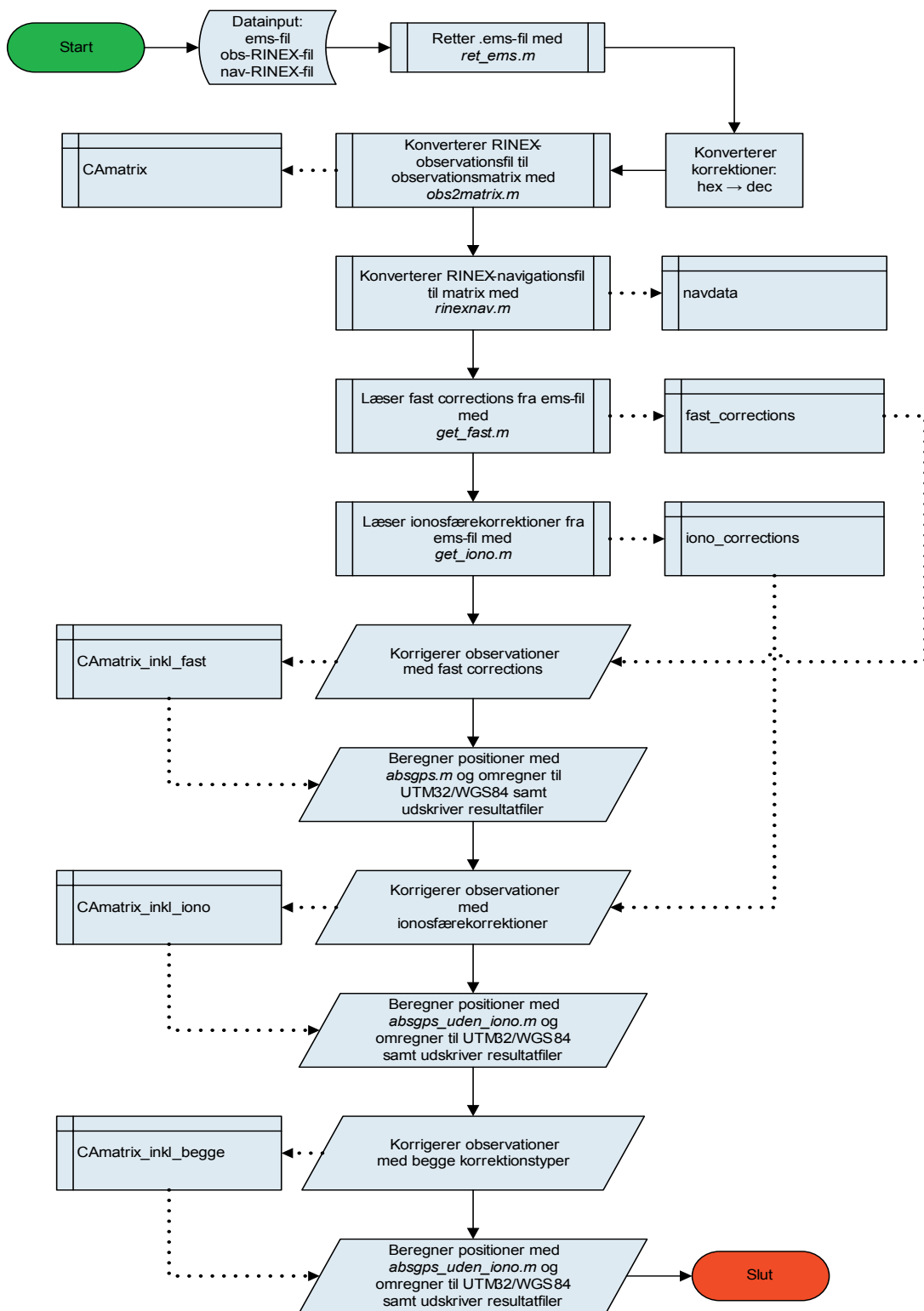
I de kommende tre afsnit præsenteres Low-level designet og dataflowet for de enkelte programobjekter, mens Matlab-kildekoden til programmerne findes på Bilag 1 (DVD).

10.2.1 Masterprogram

I Figur 10.1 ses et dataflowdiagram for masterprogrammet. Dataflowdiagrammet skal samtidig ses som resultatet af det Low-level design, som projektgruppen har udført for programmet.

Som nævnt ovenfor fungerer masterprogrammet som styringsobjekt i forhold til de øvrige programobjekter. Udtrækningen af EGNOS-korrektionerne fra EMS-filerne sker således i andre programobjekter, som eksekveres fra masterprogrammet.

Som det fremgår af Figur 10.1 kan programmet groft inddeles i dataindlæsnings-, databehandlings- samt dataudlæsnings- og dataudlæsningsgele-menter, som alle behandles nærmere nedenfor.



Figur 10.1: Dataflowdiagram for *masterprogram.m*. Stiplede linier indikerer ind- og udlæsninger fra matricer.

Dataindlæsning

I dataindlæsningsdelen indlæses en filliste med EMS-filer, en filliste med RINEX-observationsfiler samt en filliste med RINEX-navigationsfiler. Inden implementeringen af korrektionerne påbegyndes, rettes EMS-filerne automatisk til med funktionen *ret_ems.m*. Denne funktion sletter de første linier i EMS-filen, indtil der optræder en meddelelsestype 1 (PRN Mask Assignment). Dette gøres, da implementeringen af fast corrections, jf. Appendix C (EGNOS' meddelelsestyper), forudsætter, at der er udsendt en meddelelsestype 1, således at de udsendte fast corrections kan associeres med de PRN-numre, korrektionerne tilhører.

Databehandling

Databehandlingen omhandler udtrækning af fast corrections og ionosfæreforsinkelserkorrektionerne fra EMS-filerne samt påførelse af korrektionerne på observationerne fra RINEX-observationsfilerne. I

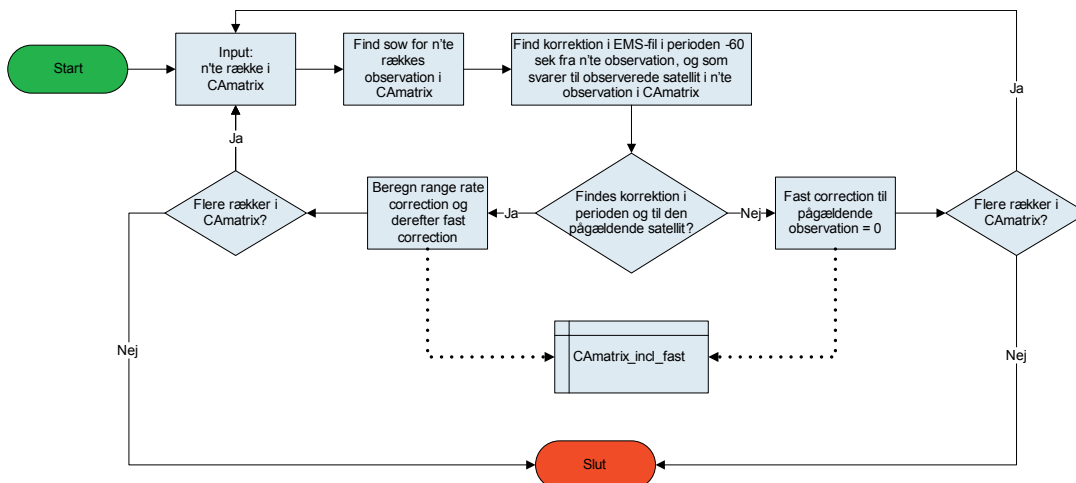
denne del af programmet kaldes en række andre scripts, hvori korrektionerne udtrækkes fra EMS-filerne og behandles – disse scripts gennemgås nærmere i afsnittene 10.2.2 og 10.2.3.

Scriptet *obs2matrix.m* konverterer den indlæste RINEX-observationsfil til en matrice kaldet *CAmatrix*, som består af n rækker og fire søjler, hvor hver række er opbygget som vist i Figur 10.2. Konverteringen foretages for lettere at kunne påføre observationerne de korrektioner, som udtrækkes fra den indlæste EMS-fil, herunder at finde de korrektioner som tidsmæssigt passer til observationstidspunktet.

Scriptet *get_fast.m* (se Afsnit 10.2.2) udtrækker fast corrections fra de indlæste EMS-filer, hvorefter korrektionerne påføres observationerne i *CAmatrix*-matricen i masterprogrammet, og der genereres en ny matrice med de korrigerede observationer kaldet *CAmatrix_incl_fast*. Påførelsen af korrektionerne fungerer efter princippet, angivet i Figur 10.3.

	1. søjle	2. søjle	3. søjle	4. søjle
Indhold	Second of week (SOW)	Week Number (WN)	Pseudoafstand, C/A-koden	Space Vehicle (PRN)
Eksempel	35875	1371	23802341.082	8

Figur 10.2: Opbygning af matricen *CAmatrix*.



Figur 10.3: Princip for korrektion af observationer med fast corrections fra ems-fil.

Som det fremgår af Figur 10.3 skal der ved udtrækningen af korrektionerne fra EMS-filen bl.a. tages stilling til, hvor gamle korrektionerne må være, før de anvendes. Denne problematik går igen ved implementering af ionosfæreforsinkelseskorrektionerne, og kan løses på mindst tre måder:

1. Nul-løsning: Alle korrektioner anvendes uanset korrektionens alder i forhold til den observation, der skal korrigeres.
2. Time-out's: I [Eurocontrol, 2003, Afsnit 4.2] angives time-out intervaller for hvermeddelelsestype – altså en angivelse af hvor længe en korrektion kan antages at være gældende.
3. Degraderingsfaktor: Meddelelsestype 7 indeholder degraderingsfaktorer for fast corrections, mens meddelelsestype 10 indeholder degraderingsfaktorer for slow corrections og ionosfæreforsinkelseskorrektionerne. Degraderingsfaktorerne er også et udtryk for, hvor lang tid hver udsendt korrektion bør anvendes.

Projektgruppen har valgt at anvende time-out intervaller som kriterium for, hvorvidt en korrektion bør anvendes eller ej. Dette skyldes for det første, at denne løsning er mest simpel at implementere i softwaren, når der ses bort fra nul-løsningen. For det andet har projektgruppen undersøgt størrelserne af degraderingsfaktorerne og fundet, at ved kun at anvende time-out intervaller som kriterium vil der kun i ganske få tilfælde blive anvendt korrektioner, som

ellers ville blive frasorteret ved anvendelse af degraderingsfaktorerne.

Scriptet *get_iono.m* udtrækker ionosfæreforsinkelseskorrektioner fra den indlæste EMS-fil, hvorefter korrektionerne påføres pseudoafstandene i *CAmatrix*-matricen og gemmes i en matrice kaldet *CAmatrix_incl_iono*. Påførelsen af korrektionerne fungerer efter princippet angivet i Figur 10.4.

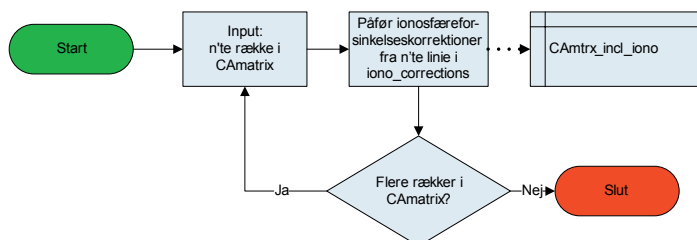
Dataudlæsning

Dataudlæsningsdelen af programmet består af, at der beregnes positioner på baggrund af henholdsvis:

- De originale, ukorrigerede observationer indsamlet med stand-alone GPS (*absgps.m*)
- Observationer korrigeret med fast corrections (*absgps.m*)
- Observationer korrigeret med ionosfæreforsinkelseskorrektioner (*absgps_uden_iono.m*)
- Observationer korrigeret med begge korrektionstyper (*absgps_uden_iono.m*)

På baggrund af disse positioner regnes der endeligt spredninger og RMS-værdier for hver timefil. Disse værdier skal senere indgå i vurderingen af resultaterne, Afsnit 10.3.

Inden resultaterne præsenteres, gennemgås der i nedenstående to afsnit, hvorledes udtrækningen af korrektionerne fra EMS-filerne forløber. Disse afsnit er ikke nødvendige for forståelsen af resultaterne, men er



Figur 10.4: Princip for korrektion af observationer med ionosfæreforsinkelseskorrektioner fra ems-fil.

medtaget for at give læseren en større indsigt i de trin, postprocesseringen omfatter.

10.2.2 Udtrækning af fast corrections: *get_fast.m*

Til udtrækning af fast corrections fra EMS-filen er scriptet *get_fast.m* udviklet. Input til scriptet er indholdet af en EMS-fil, og outputtet er en matrice kaldet *fast_corrections*, som består af n rækker og fire søjler, hvor hver række er opbygget som vist i Figur 10.5.

Outputmatricen, *fast_corrections*, genereres som vist i dataflowdiagrammet, Figur 10.6. For hver linie i EMS-filen afgøres det, om den pågældende linie enten er en meddelelsestype 1 (PRN-mask assignement) eller en meddelelsestype 2-5 (Fast correction). Hvis der er tale om en med-

delelsestype 1, dechifrerer indholdet med *getMT1.m*, hvorfra outputtet er en matrice, *SV_used* med de satellitnumre (PRN), som er angivet i den pågældende meddelelsestype 1. Når *get_fast.m* efterfølgende indlæser linier, som indeholder meddelelsestyperne 2-5, associeres korrektionerne med de pågældende satellitnumre i matricen *SV_used*, og gemmes i outputmatricen, *fast_corrections*, som vist i Figur 10.5 og Figur 10.6

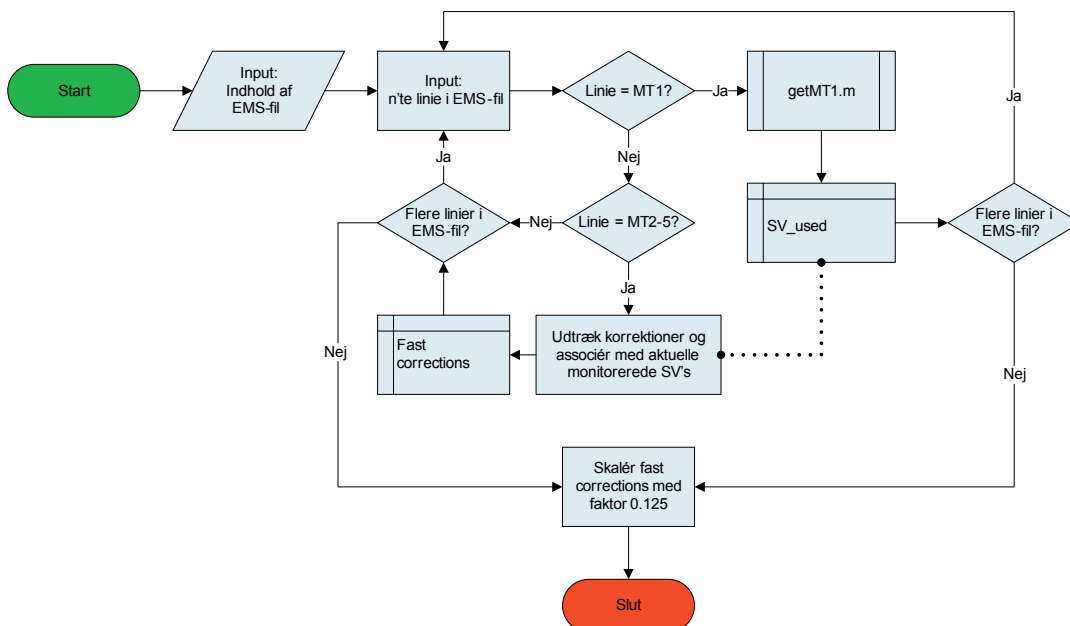
10.2.3 Udtræk ionosfæreforsinkeleskorrektioner: *get_iono.m*

Til udtrækning af ionosfæreforsinkelseskorrektionerne fra EMS-filen er scriptet *get_iono.m* udviklet. Input til scriptet er:

- Indholdet af en EMS-fil
- CAmatrix: Se Afsnit 10.2.1

	1. søjle	2. søjle	3. søjle	4. søjle
Indhold	Second of week (SOW)	Week Number (WN)	Fast correction [m]	Space Vehicle (PRN)
Eksempel	35875	1371	0.785	8

Figur 10.5: Opbygning af matricen *fast_corrections*.



Figur 10.6: Dataflowdiagram for *get_fast.m*. Stiplede linier indikerer ind- og udlæsninger fra matricer.

- Navdata: Navigationsdata læst fra RINEX-navigationsfil vha. *rinexnav.m*, udviklet af lektor, Peter Cederholm, AAU.

Outputtet fra *get_iono.m* er en matrice kaldet *IONO_corrections*, som består af n rækker, svarende til antallet af observationer i RINEX-observationsfilen og fire søjler, hvor hver række er opbygget som vist i Figur 10.7.

Outputmatricen, *IONO_corrections*, genereres som vist i dataflowdiagrammet, Figur 10.8.

Første trin i programmet er beregning af Pierce Point-kordinater til alle observationer fra RINEX-observationsfilen. RINEX-observationsfilen er, som tidligere nævnt, konverteret til en matrice kaldet *CAmatrix*, og beregningen af Pierce Point-kordinaterne sker således ud fra denne matrice.

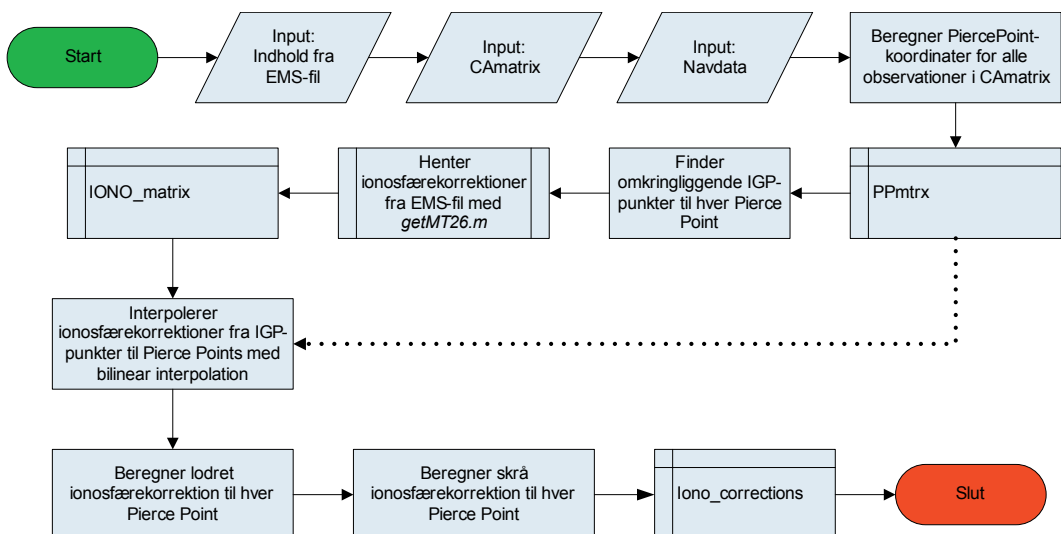
For at kunne beregne Pierce Point-kordinaterne er det følgelig også nødvendigt at kende de anvendte satellitters positioner i forhold til modtagerens position til hvert observationstidspunkt. Disse oplysninger indhentes fra RINEX-navigationsfilen og lagres i en matrice kaldet *navdata* med scriptet *rinexnav.m*. Det skal bemærkes, at der i *get_iono.m*'s kildekode skal angives en omtrentlig position for modtageren, inden scriptet eksekveres.

Herefter udtrækkes korrektionerne til IGP-punkterne (Ionospheric Grid Points) fra EMS-filen med scriptet *getMT26.m*. Outputtet fra *getMT26.m* er en matrice kaldet *IONO_matrix*, som består af n rækker og seks søjler, hvor hver række er opbygget som vist i Figur 10.9. I Figur 10.10 ses et dataflowdiagram for scriptet.

Efter ionosfæreforsinkelseskorrektionerne til IGP-punkterne fra EMS-filen er udtrukket med *getMT26.m*, fortsætter *get_iono*.

	1. søjle	2. søjle	3. søjle	4. søjle
Indhold	Second of week (SOW)	Week Number (WN)	Ionosfæreforsinkelseskorr., skrå [m]	Space Vehicle (PRN)
Eksempel	35875	1371	2.125	8

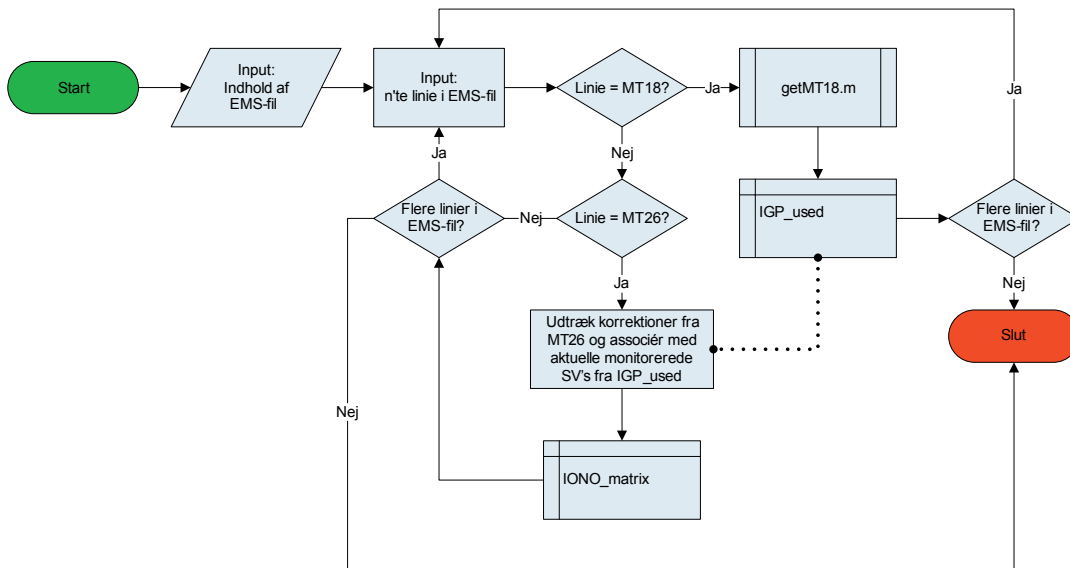
Figur 10.7: Opbygning af matricen *IONO_corrections*.



Figur 10.8: Dataflowdiagram for *get_iono.m*. Stiplede linier indikerer ind- og udlæsninger fra matricer.

	1. søjle	2. søjle	3. søjle	4. søjle	5. søjle	6. søjle
Indhold	SOW	WN	Ionosfære- Korr., IGP	IGP-num- mer	IGP lon	IGP lat
Eksempel	35875	1371	2.000	4176	10	55

Figur 10.9: Opbygning af matricen *IONO_matrix*.



Figur 10.10: Dataflowdiagram for *get_MT26.m*. Stiplede linier indikerer ind- og udlæsninger fra matricer.

m. Næste trin i beregningen af ionosfæreforsinkelseskorrektioner til de indsamlede observationer er at interpolere ionosfæreforsinkelseskorrektionerne fra IGP-punkterne til de beregnede Pierce Points. Interpolationen foretages med enten tre- eller firepunkts bilinear interpolation, afhængigt af det pågældende Pierce Points placering i forhold til de IGP-punkter, der til observationstidspunktet udsendes korrektioner for. Se desuden Appendix C (EGNOS' meddelelsetyper).

Resultatet af interpolationen er lodrette ionosfæreforsinkelseskorrektioner til hvert Pierce Point – disse korrigeres afslutningsvis til skrå ionosfæreforsinkelseskorrektioner. Denne beregning sker ud fra viden om satelliternes positioner i forhold til modtagerens position til hvert observationstidspunkt – viden som er indhentet fra RINEX-navigationsfilen.

10.3 Resultater

Efter softwaren til postprocessing af EGNOS-korrektioner er udviklet, er næste trin i besvarelsen af problemformuleringens første spørgsmål at anvende softwaren på de indsamlede observationer for herefter at vurdere de opnåede resultater.

Under udviklingen af softwaren, herunder de tests, der jf. V-modellen skal foretages, viste det sig, at postprocesseringen af EGNOS-korrektionerne tager forholdsvis lang tid – eksempelvis varer postprocessing af én times observationer ca. 35 minutter¹⁰. På den baggrund har projektgruppen valgt ikke at postprocessere alle indsamlede observationer fra observationsperioden. Det er i stedet valgt at postprocessere observationer indsamlet i følgende timer, for hver observationsdag:

- Klokker 03:00-04:00 (UTC)
- Klokker 14:00-15:00 (UTC)

¹⁰ Vha. PC med Pentium 4, 2.4 GHz processor og 512 mb DDR-RAM.

Med denne fremgangsmåde vil resultaterne af postprocesseringen give et billede af effekten af postprocesseringen, hvad enten observationerne er indsamlet om natten, eller observationerne er indsamlet om dagen. Ionosfæreforsinkelserne er – i hovedreglen – mindst om natten, når ionosfæren ikke påvirkes af solens strålinger. [Hofmann-Wellenhof, 2001, s. 152]

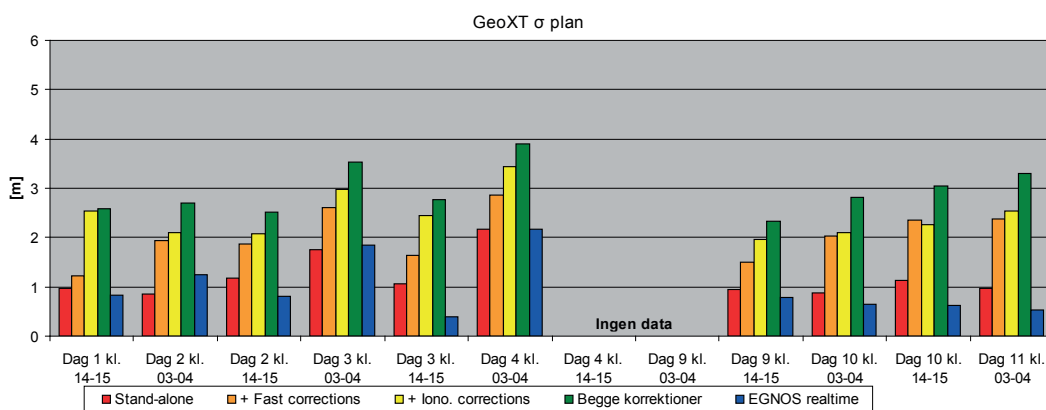
Ved at fokusere på postprocessering af observationer, der er indsamlet henholdsvis om natten og om dagen, vil effekten af EGNOS' ionosfæreforsinkelseskorrektioner henover døgnet også kunne påvises.

For at kunne vurdere hvorvidt postprocesseringen medfører forbedringer, omfatter resultaterne spredninger og RMS-værdier, jf. formlerne i Appendiks A (Præcision og

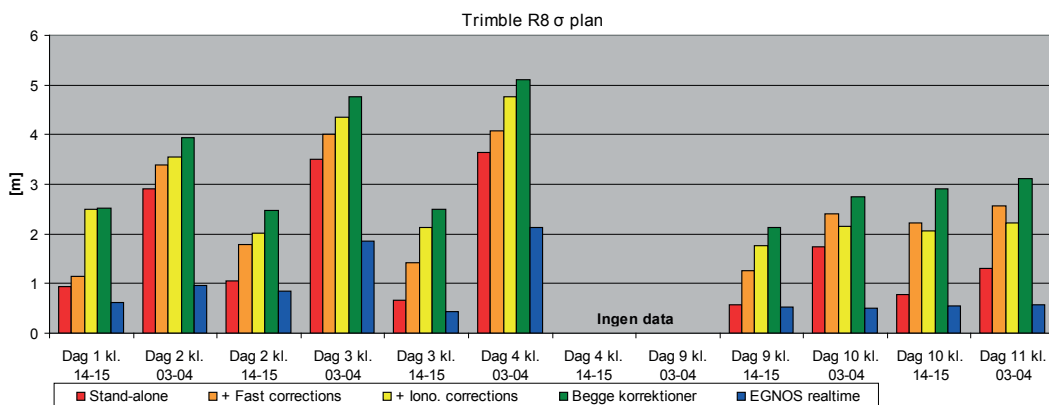
Nøjagtighed), for positioner beregnet ud fra:

- Stand-alone GPS-observationer.
- Stand-alone GPS-observationer påført fast corrections.
- Stand-alone GPS-observationer påført ionosfæreforsinkelseskorrektioner.
- Stand-alone GPS-observationer påført begge korrektionstyper.
- EGNOS-realtime observationer.

Da resultaterne af disse beregninger er forholdsvis omfattende, er disse samlet i tabeller i Bilag 3 (Resultater fra postprocessering). Spredningen i planen for hvert beregnet datasæt er visualiseret i Figur 10.11 og 10.12. Resultater vedr. RMS-værdier for datasættene har samme karakteristika som nedenstående resulta-



Figur 10.11: Spredninger i planen for observationssæt indsamlet med GeoXT-modtagere.



Figur 10.12: Spredninger i planen for observationssæt indsamlet med R8-modtagere.

ter, hvorfor lignende figurer for RMS-værdierne er samlet i Bilag 3 (Resultater fra postprocessering). Resultaterne gennemgås nedenfor.

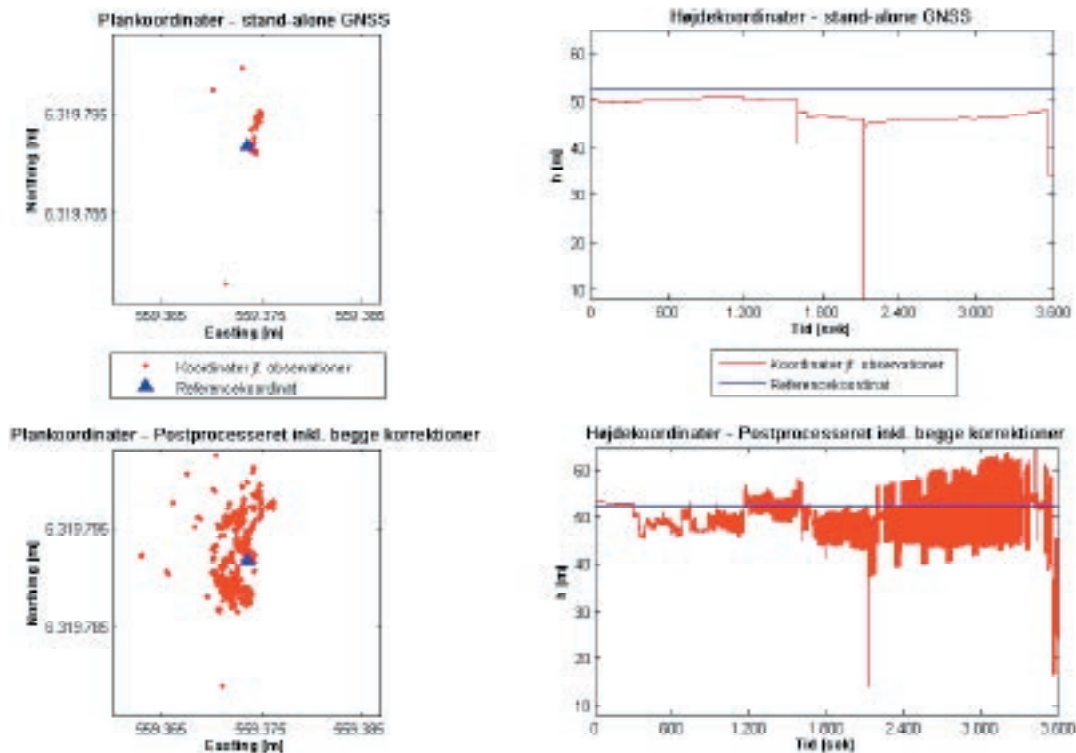
For begge modtagere gælder det, som forventet, at der, i forhold til stand-alone GPS, i næsten alle tilfælde opnås forbedringer med EGNOS-realtime, hvilket for GeoXT-modtageren strider imod resultaterne fra Kapitel 9 (Samlet nøjagtighed og præcision). Sammenlignes stand-alone GPS med de postprocesserede positioner fremkommer følgende resultater:

For det første er det tydeligt, at påførelsen af fast corrections, ionosfæreforsinkelseskorrektioner eller begge korrektionstyper i alle tilfælde forværrer præcisionen. Dette forhold strider således imod projektgruppens forventninger, idet postprocesseringen i teorien burde medføre forbedret positionering, som det er tilfældet med de obser-

vationer, hvor der er anvendt EGNOS-realtime. Umiddelbart kunne problemet tilskrives fejl i de programmer, projektgruppen har udviklet, jf. Afsnit 10.3. Et omfattende fejlsøgnings- og testforløb af programmerne har dog ikke afsløret fejl af nogen karakter. Det er således blevet undersøgt, at:

- Programmerne overholder PEGASUS-standarden, jf. [Eurocontrol, 2003],
- Der ikke er fejl i inputdata, samt
- Der ikke opstår fejl i ind- og udlæsninger af matricer, herunder nulstillings-, afrundings- eller tidsforskydningsfejl

Et led i fejlsøgningen har også været at undersøge, om der efter postprocesseringen opstod særdeles store outliers i positionerne, som kan være med til at forværre resultaterne. Denne undersøgelse byggede bl.a. på en visuel kontrol af plots af de beregnede koordinater. Heller ikke denne kontrol påviste sådanne store outliers. I Fi-



Figur 10.13: Plot af positioner henholdsvis før og efter postprocessering. Datagrundlag: Trimble R8. Observationsdag 3, Kl. 03-04 (UTC).

gur 10.13 ses et eksempel på et plot over de beregnede positioner for henholdsvis observationer fra stand-alone GPS og postprocesserede observationer (begge korrektionstyper).

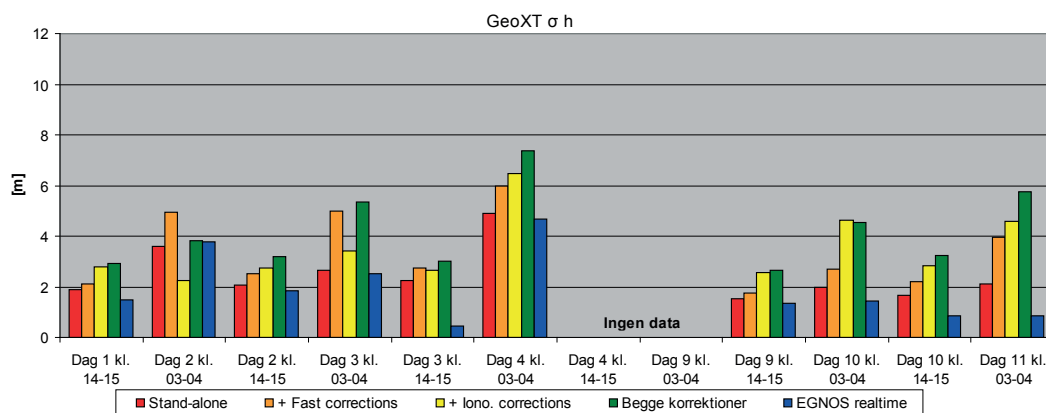
Fokuseres der på postprocesseringens påvirkning af den opnåelige præcision i højden, se Figur 10.14 og Figur 10.15, fremkommer stort set samme resultat som i Figur 10.13.

I alle på nær ét tilfælde opnås der forbedringer ved at anvende EGNOS-realtime frem for stand-alone GPS. Postprocesseringen giver også, ligesom ovenfor, i de fleste observationsperioder et dårligere resultat – altså en højere spredning – end både stand-alone GPS og EGNOS-realti-

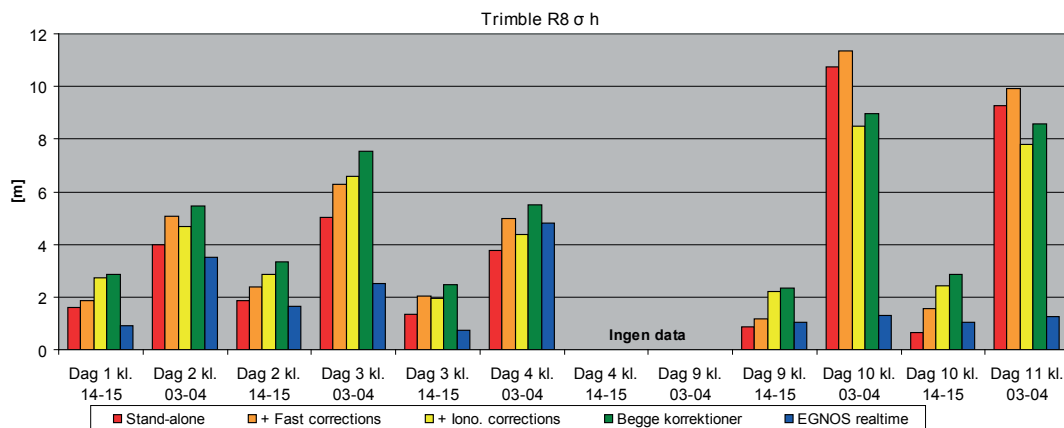
me. Dog bør følgende afvigelser fra denne tendens bemærkes:

I observationsdag 2, klokken 03-04 (UTC) opnås der bedre præcision i højden ved postprocessering med ionosfæreforsinkelseskorrektioner end både stand-alone GPS og EGNOS-realtime for så vidt angår observationerne indsamlet med GeoXT-modtageren. Dette gælder dog ikke for observationerne indsamlet med R8-modtageren.

Sammenlignes resultater for observationer indsamlet henholdsvis i dagstimerne og nattetimerne ses det, at der er en tendens til, at observationerne indsamlet om natten resulterer i højere spredninger end dagsobservationerne. Dette strider imod den gængse opfattelse af soludstrålingens



Figur 10.14: Spredninger i højden for observationssæt indsamlet med GeoXT-modtagere.



Figur 10.15: Spredninger i højden for observationssæt indsamlet med R8-modtagere.

påvirkning af ionosfæreforsinkelserne, som nævnt tidligere i dette afsnit. Forskellen mellem dags- og natobservationerne vil blive diskuteret nærmere i Kapitel 11 (Time- og dagsvariationer).

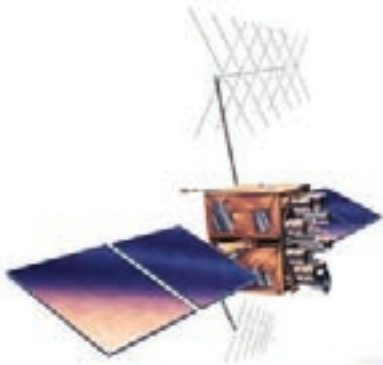
10.4 Delkonklusion

I Afsnit 10.3 blev udviklingen af en softwarepakke til postprocessering af EGNOS-korrektioner beskrevet. Fremgangsmåden for postprocesseringen og de anvendte metoder til udtrækning af EGNOS-korrektioner fra EMS-filer fulgte specifikationerne angivet i [Eurocontrol, 2003]. Det var således projektgruppens forventninger, at anvendelse af softwarepakken ville medføre forbedringer i den opnåelige nøjagtighed og præcision sammenlignet med stand-alone GPS. Det efterfølgende trin i besvarelse af problemformuleringen – selve testen af softwarepakken – påviste dog, at der kun i ganske få tilfælde kunne opnås forbedret positioneringsnøjagtighed og/eller præcision sammenlignet med stand-alone GPS. Efter igennem en længere periode af problemløsningsfasen at have kontrolleret og testet det udviklede software, med henblik på at finde og rette eventuelle fejl, og dermed forbedre de opnåede resultater ved postprocesseringen, konkluderes det, at softwaren følger specifikationerne i [Eurocontrol, 2003], og at der ikke er andre påviselige fejl i programmeringen.

Hvorvidt der, jf. problemformuleringens første spørgsmål, kan opnås forbedringer ved postprocessering af observationer påført EGNOS-korrektionerne, konkluderes det, at dette ikke er sandsynligt med det udviklede software. Dog vurderer projektgruppen, at postprocessering af EGNOS-korrektioner *kan* medføre forbedret præcision/nøjagtighed, sådan som det er tilfældet med resultaterne fra de modtagere, der har indsamlet observationer med EGNOS-realtime. Forudsætninger for dette er dog, at udviklingen af softwaren foretages over en længere periode, således at de løbende tests, jf. V-modellen, kan udbygges med henblik på at detektere og rette uhensigtsmæssigheder i programmeringen. Derudover vurderes det, at en eventuel videreudvikling af softwarepakken bør indeholde implementering af slow corrections, således at der ikke er begrænsninger i softwaren i forhold til [Eurocontrol, 2003].

Til trods for at resultaterne ikke blev som forventet, har projektgruppen med udviklingen af softwaren til postprocessering af EGNOS-korrektioner opnået en ganske omfattende viden om:

- EGNOS-signalets opbygning.
- Meddelelsernes indhold, og hvordan disse dechifres.
- EGNOS-korrektionernes størrelser og variationer – dog uddybes dette i Kapitel 11.
- Udvikling og test af programobjekter.



KAPITEL 11

TIME- OG DAGSVARIATIONER

Dette kapitel omhandler problemformuleringens spørgsmål II og afklarer, hvorvidt der forekommer time- og dagsvariationer i kvaliteten af de EGNOS-korrektioner der udsendes.

Som diskuteret i problemafklaringen, baseres undersøgelsen på en sammenligning af positioner beregnet ud fra henholdsvis stand-alone GPS og EGNOS-realtime. Positionerne beregnet ud fra EGNOS-realtime observationer opfattes som afledte størrelser af EGNOS-korrektionerne.

Sammenligningen giver således svar på, om kvaliteten af EGNOS-korrektionerne er varierende over tid, eller om der kan spores korrelation når positioner fra flere stjernedøgn sammenlignes. Det afgøres desuden, om eventuelle variationer skyldes de variationer der kendes fra anvendelse af stand-alone GPS.

Besvarelsen følger den struktur som er præsenteret i projektstrukturdiagrammet, Figur 1.2, og omfatter således afsnittene: Programmering, resultater og delkonklusion.

11.1 Programmering

På baggrund af problemafklaringen, Afsnit 6.1.3, kan der opstilles en kravspecifikation til de scripts, der skal udvikles for at kunne besvare problemformuleringens andet spørgsmål. Kravspecifikationen er samlet i Tabel 11.1. Det skal bemærkes, at formålet med udviklingen af scripts til besvarelse af spørgsmål II ikke er at fremstille en færdig programpakke. Scriptene skal i stedet anvendes til visualisering/afrapportering af resultater, hvilket påvirker de krav der stilles til designet.

Efter kravspecifikationen er opstillet udarbejdes scriptets High-level design jf. V-modellen, se Afsnit 1.1 (Projektstruktur). I denne fase af programmeringen er det besluttet af udvikle ét script til besvarelse af problemformuleringens spørgsmål II.

Scriptet, som er navngivet *calc_SP2.m*, inddeles i High-level designfasen i tre dele:

- Dataindlæsning: Indlæsning af ENh-filer (output fra *RINEX2ENh.m*), referencenkoordinater samt synkroniseringsoplysninger.
- Beregning: Synkronisering af indlæste positioner, således at positioner som

Krav vedrørende	Implementering
Input	<ul style="list-style-type: none"> - Programmet skal kunne indlæse en liste af ENh-filer, jf. <i>RINEX2ENh.m</i> med positioner fra de anvendte modtagere. - Programmet skal kunne indlæse en fil med referencekoordinater til de målte punkter. - Programmet skal indlæse en fil med synkroniseringstider.
Output	<ul style="list-style-type: none"> - Programmet skal kunne udskrive en fil med beregnede positioner fra alle de indlæste ENh-filer. - Programmet skal kunne udskrive en fil med resultater for hver indlæst ENh-fil. - Programmet skal desuden udskrive de synkroniserede positioner . - Programmet skal udskrive resultater for beregningen af de synkroniserede timer.
Beregninger	<ul style="list-style-type: none"> - Programmet skal, for hver indlæst ENh-fil, beregne RMS og spredning for samtlige akseretninger. - Programmet skal kunne synkronisere de indlæste ENh-filer til stjernedøgn. - Efter synkroniseringen er foretaget skal der også beregnes spredninger og RMS-værdier

Tabel 11.1: Kravspecifikation til programmering.

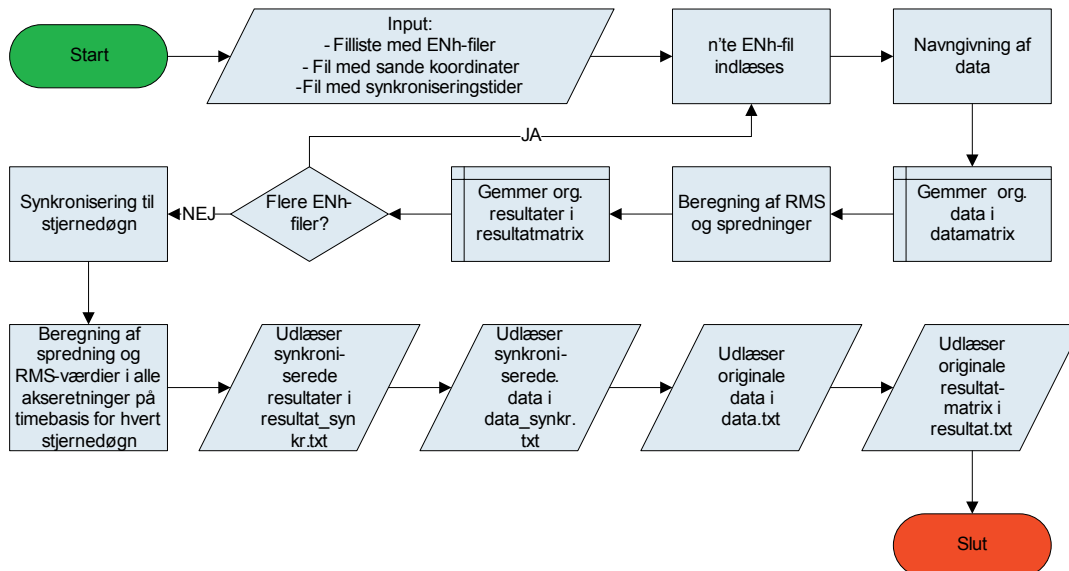
skal sammenlignes, er indsamlet med stjernedøgns mellemrum. Eksempelvis skal en position beregnet for kl. 13.00.00 dag 1 sammenlignes med en position beregnet kl. 12:56:13 dag 2. Efter synkronisering beregnes RMS-værdier og spredninger for positioner fra de nu synkroniserede ENh-filer.

- Udlæsning: Lagring af positioner, RMS-værdier og spredninger.

I Figur 11.1 ses scriptets Low-level design og dataflow, mens Matlab-kildeteksten til scriptet findes på vedlagte DVD, Bilag 1.

11.2 Resultater

I de følgende afsnit præsenteres resultaterne fra den gennemførte analyse af, hvorvidt der forekommer time- og dagsvariationer i kvaliteten af EGNOS-korrektionerne.



Figur 11.1: Dataflowdiagram for *calc_sp2.m*.

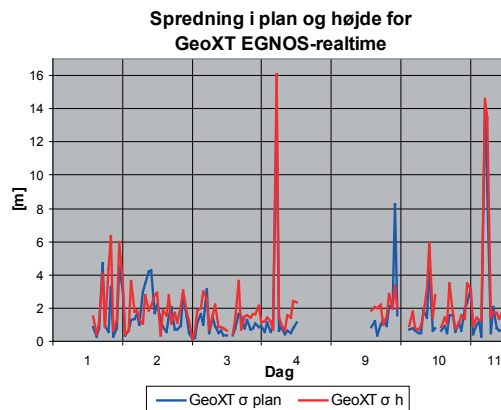
Det er valgt at anskue problemstillingen vedr. time- og dagsvariationer fra to sider. Først vurderes værdier for spredninger og RMS i plan og højde fra de to EGNOS-realtime modtagere. Dette giver et overblik over, hvorvidt der forekommer gentagelser fra dag til dag, samt om R8- og GeoXT-modtageren opfører sig ensartet når der anvendes EGNOS-realtime. Problemet med alene at fokusere på spredning og RMS, er at det ikke kan afgøres hvorvidt de dagsvariationer, der ses, forekommer som følge af EGNOS, eller om disse blot skyldes dagsvariationerne i GPS.

For at komme ud over dette problem, er det efterfølgende valgt at fokusere på differencer mellem spredninger, beregnet for simultane positioner beregnet på baggrund

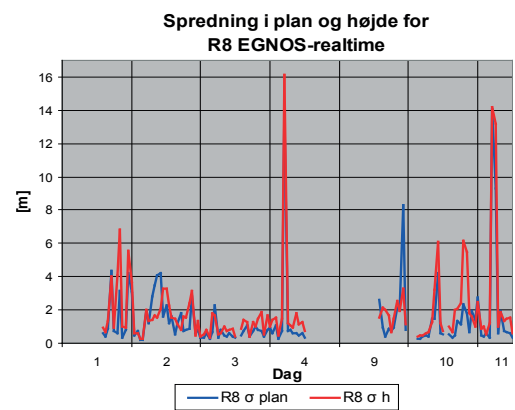
af henholdsvis EGNOS-realtime og stand-alone GPS-observationer. Dette vil vise hvorvidt spredningen forbedres eller forværres ved anvendelse af EGNOS-realtime i forhold til stand-alone GPS.

11.2.1 Spredninger og RMS med EGNOS-realtime

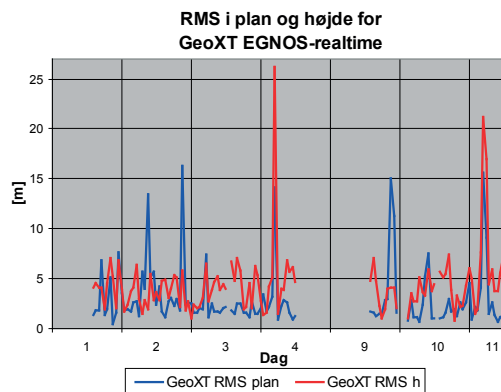
I Figur 11.2 og Figur 11.3 er der vist spredninger i plan og højde for henholdsvis GeoXT- og R8-modtageren, der har målt med EGNOS-realtime. Som det fremgår, er der meget stor korrelation mellem spredninger fra de to modtagere, idet de mest udtalte peaks samt perioder med store spredninger er sammenfaldende. Desuden ses det at værdierne for spredningerne er af samme størrelsesorden for de to modta-



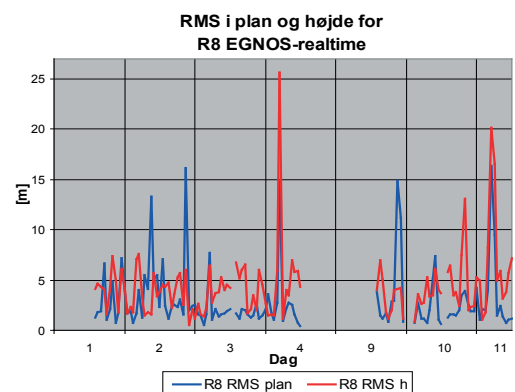
Figur 11.2: Spredning i plan og højde for GeoXT med EGNOS-realtime beregnet på timebasis.



Figur 11.3: Spredning i plan og højde for R8 med EGNOS-realtime beregnet på timebasis.



Figur 11.4: RMS i plan og højde for GeoXT med EGNOS-realtime beregnet på timebasis.



Figur 11.5: RMS i plan og højde for R8 med EGNOS-realtime beregnet på timebasis.

gere, hvilket vil sige, at ved anvendelse af EGNOS-realtime formår GeoXT-modtageren at måle med samme spredning, dvs. præcision som R8-modtageren.

I Figur 11.4 og Figur 11.5 er der vist RMS-værdier i plan og højde for henholdsvis GeoXT- og R8-modtageren der har målt med EGNOS-realtime. Som det fremgår, er der også for RMS-værdierne meget stor korrelation for de to modtagere og desuden er der flere lighedstræk med spredningerne vist i Figur 11.2 og Figur 11.3.

På baggrund af de mange lighedstræk mellem værdier for spredning og RMS vurderer projektgruppen at der i de videre analyser kan ses bort fra RMS-værdierne uden at det vil påvirke de opnåelige resultater i negativ retning. Derfor fokuseres der i det følgende kun på spredninger, hvorved antallet af diagrammer reduceres og det bliver lettere for læseren at bevare overblikket.

11.2.2 Forskel mellem spredninger for EGNOS-realtime og stand-alone GPS

Søjlediagrammerne i de følgende afsnit viser, på timebasis, forskellen mellem spredningen af positioner fra en modtager der måler med EGNOS-realtime og en modtager der måler med stand-alone GPS. For at sikre et korrekt sammenligningsgrundlag, er de timer der sammenlignes data for korrigeret, således at der tages højde for den tidsforskydning der er mellem soldøgn og stjernerøgn.

I diagrammerne angiver 1. akserne timerne fra 0-11 og 12-23, mens 2. akserne viser forskellen mellem spredningerne i meter (Af

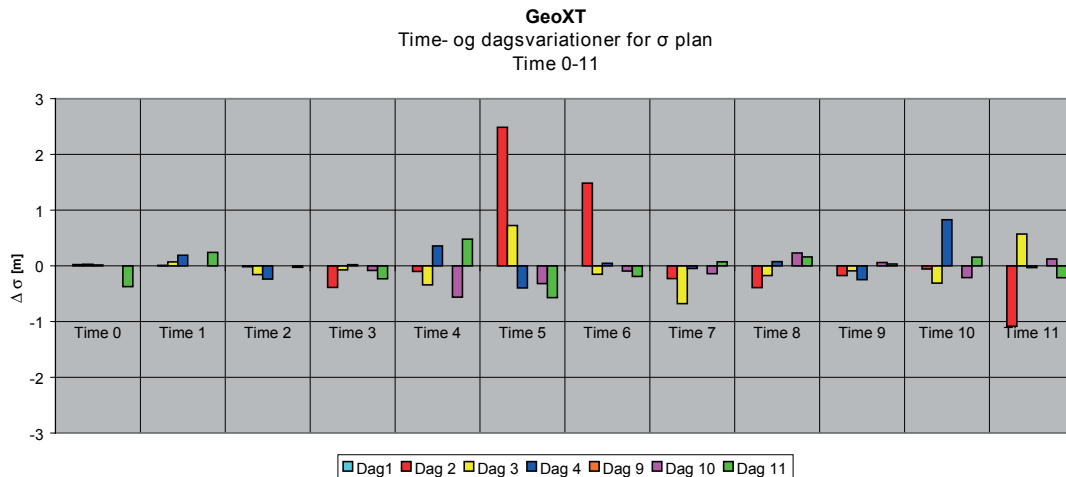
hensyn til at visualisere forskellene, har det ikke været muligt at anvende den samme skala på 2. akserne i alle diagrammer). De søjler, der har positive værdier, betyder, at EGNOS-realtime har en mindre spredning end stand-alone GPS, mens negative værdier betyder at EGNOS-realtime giver højere spredning end stand-alone GPS. Positive værdier er med andre ord ensbetydende med at EGNOS-realtime forbedrer præcisionen i forhold til stand-alone GPS, mens negative værdier betyder at EGNOS-realtime medfører en forværring.

Inden for hver time findes der op til fem søjler, der hver viser forskellen på spredningen mellem EGNOS-realtime og stand-alone GPS for den pågældende time og dag. Antallet af søjler inden for én time angiver hvor mange dage, der er indsamlet observationer den pågældende time.

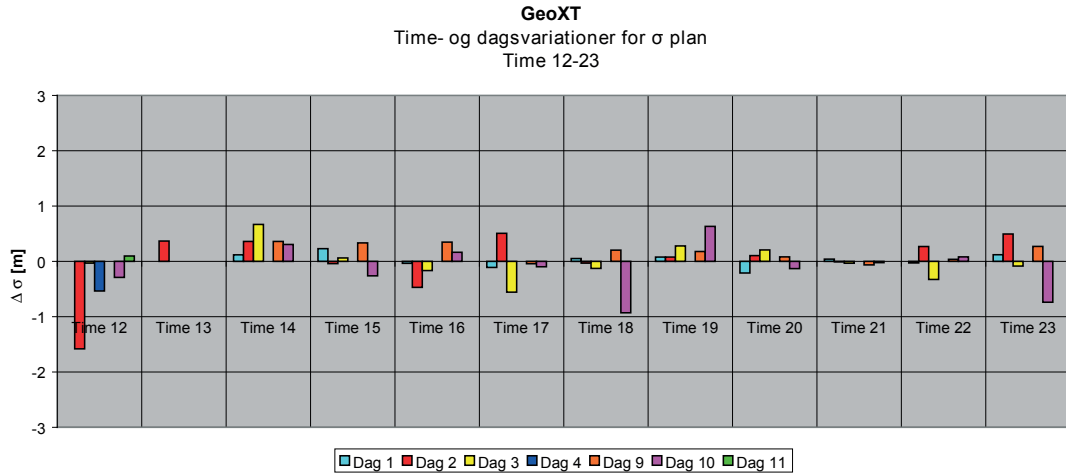
GeoXT-modtageren

Forskellene mellem spredningerne for EGNOS-realtime og stand-alone GPS for GeoXT-modtagerne for time 0-23 fremgår af Figur 11.6 - Figur 11.9. Som det også fremgik af Kapitel 9 (Samlet nøjagtighed og præcision), medfører EGNOS-realtime ikke væsentlige ændringer for GeoXT-modtagerne, hvormed det heller ikke kan forventes, at der er tydelige tendenser at spore med hensyn til time- eller dagsvariationer.

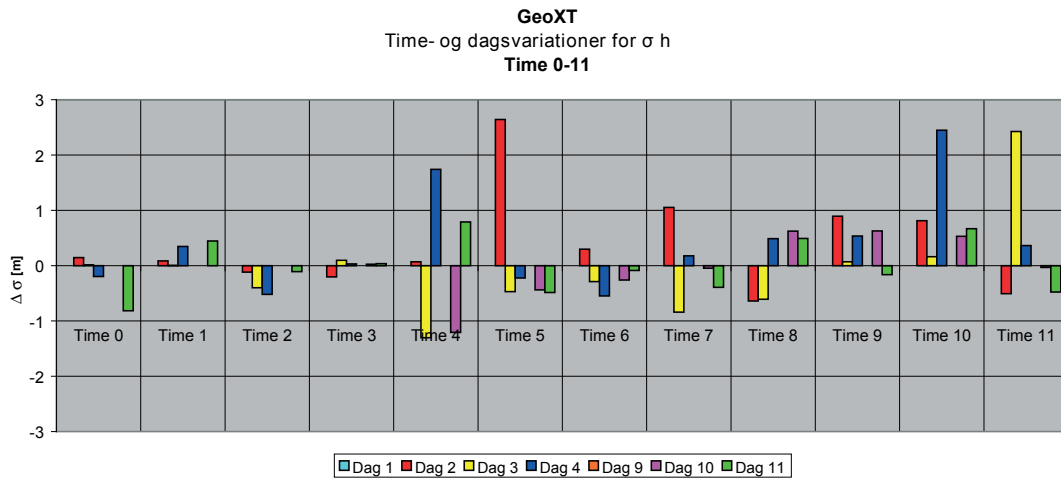
Der forekommer således ikke en klar tendens, der kan tolkes som time- eller dagsvariationer, når der fokuseres på forskelle mellem spredninger beregnet for EGNOS-realtime og stand-alone GPS, for målinger foretaget med GeoXT-modtageren.



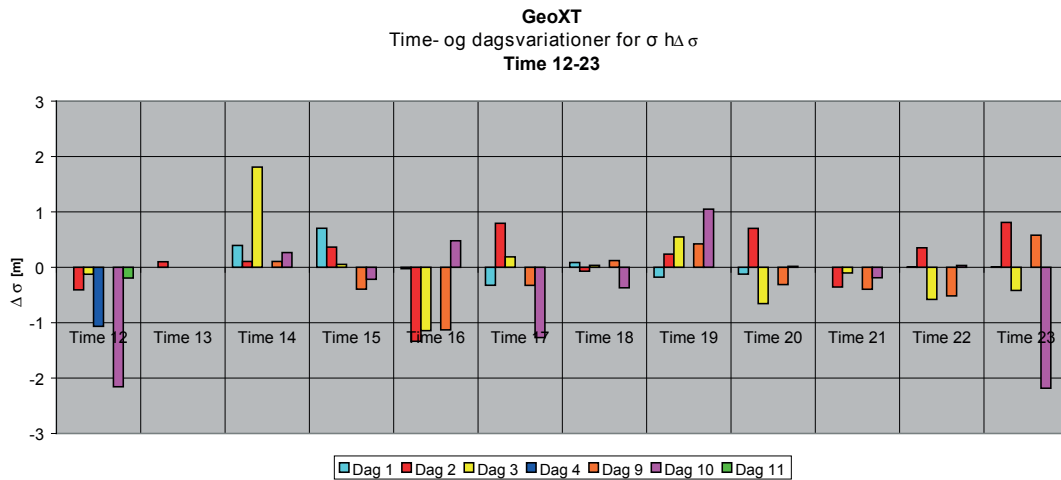
Figur 11.6: Time- og dagsvariationer i planen for GeoXT EGNOS-realtime, time 0 - 11. Positive værdier angiver, at EGNOS-realtime medfører en forbedring i forhold til stand-alone GPS, mens negative værdier angiver en forværring.



Figur 11.7: Time- og dagsvariationer i planen for GeoXT EGNOS-realtime, time 12 - 23. Positive værdier angiver, at EGNOS-realtime medfører en forbedring i forhold til stand-alone GPS, mens negative værdier angiver en forværring.



Figur 11.8: Time- og dagsvariationer i højden for GeoXT EGNOS-realtime, time 0 - 11. Positive værdier angiver, at EGNOS-realtime medfører en forbedring i forhold til stand-alone GPS, mens negative værdier angiver en forværring.

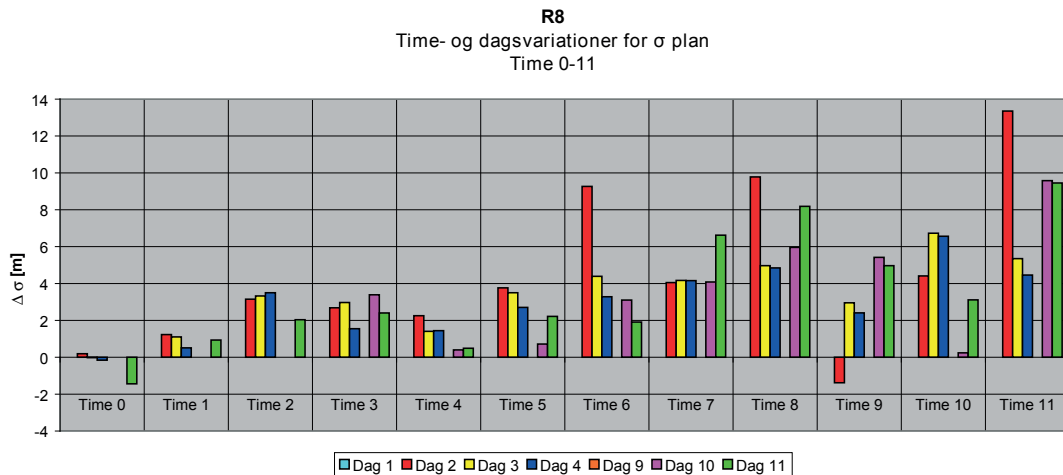


Figur 11.9: Time- og dagsvariationer i højden for GeoXT EGNOS-realtime, time 12 - 23. Positive værdier angiver, at EGNOS-realtime medfører en forbedring i forhold til stand-alone GPS, mens negative værdier angiver en forværring.

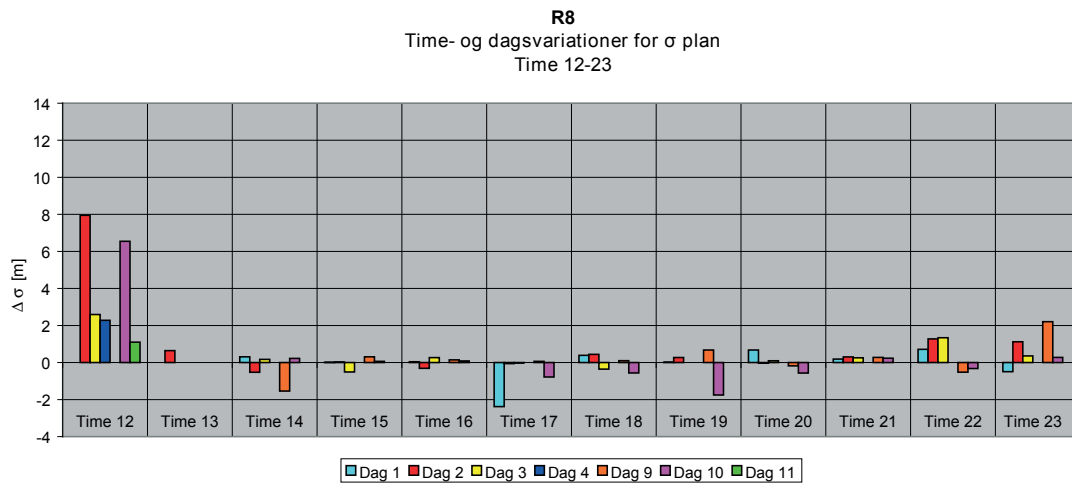
R8-modtageren

Forskellene mellem den plane spredning for EGNOS-realtime og stand-alone GPS for R8-modtagerne fremgår af Figur 11.10 og Figur 11.11. I timerne 2-12 ses hovedsageligt store positive værdier, og dermed medfører EGNOS-realtime væsentlige forbedringer i forhold til stand-alone GPS. I

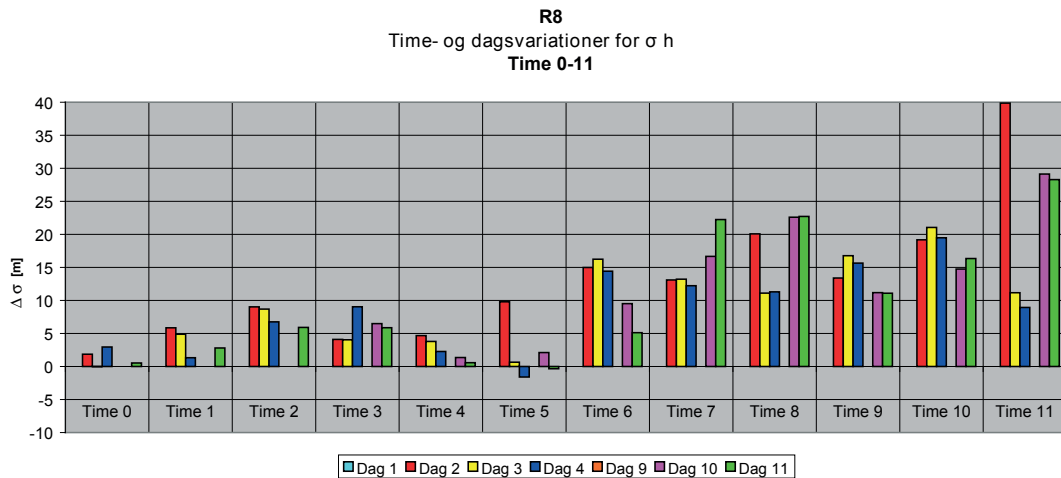
de øvrige timer er der tale om meget små forskelle, som skiftevis er forbedringer og forværringer i forhold til stand-alone GPS. Nøjagtigt det samme gør sig gældende, når der fokuseres på forskellene i de beregnede spredninger for højden, som det er visualiseret i Figur 11.12 og Figur 11.13.



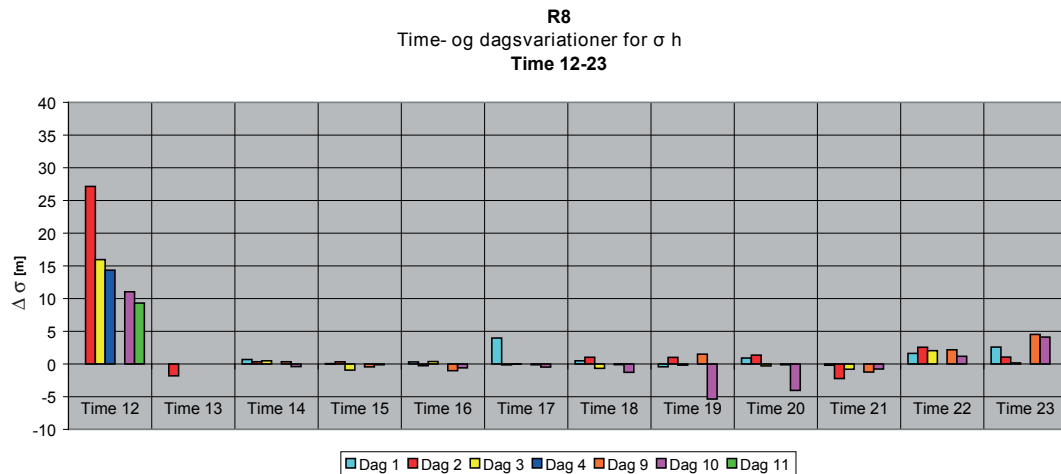
Figur 11.10: Time- og dagsvariationer i planen for R8 EGNOS-realtime, time 0 - 11. Positive værdier angiver, at EGNOS-realtime medfører en forbedring i forhold til stand-alone GPS, mens negative værdier angiver en forværring.



Figur 11.11: Time- og dagsvariationer i planen for R8 EGNOS-realtime, time 12 - 23. Positive værdier angiver, at EGNOS-realtime medfører en forbedring i forhold til stand-alone GPS, mens negative værdier angiver en forværring.



Figur 11.12: Time- og dagsvariationer i højden for R8 EGNOS-realtime, time 0 - 11. Positive værdier angiver, at EGNOS-realtime medfører en forbedring i forhold til stand-alone GPS, mens negative værdier angiver en forværring.



Figur 11.13: Time- og dagsvariationer i højden for R8 EGNOS-realtime, time 12 - 23. Positive værdier angiver, at EGNOS-realtime medfører en forbedring i forhold til stand-alone GPS, mens negative værdier angiver en forværring.

11.3 Delkonklusion

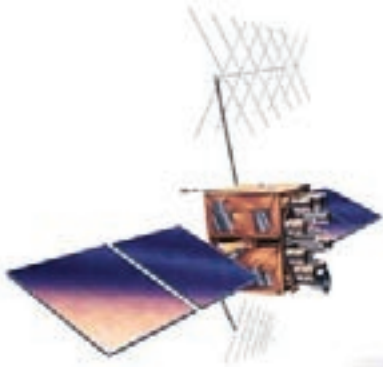
Ud fra diagrammerne i de foregående afsnit blev det påvist, at R8- og GeoXT-modtagerne giver ens resultater, når der anvendes EGNOS-realtime, idet alle peaks for spredninger forekom synkront og desuden er af samme størrelse. Dette siger imidlertid ikke, om der er tale om time- og dagsvariationer i EGNOS-korrektionerne eller blot time- og dagsvariationer i GPS-signalet. Derfor blev der igangsat yderligere analy-

ser, hvor forskellene mellem spredninger for positioner beregnet ud fra observationer indsamlet med EGNOS-realtime og spredninger fra stand-alone GPS observationer blev visualiseret i søjlediagrammer. Denne analyse viste, at der for GeoXT-modtagerne ikke er nogen tendenser, der antyder time- eller dagsvariationer. For R8-modtagerne blev der påvist store variationer i løbet af døgnet: I timerne 2-12 medførte EGNOS-realtime store forbedringer, mens der i de øvrige timer ikke var

hverken væsentlige forbedringer eller forværringer at spore.

Årsagen til at EGNOS-realtime medfører væsentlige forbedringer samt dagsafhængige variationer, styrker mistanken om, at GeoXT-modtagerne anvender faseudglatning, og at dette har indflydelse på de observationer, der gemmes i modtagerens rådata-filer (ssf-filer), selvom dette ikke kan dokumenteres – heller ikke jf. kontakt til Trimble Support.

På baggrund af analysens resultater konkluderes det, at ved anvendelse af EGNOS-realtime varierer kvaliteten af korrektionerne kraftigt i løbet af et døgn, idet spredninger fra alle testens dage entydigt viser forbedringer i tidsrummet 2-12. I de resterende timer af døgnet ses der ikke klare tendenser til hverken forbedringer eller forværringer.



KAPITEL 12

INTEGRITETSINDIKATORER OG KVALITETSSIKRING

Dette kapitel omhandler besvarelse af problemformuleringens tredje spørgsmål: *Kan integritetsindikatorerne anvendes ved traditionelle landmålingsopgaver som kvalitetsindikatorer?* Besvarelsen følger den struktur, som er præsenteret i projektstrukturdiagrammet, Figur 1.2, og omfatter således afsnittene: Programmering, resultater og delkonklusion.

12.1 Programmering

På baggrund af problemaflæringen, Afsnit 6.1.3, samt den oparbejdede viden om EGNOS-signalets integritetsmeddelelser, jf. Appendiks C (EGNOS' meddelelestyper), kan der opstilles en kravspecifikation til de scripts, der skal udvikles for at kunne besvare problemformuleringens tredje

spørgsmål. Kravspecifikationen er samlet i Tabel 12.1. Det skal bemærkes, at ligesom ved besvarelse af problemformuleringens andet spørgsmål er formålet med udviklingen af scripts til besvarelse af spørgsmål III ikke at fremstille en færdig programpakke. Scriptene skal i stedet anvendes til visualisering/afrapportering af resultater, hvilket påvirker de krav, der stilles til designet.

I High-level designfasen af programmeringen er det besluttet at udvikle to overordnede scripts til hjælp for besvarelsen af spørgsmål III:

- *SP3_MT6_search.m*: Udtrækning af integritetsmeddelelser fra EMS-filer og analyse af frekvensen for udsendelse af alarmtilstande samt analyse af hvilke

Krav vedrørende	Implementering
Input	- Scripts skal kunne indlæse ems-filer indeholdende EGNOS-korrektio- ner jf. [Eurocontrol, 2003]. - Scripts skal kunne indlæse ENh-filer jf. output fra <i>rinex2ENh.m</i> (Se desuden Appendiks F)
Output	-Scripts skal kunne plote resultater på skærmen - Scripts skal kunne gemme rapportfiler for resultater og inputfiler.
Kompilering	- Scripts skal udvikles i Matlab 7.0

Tabel 12.1: Kravspecifikation til scripts vedr. besvarelse af spørgsmål III.

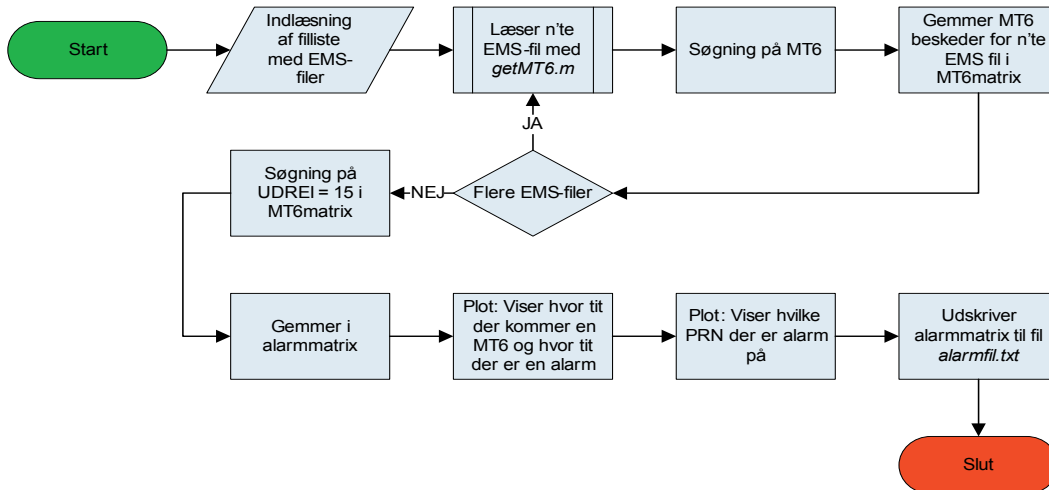
satellitter, der udsendes alarmtilstande for. I scriptet kaldes subscriptet *getMT6.m*.

- *Calc_SP3.m*: Udtrækning af integritetsmeddelelser fra EMS-filer. Visualisering af sammenhæng mellem tidspunktet for udsendte alarmtilstande og kvaliteten af beregnede positioner, udtrykt ved afvigelsen fra den sande koordinat.

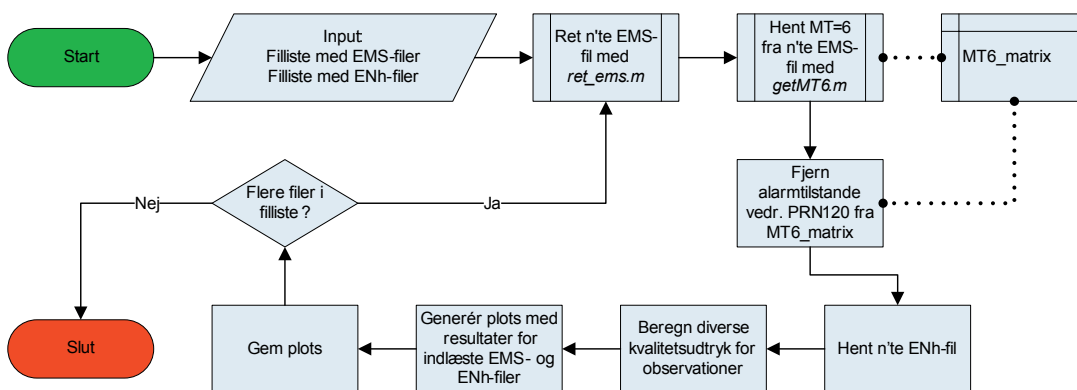
I Figur 12.1 og 12.2 ses Low-level designet og dataflowet for de to scripts, mens Matlab-kildekoden til programmerne findes på den vedlagte DVD, Bilag 1.

12.2 Resultater

Som forklaret i problemafklingen, Af-snit 6.1.3, kan besvarelsen af spørgsmål III inddeles i to dele, hvoraf den første er postprocessering af kodeobservationer med scriptet *calc_SP3.m*, hvor positionsberegningen foretages med *absgps.m*, og den anden er kinematisk postprocessering i Leica Geo Office, af kode- og faseobservationer fra R8-modtageren. De observationer, der bliver anvendt ved besvarelsen af dette spørgsmål, er observationer indsamlet med stand-alone GPS, med henholdsvis GeoXT- og R8-modtageren.



Figur 12.1: Flowdiagram for *SP3_MT6_search.m*.



Figur 12.2: Flowdiagram for *calc_SP3.m*. Stiplede linier indikerer ind- og udlæsninger fra matricer.

12.2.1 Postprocessing af kodeobservationer

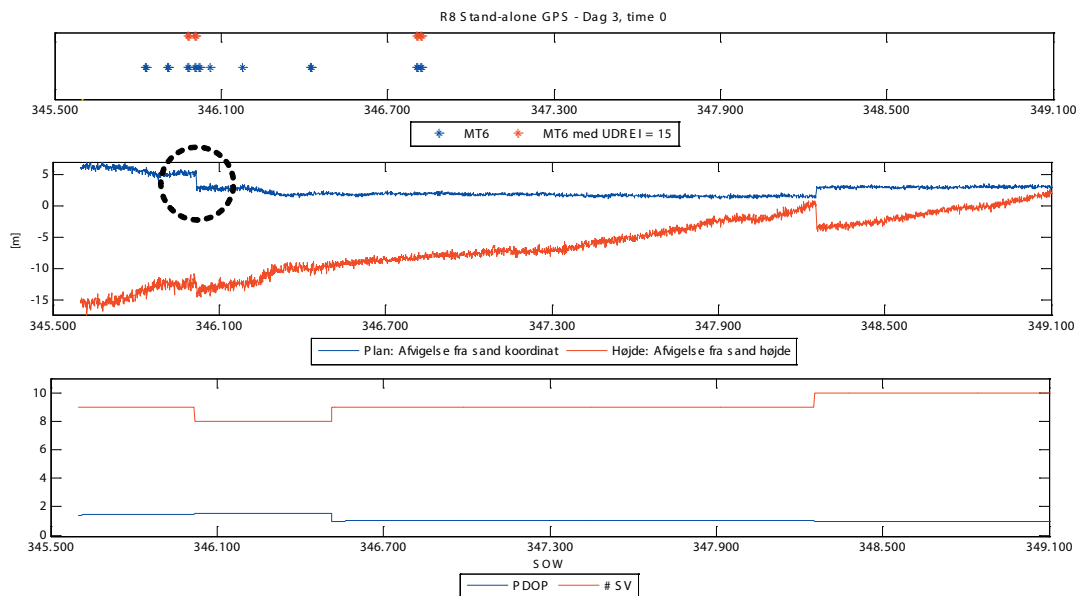
Der kan være mange forskellige indgangsvinkler til besvarelsen af første del af problemformuleringens tredje spørgsmål. Projektgruppen har valgt, ud fra en visuel kontrol, at vurdere, hvorvidt der er sammenhæng mellem de udsendte integritetsmeddelelser med alarmtilstand (UDREI=15) og spring eller store afvigelser i de beregnede positioner i forhold til de sande værdier i såvel plan som højde. Grundlaget for den visuelle vurdering er således ét plot pr. modtager pr. time for de modtagere, der har indsamlet observationer som stand-alone GPS.

Formålet med den visuelle vurdering er at få udvalgt perioder, hvor der er udsendt en alarm. Efterfølgende gennemføres en mere detaljeret analyse omkring dette tidspunkt for at afklare, om integritetsmeddelelserne kan anvendes til at opnå forbedret præcision/nøjagtighed.

I det tidsrum projektgruppen har indsamlet observationer, er der, som tidligere nævnt, blevet logget observationer, svarende til i alt ca. 360.000 positioner pr. modtager. Det betyder, at der ligeledes er downloadet EMS-filer med ca. 360.000 EGNOS-meddelelser. De 360.000 meddelelser indeholder ca. 4.000 alarmer (UDREI = 15), hvoraf størstedelen vedrører satellit PRN 120. Da pseudoafstande til PRN 120 er fjernet fra de RINEX-filer, hvor de forekom, er alarmtilstande på denne satellit ikke af interesse. 418 af alarmtilstandene, eller ca. 10%, vedrører andre satellitter end PRN 120. Dermed udsendes der i gennemsnit fire alarmer pr. time, som projektgruppen har interesse i at undersøge nærmere.

I Figur 12.3 ses et typisk eksempel på et af de plot, som har dannet baggrund for den visuelle vurdering. Plottet er genereret med scriptet *calc_SP3.m*.

Ved $3,46 \cdot 10^5$ på 1.-aksen, som er en tidsangivelse i SOW (Second Of Week), ses der et tydeligt spring i den plane afvigelse



Figur 12.3: Eksempel på plots anvendt ved visuel vurdering. Ved SOW $\sim 3,46 \cdot 10^5$ på 1.-aksen ses et tydeligt spring i den plane afvigelse fra den sande koordinat samtidig med at der kommer en MT6 med alarmtilstand.

fra den sande koordinat (se Figur 12.3) og samtidigt er der udsendt en integritetsmeddelelse med alarmtilstand. Et andet kriterium for udvælgelsen af perioder til nærmere analyse har været perioder, hvor der er udsendt en alarmtilstand og samtidigt har været store afvigelser i forhold til den sande koordinat i plan og højde, (afvigelser over 10 meter er taget i betragtning). Årsagen til at der ikke blot udvælges ”tilfældige” tidspunkter, hvor der udsendes en integritetsmeddelelse med alarm, skyldes, at det kunne risikeres, at den pågældende satellit ikke indgik i løsningen. Dette kan forekomme, da EGNOS dækker et stort geografisk område, hvormed ikke alle de monitorerede satellitter vil være synlige i hele EGNOS’ dækningsområde.

På baggrund af de nævnte kriterier, har projektgruppen udvalgt 10 perioder – fem med store spring og fem med store afvigelser. For at muliggøre nærmere analyse af hvad der sker omkring de tidspunkter, hvor der udsendes en integritetsmeddelelse med alarmtilstand, er det valgt at fokusere på et interval på 10 minutter omkring hvert af de udvalgte tidspunkter. Der foretages analyser på observationer fra begge modtagertyper, men kun på observationer logget som stand-alone GPS.

For hvert af de 10 minutters observationsæt har projektgruppen foretaget følgende:

1. Beregnet positioner vha. scriptet *rinex2ENh.m*, hvor alle satellitter indgår
2. Beregnet positioner vha. scriptet *rinex2ENh.m*, hvor satellitter med alarmtilstand er fjernet fra positionsberegningen (observationer fra enkelte satellitter kan fravælges, når *rinex2ENh* kalder *absgps.m*)

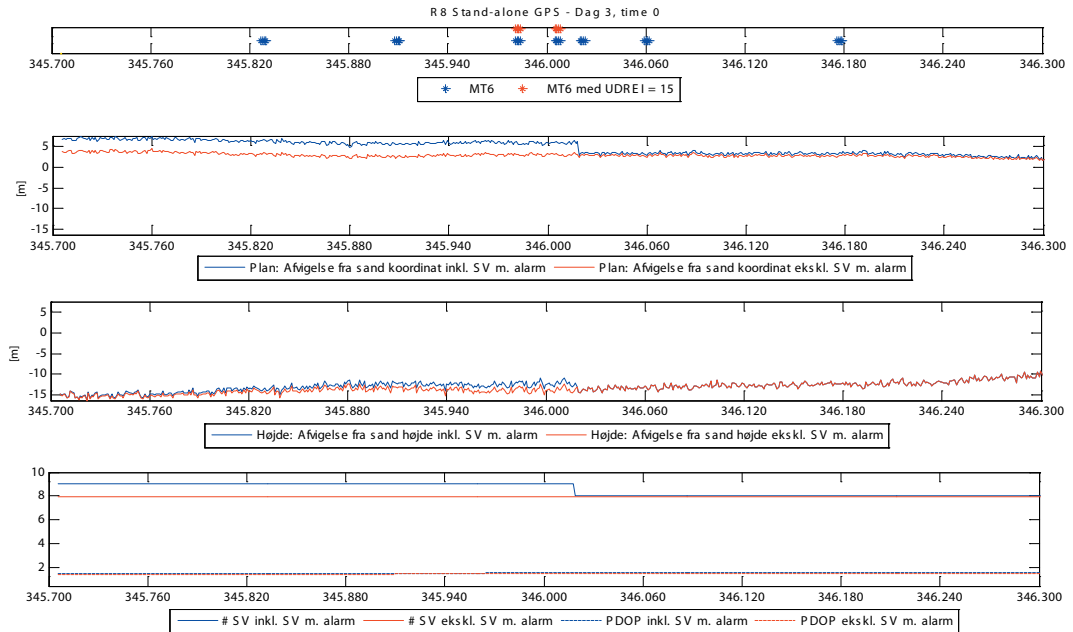
Efterfølgende er der med scriptet *calc_sp3_alarm.m* (editeret udgave af *calc_sp3.m*) genereret plots der gør det muligt at

vurdere, hvorvidt nøjagtigheden forbedres ved at fjerne den satellit, som alarmen vedrører. I Figur 12.4 og Figur 12.5 ses plot fra hver af de to modtagere. De viste plots illustrerer de tilfælde hvor det medfører en forbedring at fjerne satellitter med alarm. Det skal nævnes, at der ikke i alle tilfælde opnås forbedringer ved at fjerne en satellit fra løsningen, men at det heller ikke ændrer PDOP-værdien væsentligt.

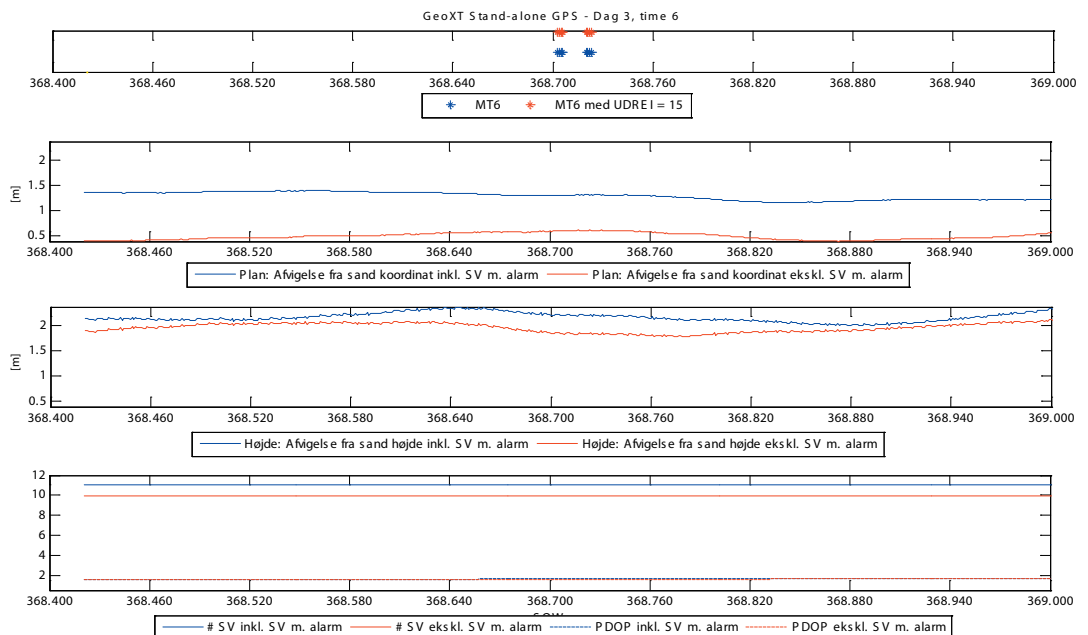
Af Figur 12.4 fremgår det, at der specielt i planen opnås forbedringer når der beregnes positioner ud fra observationer, hvor satellitten med alarm ikke indgår. I den første halvdel af intervallet mindskes den plane afvigelse fra den sande koordinat fra ca. 7 meter til ca. 3 meter, hvilket er en væsentlig forbedring, mens der ikke ses forbedringer i højden. Dog er der stadig relativ store afvigelser i både plan og højde, hvilket også blev kommenteret tidligere i forbindelse med besvarelsen af spørgsmål I.

Af Figur 12.5 fremgår det, at GeoXT-modtageren måler med en højere nøjagtighed end R8-modtageren, idet afvigelserne fra den sande koordinat generelt er væsentligt mindre. Det ses desuden, at afvigelserne bliver mindre i både plan og højde, når satellitten med alarm fjernes fra observationssættet. Dette gør sig dog ikke gældende i alle de 10 undersøgte perioder, og der synes derfor ikke at være en generel tendens.

For at give et mere generelt overblik over resultatet af at fjerne satellitter med alarm for de 10 udvalgte perioder, er det i Figur 12.6 og Figur 12.7 vist hvilken præcision, udtrykt ved spredningen, der kan opnås hvis satellitter med alarm ikke indgår i positionsberegningen. For at gøre beregningerne så realistiske som muligt, er det valgt at gennemføre beregningerne for en periode på de 5 minutter der ligger umiddelbart efter det tidspunkt hvor MT6 alarmtilstanden



Figur 12.4: Forskellen mellem afvigelse fra sand koordinat henholdsvis med og uden satellitten der er berørt af alarmtilstand for R8-modtageren. Bemærk at højdeafvigelse bliver sammenfaldende efter modtageren automatisk fjerner satellitten med alarmtilstand fra løsningen.



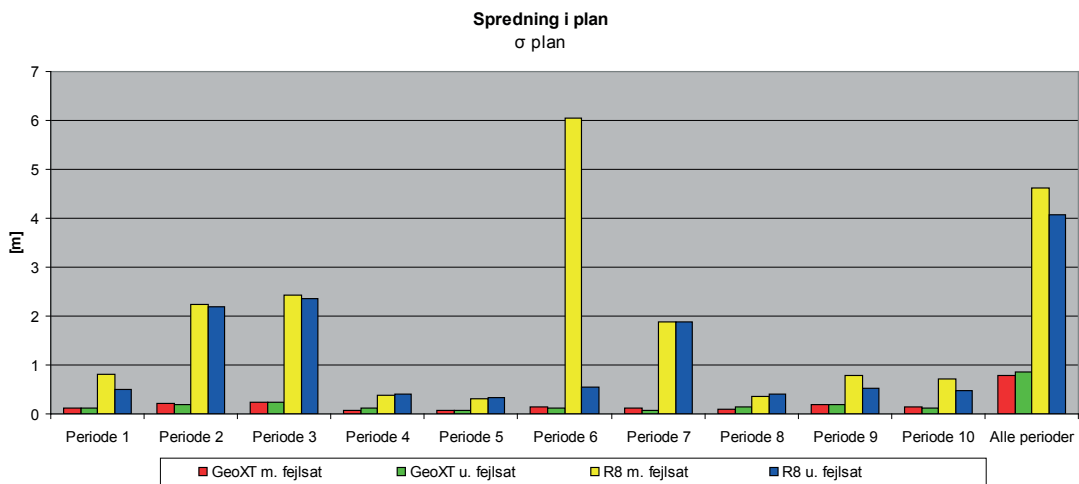
Figur 12.5: Forskellen mellem afvigelse fra sand koordinat henholdsvis med og uden satellitten der er berørt af alarmtilstand for GeoXT modtageren.

udsendes. Dette gøres for at simulere hvorvidt det ville være muligt at opnå forbedret nøjagtighed og præcision, hvis modtageren var i stand til at frasortere de satellitter der er i alarmtilstand.

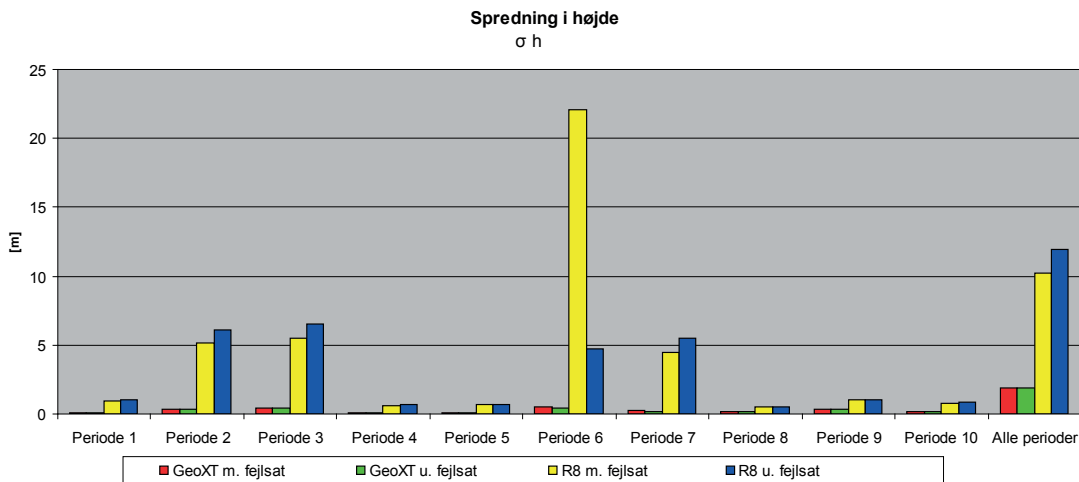
Af Figur 12.6 og Figur 12.7 fremgår det endnu en gang, at det med GeoXT-modtageren er muligt at opnå væsentligt bedre resultater med kodemåling end det er med R8-modtageren. Det fremgår også at fjernelse af en satellit med alarmtilstand oftest medfører forbedringer i planen, mens det knapt så ofte medfører forbedringer i høj-

den. I periode 6, hvor der ses meget høje spredninger for R8-modtageren, medfører det væsentlige forbedringer i både plan og højde at fjerne den satellit, der er angivet alarmtilstand for.

Ses der på de sidste søjler, som beskriver den samlede spredning for de 10 perioder á 5 minutter, ses det, at der i planen sker en forbedring for positioner fra R8-modtageren. I de øvrige tilfælde medfører det en forringelse, eller uændrede spredninger, at fjerne en satellit. Dermed kan det ikke påvises, at fjernelse af den satellit, der ud-



Figur 12.6: Spredning i planen for hver af de 10 undersøgte perioder samt en samlet værdi for spredningen set over alle 10 perioder af hver fem minutters varighed.



Figur 12.7: Spredningen i højden for hver af de 10 undersøgte perioder samt en samlet værdi for spredningen set over alle 10 perioder af hver fem minutters varighed.

sendes en MT6 alarmtilstand for, generelt medfører forbedringer, når der beregnes positioner på baggrund af observationer indsamlet alene ud fra C/A-koden.

Ovenstående resultater beror som nævnt på tidspunkter udvalgt efter, at der forekommer en MT6 alarm og samtidig et stort spring eller en stor afvigelse i forhold til den sande værdi. For at afgøre om MT6 alarmer kan anvendes som kvalitetsindikatorer, er det ligeså væsentligt at afklare, hvorvidt de MT6 alarmer, der udsendes, er pålidelige, som det er at afklare, hvorvidt der udsendes en MT6 alarm, når der forekommer spring eller store afvigelser.

Den visuelle gennemgang af de plottede afvigelser har vist, at der meget ofte forekommer spring eller store afvigelser, uden at der simultant udsendes en MT6 alarm. Dermed kan det ikke påregnes, at MT6 alarmer kan anvendes til at fjerne en væsentlig del af de spring og store afvigelser, der forekommer i forbindelse med stand-alone GPS-måling.

I landmålingssammenhænge anvendes der næsten udelukkende dobbeltfrekvente fase-modtagere, og det er derfor interessant at se, hvorvidt det kan medføre forbedringer, at lade satellitter med alarmtilstand jævnfør EGNOS' integritetsmeddelelser udgå af beregningen, når der postprocesseres dobbeltfrekvente faseobservationer.

12.2.2 Kinematisk postprocessing

Da GeoXT-modtageren kun er i stand til at indsamle faseobservationer på L1 og ikke på L2, er det valgt at se bort fra denne modtagertype i denne del af besvarelsen af spørgsmål III og således kun postprocessere observationer fra R8-modtageren, da det

som nævnt oftest er dobbeltfrekvente modtagere, der anvendes til landmåling.

For at kunne gennemføre kinematisk postprocessing er det nødvendigt at anvende observationer fra en referencestation. Projektgruppen har indgået en aftale med Brian Hansen, Leica Geosystems A/S, om at lagre referencedata fra GPS-Referencens referencestation i Aalborg. Normalt gemmes der kun observationer med et interval på 30 sekunder, men efter aftale blev der i den periode det var forventet, at dataindsamlingen skulle strække sig over, gemt observationer med ét sekunds interval. Afledt af dataindsamlingsproblemerne beskrevet i Afsnit 7.1, kom dataindsamlingen, til at strække sig over en væsentligt længere periode end forventet. Dette har betydet, at projektgruppen ikke har 1-sekundsobservationer fra referencestationen, der dækker hele dataindsamlingsperioden. Af denne årsag har det kun været muligt at foretage kinematisk postprocessing for syv af de 10 perioder, der blev udpeget i det foregående afsnit.

Igen i dette afsnit behandles der observationer for de 5 minutter, der ligger umiddelbart efter modtagelsen af alarmbeskeden. Postprocesseringen er foretaget i programmet Leica Geo Office, hvor R8 stand-alone GPS-observationer indgår som rover-observationer. Der er beregnet RMS-værdier og spredninger i to tilfælde: Et hvor alle observationer indgår, og et, hvor den satellit alarmtilstanden vedrører, udgår. Resultaterne af den kinematiske postprocessing fremgår af Tabel 12.2.

Som det ses af tabellen, opnås der generelt meget lave værdier for spredning og RMS¹², og der er ingen ændringer at spore, når der ses på de samlede værdier for spredning og RMS henholdsvis med og uden satellitten med alarmtilstand. Ses der på de syv perioder hver for sig, er der højst én millime-

¹² Bemærk at RMS værdierne er beregnet ud fra "sande" koordinater, midlet fra to indmålinger med RTK, hvorved den "sande" koordinat reelt set kan være dårligere bestemt end de observationer der bestemmes RMS værdier for. Dette bør normalt undgås, men det er dog uden betydning ved denne anvendelse.

	Spredning plan [mm]	Spredning højde [mm]	RMS plan [mm]	RMS højde [mm]
Trimble R8 GNSS m. fejlsat	4	6	7	11
Trimble R8 GNSS u. fejlsat	4	6	7	11

Tabel 12.2: Spredning og RMS i plan og højde for R8-modtageren med og uden den satellit som alarmtilstanden vedrører. Værdierne er beregnet på baggrund af de syv perioder af fem minutters varighed, i alt 2100 observationer.

ter forskel på, om der fjernes en satellit fra løsningen, og det er forskelligt, hvorvidt resultatet forbedres eller forringes.

Resultaterne viser således tydeligt, at ved anvendelse af kinematisk GPS er løsningen så pålidelig, at en enkelt satellit ikke tilsyneladende er i stand til at forværre hverken præcision eller nøjagtighed. Projektgruppen antager at dette resultat også vil gælde for RTK-måling.

12.3 Delkonklusion

I dette kapitel er det blevet undersøgt, hvorvidt de integritetsindikatorer, der udsendes af EGNOS, kan anvendes til at forbedre nøjagtighed og præcision, når der foretages kodebaseret GPS-måling og dobbelt-frekvent kinematisk kode- og fasemåling. Projektgruppen har postprocesseret både kode- og faseobservationer for udvalgte perioder, med henholdsvis Matlab-scripts og programmet Leica Geo Office. Perioderne blev udvalgt efter kriterierne, at der for nyligt skulle være udsendt en integritetsmeddelelse med angivelse af alarmtilstand (UDREI = 15) for mindst en af de satellitter, der indgik i observationerne, og at der samtidig skulle være spring eller store afvigelser i forhold til den sande koordinat at spore i de beregnede positioner.

I første omgang blev der beregnet positioner alene ud fra de indsamlede kodeobservationer fra begge modtagere. Analysen af de udvalgte perioder gav ikke entydige resultater, men til tider, blev der opnået væsentlig forbedret nøjagtighed og præcision, primært i planen, når satellitten med alarm-

tilstand udgik af positionsberegningen. Ofte medførte det dog ingen ændringer, eller ligefrem forværringer. Når resultatet forværres, forventer projektgruppen, at det skyldes det lavere antal satellitter i løsningen, på trods af at det kun påvirker PDOP-værdierne minimalt. Det skal holdes for øje, at projektgruppens datagrundlag for besvarelsen af spørgsmål 3 i problemformuleringen var relativt beskedent, idet der kun er udvalgt 10 perioder (7 perioder ved kinematisk postprocessering). Det kan derfor ikke forventes, at resultaterne er udtømmende for, hvorvidt det kan medføre forbedringer at fjerne den satellit som jf. integritetsmeddelelsen er i alarmtilstand. Der er således basis for en mere omfattende analyse på et større datagrundlag. Det kan eventuelt tænkes, at antallet af satellitter, der indgår i positionsberegningen, er afgørende for, hvorvidt den pågældende satellit bør udgå.

Den anden del af kapitlet omhandlede kinematisk postprocessering af faseobservationer for R8-modtageren. Ved anvendelse af denne metode blev der som forventet opnået højere nøjagtighed og præcision, og det viste sig kun at have minimal betydning hvorvidt satellitten med alarmtilstand udgik af løsningen. Inden for de enkelte 5 minutters perioder betød det maksimalt forskelle på 1 mm. Da forskellen var en blanding af forbedringer og forværringer, betød det, at når der blev beregnet en samlet RMS og spredning for alle perioder kunne der ikke spores forskelle.

På baggrund af de analyser der er gennemført i dette kapitel, kan spørgsmål III fra problemformuleringen besvares. Det kan konkluderes at integritetsindikatorerne der udsendes i EGNOS-meddelelserne ikke direkte kan anvendes som kriterium for at lade en satellit udgå af positionsberegning

og derved opnå højere nøjagtighed og præcision. Dette gør sig gældende, hvad enten der anvendes ren kodemåling, eller om der anvendes dobbeltfrekvente faseobservationer, der postprocesseres som kinematisk måling.

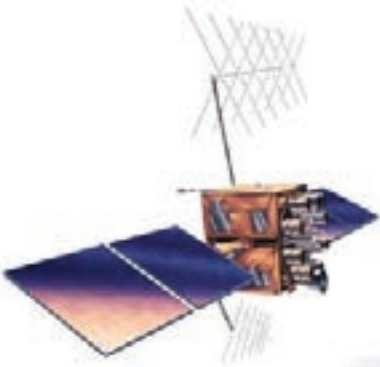
FASE 3

Afslutning

I denne sidste fase af projektet bringes først en konklusion på de spørgsmål som blev fremsat i problemformuleringen. Derudover indeholder afslutningen også en perspektivering, hvori forslag til videre arbejde/studieprojekter præsenteres. Projektet afrundes med en erfaringsopsamling, hvori projektgruppen videregiver en række af de praktiske erfaringer arbejdet med EGNOS har medført.

©ESA





KAPITEL 13

KONKLUSION

Igennem udarbejdelsen af denne projekt-rapport har projektgruppen opnået et højt vidensniveau om EGNOS' systemarkitektur, signalopbygning, virkemåde, anvendelses-områder samt systemets styrker og svagheder vurderet ud fra en landmålingsmæssig kontekst. Denne viden er opnået gennem problemorienteret arbejde, igangsat af en nysgerrighed om EGNOS. Det initierende problem var udgangspunktet for projektets første fase: Foranalysen.

I foranalysen blev der gennemført en pilottest, hvor der blev indsamlet positioner med tre forskellige modtagertyper i hver sin klasse, fra billige håndholdte kodemodtagere til geodætiske, dobbeltfrekvente fasemodtagere. Der indgik således to Garmin Etrex modtagere, to Trimble GeoXT-modtagere og to Trimble R8 GNSS-modtagere. I pilottesten blev positionsberegningen foretaget af de enkelte modtagere, og der blev indsamlet positioner for to perioder af hver én times varighed.

Pilottestens resultater viste, at anvendelse af EGNOS-signalet ikke ubetinget medfører forbedringer. Tendensen var at jo dyrere modtagertype der anvendes, jo mere sikkert er det, at der opnås forbedringer ved

anvendelse af EGNOS-realtime: Garmin Etrex modtagerne medførte ikke forbedringer, og GeoXT-modtageren medførte, kun i nogle tilfælde, væsentlige forbedringer. For R8-modtagerne medførte EGNOS-realtime forbedringer i både præcision og nøjagtighed for såvel plan som højde. På baggrund af foranalysens resultater, herunder specielt pilottestens tvetydige resultater, opstilledes projektets problemformulering som følgende:

Problemformulering

- I) **Udnytter GNSS-modtagere EGNOS-signalet optimalt, eller kan postprocessering af signalet medføre forbedret præcision og nøjagtighed?**
- II) **Er kvaliteten af korrektionerne i EGNOS-signalet varierende over tid?**
- III) **Kan integritetsindikatorerne i EGNOS-signalet anvendes som kvalitetssikring ved traditionelle landmålingsopgaver?**

Under pilottesten opstod der problemer med, at der ved måling med Garmin Etrex modtageren med EGNOS-realtime, kun indgik fem satellitter i løsningen. Desuden havde projektgruppen et ønske om at foku-

sere på EGNOS i landmålingsmæssig kontekst. Af disse årsager blev det valgt kun at anvende GeoXT- og R8-modtagerne i forbindelse med projektets anden fase: Problemanalysen. I modsætning til pilottesten blev der i anden fase indsamlet observationer i stedet for positioner. Projektgruppen gennemførte efterfølgende positionsberegning ud fra de indsamlede observationer. Primært ved hjælp af *absgps.m*, men også Leica Geo Office.

Inden den egentlige besvarelse af de tre spørgsmål fra problemformuleringen blev igangsat, blev der gennemført beregninger af RMS og spredninger for positioner beregnet på baggrund af alle indsamlede observationer – svarende til ca. 360.000 positioner pr. modtager. Resultatet fremgår af Tabel 13.1.

Som det tydeligt fremgår, medfører EGNOS-realtime ikke forbedringer for RMS-værdierne, og kun begrænsede forbedringer for spredningen, når GeoXT-modtagerne anvendes. For R8-modtagerne betyder anvendelse af EGNOS-realtime dermed store forbedringer.

Der blev gennemført en supplerende femtimers test af R8-modtagerne, for herved at sikre, at de store værdier for spredning og RMS for R8-modtageren med stand-alone GPS ikke skyldtes en modtagerafhængig fejl. Denne supplerende test påviste, at der ikke var tale om modtagerafhængige fejl, idet de to modtagere målte identisk. Dermed blev det påvist, at ved positionsbe-

regning på baggrund af observationer på C/A-koden fra R8-modtagerne medfører EGNOS-realtime store forbedringer for både præcision og nøjagtighed.

13.1 Spørgsmål I: Postprocessing: EGNOS-korrektioner

For at afgøre, hvorvidt de forskellige resultater, som blev påvist for de tre modtagertyper fra pilottesten, skyldtes modtagernes evne til at anvende EGNOS-korrektionerne korrekt, blev det besluttet at påføre EGNOS-korrektionerne ”manuelt” i forbindelse med postprocessing af positioner. Herved kunne det samtidigt afgøres, om modtagere, som ikke er SBAS-kompatible, er i stand til at udnytte de præcisions- og nøjagtighedsforbedringer der kan opnås med EGNOS.

Følgende målemetoder indgik således i besvarelsen af spørgsmål I:

- *Stand-alone GPS*: Modtageren indsamler rå GPS-observationer (ukorrigerede observationer).
- *EGNOS-realtime*: Modtageren påfører EGNOS-korrektionerne til de indsamlede observationer.
- *EGNOS-postprocesseret*: EGNOS-Korrektionerne udtrækkes fra EMS-filer som downloades fra EMS-filserveren. De indsamlede stand-alone GPS-

Modtager	RMS [m]		Spredning [m]		Positioner [#]
	Plan	Højde	Plan	Højde	
GeoXT stand-alone GPS	3,18	4,09	3,13	3,89	360.965
GeoXT EGNOS-realtime	3,31	4,82	3,09	3,88	359.547
R8 stand-alone GPS	10,11	18,27	8,82	18,00	358.865
R8 EGNOS-realtime	3,27	4,73	3,08	3,83	358.045

Tabel 13.1: RMS og spredning for de fire modtagere, der indgik i dataindsamlingen. Grundlaget er positioner beregnet vha. *absgps.m*, som alene anvender C/A-koden i positionsberegningen.

observationer korrigeres herefter med de downloadede EGNOS-korrektioner.

Projektgruppen forventede, at det ville være muligt at forbedre præcision og nøjagtighed for positioner beregnet ud fra stand-alone GPS-observationer ved at påføre EGNOS-korrektioner jf. [Eurocontrol, 2003]. Dette viste sig ikke at være tilfældet med den softwarepakke projektgruppen udarbejdede, på trods af at denne overholder [Eurocontrol, 2003]. I de afsluttende tests af den udviklede softwarepakke blev der ikke påvist fejl eller mangler.

Idet præcision og nøjagtighed ikke blev forbedret ved anvendelse af projektgruppens softwarepakke, kan det ikke afvises, at modtagerne anvender EGNOS-korrektionerne optimalt. Samtidig kan det dog heller ikke afvises, at det ved implementering af slow corrections vil være muligt at forbedre præcision og nøjagtighed ved at anvende EGNOS-korrektioner i forbindelse med postprocessering.

På trods af at de resultater, der blev opnået, ikke stod mål med forventningerne til postprocesseringen af stand-alone GPS-observationer påført EGNOS-korrektioner, har projektgruppen fået en indgående indsigt i EGNOS' meddelelsetyper og signalopbygning, hvormed processen med at løse spørgsmål I har været yderst udbytterig.

13.2 Spørgsmål II: Time- og dagsvariationer

Spredninger og RMS beregnet på baggrund af positioner fra EGNOS-realtime og stand-alone GPS blev analyseret med henblik på at afklare, om der forekommer time- og dagsvariationer i kvaliteten af EGNOS-korrektionerne.

Det blev påvist, at GeoXT EGNOS-realtime og R8 EGNOS-realtime resulterede i meget ens spredninger og RMS-værdier.

De var af samme størrelse, og peaks med kortvarigt høje spredninger forekom simultant. På baggrund heraf kunne det konkluderes, at de to modtagere måler ens, når der anvendes EGNOS-realtime. Dette resultat påviser dog ikke om der forekommer dagsvariationer i kvaliteten af EGNOS-korrektionerne, idet de peaks, der forekom, også kunne skyldes variationer i GPS-signalet.

For at afklare om der forekom variationer i kvaliteten af EGNOS-signalet, blev det i stedet valgt at fokusere på forskellen mellem spredninger med stand-alone GPS og EGNOS-realtime for hver af de to modtagertyper på timebasis. Af denne analyse fremgik det, at der for spredninger beregnet på baggrund af positioner fra GeoXT-modtagerne ikke kan spores tendenser. Dette kan skyldes, som det også fremgik af de samlede resultater, at der for GeoXT-modtageren ikke sker forbedringer ved at anvende EGNOS-realtime frem for stand-alone GPS. Desuden kan projektgruppens formodning om, at GeoXT-modtageren foretager faseudglatning af de indsamlede observationer, inden disse gemmes som "rådata-filer" i ssf-format, være en medvirkende faktor til, at der ikke forekommer tydelige tendenser.

For R8-modtagerne var resultatet derimod et helt andet. I timerne 2-12 var der hvert døgn store forbedringer ved at anvende EGNOS-realtime i forhold til stand-alone GPS, mens der i de øvrige timer var begrænsede forskelle uden nogen tendens.

På denne baggrund konkluderer projektgruppen, at EGNOS-korrektionerne varierer over tid, idet de er påvirket af klare timevariationer, mens der ses gentagelser, når de vurderes over flere døgn.

13.3 Spørgsmål III: Integritetsindikatorer og kvalitetssikring

Det kunne være yderst interessant og have mange anvendelsesmuligheder, hvis det kunne påvises, at integritetsindikatorerne fra EGNOS-meddelelserne kunne anvendes i forbindelse med landmåling som grundlag for at fjerne satellitter, som medfører, at positionsberegningen resulterer i dårligere nøjagtighed og præcision. Dette var årsagen til, at projektgruppen udvalgte 10 perioder, hvor der i EGNOS-meddelelsen forekom alarmtilstand for en satellit, som indgik i løsningen. Der blev foretaget sammenligning af spredninger og RMS-værdier for:

- Positioner beregnet på baggrund af alle satellitter.
- Positioner beregnet på baggrund af observationer, hvor den satellit, der blev udsendt alarmtilstand for, blev fjernet.

Denne fremgangsmåde blev anvendt på kodeobservationer, hvor positionsberegningen foregik i *absgps.m*. Desuden blev fremgangsmåden anvendt på kombinerede fase- og kodeobservationer fra R8-modtageren, hvor positionsberegningen blev foretaget i Leica Geo Office som kinematisk postprocessering. Dette blev gjort for at afprøve fremgangsmåden, når den anvendes sammen med en positioneringsmetode, som også finder anvendelse i landmåling og som samtidig forventes at give nøjagtigheder på samme niveau som RTK-måling.

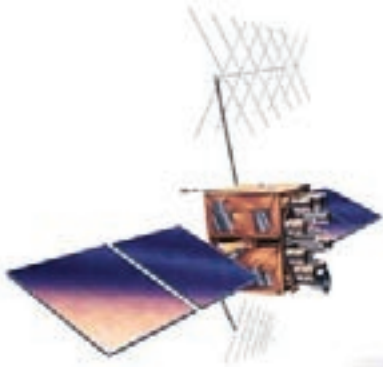
Ved begge positioneringsmetoder var resultaterne uden klare tendenser. I nogle tilfælde medførte det bedre præcision og nøjagtighed at fjerne den satellit, der var udsendt alarmtilstand for, mens det i andre tilfælde medførte forværringer. Ved anvendelse af den kinematiske metode var ændringerne kun på millimeterniveau, hvilket indikerer,

at målemetoden er så stabil, at fjernelsen af en enkelt satellit ikke medfører væsentlige ændringer i den nøjagtighed og præcision, der kan opnås.

På baggrund af de opnåede resultater, kan projektgruppen dokumentere, at integritetsmeddelelserne fra EGNOS ikke direkte kan anvendes som kvalitetsindikatorer ved landmålingsopgaver, da de ikke kan anvendes som kriterium for at lade en satellit udgå af beregningen.

I relation til projektets indledning konkluderes det hermed, at integritetsmeddelelserne ikke ubetinget kan anvendes som kvalitetsmål i forbindelse med implementeringen af MiniMAKS i den matrikulære sagsbehandling fra efteråret 2006. Det skal dog hertil nævnes, at projektgruppens analyse bygger på 10 udvalgte perioder (7 perioder for kinematisk postprocessering), hvormed resultatet er fremkommet på et relativt begrænset datagrundlag. Dermed er det ikke utænkeligt, at integritetsindikatorerne under særlige omstændigheder, hvad angår satellitaltal, DOP mv., kan anvendes som grundlag for at lade en satellit udgå af positionsberegningen.

Afslutningsvis kan det konkluderes, at EGNOS ikke ubetinget medfører forbedringer ved anvendelse i en landmålingsmæssig kontekst, hvilket heller ikke er systemets tiltænkte anvendelse. Der er påvist store forskelle i EGNOS' indvirkning på præcision og nøjagtighed, afhængig af hvilken modtagertype der anvendes. Ved anvendelse af GeoXT-modtageren medfører EGNOS i modsætning til R8-modtagerne kun begrænsede forbedringer. Projektgruppen har den formodning at GeoXT-modtagerne anvender faseudglatning, hvilket betyder, at EGNOS-korrektionerne ikke har den samme effekt som på observationer indsamlet med R8-modtageren. Det har ikke været muligt at be- eller afkræfte denne formodning.



KAPITEL 14

PERSPEKTIVERING

På baggrund af de erfaringer og resultater projektgruppen har opnået gennem den gennemførte projektperiode, bringes afslutningsvis en række idéer til videre studier i relation til EGNOS og – på sigt – det europæiske GNSS-system, GALILEO.

Dette projekt – fremtidige projekter?

Den gennemførte projektperiode, og det herigennem udarbejdede afgangsprojekt, har dokumenteret, at EGNOS på nuværende tidspunkt ikke uden videre kan forventes at medføre forbedret nøjagtighed og præcision samt større integritet, når systemet anvendes ved landmålingsopgaver. Som det også påpeges i konklusionen, skal resultaterne dog ikke anses for at være udtømmende mht. idéen om at anvende EGNOS i forbindelse med landmåling. Ved undersøgelserne af at anvende EGNOS' integritetsmeddelelser som grundlag for at lade satellitter udgå af positionsberegningen blev der påvist tvetydige resultater – nogle gange blev nøjagtigheden og præcisionen forbedret, andre gange forværret. Det kan derfor ikke afvises, at videre studier omkring anvendelsen af integritetsmeddelelserne kan afsløre, at det kan forbedre

nøjagtigheden og/eller præcisionen at lade satellitter med alarmtilstand udgå af beregningerne, når visse kriterier er opfyldt. Det kunne eksempelvis være interessant at undersøge, om der kan drages paralleller mellem antallet af observerede satellitter / DOP-værdier, og hvorvidt det medfører forbedret nøjagtighed og præcision at fjerne en satellit fra beregningen, på baggrund af integritetsmeddelelserne fra EGNOS.

I forbindelse med designet og programmeringen af softwaren til postprocessering med EGNOS-korrektioner blev der, af ressourcehensyn, foretaget en række begrænsninger af softwarens funktioner. Det kunne på denne baggrund være interessant – eventuelt i et fremtidigt projekt – at arbejde videre med postprocessering med EGNOS-korrektionerne, herunder udarbejdelse af en færdigudviklet programpakke hertil. Ud over de allerede udviklede scripts, kunne denne programpakke eksempelvis også implementere slow corrections i postprocesseringen, ligesom der kunne designes en grafisk brugergrænseflade til programmet. Endeligt ville mere dybdegående studier af postprocesseringen eventuelt kunne afsløre mulige fejl i de scripts, som er udviklet i

dette projekt. En færdig programpakke ville endvidere, såfremt den kompileres til maskinkode, sandsynligvis henvende sig til flere personer, end de Matlab-scripts der er udviklet i dette projekt.

Såfremt der kan opnås forbedringer ved EGNOS-postprocessering, på samme niveau, som det i nogle tilfælde er set med EGNOS-realtime, vil fordelene ved at anvende EGNOS således kunne udnyttes af modtagere, som normalt ikke er i stand til at anvende korrektioner fra SBAS-systemer.

Nye anvendelser - EGNOS/ GALILEO

Som tidligere berørt, vil det være interessant, hvis anvendelse af EGNOS, enten i realtime eller ved postprocessering, kan medføre, at der vha. billige kodemodtagere kan opnås positioner med en præcision på (sub)meterniveau. I så fald kan der, i relation til landinspektørens fagområde, tænkes mange nye anvendelsesmuligheder med brugen af EGNOS: Ved hjælp af relativt billigt udstyr vil det eksempelvis være muligt at registrere ejendomsgrænser i udviklingslande som grundlag for oprettelse af matrikelsystemer. Andre applikationer kunne være ledningsregistrering, precise farming, og når GALILEO bliver operationelt, GNSS-baseret roadpricing i bymiljøer. Projektgruppen vurderer derfor, at der er basis for videre studier i relation til EGNOS – såvel før GALILEO bliver operationelt som efter.

Som nævnt i rapportens indledning kan EGNOS opfattes som en forløber for GALILEO. Dette gælder både på den tekniske side, hvor anvendelse af EGNOS-signalet kan medføre forbedret nøjagtighed/præcision, integritet samt tilgængelighed sammenlignet med GPS, samt på den organisatoriske side, hvor udviklingen af EGNOS har givet de tre partnere ESA, EU og Eurocontrol et højt vidensniveau om-

kring GNSS-systemer – et vidensniveau som kan og bliver anvendt ved udviklingen af GALILEO.

Eftersom EGNOS, jf. [European Commission, 2003] og [Council of Europe, 2003], på sigt bliver en integreret del af GALILEO, vil det også fremover være interessant at udarbejde studieprojekter på landinspektøruddannelsen med fokus på EGNOS/GALILEO. Det bliver således på sigt interessant at undersøge, hvilke nøjagtigheds-/præcisionsmæssige forbedringer anvendelsen af GALILEO forventer at give – herunder forbedringer ved samtidig anvendelse af GPS, GLONASS og GALILEO. Ved anvendelse af modtagere som er i stand til at benytte signaler fra satellitter i flere af disse GNSS-systemer, har en australsk undersøgelse påvist, at det på disse breddegrader på sigt vil blive muligt at modtage signaler fra ca. 18-26 satellitter på alle tider af døgnet, hvilket følgelig vil forbedre den opnåelige nøjagtighed/præcision væsentligt. [Ricoz et al., 2005].

I relation til EGNOS/GALILEO vil der også være basis for mere dybdegående undersøgelser af integritetsmeddelelserne udsendt af EGNOS/GALILEO. Når GALILEO bliver en realitet, vil det desuden være interessant – i relation til dette projekt – at undersøge mulighederne for at anvende GALILEO med billigere kodemodtagere, herunder hvilke nøjagtigheds- og præcisionsforbedringer dette eventuelt vil medføre, sammenlignet med GPS. Disse studier kunne med fordel sættes i relation til de ovenfor nævnte applikationer.

Modernisering af GPS – nye signaler

Udvikling og nytænkning indenfor GNSS-systemer er ikke kun forbeholdt Europa i disse år. Det amerikanske GPS er således påbegyndt en modernisering af GPS-systemet, herunder introduktionen af to nye signaler som udsendes på frekvensbåndene: L2C og L5.

Det første nye tiltag er påmoduleringen af en civil kode på L2-signalet, kaldet L2C. Denne forbedring gennemføres løbende i takt med, at nye, såkaldte IIR-M satellitter, opsendes. Den første blev således opsendt i år 2005, og systemet forventes at være fuldt ud moderniseret omkring år 2012.

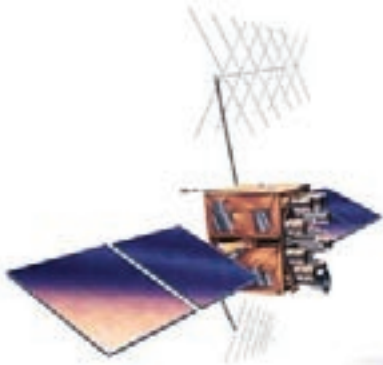
Indførelsen af det nye L2C-signal betyder i praksis, at der med billigere kodemodtagere, som skal være i stand til at anvende signalet, kan opnås forbedrede positioner i forhold til mulighederne i dag. Dette skyldes følgelig primært, at dobbeltfrekvente observationer bl.a. giver mulighed for reduktion af ionosfæreforsinkelsens påvirkning af signalet. Der vil således om ganske få år være grundlag for nye studieprojekter omhandlende fordelene ved anvendelse af L2C-signalet, herunder også i relation til EGNOS.

L5-signalet er et nyt civil signal på en ny frekvens. Signalet, som udbydes i takt med, at såkaldte IIF-satellitter opsendes, sandsynligvis fra år 2007, vil være kraftigere end de nuværende signaler. Dette giver bl.a. mulighed for at påbegynde anvendelsen af GNSS indendørs, hvorved anvendelsesmulighederne med GNSS udbygges væsentligt. Også indenfor denne, endnu lille, niche af GNSS-verdenen vil der være basis for studieprojekter på landinspektør-uddannelsen. Endvidere vil kombinationen af L2C- og L5-signalet medføre, at positioneringen bliver mere robust overfor påvirkning fra multipath. [UCL, 2004]

Efterhånden som eksisterende GNSS-systemer udvikles, og nye systemer ser dagens lys, vil det være muligt for GNSS-brugerne at modtage signaler fra flere og flere satellitter samtidig med, at signalerne løbende forbedres. For GNSS-brugerne, vil disse tiltag tilsammen medføre forbedret:

- Nøjagtighed (accuracy)
- Tilgængelighed (availability)
- Kontinuitet (continuity)
- Pålidelighed (reliability)

En konstant forbedring af de fire ovenstående nøglebegreber er opskriften på også i fremtiden at sikre velfungerende GNSS-systemer.



KAPITEL 15

GENERELLE ERFARINGER

I forbindelse med gennemførelsen af denne projektperiode, har projektgruppen arbejdet med EGNOS, der stadig er i testfasen, samt benyttet forskellige GNSS-modtagere til andre anvendelser, end de umiddelbart er tiltænkt. Både anvendelsen af EGNOS og de tre modtagertyper har til tider været problematisk, men samtidig har der været tale om en lærerig proces, hvor der er gjort en lang række erfaringer, såvel gode som dårlige. Projektgruppen ønsker med dette kapitel at gengive disse erfaringer, da disse kan være brugbare for andre personer, der ønsker at gennemføre et projekt om EGNOS eller anvende GNSS-modtagere på tilsvarende vis, som det er gjort i denne sammenhæng.

15.1 Erfaringer med EGNOS

Idet EGNOS stadig er i testfasen, gives der fra ESA's side ingen garantier mod driftsforstyrrelser. Men eftersom EGNOS på nuværende tidspunkt (foråret 2006) burde være fuldt operationelt ifølge ESA's tidsplan havde projektgruppen en forventning om, at EGNOS ville fungere stort set uproblematisk og kontinuerligt transmittere EGNOS-meddelelser. [ESA, 2006b]

15.1.1 Transmission af EGNOS-meddelelser

I løbet af de testperioder, hvor projektgruppen har haft en forhåbning om at anvende EGNOS, har der flere gange været udfald i transmissionen af EGNOS-meddelelser. Det tog således ca. fire uger at få indsamlet de fem døgn observationer, som projektgruppen anslog ville være nødvendige, for fyldestgørende at kunne besvare alle problemformuleringens spørgsmål. Den største afbrydelse i dataindsamlingen opstod som følge af vedligeholdelse af NLES-stationer. Denne afbrydelse varede i 10 dage.

Inden testperioden blev indledt, tilmeldte projektgruppen sig et nyhedsbrev, således at projektgruppen ville modtage e-mails vedr. eventuelle driftsforstyrrelser i transmissionen af EGNOS-meddelelser. Desværre bliver der ikke underrettet om planlagte driftsforstyrrelser på forhånd, men først efter at afbrydelsen er en realitet. Herved har det ikke været muligt at planlægge dataindsamlingen til at foregå i perioder uden forventede driftsforstyrrelser. Dette forhold har i praksis bevirket, at det først flere timer efter, at EGNOS er stoppet med at transmittere, har været muligt at finde år-

sagen hertil. Når der sendes en e-mail med en forklaring af driftsforstyrrelser, angives det, hvornår systemet forventes at starte transmissionen igen. Det har desværre vist sig, at disse tidsangivelser ikke altid overholdes.

De ovennævnte grunde har været hovedårsagen til, at det i alt tog fire uger at gennemføre dataindsamlingen og stadig ikke få syv sammenhængende døgnsobservationer.

15.1.2 Erfaringer med Pegasus dokumentationen

Igennem udarbejdelsen af projektet har projektgruppen i stort omfang anvendt dokumentationen for implementering af EGNOS-korrektionerne, Technical Notes on SBAS. [Eurocontrol, 2003] Dokumentationen er specielt blevet anvendt i forbindelse med forståelsen for EGNOS-meddelelsernes indhold og opbygning samt ved programmeringen af softwaren til postprocessering med EGNOS-korrektioner (Spørgsmål I).

Arbejdet med [Eurocontrol, 2003] har til tider været vanskeligt, idet dokumentationen på flere punkter er uklart formuleret. Dette medfører at der ofte opstår tvivl om, hvordan indholdet skal fortolkes. I andre tilfælde undlades information som er vigtig for at kunne dechifrere EGNOS-meddelelserne korrekt. Et eksempel er hvordan det skal fortolkes, at fast corrections i de binære meddelelser antager positive værdier, men at der i dokumentationen angives, at fast corrections kan antage værdier i intervallet -256...255.875. Løsningen var i dette tilfælde at kvantisere de positive værdier.

Disse forhold kan også have haft en betydning for resultaterne for problemformuleringens spørgsmål I, hvor EGNOS-postprocesseret oftest resulterede i ringere positionsbestemmelse end både stand-alone GPS og EGNOS-realtime.

15.1.3 EGNOS helpdesk

Både i forbindelse med foranalysen samt i forbindelse med dataindsamlingen har der været behov for at kontakte serviceenheden *EGNOS helpdesk*, der besvarer spørgsmål omkring funktionaliteten og driften af EGNOS. Projektgruppen har bl.a. anvendt denne mulighed for at få uddybet de tekniske specifikationer vedr. EGNOS samt signalopbygningen af EGNOS-meddelelserne. Serviceenheden har for det meste svaret indenfor 3-4 dage, men svarene har ikke været anvendelige på trods af meget direkte og konkrete spørgsmål. Oftest blev der henvist til PEGASUS manualen [Eurocontrol, 2003], som er den væsentligste kilde til signalopbygningen og indholdet af EGNOS-meddelelserne. Det skete også flere gange, at de afsendte mails ikke blev besvaret. Dermed har projektgruppen ikke en eneste gang kunnet anvende den service som EGNOS helpdesk er der for at tilbyde.

15.1.4 EMS-serveren

Projektgruppen har ikke haft de store problemer forbundet med EMS-serveren, men der er dog flere tidspunkter, hvor der mangler et antal timefiler på serveren. Dette er forekommet på tider, hvor der ikke er transmitteret EGNOS-meddelelser, hvilket kan forklares med, at hele systemet har været nedlukket af den ene eller anden årsag. Der forekommer desuden mangler på serveren på tidspunkter i løbet af testperioden, hvor der er blevet transmitteret EGNOS-meddelelser, og systemet tilsyneladende har fungeret regelmæssigt.

15.1.5 Anvendelse af EGNOS-realtime

Idet projektgruppen synkront har indsamlet observationer med og uden brugen af EGNOS-korrektioner, har det været muligt at se, hvilken indflydelse det har på antal-

let af satellitter, der indgår i løsningen. Ved både R8- og GeoXT-modtagerne fremgik det, at der oftest indgik flere satellitter i løsningen ved anvendelse af modtagerne som stand-alone GPS-modtagere. For begge modtagertyper gælder det, at hvis modtageren er sat op til at måle med EGNOS-realtime, indgår kun de satellitter i løsningen, som der modtages korrektioner for. Dermed er årsagen til at der indgår færre satellitter i løsningen med EGNOS-realtime, at EGNOS ikke monitorerer alle satellitter. Dagligt forekom der perioder, hvor der med stand-alone GPS indgik 11 satellitter i løsningen, mens der samtidig med EGNOS-realtime kun indgik 7 satellitter i løsningen. På andre tidspunkter indgik der samme antal satellitter i løsningen med stand-alone GPS og EGNOS-realtime.

15.2 Erfaringer med Garmin Etrex

I løbet af pilottesten viste det sig, at der til tider var problemer med at initialisere med EGNOS-realtime, når Garmin Etrex modtagerne blev anvendt. Dette var det eneste problem, der var med denne modtagertype, som ellers var ukompliceret at arbejde med. Dataoverførslen i NMEA-format via et serielt kabel fungerede altid upåklageligt.

15.3 Erfaringer med Trimble GeoXT

Under pilottesten hvor outputtet skulle være i NMEA-format, var det problematisk at anvende GeoXT-modtagerne. Årsagen var, at dataoverførslen var nødt til at foregå via bluetooth, idet det ikke umiddelbart var muligt at skaffe de nødvendige kabler til at streame NMEA-data direkte til en computer. Først og fremmest var det svært at få computer og modtager til at kommunikere via Bluetooth på trods af, at afstanden mel-

lem modtager og Bluetooth-adapter var under en meter. Da det endelig lykkedes at få oprettet forbindelse mellem computer og modtager, fungerede det tilsyneladende. Men da de indsamlede observationer blev processeret, kunne det ud fra checksummer i NMEA-strengene konstateres, at der var langt flere bitfejl i data overført via bluetooth, end det var tilfældet med de to andre modtagertyper, der var forbundet til en computer via et serielt kabel. De sætninger i NMEA-strengene, der blev påvist bitfejl i, kunne naturligvis ikke anvendes og udgik derfor af det endelige datasæt.

For at undgå færdsel i testområdet på taget og stadig muliggøre løbende overvågning af, at alle modtagere fungerede planmæssigt, blev testsetuppet konstrueret således, at modtagerne kunne overvåges uden at adgang på taget var nødvendigt. GeoXT-modtagerne blev overvåget ved hjælp af programmet *Remote Display Control for PocketPC*, som muliggør, at PDA'er og lignende udstyr kan overvåges og betjenes via en tilsluttet computer. [Microsoft TechNet, 2006] Programmet køres på computeren, der via et USB kabel er forbundet til modtageren. I den omfattende syv-dages test blev alle observationer gemt i modtagerne og downloadet til computeren én gang i døgnet, hvilket også kunne gøres via det omtalte program.

15.4 Erfaringer med Trimble R8 GNSS

På trods af at R8-modtagerne var de nyeste og dyreste modtagere, der indgik i de tests, der er gennemført, var der også problemer med disse. Der var tider, hvor R8-modtageren havde svært ved at initialisere med EGNOS, selvom der samtidig blev initialiseret med GeoXT-modtageren, uden at det gav anledning til problemer.

Det største problem var dog, at når R8-modtageren var sat op til at måle med EGNOS-realtime, afbrød modtageren opmålingen efter 6 timer og 49 minutter svarende til ca. 24.420 epoker. Projektgruppen fandt frem til at årsagen til dette problem var, at med den valgte konfiguration gemmer R8-modtageren observationerne i programhukommelsen i stedet for i datahukommelsen, hvor der er mest plads. Dette betyder, at hukommelsen fyldes efter 6 timer og 49 minutter. Når målingen afbrydes, overfører modtageren automatisk de indsamlede

observationer til datahukommelsesdelen, og der kan på ny logges observationer i 6 timer og 49 minutter.

Projektgruppen tog flere gange kontakt til Trimble i håb om, at problemet kunne løses, men dette var ikke umiddelbart muligt, da der formodes at være tale om en programmeringsfejl i modtagerens software. Dermed var eneste løsning på problemet, at projektgruppen tre gange i døgnet afsluttede opmålingen og startede et nyt job, hvorefter dataindsamlingen kunne fortsætte.

REFERENCER

- Abousalem, M., Lusin, S., Tubalin, O. & de Javier, S. (2000). *Performance Analysis of GPS Positioning Using WAAS and EGNOS*. Santa Clara (US): Ashtech Precision Products.
- Andersen, I. (2003). *Den skinbarlige virkelighed - om valg af samfundsvidenskabelige metoder*. (2. udgave.) Frederiksberg C – Forlaget Samfundslitteratur.
- Anderson, D. R., Sweeney, D. J. & Williams, T. A. (1999). *Statistics for Business and Economics*. (7. udg.). Cincinnati (US): South-Western College Publishing.
- Borre, K. (2-3-2006). Diskussion vedr. EGNOS. Samtale mellem projektgruppe og Professor, Dr. Techn. Kai Borre, afholdt ved Danish GPS Center, Aalborg.
- Brocard, D., Maier, T. & Busquet, C. (2003). *EGNOS Ranging and Integrity Monitoring Stations (RIMS)*. ESA.
URL: http://ravel.esrin.esa.it/docs/egnos/estb/Publications/GNSS%202000/GNSS2000_rims.pdf (15-02-2006)
- Calais, E. (2006). *From GPS ephemerides to ECEF satellite positions*. West Lafayette (US): Department of Earth & Atmospheric Sciences, Purdue University.
URL: http://web.ics.purdue.edu/~ecalais/teaching/geodesy/EAS_591T_2003_lab_4.htm (10-04-2006)
- Council of Europe (5-6-2003). *2515th Council meeting – Transport, Telecommunications and Energy. GALILEO- INTEGRATION OF EGNOS - Council Conclusions*. European Commission.
URL: <http://europa.eu.int/rapid/pressReleasesAction.do?reference=PRES/03/146> (30-05-2006)
- DePriest, D. (2006). *NMEA data*. GPS Receivers Information.
URL: <http://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm> (30-05-2006)
- Dueholm, K., Laurentzius, M. & Jensen, A. B. O. (2005). *GPS*. (3. udg.) København: Nyt Teknisk Forlag.
- Enge, P., Walter, T., Pullen, S., Kee, C., Yi-Chung, C. & Yeou-Jyh, T. (1996). Wide Area Augmentation of the Global Positioning System. *Proceedings of the Ieee*, 84. Vol. 84, Issue 8 (s. 1063-1088).
- ESA (2003). *EGNOS News*. (vol. 3, issue 3). Surrey (UK): Helios Technology.
URL: http://ravel.esrin.esa.it/docs/egnos/estb/newsletters/EGNOS_News_Dec_2003.pdf (21-05-2006)
- ESA (2004). Countdown to EGNOS. I: *EGNOS News*. (vol. 4, issue 1). Surrey (UK): Helios Technology
URL: http://ravel.esrin.esa.it/docs/egnos/estb/newsletters/EGNOS_News_4-1.pdf (31-05-2006)

- ESA (2005a). *The Present - EGNOS*. ESA – Navigation.
URL: http://www.esa.int/esaNA/SEMMOIHHZTD_egnos_0.html (12-03-2006)
- ESA (2005b). The EGNOS signal explained. I: *EGNOS Fact Sheet*. (vol. 12). ESA
URL: <http://ravel.esrin.esa.it/docs/egnos/estb/Publications/fact.htm> (31-05-2006)
- ESA (2006a). *EGNOS broadcast schedule*. ESA.
URL: <http://ravel.esrin.esa.it/docs/egnos/estb/schedule.htm> (27-05-2006)
- ESA (2006b). *ESTB SIS Status Archive*. ESA.
URL: <http://ravel.esrin.esa.it/docs/egnos/estb/archive.htm> (20-04-2006)
- ESA (2006c). *Today's ESTB performance*. ESA.
URL: <http://ravel.esrin.esa.it/docs/egnos/estb/broadcast.htm> (01-04-2006)
- ESA (2006d). *What is EGNOS?* ESA.
URL: http://www.esa.int/esaNA/GGG63950NDC_egnos_0.html (03-03-2006)
- ESA Publications Division (2004). *How does EGNOS work?*. Nordwijk (NL): ESA Publication Division, ESTEC.
- ESSP (2005a). *MCC description and operation*. European Satellite Service Provider.
URL: http://asqf-gnss.com/mambo/index.php?option=com_content&task=view&id=34&Itemid=79
(21-02-2006)
- ESSP (2005b). *PACF Description*. European Satellite Service Provider.
URL: http://asqf-gnss.com/mambo/index.php?option=com_content&task=view&id=34&Itemid=79
(05-03-2006)
- Estey, L. H. & Meertens, C. M. (1999). TEQC: The Multi-Purpose Toolkit for GPS/GLO-NASS Data. I: *GPS Solutions, Volume 3*, (s. 42-49). Berlin/Heidelberg (GE): Springer-Verlag.
- Eurocontrol (2003). *PEGASUS - Technical Notes on SBAS*. Eurocontrol.
- European Commission (2003). *Communication from the commission to the European Parliament and the Council – Integration of the EGNOS programme in the Galileo programme*.
URL: http://europa.eu.int/eur-lex/en/com/cnc/2003/com2003_0123en01.pdf (30-05-2006)
- European Commission (2006a). *European GNSS: A two-step approach*. European Commission, Directorate-General Energy and Transport
URL: http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/intro/steps_en.htm (27-05-2006)
- European Commission (2006b). *GNSS-2: Galileo*. European Commission, Directorate-General Energy and Transport.
URL: http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/galileo/intro/steps_en.htm (07-03-2006)

- Flament, D. (2004). *Egnos System and Performance*. Alcatel Space.
URL: http://www.esgt.cnam.fr/sites/CNIG/cnig_psd/CIAG/CNIG.PSD/reunions/25mars2004/EGNOS_DFlament.PDF (30-05-2006)
- GLONASS MCC (2006). *GLONASS Status*. GLONASS Mission Control Centre.
URL: http://www.mcc.rsa.ru/IACKVO/ENG/StatSys/OrbCon/m_sostOG_en.htm (18-05-2006)
- Gurtner, W. (2001). *RINEX: The Receiver Independent Exchange Format Version 2.10*. Astronomical Institute, University of Berne.
URL: <http://www.ngs.noaa.gov/CORS/Rinex2.html> (11-03-2006)
- Harre, I. (2001). *A Standardized Algorithm for the Determination of Position Errors by the Example of GPS with and without 'Selective Availability'*.
URL: http://www.mar-it.de/NavGen/final_text3.pdf (30-05-2006)
- Helsinki University of Technology (2005). *Lecture notes for the course of Navigation Methods*.
URL: http://users.tkk.fi/~rchen/SBAS_WAAS_EGNOS.pdf (30-05-2006)
- Hernández-Pajares, M., Juan, J. M., Jaume, S., & Prats, X. (2006). *EGNOS Tutorial*. Research group of Astronomy and Geomatics. Universitat Politècnica de Catalunya.
URL: http://icao.org/icao/en/ro/nacc/meetings/2004/gnss/presentations/p2_egnoss_tutorial_gage.pdf (10-02-2006)
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Collins, J. (2001). *GPS - Theory and Practice*. (5. udg.) Wien (AT): Springer-Verlag/Wien.
- Jepsen, R., Nordestgaard, A., Petersen, J. E., Lassen, M. (2003). *IT udvikling*. Frederikshavn: Dafolo A/S.
- Kee, C. (1995). Wide Area Differential GPS. I: Parkinson, B. W. (red.) *Global Positioning System: Theory and Applications*, 2. (s. 81-116) Reston (US): American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- Klimov, V., Revniviykh, S., Kossenko, V., Dvorkin, V., Tyulyakov, A. & Eltsova, O. (2006). *Status and Development of GLONASS*. Federal Space Agency.
URL: http://www.glonass.it/pubblicazioni/Glonass_status_05.pdf (08-03-2006)
- Lyon, A. W., Westbrook, J., & Guida, U. (2005). *Operating EGNOS*. European Satellite Service Provider.
URL: <http://www.essp.be/ESSP%20Operating%20EGNOS%20ION%202005.pdf> (25-02-2006)
- Madsen, K. & Villadsen, S. S. (2003). *Test af Netværks RTK og Enkeltstations RTK*. København: Kort og Matrikelstyrelsen.
- Oehler, V., Luongo, F., Trautenberg, H. L., Boyero, J.-P., Krueger, J., & Rang, T. (2005). *The Galileo Integrity Concept and Performance*. Galileo-Industries GmbH.

- Parkinson, B. W. & Enge, P. (1996). Differential GPS. I: Parkinson, B. W. (red.) *Global Positioning System: Theory and Applications*, 2. (s. 3-50). Reston (US): American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- Ricoz, C., Higgins, M. B., & Hewitson, S. (2005). New GNSS developments and their impact on survey service providers and surveyors. I: *Spatial Intelligence, Innovation and Praxis: The national biennial Conference of the Spatial Sciences Institute*. Melbourne (AU): Spatial Sciences Institute.
- RTCA (2001). DO-229c, *Minimum Operational Performance Standards for Global Positioning System / Wide Area Augmentation System Airborne Equipment*. Washington (US): Radio Technical Commission for Aeronautics.
- Solari, G. (2004). *Galileo & EGNOS*. Galileo Joint Undertaking.
URL: <http://www.euromedtransport.org/downloads/wg6/pdf/GALILEOEGNOS1.pdf> (11-03-2006)
- The National Marine Electronics Association (2002). *NMEA 0183 Standard*. (vol. 3.01). Severna Park (US): The National Marine Electronics Association.
- Torán-Martí, F., Ventura-Traveset, J, and de Mateo, J. C (2002). ESPADA 3.0: An Innovative EGNOS Simulation Tool Based on Real Data. *Preparing for the Future, Vol. 12*, 7-9. Noordwijk (NL): ESA Publications.
- Trimble™ (2001). *GPS Pathfinder® Office User Guide*. (vol. 1, 2 & 3). Trimble™.
URL: http://www.trimble.com/pathfinderoffice_ts.asp?Nav=Collection-5895 (30-05-2006)
- UCL (2004). *Multiple frequency GNSS data processing*. London (UK): UCL - Department of Geomatic Engineering.
URL: http://www.ge.ucl.ac.uk/research/gps_geodesy_and_navigation/multiple_frequency_gnss_data_processing (09-06-2006)
- U.S.Naval Observatory (2006). *GPS Time Information*. U.S. Navy.
URL: <http://tycho.usno.navy.mil/gpstt.html> (11-04-2006)
- Ventura-Traveset, J., Michel, P., & Gauthier, L. (2001). *Architecture, mission and signal processing aspects of the EGNOS System: The first European implementation of GNSS*. ESA
URL: http://esamultimedia.esa.int/docs/egnos/estb/Publications/DSP%202001/EGNOS_DSP2001.pdf (23-02-2006)
- Watson, D. F. (1992). *Contouring : Guide to the analysis and display of spatial data*. (vol. 10) Oxford (US): Pergamon Press.
- Wormley, S. (2006). *GPS Errors & Estimating Your Receiver's Accuracy*. The Educational Observatory Institute.
URL: http://www.edu-observatory.org/gps/gps_accuracy.html (27-05-2006)
- Yeazel, J. (2006). *WAAS and its Relation to Enabled Hand-Held GPS Receivers*. GPS Receivers Information.
URL: <http://www.gpsinformation.net/exe/waas.html> (25-02-2006)

Software

Google Earth (Google).

URL: <http://earth.google.com/>

GPSdiag (Laipac Tech).

URL: http://www.laipac.com/gps_gpsdiag_eng.htm (Desuden på vedlagte DVD, Bilag 4)

Leica GeoOffice (Leica Geosystems).

URL: http://www.leica-geosystems.com/corporate/en/ndef/lgs_4611.htm

Matlab 7.0 (Mathworks).

URL: <http://www.mathworks.com/>

Matlab-scripts: Se oversigt, nedenfor.

Findes på vedlagte DVD, Bilag 4.

Remote Display Control for PocketPC (Microsoft TechNet).

URL: <http://www.microsoft.com/technet/prodtechnol/wce/downloads/ppctoys.msp#ELD>
(Desuden på vedlagte DVD, Bilag 4)

SISNeTlab (ESA).

URL: <http://ravel.esrin.esa.it/docs/egnos/estb/sisnetlab/sisnetlab.htm> (Desuden på vedlagte DVD, Bilag 4)

TEQC - Translate, Edit, Quality Check (UNAVCO).

URL: <http://facility.unavco.org/software/teqc/teqc.html> (Desuden på vedlagte DVD, Bilag 4)

Trimble Geomatics Office (Trimble).

URL: <http://www.trimble.com/geomaticsoffice.shtml>

Trimble Pathfinder Office (Trimble).

URL: <http://www.trimble.com/pathfinderoffice.shtml>

MATLAB-SCRIPTS

Udviklet af projektgruppen

Navn	Funktion
<i>beregning_pilot</i>	Databehandlingscript til pilottesten
<i>Calc_sp2.m</i>	Databehandlingscript til spørgsmål II
<i>Calc_sp3.m</i>	Databehandlingscript til spørgsmål III del 1
<i>Calc_sp3_alarm.m</i>	Databehandlingscript til spørgsmål II del 2
<i>Get_fast.m</i>	Udtrækker EGNOS fast corrections fra ems-fil
<i>Get_iono.m</i>	Udtrækker EGNOS ionosfæreforsinkelseskorrektioner fra ems-fil
<i>GetMT1.m</i>	Dechifrerer EGNOS meddelelsestype 1 (PRN Mask Assignment)
<i>GetMT18.m</i>	Dechifrerer EGNOS meddelelsestype 18 (IGP Mask Assignment)
<i>GetMT6.m</i>	Dechifrerer EGNOS meddelelsestype 6 (Integrity Information)
<i>GetMT26.m</i>	Dechifrerer EGNOS meddelelsestype 26 (Ionospheric corrections)
<i>Masterprogram.m</i>	Hovedprogram til postprocessing af EGNOS-korrektioner
<i>Matrix2obsdata.m</i>	Omstrukturerer CAmtrx (produkt fra masterprogram.m) så matricen kan indgå som input til absgps.m
<i>nmearead</i>	Læser NMEA-fil
<i>Obs2matrix.m</i>	Omstrukturerer obsdata (output fra rinexobs.m) til mere læsevenligt format (CAmtrx).
<i>plot_pilot</i>	Plotter positioner fra pilottesten
<i>R95</i>	Beregner R95 værdier
<i>Remove120.m</i>	Fjerner afstandsobservationer til satellit PRN120 fra RINEX-observationsfiler dannet ud fra observationer fra Trimble GeoExplorer XT-modtagere.
<i>Ret_ems.m</i>	Fjerner første n linier i ems-fil, indtil første meddelelsestype 1
<i>Rinex2ENh.m</i>	Beregner positioner i UTM32/WGS84 vha. RINEX-observations- og RINEX-navigationsfil og absgps.m
<i>RMS.m</i>	Beregner RMS-værdier
<i>sp3_MT6_search</i>	Databehandlingscript til spørgsmål III
<i>Spred.m</i>	Beregner spredninger

Udviklet af lektor, Peter Cederholm, Aalborg Universitet:

Navn	Funktion
<i>Absgps.m</i>	Beregning af absolutte GPS positioner vha C/A pseudoafstande
<i>Ddd2rad</i>	Omregner decimalgrader (grad.dec) til radianer
<i>Ecef2top.m</i>	Rotationsmatrice til omregning fra kartesisk geocentrisk koordinatsystem til lokalt topocentrisk koordinatsystem
<i>Eph2xyz.m</i>	Regner position til satellit
<i>Findeph.m</i>	Finder efemeridedata for satellit til epoketidspunkt
<i>Geo2tm</i>	Omregning fra geografiske koordinater til transversal merkator projektion
<i>Iondelay.m</i>	Korrektion for ionosfæreforsinkelse jf. bl.a. NAVSTAR GPS Interface Control Document
<i>Kar2geo.m</i>	Omregner kartesiske koordinater til geografiske koordinater
<i>Konstant.m</i>	Funktion, der returnerer diverse konstanter
<i>Maxwin</i>	Maksimerer vindue
<i>NMEATJEK.m</i>	Se CreateNMEAChecksum.m udviklet af Steve Dodds
<i>Rinexnav.m</i>	Læser RINEX version 2.10 navigationsfil
<i>Rinexobs.m</i>	Læser RINEX version 2.10 observationsfil
<i>Satclock.m</i>	Korrektion for satellitrets fejl
<i>Satzenit.m</i>	Bestemmer elevationsvinkel og azimut til GPS satellit i forhold til modtager
<i>sow.m</i>	Beregner for et givet tidspunkt antal sekunder siden begyndelsen af GPS uge
<i>Saasta.m</i>	Saastamoinen model for troposfæreforsinkelse

Udviklet af Sergei Koptenko, Applied Acoustic Technologies, Toronto, Canada:

Navn	Funktion
<i>Match.m</i>	Sammenligner indhold af søjlevektor med indhold af matrice

Udviklet af J. Dickerson, Iowa State University:

Navn	Funktion
<i>Hex2bin.m</i>	Omsætter hexadecimalt tal til binære tal

Udviklet af Steve Dodds :

Navn	Funktion
<i>CreateNMEAChecksum.m</i>	Beregner NMEA checksum

FIGUROVERSIGT

Figur 1.1:	Illustration af videnskabsprocessens fire hovedelementer. [Andersen, 2003]	15
Figur 1.2:	Strukturdiagram.....	15
Figur 1.3:	V-modellen beskriver fremgangsmåden for programmeringen af de scripts der udvikles gennem dette projektførløb. Frit efter: [Jepsen et al., 2003, s. 22].....	16
Figur 2.1:	Pseudorange correction.	20
Figur 2.2:	SBAS-tjenesternes dækningsområder. Frit efter [ESA, 2003].....	22
Figur 2.3:	Efemeridefejl ved DGPS. Figuren illustrerer, at desto længere der er mellem rover og referencestation, desto større bliver fejlbidraget fra korrektionen til efemeridefejlen, der er indeholdt i DGPS-korrektionen. Frit efter [Kee, 1995, s. 81-83]	23
Figur 3.1:	Overordnet systemarkitektur. Jordklode: Copyright Google Earth 2006.....	26
Figur 3.2:	Oversigtskort med de stationer der indgår i EGNOS Ground Segment. [ESA, 2004]	27
Figur 3.3:	Datablokformat for EGNOS-meddelelse.	30
Figur 3.4:	Procentvis fordeling af meddelelsetyper over syv døgn, svarende til 604.800 meddelelser.	31
Figur 4.1:	Billede A: Fikspunkt ved Fib. 11. Billede B og C: Montering af GeoXT-modtagere..	36
Figur 4.2:	Screenshot, GPS Diagnostics.	38
Figur 4.3:	Forbindelse mellem GPS-modtagere og computere.....	38
Figur 4.4:	Input og outputfiler fra NMEA_read.....	39
Figur 4.5:	Plot af afvigelser i forhold til punktets sande værdi for positioner logget med Garmin Etrex. Røde punkter angiver at målingen er foretaget med stand-alone GPS, mens de blå punkter angiver at der er anvendt EGNOS-realtime.....	41
Figur 4.6:	Plot af afvigelserne i hver akseretning i forhold til den sande værdi, samt plot af PDOP og antal anvendte satellitter for Garmin Etrex i stand-alone GPS mode. De blå kurver angiver første time af dataindsamlingen, mens de røde angiver time 2.....	42
Figur 4.7:	Plot af afvigelserne i hver akseretning i forhold til den sande værdi, samt plot af PDOP og antal anvendte satellitter for Garmin Etrex EGNOS-realtime mode. De blå kurver angiver første time af dataindsamlingen, mens de røde angiver time 2.....	42
Figur 4.8:	Plot af afvigelser i forhold til punktets sande værdi for positioner logget med GeoXT-modtagerne. Røde punkter angiver at målingen er foretaget med stand-alone GPS, mens de blå punkter angiver at der er anvendt EGNOS-realtime.	43
Figur 4.9:	Plot af afvigelserne i hver akseretning i forhold til den sande værdi, samt plot af PDOP og antal anvendte satellitter for GeoXT-modtageren i stand-alone GPS mode. De blå kurver angiver første time af dataindsamlingen, mens de røde angiver anden	44
Figur 4.10:	Plot af afvigelserne i hver akseretning i forhold til den sande værdi, samt plot af PDOP og antal anvendte satellitter for GeoXT-modtageren i EGNOS-realtime mode. De blå kurver angiver første time af dataindsamlingen, mens de røde angiver anden ..	44
Figur 4.11:	Plot af afvigelser i forhold til punktets sande værdi for positioner logget med R8-modtagerne. Røde punkter angiver at målingen er foretaget med stand-alone GPS, mens de blå punkter angiver, at der er anvendt EGNOS-realtime.....	46
Figur 4.12:	Plot af afvigelserne i hver akseretning i forhold til den sande værdi, samt plot af PDOP og antal anvendte satellitter for R8-modtageren i stand-alone GPS mode. De blå kurver angiver første time af dataindsamlingen, mens de røde angiver time 2.....	47
Figur 4.13:	Plot af afvigelserne i hver akseretning i forhold til den sande værdi, samt plot af PDOP og antal anvendte satellitter for R8-modtageren i EGNOS-realtime mode. De blå kurver angiver første time af dataindsamlingen, mens de røde angiver anden	47

Figur 6.1:	Korrektionskategorier indeholdt i EGNOS-signalet – inddeling foretaget af projektgruppen.....	56
Figur 6.2:	De fire modtageres placering på taget af Fibigerstræde 11, set fra nord.....	60
Figur 6.3:	Placering af modtagere på taget af Fibigerstræde 11 og mål til at kontrollere opstillingen. (Skitsen er ikke målfast).....	60
Figur 7.1:	Periode for dataindsamling. Numrene over de stiplede liniestykker henviser til beskrivelsen af pågældende hændelse i Tabel 7.1.....	64
Figur 8.1:	Flowdiagram for dataklargøringen.....	68
Figur 8.2:	TECQ – samling af RINEX-filer.....	69
Figur 8.3:	TECQ – Udtrækning af observationsperiode fra RINEX-fil.....	69
Figur 8.4:	Skabelon for filnavne.....	69
Figur 8.5:	Anvendelse af TEQC som datakvalitetsværktøj.....	70
Figur 8.6:	Antal RINEX-observationsfiler pr. modtager, fordelt på timer af døgnet. I alt 452 RINEX-observationsfiler.....	71
Figur 9.1:	Plots for hver af de fem timer der er indsamlet observationer med to R8-modtagere konfigureret til stand-alone måling.....	75
Figur 9.2:	Beregnete positioners afvigelser i planen fra middel, for henholdsvis R8 stand-alone (rød linie) og GeoXT stand-alone (blå linie).....	76
Figur 10.1:	Dataflowdiagram for <i>masterprogram.m</i> . Stiplede linier indikerer ind- og udlæsninger fra matricer.....	79
Figur 10.2:	Opbygning af matricen <i>CAmatrix</i>	80
Figur 10.3:	Princip for korrektion af observationer med fast corrections fra <i>ems</i> -fil.....	80
Figur 10.4:	Princip for korrektion af observationer med ionosfæreforsinkelseskorrektioner fra <i>ems</i> -fil.....	81
Figur 10.5:	Opbygning af matricen <i>fast_corrections</i>	82
Figur 10.6:	Dataflowdiagram for <i>get_fast.m</i> . Stiplede linier indikerer ind- og udlæsninger fra matricer.....	82
Figur 10.7:	Opbygning af matricen <i>IONO_corrections</i>	83
Figur 10.8:	Dataflowdiagram for <i>get_iono.m</i> . Stiplede linier indikerer ind- og udlæsninger fra matricer.....	83
Figur 10.9:	Opbygning af matricen <i>IONO_matrix</i>	84
Figur 10.10:	Dataflowdiagram for <i>get_MT26.m</i> . Stiplede linier indikerer ind- og udlæsninger fra matricer.....	84
Figur 10.11:	Spredninger i planen for observationssæt indsamlet med GeoXT-modtagere.....	85
Figur 10.12:	Spredninger i planen for observationssæt indsamlet med R8-modtagere.....	85
Figur 10.13:	Plot af positioner henholdsvis før og efter postprocessing. Datagrundlag: Trimble R8. Observationsdag 3, Kl. 03-04 (UTC).....	86
Figur 10.14:	Spredninger i højden for observationssæt indsamlet med GeoXT-modtagere.....	87
Figur 10.15:	Spredninger i højden for observationssæt indsamlet med R8-modtagere.....	87
Figur 11.1:	Dataflowdiagram for <i>calc_sp2.m</i>	90
Figur 11.2:	Spredning i plan og højde for GeoXT med EGNOS-realtime beregnet på timebasis..	91
Figur 11.4:	RMS i plan og højde for GeoXT med EGNOS-realtime beregnet på timebasis.....	91
Figur 11.3:	Spredning i plan og højde for R8 med EGNOS-realtime beregnet på timebasis.....	91
Figur 11.5:	RMS i plan og højde for R8 med EGNOS-realtime beregnet på timebasis.....	91
Figur 11.6:	Time- og dagsvariationer i planen for GeoXT EGNOS-realtime, time 0 - 11. Positive værdier angiver, at EGNOS-realtime medfører en forbedring i forhold til stand-alone GPS, mens negative værdier angiver en forværring.....	93
Figur 11.7:	Time- og dagsvariationer i planen for GeoXT EGNOS-realtime, time 12 - 23. Positive værdier angiver, at EGNOS-realtime medfører en forbedring i forhold til stand-alone GPS, mens negative værdier angiver en forværring.....	93

Figur 11.8:	Time- og dagsvariationer i højden for GeoXT EGNOS-realtime, time 0 - 11. Positive værdier angiver, at EGNOS-realtime medfører en forbedring i forhold til stand-alone GPS, mens negative værdier angiver en forværring.	94
Figur 11.9:	Time- og dagsvariationer i højden for GeoXT EGNOS-realtime, time 12 - 23. Positive værdier angiver, at EGNOS-realtime medfører en forbedring i forhold til stand-alone GPS, mens negative værdier angiver en forværring.	94
Figur 11.10:	Time- og dagsvariationer i planen for R8 EGNOS-realtime, time 0 - 11. Positive værdier angiver, at EGNOS-realtime medfører en forbedring i forhold til stand-alone GPS, mens negative værdier angiver en forværring.	95
Figur 11.11:	Time- og dagsvariationer i planen for R8 EGNOS-realtime, time 12 - 23. Positive værdier angiver, at EGNOS-realtime medfører en forbedring i forhold til stand-alone GPS, mens negative værdier angiver en forværring.	95
Figur 11.12:	Time- og dagsvariationer i højden for R8 EGNOS-realtime, time 0 - 11. Positive værdier angiver, at EGNOS-realtime medfører en forbedring i forhold til stand-alone GPS, mens negative værdier angiver en forværring.	96
Figur 11.13:	Time- og dagsvariationer i højden for R8 EGNOS-realtime, time 12 - 23. Positive værdier angiver, at EGNOS-realtime medfører en forbedring i forhold til stand-alone GPS, mens negative værdier angiver en forværring.	96
Figur 12.1:	Flowdiagram for <i>SP3_MT6_search.m.</i>	100
Figur 12.2:	Flowdiagram for <i>calc_SP3.m.</i> Stiplede linier indikerer ind- og udlæsninger fra matricer.	100
Figur 12.3:	Eksempel på plots anvendt ved visuel vurdering. Ved SOW $\sim 3,46 \cdot 10^5$ på 1.-aksen ses et tydeligt spring i den plane afvigelse fra den sande koordinat samtidig med at der kommer en MT6 med alarmtilstand.	101
Figur 12.4:	Forskellen mellem afvigelse fra sand koordinat henholdsvis med og uden satellitten der er berørt af alarmtilstand for R8-modtageren. Bemærk at højdeafvigelserne bliver sammenfaldende efter modtageren automatisk fjerner satellitten med alarmtilstand.	103
Figur 12.5:	Forskellen mellem afvigelse fra sand koordinat henholdsvis med og uden satellitten der er berørt af alarmtilstand for GeoXT modtageren.	103
Figur 12.6:	Spredning i planen for hver af de 10 undersøgte perioder samt en samlet værdi for spredningen set over alle 10 perioder af hver fem minutters varighed.	104
Figur 12.7:	Spredningen i højden for hver af de 10 undersøgte perioder samt en samlet værdi for spredningen set over alle 10 perioder af hver fem minutters varighed.	104

Bilag

Figur 1.1:	Mappestruktur for den vedlagte DVD.	139
Figur 2.1:	Symboler i TEQC-kvalitetsrapport.	141
Figur 2.2:	TEQC-kvalitetsrapport.	142
Figur 3.1:	Plan RMS for GeoXT.	143
Figur 3.2:	Plan RMS for R8.	143
Figur 3.3:	Højde RMS for GeoXT.	144
Figur 3.4:	Højde RMS for R8.	144

Appendiks

Figur A.1:	Skitse som angiver normalfordelingskurve med angivelse af middelværdi og spredning	148
Figur A.2:	Skitse som angiver sammenhængen mellem sandsynlighedsfordelingskurven ved henholds-vis høj og lav præcision	148
Figur A.3:	Høj præcision, høj nøjagtighed	149
Figur A.4:	Høj præcision, lav nøjagtighed	149
Figur A.5:	Lav præcision, lav nøjagtighed	149
Figur B.1:	Mapestruktur på EMS-serveren	151
Figur B.2:	Udsnit af EMS-fil fra satellit PRN 120, den 3. januar 2006.....	152
Figur C.1:	Datablokformat for meddelelsestype 1.	155
Figur C.2:	Eksempel på meddelelsestype 1	156
Figur C.3:	Datablokformat for meddelelestyperne 2 til 5.....	157
Figur C.4:	Grafisk udtryk for integritetsindikatoren User Differential Range Error (UDRE). Frit efter [Flament, 2004]	158
Figur C.5:	Datablokformat for meddelelsestype 6.	159
Figur C.6:	Datablokformat for meddelelsestype 25 – Velocity code = 0.	160
Figur C.7:	Datablokformat for meddelelsestype 25 – Velocity code = 1.	161
Figur C.8:	Globalt Ionospheric Grid Point (IGP) grid.....	164
Figur C.9:	Datablokformat for meddelelsestype 18.	164
Figur C.10:	Datablokformat for meddelelsestype 26.	165
Figur C.11:	Skitsering af signalets skæringspunkt med ionosfæren, kaldet Pierce Point.	167
Figur C.12:	Interpolation af ionosfæreforsinkelse til pierce point – 4-punktstilfælde [Eurocontrol, 2003, s. 51].	171
Figur C.13:	Interpolation af ionosfæreforsinkelse til pierce point – 3-punktstilfælde [Eurocontrol, 2003, s. 54].	172
Figur D.1:	Eksempel på GGA sætningens indhold.....	174
Figur D.2:	Eksempel på GSA sætningens indhold.	175
Figur E.1:	Eksempel på RINEX observations-fil.	179
Figur E.2:	Eksempel på RINEX Navigations-fil.	180
Figur F.1:	Dataflow for <i>rinex2ENh.m</i>	182

TABELOVERSIGT

Tabel 2.1:	Fejlbudget ved henholdsvis SPS og DGPS. [Wormley, 2006].....	21
Tabel 2.2:	Status for SBAS-systemer. [ESA, 2003].....	22
Tabel 3.1:	Indhold i de tre services der udbydes af EGNOS. Frit efter [Solari, G., 2004]	26
Tabel 3.2:	Navn og placering på de tre geostationære EGNOS-satellitter. [Yeazel, 2006].....	26
Tabel 3.3:	Sammenligning af GPS- og EGNOS-signale.t.....	29
Tabel 3.4:	Meddelelsetyper i EGNOS-signalet. [Eurocontrol, 2003, s. 18-20]	31
Tabel 4.1:	Udvalgte instrumentspecifikationer for modtagertyper anvendt ved pilottest.	34
Tabel 4.2:	Instrumentkonfiguration, referencemåling.	36
Tabel 4.3:	Resultat af referencemåling. Differens er lig 1. måling fratrukket 2. måling.	37
Tabel 4.4:	Referencekoordinater, punkt 1 og 2.	37
Tabel 4.5:	Værdier for RMS og spredningen i plan og højde samt antal observationer logget med Garmin Etrex stand-alone GPS og EGNOS-realtime.	41
Tabel 4.6:	Værdier for RMS og spredningen i plan og højde samt antal observationer logget med GeoXT-modtagerne med henholdsvis stand-alone GPS og EGNOS-realtime..	45
Tabel 4.7:	Værdier for RMS og spredningen i plan og højde samt antal observationer logget med R8 stand-alone GPS og EGNOS-realtime.	45
Tabel 7.1:	Oversigt over de forstyrrelser der har været årsag til at EGNOS-meddelelserne har været utilgængelige eller uanvendelige. Alle tidsangivelser er UTC tid.	64
Tabel 7.2:	Koordinater fra de to referencemålinger og differencer herimellem. Differens er lig 1. måling fratrukket 2. måling. Punktnumrene 1 - 4 refererer til modtagerne vist i Figur 6.3, mens punktnumrene 1000 – 1002 refererer til de kendte punkter på taget..	65
Tabel 7.3:	Middelkoordinater fra referencemålingen. Punktnumrene 1 - 4 refererer til modtagerne vist i Figur 6.3.	65
Tabel 8.1:	Andelen af observationer påvirket af multipath for hvert indsamlet datasæt. Beregningsgrundlaget for multipath er for hvert observationssæt 600.000 – 700.000 observationer.	70
Tabel 8.2:	Beregningsgrundlag.	71
Tabel 9.1:	RMS og spredning for de to GeoXT-modtagere der indgik i dataindsamlingen. Grundlaget er positioner beregnet vha. <i>absgps.m</i> , som alene anvender C/A-koden i positionsberegningen.	73
Tabel 9.2:	RMS og spredning for de to R8-modtagere der indgik i dataindsamlingen. Grundlaget er positioner beregnet vha. <i>absgps.m</i> , som alene anvender C/A koden i positionsberegningen.	74
Tabel 10.1:	Kravspecifikation vedr. software til postprocessing.....	78
Tabel 11.1:	Kravspecifikation til programmering.	90
Tabel 12.1:	Kravspecifikation til scripts vedr. besvarelse af spørgsmål III.....	99
Tabel 12.2:	Spredning og RMS i plan og højde for R8-modtageren med og uden den satellit som alarmtilstanden vedrører. Værdierne er beregnet på baggrund af de syv perioder af fem minutters varighed, i alt 2100 observationer.	106
Tabel 13.1:	RMS og spredning for de fire modtagere, der indgik i dataindsamlingen. Grundlaget er positioner beregnet vha. <i>absgps.m</i> , som alene anvender C/A-koden i positionsberegningen.	112

Appendiks

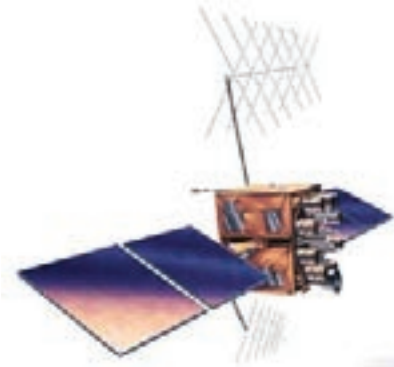
Tabel B.1:	Sammenhængen mellem decimaltal, hexadecimal tal og binære tal.....	152
Tabel B.2:	Eksempel på omregning fra hexadecimal tal og binære tal til decimaltal.	153
Tabel C.1:	Meddelelsestype 1 – PRN maskens opbygning.	156
Tabel C.2:	Konvertering mellem UDREI og UDRE. UDRE angiver et 99.9% konfidens- interval.....	159
Tabel C.3:	De fire tilstande for meddelelsestype 25 – slow corrections.....	160
Tabel C.4:	Indhold af slow correction ved velocity code = 0.....	161
Tabel C.5:	Indhold af slow correction ved velocity code = 0.....	162
Tabel C.6:	Placering og nummerering af IGP-punkter over Europa (Bånd 3-5).	165
Tabel F.1:	Kravspecifikation for programmering af rutine til at fremstille ENh-filer.	181

BILAG

Bilag 1: DVD

Bilag 2: TEQC-kvalitetsrapport

Bilag 3: Resultater fra postprocessing

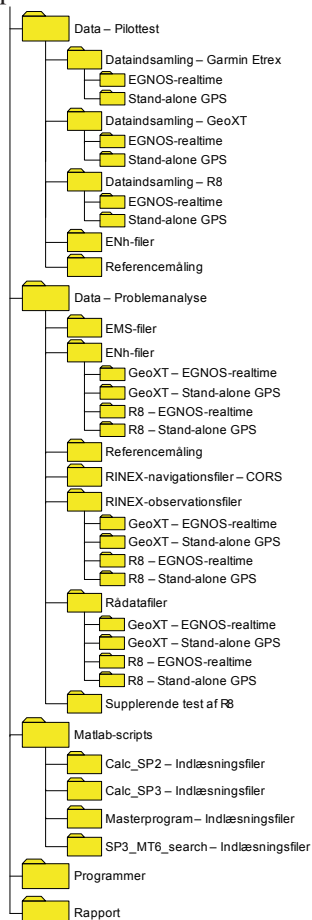


BILAG

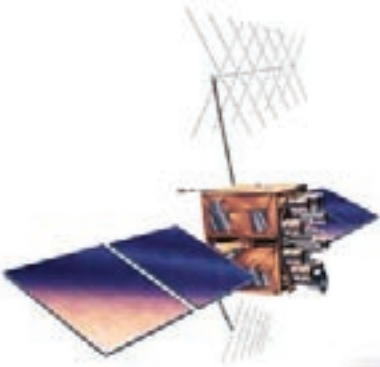
1

DVD

I dette bilag vises på Figur 1.1 en mappestruktur med indholdet på den vedlagte DVD. DVD'en er vedlagt bagest i rapporten.



Figur 1.1: Mappestruktur for den vedlagte DVD.



BILAG

2

TEQC-KVALITETSRAPPORT

Dette bilag giver et eksempel på en kvalitetsrapport fra TEQC. Kvalitetsrapporten bl.a. består af en grafisk oversigt med forskellige symboler som er forklaret i Figur 2.1. Rapporten kan ses i Figur 2.2 og den grafiske oversigt læses som et plot med observationsperioden ud af x-aksen, og de satellitter, hvorfra der er modtaget signal, ud af y-aksen. I det pågældende eksempel er der observeret i 22 timer og 45 minutter. Antallet af enheder på x-aksen bestemmes af brugeren ved kald af TEQC vha. parameteren $-w$. I dette tilfælde er $-w$ sat til 91, idet hver enhed på x-aksen så repræsenterer 15 minutters observationer (22 timer, 45 minutter = 1365 minutter = 91·15 minutter).

```
Symbol codes for "SV":
(hierarchy is left-to-right, top-to_bottom)
C receiver clock slip          m n-msec multipath jump
I ionospheric phase slip      M multipath MP1 and MP2 slips
l multipath MP1 slip only     2 multipath MP2 slip only
- SV above elev mask, but no data L Bit 0 of LLI set (rx lost lock)
+ SV data, but below elev mask ^ partial SV data below elev mask
. A/S off or unknown; C/A     c A/S off or unknown; L1 C/A
: A/S off or unknown; L1 P1   = L1 C/A L2C
~ A/S off or unknown; L1 C/A L2 P2 * A/S off or unknown; L1 P1 L2 P2
, A/S on; C/A                 a A/S on; L1 C/A
; A/S on; L1 P1               e L1 C/A L2 L2C
o A/S on; L1 C/A L2 P2       y A/S on; L1 P1 L2 P2
_ no SV data and below elev mask
```

```
Symbol codes for "Pos" (position):
(hierarchy is left-to-right, top-to_bottom)
^ large position change      X code position inverse failed
C position did not converge  H large horizontal uncertainty
V large vertical uncertainty  T large total uncertainty
> kinematic survey is OK    o static survey is OK
O insufficient observables   E insufficient ephemerides
S insufficient SV set
```

```
Symbol codes for "Clk" (receiver clock):
(hierarchy is left-to-right, top-to_bottom)
- reset by - msec           + reset by + msec
^ missing observation epoch(s)
```

Figur 2.1: Symboler i TEQC-kvalitetsrapport.

version: teqc 2006Apr5

```

SV+----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----+ SV
1|                                     -Moooooooooooo +                -LoMooMooMooM | 1
2|oooooooooooooooo +                -MooooooooooooooooM +                | 2
3|                                     -M+                ----- oooooMooooM +                | 3
4|ooooooooooooMo +                -LoMoooooooooo ++                -M| 4
5|                                     -ooooooooooooMoooo +                | 5
6|                                     -ooooooooooooMoooo ----- I+                | 6
7|                                     -LoMoooo ----- IooooMoooo +                | 7
8| -LoMooooooooMooooooooooooo --- -MooooooooooooMoooo +                -Moooo +                | 8
9|                                     -oooo-----Moooooooooooo +                | 9
10| -ooooMooooooooMoooooooooooo +                -Moooo-----                | 10
11|                                     -----                -ooMooooMooMooMooM | 11
13|oooooooooooooooo +                -----                -oo-----                -M| 13
14|                                     -ooooooooMoooooooooooo +                -LMooooMooMooMoo ++ | 14
15| -oooooooo +                -----MooooMooooMooooMo +                | 15
16| --MooooMo +                -oooooooo +                -oMoooo-----MooooMoooo +                | 16
17| +                -o-----MooooooooooooM +                -ooMooMooM | 17
18|                                     -oooooooo-----Moooo +                ---IooooMooooMo +                -M| 18
19|                                     -oooooooo +                -----                -ooMooooMooooMooMo +                | 19
20|ooooooooMo +                -LMooooo-                -----                -MooMooMooM | 20
21|                                     -----Moooooooooooo +                -oMoooo-----MooooMoooo ++ | 21
22|                                     -----                -ooMooooMooooMoo +                | 22
23|ooooooooooooM +                -LoooMoooo +                -ooMoo +                -MooM | 23
24|oooooooooooo +                -----                -ooMooooMooMooM | 24
25|ooo+                -----                -ooMooooMooMooM | 25
26|                                     -ooMoooooooooooo ---Moooo +                -ooMoooo +                | 26
27| -oMooooMooooooooooooMoooo +                -----                -ooMoooo +                | 27
28|                                     -ooMoooooooooooo ---Moooo +                ---LMooooMooM +                | 28
29|                                     -oooooooooooo ---Moooo-                -ooMoo +                | 29
30|                                     -ooooooooooooMoooo -----                | 30
-dn|                                     cc -----                ccccc | -dn
+dn| 11 1 1 211 11 1 1 11 cccc 1 1 1 1 1 1 1111 11 ccccccc 11 1 12 1 1 1 111 1 | +dn
+10|87998899988876889999 aaaaa 88888889998889999 aa998888 abaaaa 9999988 bbbccccc 988887889888898889 | +10
Pos| oo oo oo oooooooooo oooooooooo oo oo -----                | Pos
Clk| -----                -----                -----                -----                | Clk
14:00:00.999                -----                -----                -----                | 12 :48:53.994
2006 Apr 18                -----                -----                -----                | 2006 Apr 19

```

```

*****
QC of RINEX file (s) : r8_m_2.obs
input RnxNAV file (s) : r8_u_2.nav
*****

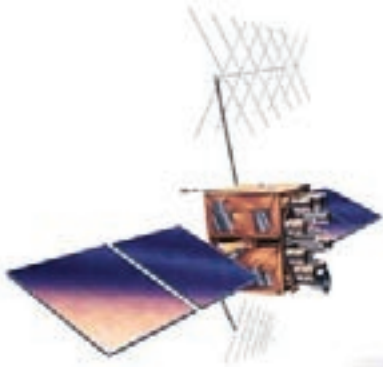
```

```

Receiver type      : R8 GNSS (# = 4552105413) (fw = Nav 3.10 Sig 0.00)
Antenna type      :
Time of start of window : 2006 Apr 18 14:00:00.999
Time of end of window   : 2006 Apr 19 12:48:53.994
Time line window length : 22.81 hour(s), ticked every 3.0 hour(s)
  antenna WGS 84 (xyz)  : 3427719.9225 603054.3526 5327035.6872 (m)
  antenna WGS 84 (geo)  : N 57 deg 01' 04.05" E 9 deg 58' 41.49"
  antenna WGS 84 (geo)  : 57.017792 deg 9.978192 deg
  WGS 84 height         : 67.6358 m
|qc - header| position : 26 m
Observation interval   : 1.0000 seconds
Total satellites w / obs : 29
NAVSTAR GPS SVs w / o OBS : 12 31 32
NAVSTAR GPS SVs w / o NAV :
Rx tracking capability  : 12 SVs
Poss. # of obs epochs  : 82134
Epochs w / observations : 73700
Possible obs > 0.0 deg: 924559
Possible obs > 10.0 deg: 697112
Complete obs > 10.0 deg: 627015
  Deleted obs > 10.0 deg: 50
Moving average MP 1    : 0.243462 m
Moving average MP 2    : 0.230186 m
Points in MP moving avg : 50
No. of Rx clock offsets : 13
Total Rx clock drift   : -5.000000 ms
Rate of Rx clock drift : -0.219 ms/hr
Avg time between resets : 105.299 minute(s)
Hourly time code       : 9599 ffc000 001 fff
Report gap > than      : 10.00 minute(s)
IOD signifying a slip   : >400.0 cm/minute
IOD slips < 10.0 deg*  : 0
IOD slips > 10.0 deg   : 3
IOD or MP slips < 10.0* : 0
IOD or MP slips > 10.0 : 109
* or unknown elevation
  first epoch last epoch hrs dt #expt #have % mp1 mp2 o/slps
SUM 06 4 18 14 :00 06 4 19 12 :48 22.81 1 697112 627015 90 0 .24 0.23 5752

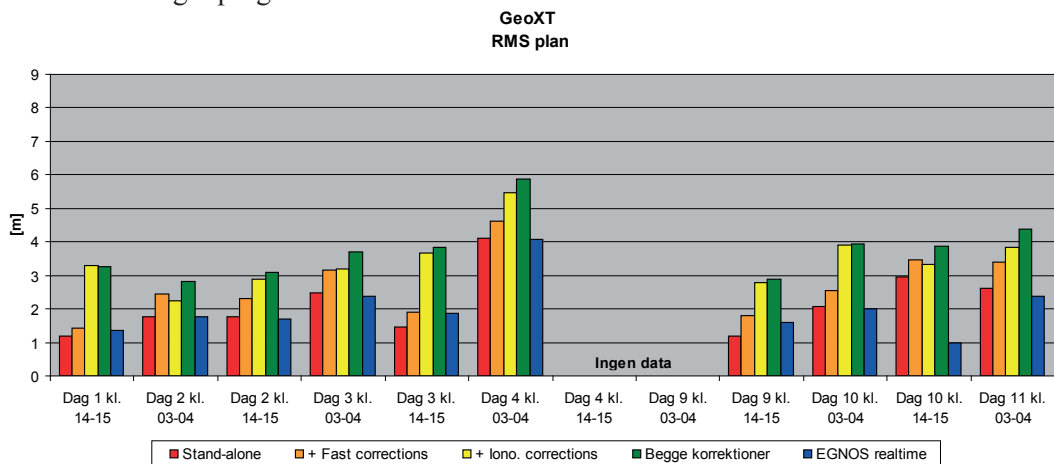
```

Figur 2.2: TEQC-kvalitetsrapport.

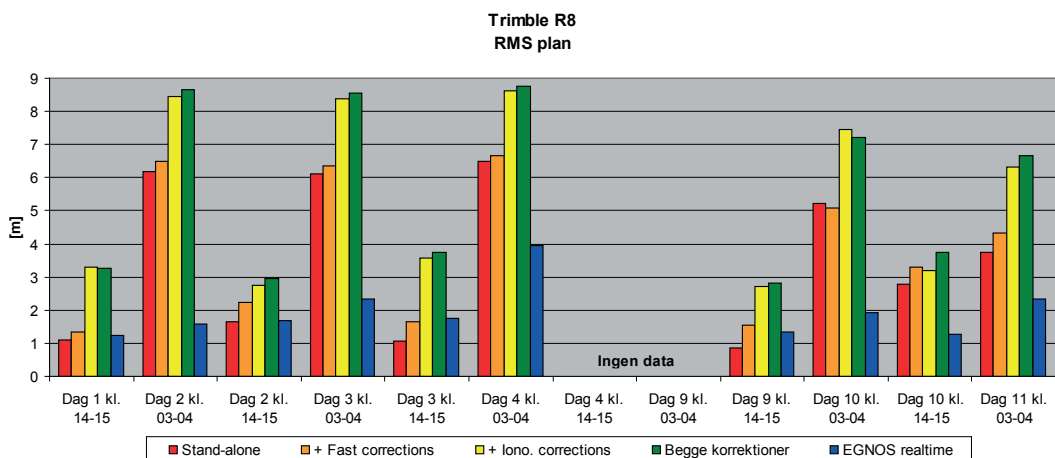


RESULTATER FRA POSTPROCESSERING

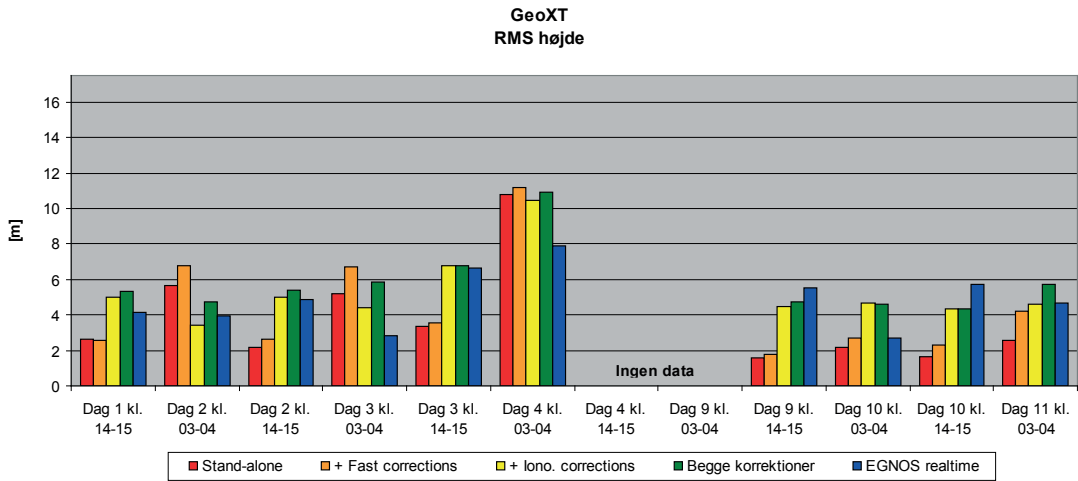
I dette bilag vises diagrammer for RMS i plan og højde for GeoXT- og R8-modtagerne, som er resultatet af postprocesseringen som blev foretaget i forbindelse med besvarelsen af problemformulerings spørgsmål I.



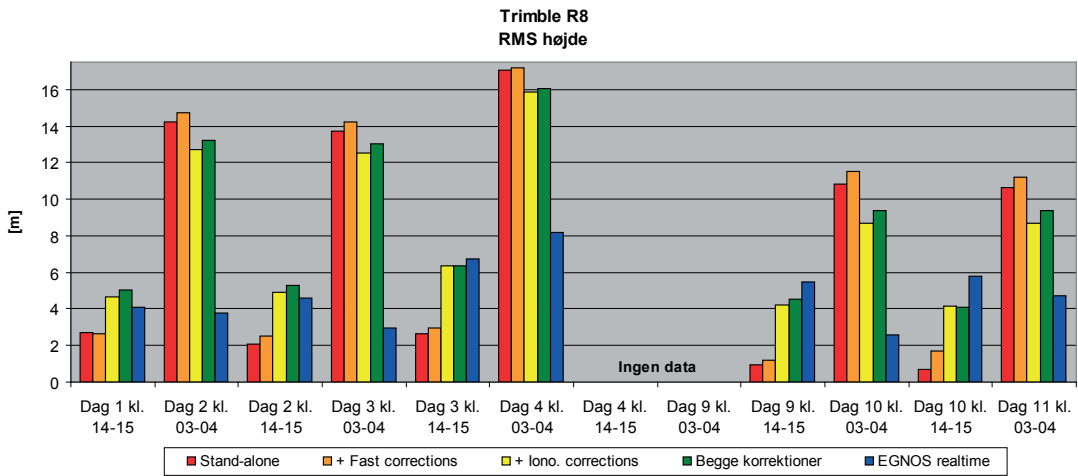
Figur 3.1: Plan RMS for GeoXT.



Figur 3.2: Plan RMS for R8.



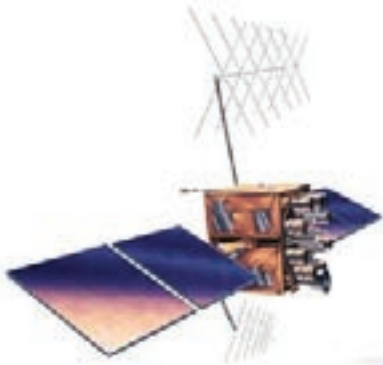
Figur 3.3: Højde RMS for GeoXT.



Figur 3.4: Højde RMS for R8.

APPENDIKS

- Appendiks A: Præcision og nøjagtighed
- Appendiks B: EMS-serveren
- Appendiks C: EGNOS' meddelellestyper
- Appendiks D: NMEA
- Appendiks E: RINEX-format v.2.10
- Appendiks F: Rinex2ENh



APPENDIKS A

PRÆCISION OG NØJAGTIGHED

Projektgruppens erfaringer fra tidligere projekter samt litteratur vedrørende statistik og fejlteori bekræfter, at begreberne præcision og nøjagtighed ofte giver anledning til forvirring. Problemet er, at begreberne ofte anvendes tvetydigt eller opfattes direkte forskelligt, alt efter, hvem der anvender disse. For at undgå forvirring og tvivl om begrebernes betydning og metoden til beregning heraf, når de anvendes i dette projekt, er det valgt, i dette appendiks, at angive de formler for præcision og nøjagtighed, som er anvendt. Desuden bringes en mere anvendelsesorienteret definition af begreberne, således at teori (formler) og praksis sammenkøbes.

Præcision – generel teori

Forudsat at en given størrelse, X , måles n gange, beregnes spredningen, σ , efter:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{X} - X_i)^2}{n-1}}, \text{ hvor} \quad (\text{A1})$$

$$\bar{X} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}}$$

Såfremt koordinaterne E, N og h til et punkt bestemmes n gange, beregnes σ_E , σ_N og σ_h jf. (1). Definitionen af σ svarer til én gange standardafvigelsen (1σ) i normalfordelingen, svarende til en konfidensgrad på 68,3%.

Spredningen for plankoordinaterne, σ_{plan} , beregnes efter:

$$\sigma_{\text{plan}} = \sqrt{\sigma_E^2 + \sigma_N^2} \quad (\text{A2})$$

Konfidensgraden for σ_{plan} varierer mellem 63,2% og 68,3%. [Harre, 2001]

Nøjagtighed – generel teori

Forudsat at en given størrelse, X , måles n gang, beregnes RMS efter:

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X)^2}{n}}, \text{ hvor} \quad (\text{A3})$$

X betegner den sande værdi for X

Såfremt koordinaterne E, N og h til et punkt bestemmes n gange, beregnes RMS_E , RMS_N og RMS_h jf. (3). Herefter kan der beregnes RMS for plankoordinaterne, RMS_{Plan} . Denne størrelse beregnes efter:

$$RMS_{Plan} = \sqrt{RMS_E^2 + RMS_N^2} \quad (\text{A4})$$

For de anvendte formler se [Anderson et al., 1999].

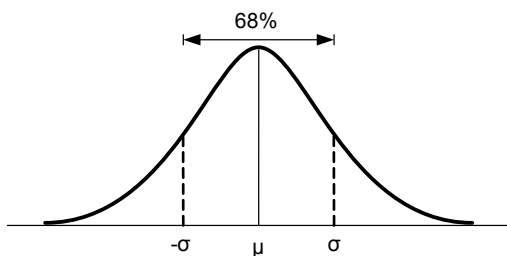
Præcision og nøjagtighed i anvendelse

Når der i rapporten henvises til begrebet præcision, kan følgende fortolkning af begrebet anvendes:

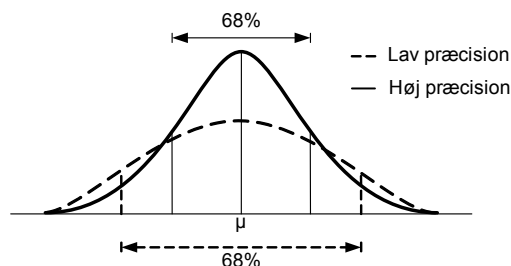
Præcision

Præcision defineres af, hvor tæt gentagne observationer ligger på middelværdien, og udtrykkes ved en spredning kaldet σ .

Landmålingsobservationer antages at være normalfordelte og dermed følge kurven vist i Figur A.1. Præcisionen kan aflæses af observationernes sandsynlighedsfordeling, idet en lav



Figur A.1: Skitse som angiver normalfordelingskurve med angivelse af middelværdi og spredning



Figur A.2: Skitse som angiver sammenhængen mellem sandsynlighedsfordelingskurven ved henholdsvis høj og lav præcision.

spredning er lig med høj præcision og omvendt. Sammenhængen er vist i Figur A.2, hvor det ses, at høj præcision giver en ”smal” sandsynlighedsfordeling, mens en lav præcision giver en ”bred” sandsynlighedsfordeling.

Når der i rapporten henvises til begrebet nøjagtighed, kan følgende fortolkning af begrebet anvendes:

Nøjagtighed

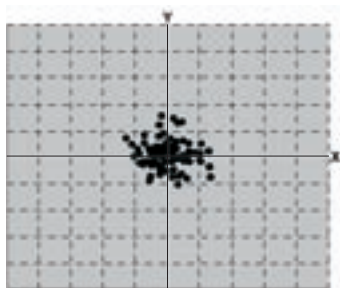
Nøjagtigheden af en observation defineres som, hvor tæt observationen er på den ”sande” værdi og udtrykkes ved RMS-værdien

Idet bestemmelsen af et punkt altid vil være behæftet med tilfældige fejl, er udtrykket ”sand” værdi ikke helt korrekt. Den ”sande” værdi anvendes om koordinaterne til et punkt, der er bestemt med overlegen nøjagtighed, i forhold til de observationer (koordinater), der ønskes bestemt en nøjagtighed for.

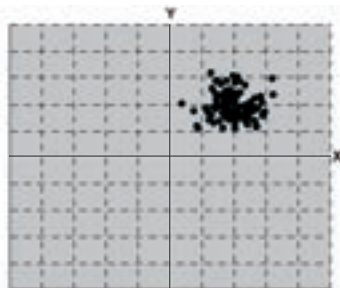
Præcision og nøjagtighed ved anvendelse af GNSS-positionering

Ved positionering vha. GNSS beskriver en GNSS-modtagers nøjagtighed jf. ovenstående, modtagerens evne til at indmåle et punkt absolut i et givet referencesystem. Præcisionen beskrives ud fra spredningen af positioner indsamlet af modtageren.

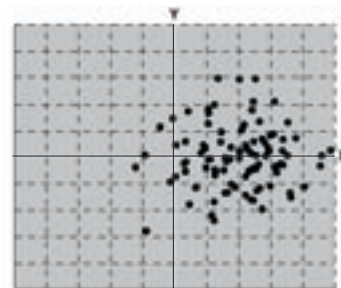
Sammenhængen mellem præcisions- og nøjagtighedsbegrebet, er illustreret i Figur A.3 - Figur A.5, hvor tre normalfordelte observationssæt er placeret i et kendt koordinatsystem. Det ”sande” punkt, som ønskes koordineret, er symboliseret ved origo. I Figur A.3 er der tale om en høj præcision da observationerne ligger tæt og en høj nøjagtighed da målingerne ligger tæt på det ”sande” punkt. Observationerne i Figur A.4 og Figur A.5 er begge påvirket af en systematisk fejl, som betyder, at middelværdien afviger fra den ”sande” værdi. I ingen af tilfældene vil et større observationssæt bringe resultatet tættere på den absolutte værdi.



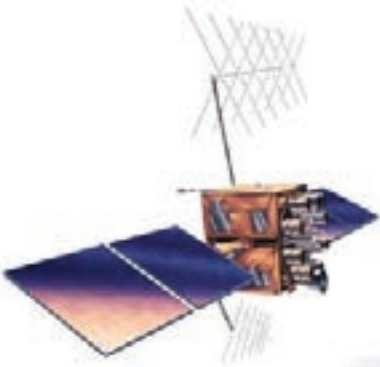
Figur A.3: Høj præcision, høj nøjagtighed



Figur A.4: Høj præcision, lav nøjagtighed



Figur A.5: Lav præcision, lav nøjagtighed

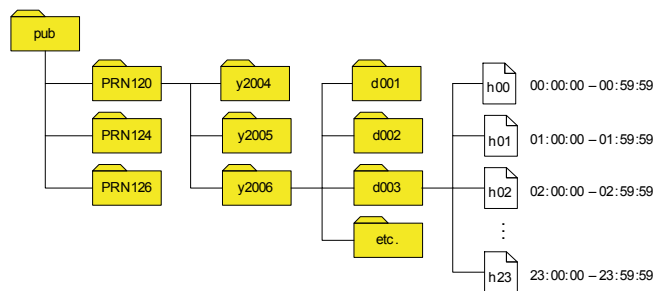


APPENDIKS

B

EMS-SERVEREN

For at kunne besvare problemformuleringens spørgsmål I, som vedrører postprocessing ved anvendelse af de udsendte korrektioner, er det nødvendigt at få adgang til EGNOS-korrektionerne. ESA's EMS-server (EGNOS Message Server) lagrer de korrektioner der udsendes fra EGNOS-satellitterne, således at disse efterfølgende er tilgængelige. Der kan gratis downloades EGNOS-korrektioner fra EMS-serveren på følgende ftp-adresse: <ftp://131.176.49.48/pub/>. Fra denne mappe vælges hvilken satellit der ønskes korrektioner fra, ligesom der vælges år, dag og time, hvorefter den ønskede fil kan downloades. Mappedstrukturen for EMS-serveren er vist i Figur B.1.



Figur B.1: Mappedstruktur på EMS-serveren.

Filerne er lagret i ASCII-format og indeholder hver EGNOS-meddelelser for én time. På EMS-serveren kan der downloades filer tilbage fra 2003, hvor EGNOS begyndte at udsende korrektioner fra satellit PRN 126.

I Figur B.2 ses et eksempel på en EMS-fil. Som det fremgår af eksemplet indeholder de første kolonner: PRN nummer for den satellit der har udsendt signalet, et tidsstempel samt oplysning om hvilken meddelelsestype den pågældende linie beskriver. Selvfølgelig er EGNOS-meddelelsen i hexadecimal tal, hvilket betyder, at den er vanskelig at læse og fortolke direkte, hvorfor den først skal oversættes til binære tal som RTCA-standarden er defineret i og derfra eventuelt videre til decimaltal. Årsagen til at meddelelsen udsendes i hexadecimal tal er, at dette sparer båndbredde, idet en binær meddelelse på 256 bits (som er størrelsen på EGNOS-meddelelsen) kun fylder 65 bytes når den udsendes som hexadecimal tal.

kræver lidt mere, som det fremgår af tabellen. Hexadecimal tal læses bagfra, og for at omregne til decimaltal, skal decimalværdien af tallet på første plads multipliceres med 16^0 , på anden plads multipliceres med 16^1 , og tallet på tredje plads multipliceres med 16^2 osv.

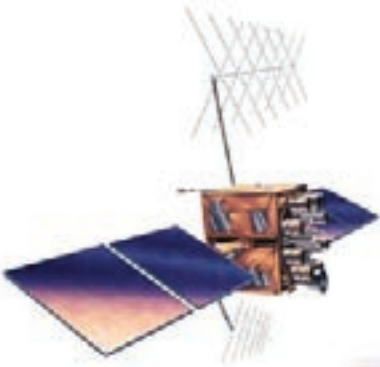
Hexadecimal tal til decimaltal	Binære tal til decimaltal
7B3	0111 1011 0011
$3 \cdot 16^0 + 11 \cdot 16^1 + 7 \cdot 16^2$	$1 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^7 + 1 \cdot 2^8 + 1 \cdot 2^9 + 1 \cdot 2^{10} + 0 \cdot 2^{11}$
$3 + 176 + 1792 = 1971$	$1 + 2 + 0 + 0 + 16 + 32 + 0 + 128 + 256 + 512 + 1024 + 0 = 1971$

Tabel B.2: Eksempel på omregning fra hexadecimal tal og binære tal til decimaltal.

For at omregne binære tal skal disse ligeledes læses bagfra, og da der er tale om et 2-talssystem, skal der multipliceres med 2^0 på første plads, 2^1 på anden plads, 2^2 på tredje plads osv. Ved at gennemføre regneeksemplerne fra Tabel B.2 ses det, at hexadecimaltallet "7B3" og det binære tal "0111 1011 0011" er lig med 1971 angivet i decimaltal.

I dette projekt anvendes Matlab-scriptet *hex2bin.m* til at foretage omregning mellem hexadecimaltal og binære tal.

Til omregning fra binære tal til decimaltal, anvendes Matlab standardfunktionen *bin2dec.m*.



APPENDIKS

C

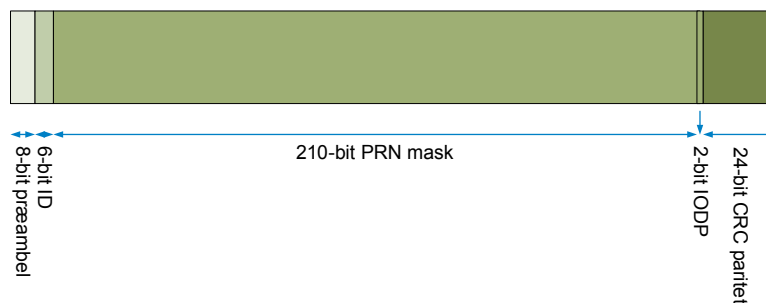
EGNOS' MEDDELESESTYPER

Dette appendiks gennemgår de EGNOS' meddelelsestyper som er af interesse for projektet, herunder særligt i forbindelse med udviklingen af softwaren til postprocessering af EGNOS-korrektionerne, jf. problemformuleringens spørgsmål I. For hver meddelelsestype gennemgås meddelelsestypens struktur (datablokformat) og indhold, samt hvordan korrektionerne implementeres jf. [Eurocontrol, 2003].

C.1 Meddelelsestype 1: PRN Mask Assignments

De meddelelsestyper, hvis indhold knytter sig til enkelte satellitter, hvilket vil sige meddelelsestyperne 2-5 (Fast corrections), 6 (Integrity Information), 7 (Integrity Degradation Information), 24 (Mixed Fast Corrections/Slow Corrections) samt 25 (Slow Corrections), indeholder ikke oplysninger om, hvilke satellitter korrektionerne vedrører. Disse oplysninger skal i stedet findes i meddelelsestype 1 (PRN Mask Assignments). De ovenfor nævnte meddelelsestyper kan således ikke dechifrereres uden kendskab til meddelelsestype 1. [Eurocontrol, 2003, s. 22]

I Figur C.1 ses en grafisk gengivelse af meddelelsestypens datablokformat.



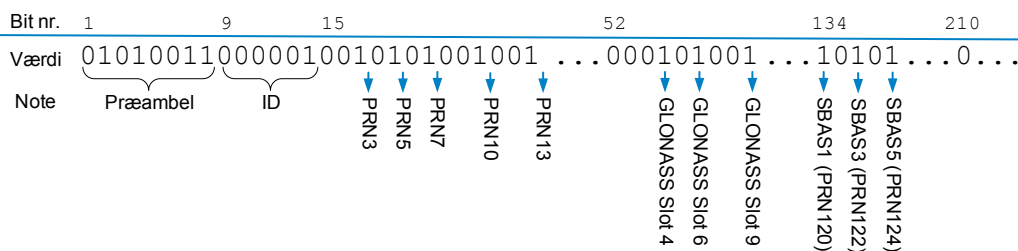
Figur C.1: Datablokformat for meddelelsestype 1.

Indholdet af den 210-bit lange PRN-maske angiver, hvilke satellitter der er modtaget signal fra, og dermed hvilke satellitter de satellitafhængige korrektioner refererer til. I Tabel C.1 ses en oversigt over maskens opbygning.

Bitplacering	Satellitreference
15-51	GPS-satellitter
52-75	GLONASS-satellitter
134-152	SBAS-satellitter

Tabel C.1: Meddelelsestype 1 – PRN maskens opbygning.

I Figur C.2 er gengivet et fiktivt eksempel på indholdet af meddelelsestype 1. I det pågældende eksempel er der modtaget signal fra 11 satellitter. Den første PRC og UDREI i hver af de satellitafhængige korrektionstyper vil, i det pågældende eksempel, referere til GPS-satellit PRN3, idet bitværdien for bit nr. 15 og 16 er sat til '0', mens bitværdien for bit nr. 17 er sat til '1'. Den næste PRC og UDREI vil referere til GPS-satellit PRN5 osv.



Figur C.2: Eksempel på meddelelsestype 1.

Når meddelelsestype 1 udsendes, har det i praksis den konsekvens, at efterfølgende satellitafhængige meddelelsestyper, refererer til den udsendte PRN-maske, indtil der på et senere tidspunkt udsendes en ny PRN-maske. En PRN-maske har, jf. datastandarden, en maksimal "levetid" på 6 minutter, inden der udsendes en ny – ofte vil der dog blive udsendt en ny PRN-maske med kortere tidsintervaller, da der ofte forsvinder en satellit bag horisonten eller dukker en ny op, som indgår i RIMS-stationernes observationer og dermed også i EGNOS-signalet. [Eurocontrol, 2003, s. 21-23]

C.2 Meddelelsestype 2-5: Fast Corrections

Fast corrections i EGNOS (og for så vidt også i andre SBAS-systemer som f.eks. WAAS) har oprindeligt haft til formål at fungere som korrektioner til den afstandsmålingsfejl som S/A medførte. Efter S/A blev slået fra i år 2000 er korrektionstypen dog bibeholdt i SBAS-formatet. Fast corrections anvendes til at korrigere for de hurtigtvoksende fejl på de målte pseudoafstande, som følge af satellitternes urfejl, og er indeholdt i meddelelsestyperne 2-5. Meddelelsestype 2, 3, 4 og 5 indeholder hver korrektioner til de målte pseudoafstande, Pseudo Range Corrections (PRC), til de satellitter, som RIMS-stationerne har modtaget signal fra, samt en integritetsindikator, User Differential Range Error Indicator (UDREI), for hver PRC. Hver af disse fire meddelelsestyper kan indeholde korrektioner og integritetsindikatorer for op til 13 satellitter.

Eftersom RIMS-stationerne dækker et stort geografisk område, vil stationerne tilsammen modtage signal fra flere end 13 satellitter. Det er derfor nødvendigt, jf. ovenstående afsnit, at EGNOS-signalet kan indeholde flere end 13 sæt PRC'er og UDREI'er, hvorfor der er indført i alt fire identiske meddelelsetyper, nemlig typerne 2, 3, 4 og 5. Dette giver plads til i alt $13 \times 4 = 52$ sæt PRC'er og UDREI'er. Datastandarden som EGNOS-signalet bygger på, RTCA-DO229C [RTCA, 2001], definerer imidlertid kun 51 sæt PRC'er og UDREI'er, hvorfor den sidste del af meddelelsetype 5 altid vil være tom.

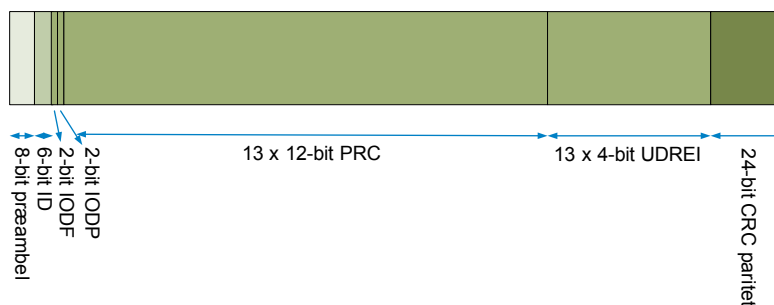
Hvorvidt alle fast corrections-meddelelsetyperne udsendes, afhænger af hvor mange satellitter RIMS-stationerne modtager signal fra:

- 1 til 13 satellitter: Meddelelsetype 2
- 14 til 26 satellitter: Meddelelsetyperne 2 og 3
- 27 til 39 satellitter: Meddelelsetyperne 2, 3 og 4
- 40 til 51 satellitter: Meddelelsetyperne 2,3,4 og 5

I eksemplet fra Figur C.2, hvor der indgik 11 satellitter, vil der således kun blive udsendt meddelelsetype 2, mens 3, 4 og 5 ikke vil blive udsendt.

Med muligheden for maksimalt at udsende korrektioner for 51 satellitter er EGNOS ikke i stand til, på nuværende tidspunkt, at håndtere fuldt operationelle GPS-, GLONASS-, GALILEO-systemer, svarende til i alt 82 satellitter. I praksis er dette dog umiddelbart ikke noget problem, idet der ikke på noget tidspunkt vil være 82 satellitter synlige samtidigt, i det geografiske område som dækkes af EGNOS. I tilfælde af at der på længere sigt bliver mere end 51 satellitter tilgængelige indenfor det geografiske område EGNOS dækker, kan problemet løses med en opdatering af datastandarden RTCA-DO229C [RTCA, 2001].

Udover pseudoafstandskorrektionerne indeholder meddelelsetyperne 2 til 5 som nævnt også hver op til 13 integritetsindikatorer samt yderligere to indikatorer, Issue Of Data Fast corrections (IODF) og Issue Of Data PRN mask (IODP), på hver 2 bit. UDREI'erne udsendes også i meddelelsetype 6, som beskrives i afsnit C.3. Opbygningen af datablokformatet for meddelelsetyperne 2-5 kan ses i Figur C.3.



Figur C.3: Datablokformat for meddelelsetyperne 2 til 5.

PRC'erne fylder 12 bit pr. korrektion, mens UDREI'erne fylder 4 bit pr. indikator. I datablokken er der således plads til 13 PRC'er og 13 UDREI'er, idet dataformatet som nævnt i Afsnit 3.3 har plads til en meddelelse på i alt 212 bit. [Eurocontrol, 2003, s. 26]

Integritetsindikatorerne givet ved UDREI'erne er statistiske estimater for den maksimale pseudoafstandsfejl, som opstår pga. ur- og efemeridefejlene, efter PRC'erne er påført de beregnede pseudoafstande. Hvis ur- og efemeridefejlene påvirker positioneringsnøjagtigheden i særlig grad, indeholder UDREI'en en besked til brugeren om, ikke at anvende den pågældende satellit i beregningen af modtagerens position, se nærmere afsnit C.3. [ESA, 2005], [Eurocontrol, 2003, s. 26-27]

C.2.1 Implementering af fast corrections

Implementeringen af de udsendte PRC'er foregår på helt traditionelt vis, som hvis der måles differentielt mellem to modtagere. Pseudoafstandskorrekturen RC til tiden t for hver satellit der modtages signal fra beregnes derfor som:

$$RC(t) = PRC(t_{af}) + RRC(t_{af})(t - t_{af}), \text{ hvor} \quad (C1)$$

RC = Total range correction

PRC = Pseudorange correction

RRC = Range-rate corrections

t = User time

t_{af} = Time of applicability of the most recent fast corrections

[Eurocontrol, 2003, s. 31]

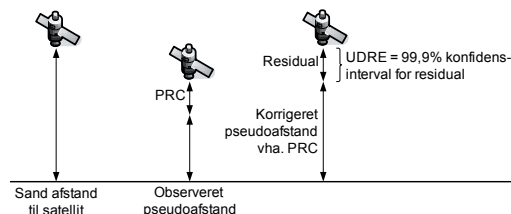
Hastigheden, hvormed afstandskorrekturene ændrer sig (RRC), beregnes som:

$$RRC(t_{af}) = \frac{PRC_{current} - PRC_{previous}}{t_{af,current} - t_{af,previous}} \quad (C2)$$

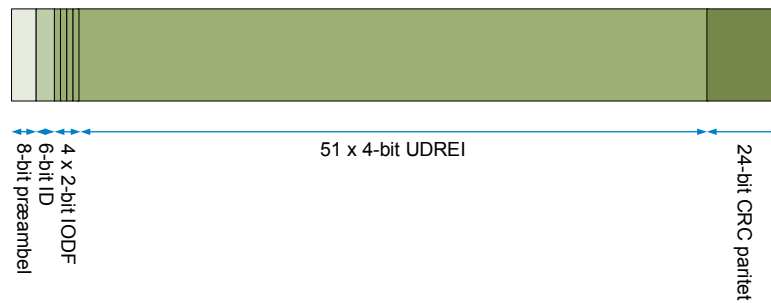
[Eurocontrol, 2003, s. 29]

C.3 Meddelelsestype 6: Integrity Information

De tidligere omtalte UDREI'er, indeholdt i meddelelsestype 2-5, som anvendes til at advare brugeren om eventuelle forstyrrelser i det udsendte signal fra en eller flere satellitter, kan også udsendes i en såkaldt meddelelsestype 6 (Integrity Information). Denne meddelelsestype indeholder imidlertid UDREI'erne for de 51 satellitter der, jf. datastandarden RTCA-DO229c [RTCA, 2001] er plads til i signalet. Som tidligere nævnt, er UDRE'erne statistiske estimater for den maksimale pseudoafstandsfejl, som opstår pga. ur- og efemeridefejlene, efter PRC'erne er påført de målte pseudoafstande. Grafisk kan dette udtrykkes som vist i Figur C.4, mens Figur C.5 viser meddelelestypens datablokformat. Som det fremgår af Figur C.4, dækker UDRE'værdien et 99,9% konfidensinterval for residualen for den korrigerede pseudoafstand.



Figur C.4: Grafisk udtryk for integritetsindikatoren User Differential Range Error (UDRE). Frit efter [Flament, 2004]



Figur C.5: Datablokformat for meddelelsestype 6.

Meddelelsestypen tjener overordnet tre formål: For det første anvendes meddelelsen af modtageren til at vægte de observerede pseudoafstande i positionsberegningen, forudsat der modtages signal fra flere end tre satellitter. Ved høje UDRE-værdier vægtes de tilhørende pseudoafstande lavt og omvendt - dette præciseres dog ikke yderligere i [Eurocontrol, 2003]. For det andet kan meddelelsen udsendes i forbindelse med at signaler fra flere forskellige satellitter ikke bør benyttes i positionsberegningen, f.eks. som følge af store efemeride eller urfejl. Endeligt kan meddelelsen udsendes i de tilfælde, hvor der ikke er behov for at udsende meddelelsestyperne 2-5 (fast corrections), men hvor behovet for integritetsoplysninger stadig er til stede, hvilket kan være tilfældet for brugergrupper der er stærkt afhængige af integritetsmeddelelser, f.eks. luftfarten.

UDREI'erne kan antage værdierne fra 0 til 15. Da UDREI'erne, som tidligere, nævnt er en indikator for selve UDRE'erne, kan Tabel C.2 anvendes, for at oversætte indikatoren til UDRE'ens reelle værdi. [Eurocontrol, 2003, s. 26-28]

UDREI	UDRE [m]	$\sigma_{i,UDRE}^2$ [m ²]	UDREI	UDRE [m]	$\sigma_{i,UDRE}^2$ [m ²]
0	0,75	0,0520	8	5,25	2,5465
1	1,00	0,0924	9	6,0	3,3260
2	1,25	0,1444	10	7,5	5,1968
3	1,75	0,2830	11	15,0	20,7870
4	2,25	0,4678	12	50,0	230,9661
5	3,00	0,8315	13	150,00	2.078,695
6	3,75	1,2992	14	Satellite not monitored	
7	4,50	1,8709	15	Do not use satellite	

Tabel C.2: Konvertering mellem UDREI og UDRE. UDRE angiver et 99.9% konfidensinterval.

Da UDRE'erne angiver et 99.9% konfidensinterval for residualen for den korrigerede pseudoafstand, er sammenhængen mellem UDRE'erne og varianserne givet ved:

$$\sigma_{i,UDRE}^2 = \left(\frac{UDRE}{3.29} \right)^2 \quad (C3)$$

[Helsinki University of Technology, 2005, s. 31]

C.4 Meddelelsestype 25: Slow Corrections

Med anvendelse af meddelelsestype 25 kan modtageren korrigere de observerede pseudoafstande for følgende langsomtvoksende fejl:

- Korrektion af satellittens position (efemeridefejl)
- Korrektion af satellittens hastighed
- Korrektion af satellittens urfejl (Findes også i GPS navigationsmeddelelsen)

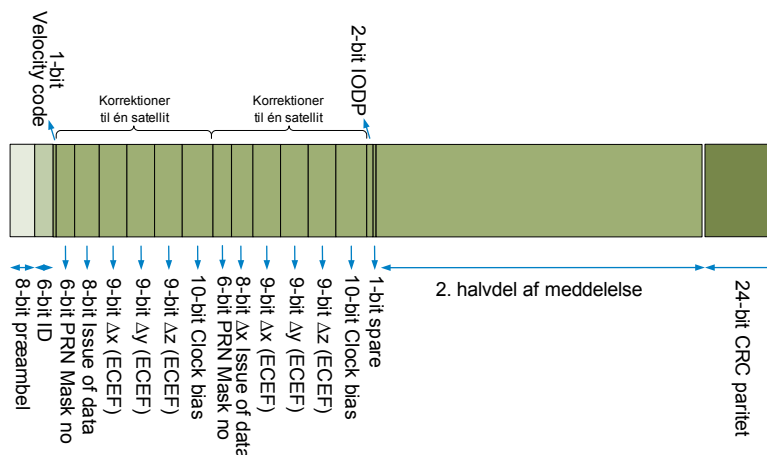
Selve meddelelsestype 25 har et lidt specielt datablokformat, idet formatet kan antage fire forskellige strukturer, afhængigt af værdien af den såkaldte velocity code:

Efter præamblet og meddelelses-ID'et kan meddelelsen inddeles i to halvdele á 106-bit længde: Hvis første bit i meddelelsen, velocity code'en, er sat til værdien '0', indeholder de første 106 bit korrektioner til positionerne for en eller to satellitter (men indeholder altså ikke korrektioner for satellittens hastighed og urfejl), mens hvis velocity code'en er sat til værdien '1', indeholder de første 106 bit alle tre ovenstående korrektioner, dog kun for én satellit. Den anden halvdel af meddelelsen, svarende til de resterende 106 bit, følger samme princip. Sammenlagt kan indholdet af meddelelsestype 25 dermed antage fire forskellige "tilstande", afhængigt af velocity code'ens værdi. Disse fire tilstande er gengivet i tabel Tabel C.3.

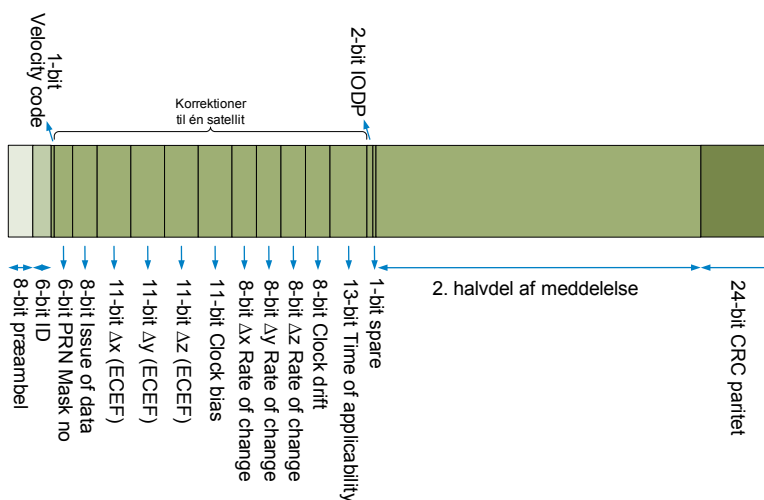
Tilstand	Velocity code nr. 1	Første 106 bit	Velocity code nr. 2	Sidste 106 bit
A	0	Positionskorrektioner for én eller to satellitter	0	Positionskorrektioner for én eller to satellitter
B	1	Alle slow corrections for én satellit	0	Positionskorrektioner for én eller to satellitter
C	0	Positionskorrektioner for én eller to satellitter	1	Alle slow corrections for én satellit
D	1	Alle slow corrections for én satellit	1	Alle slow corrections for én satellit

Tabel C.3: De fire tilstande for meddelelsestype 25 – slow corrections.

I Figur C.6 og Figur C.7 ses grafiske oversigter over datablokformatet for de to tilstande af velocity code. [Eurocontrol, 2003, s. 37-39]



Figur C.6: Datablokformat for meddelelsestype 25 – Velocity code = 0.



Figur C.7: Datablokformat for meddelelsestype 25 – Velocity code = 1.

I tilfælde, hvor velocity code'en antager værdien '0', er indholdet af den 106-bit lange slow correction som det følger af Tabel C.4.

		Velocity code = '0'				
Parameter		Bitposition	Antal bits	Skaleringsfaktor	Interval	Enhed
1. Satellit	PRN mask nr.	16	6	1	0..51	-
	Issue of data (IOD)	22	8	1	0..255	-
	DX (ECEF)	30	9	0,125	±32	Meter
	DY (ECEF)	39	9	0,125	±32	Meter
	DZ (ECEF)	48	9	0,125	±32	Meter
	Clock bias (DAF0)	57	10	2^{-32}	± 2^{-22}	Sekunder
2. Satellit	PRN mask nr.	67	6	1	0..51	-
	Issue of data (IOD)	73	8	1	0..255	-
	DX (ECEF)	81	9	0,125	±32	Meter
	DY (ECEF)	90	9	0,125	±32	Meter
	DZ (ECEF)	99	9	0,125	±32	Meter
		Clock bias (DAF0)	108	10	2^{-32}	± 2^{-22}
	IODP	118	2	1	0..3	-
	Spare (null)	120	1	-	-	-

Tabel C.4: Indhold af slow correction ved velocity code = 0.

I tilfælde, hvor velocity code'en antager værdien '1', er indholdet af den 106-bit lange slow correction, som det følger af Tabel C.5:

Parameter	Velocity code = '1'				
	Bitposition	Antal bits	Skaleringsfaktor	Interval	Enhed
PRN mask nr.	16	6	1	0..51	-
Issue of data (IOD)	22	8	1	0..255	-
DX (ECEF)	30	11	0,125	±128	Meter
DY (ECEF)	41	11	0,125	±128	Meter
DZ (ECEF)	52	11	0,125	±128	Meter
Clock bias (DAF0)	63	11	2 ⁻³²	±2 ⁻²¹	Sekunder
DX Rate of Change	74	8	2 ⁻¹¹	±0,0625	Meter/sekund
DY Rate of Change	82	8	2 ⁻¹¹	±0,0625	Meter/sekund
DZ Rate of Change	90	8	2 ⁻¹¹	±0,0625	Meter/sekund
Clock drift (DAF1)	98	8	2 ⁻³⁹	±2 ⁻³²	Sekund/sekund
Time of applicability	106	13	16	0..86384	sekunder
IODP	118	2	1	0..3	-

1. Satellit
 Tabel C.5: Indhold af slow correction ved velocity code = 0.

C.4.1 Implementering af slow corrections

Som et led i beregningen af modtagerens position til tiden t bestemmes positionerne for de satellitter der er modtaget signal fra. Disse positioner vil være givet som ECEF-koordinater i WGS 84, som funktion af tiden. [Eurocontrol, 2003, s. 39]

Indholdet af meddelelsestype 25 kan mht. korrektioner for satellitternes positioner implementeres i beregningerne som:

$$\begin{aligned} DX(t) &= DX + DX_{ROC}(t - t_0) \\ DY(t) &= DY + DY_{ROC}(t - t_0) \\ DZ(t) &= DZ + DZ_{ROC}(t - t_0) \end{aligned} \quad , \text{ hvor} \quad (C4)$$

$DX(t), DY(t), DZ(t)$ = Actual corrections for satellite position

DX, DY, DZ = Transmitted position corrections

$DX_{ROC}, DY_{ROC}, DZ_{ROC}$ = Transmitted velocity corrections

t = User time

t_0 = Time of applicability for velocity corrections

[Eurocontrol, 2003, s. 40]

Såfremt den udsendte meddelelsestype 25 har velocity code '0' og dermed ikke indeholder hastighedskorrektionerne kan formlen stadig anvendes idet disse sættes til værdien 0.

Korrektionerne til satellitternes urfejl beregnes for hver satellit til tiden t som:

$$RC_{Clock} = (Clock_{Bias} + Clock_{Drift}(t - t_0)) \times c \quad , \text{ hvor} \quad (C5)$$

$Clock_{Bias}, Clock_{Drift}$ = Udsendte urkorrektionsparametre

t = User time

t_0 = Time of applicability of clock correction parameters

c = Speed of light

Frit efter [Eurocontrol, 2003, s. 41]

Såfremt den udsendte meddelelsestype 25 har velocity code '0' og dermed ikke indeholder parameteren $Clock_{Drift}$ kan formlen stadig anvendes idet denne sættes til værdien 0. [Eurocontrol, 2003, s. 39-41]

C.5 Meddelelsestype 26: Ionospheric Delay Corrections

Meddelelsestype 26 spiller, ligesom meddelelsetyperne 2-5 (Fast corrections) en helt central rolle i EGNOS-signalet. Ved anvendelse af meddelelsestype 26 er det muligt at forbedre modtagerens nøjagtighed og præcision væsentligt, idet meddelelsen indeholder korrektioner til ionosfæreforsinkelserne.

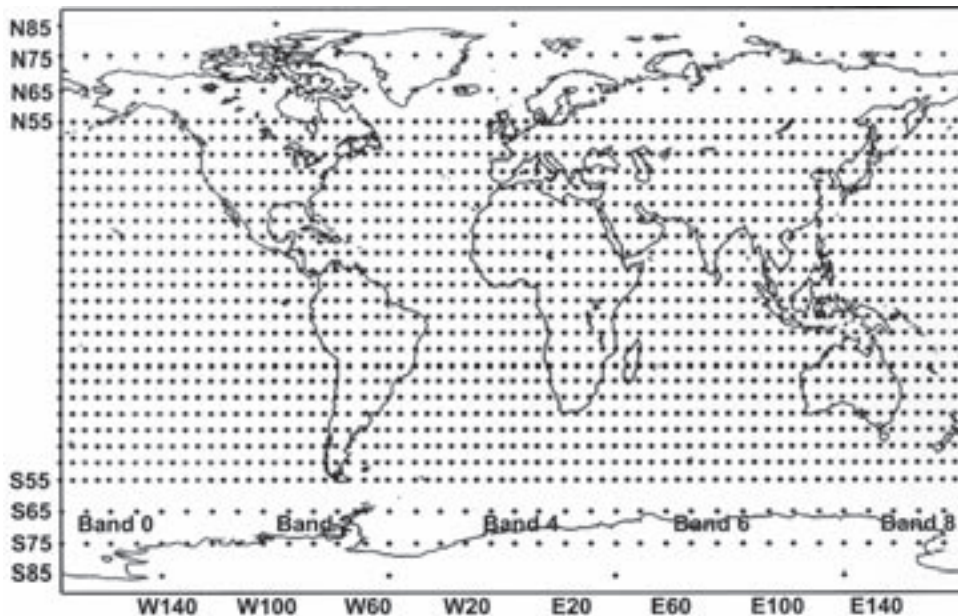
Ideen og matematikken bag ionosfæreforsinkelseskorrektionerne er mere kompliceret end det f.eks. var tilfældet med de såkaldte fast corrections. Dette skyldes, at der ikke kan udsendes én generel korrektion for ionosfæreforsinkelsen for hele det geografiske område, som EGNOS dækker, idet ionosfæreforsinkelsen varierer fra sted til sted, og desuden afhænger af hvor langt GPS-signalet skal passere igennem ionosfæren (vinklen mellem satellit og modtager).

For at løse dette problem, er der defineret et globalt ionosfærepunkt-grid (IGP-grid), placeret i ionosfæren, 350 km over jordens overflade. Ionosfæreforsinkelseskorrektionerne i meddelelsestype 26 relaterer sig derfor til punkterne i IGP-grid'et. I Afsnit C.5.1 gives et indblik i, hvilke beregningstrin der skal gennemføres, for at korrektionerne kan påføres modtagerens observationer.

For at kunne fortolke og anvende meddelelsestype 26 er det nødvendigt også at introducere meddelelsestype 18 (Ionospheric Grid Point Mask).

Ionosfæreforsinkelseskorrektionerne udsendes som estimater for den lodrette korrektion (korrigeres senere til den skrå korrektion – se nedenfor) i en række prædefinerede gridpunkter, Ionospheric Grid Points (IGP), i IGP-grid'et, jf. meddelelsestype 18. Der i alt er defineret 1809 IGP-punkter, inddelt i ni bånd á 201 punkter, se Figur C.8. Dog udsender hver EGNOS-satellit kun korrektioner til de IGP-punkter som systemet dækker, hvilket i øjeblikket (maj 2006) svarer til omtrent 164 IGP-punkter.

Meddelelsestype 18 indeholder således en maske for hvert af de ni bånd, for de IGP-punkter der udsendes korrektioner til i meddelelsestype 26 (Meddelelsestype 18 svarer altså dermed til den funktion meddelelsestype 1 (PRN mask assignment) har i forhold til f.eks. fast corrections.). I Figur C.9 ses en grafisk oversigt over datablokformatet for meddelelsestype

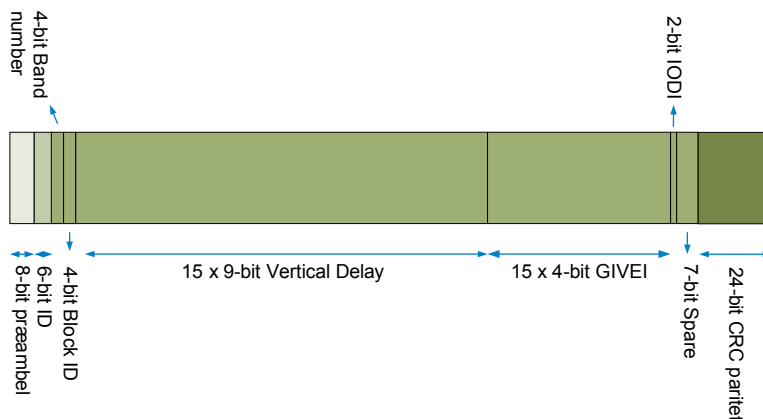


Figur C.8: Globalt Ionospheric Grid Point (IGP) grid.

18. Som det fremgår af Figur C.9, angives der i starten af meddelelsen, for hvor mange bånd IGP'er der udsendes korrektioner til fra den pågældende EGNOS-satellit, således at modtageren ved når alle ionosfæreforsinkelseskorrektioner er modtaget. Selve IGP-masken fungerer som nævnt ligesom PRN-masken i meddelellestype 1, således at hvis bit nummer x har værdien '1' udsendes der i meddelellestype 26 korrektioner for det tilsvarende IGP-punkt, nummer x .

Tabel C.6 angiver placeringen og IGP-numrene for IGP-punkterne i bånd 3-5, som er de bånd der er af interesse i Europa, se Figur C.8.

Vendes blikket mod selve korrektionsmeddelelsen, altså meddelellestype 26, indeholder denne, som nævnt, vertikale korrektioner til ionosfæreforsinkelsen i de IGP-punkter som er angivet i meddelellestype 18. Desuden findes der i meddelelsen estimater for den maksimale pseudoafstandsfejl, som opstår pga. ionosfæreforsinkelsen, efter ionosfæreforsinkelseskorrektionerne er påført de målte pseudoafstande. Disse estimater kaldes Grid Ionospheric Verti-



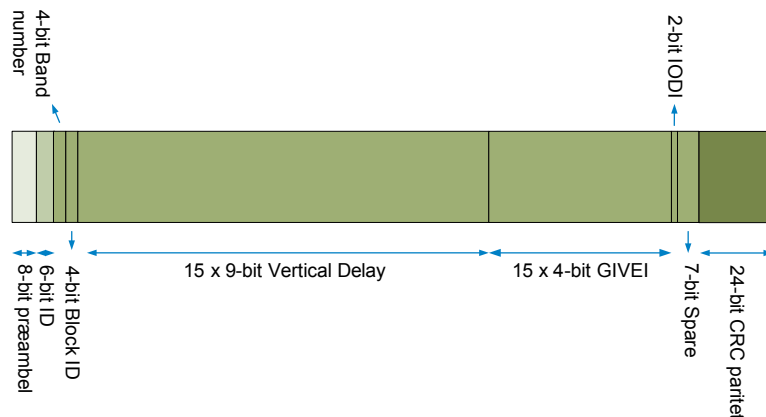
Figur C.9: Datablokformat for meddelellestype 18.

Bånd nr. 3		
Geografisk længde [°]	Geografisk bredde [°]	IGP-nummer
60W	75S, 65S, 55S, ...,55N, 65N, 75N	1-27
55W	55S, ...,55N	28-50
50W	75S, 65S, 55S, ...,55N, 65N, 75N	51-78
45W	55S, ...,55N	79-101
40W	75S, 65S, 55S, ...,55N, 65N, 75N, 85N	102-128
35W	55S, ...,55N	129-151
30W	75S, 65S, 55S, ...,55N, 65N, 75N	152-178
25W	55S, ...,55N	179-201
Bånd nr. 4		
20W	75S, 65S, 55S, ...,55N, 65N, 75N	1-27
15W	55S, ...,55N	28-50
10W	75S, 65S, 55S, ...,55N, 65N, 75N	51-78
5W	55S, ...,55N	79-101
0	75S, 65S, 55S, ...,55N, 65N, 75N, 85N	102-128
5E	55S, ...,55N	129-151
10E	75S, 65S, 55S, ...,55N, 65N, 75N	152-178
15E	55S, ...,55N	179-201
Bånd nr. 5		
20E	75S, 65S, 55S, ...,55N, 65N, 75N	1-27
25E	55S, ...,55N	28-50
30E	75S, 65S, 55S, ...,55N, 65N, 75N	51-78
35E	55S, ...,55N	79-101
40E	85S,75S, 65S, 55S, ...,55N, 65N, 75N	102-128
45E	55S, ...,55N	129-151
50E	75S, 65S, 55S, ...,55N, 65N, 75N	152-178
55E	55S, ...,55N	179-201

Tabel C.6: Placering og nummerering af IGP-punkter over Europa (Bånd 3-5).

cal Error (GIVE) og er defineret på samme måde som UDRE'erne er i forbindelse med fast corrections. [Eurocontrol, 2003, s. 43-48]

Datablokformatet for meddelelsestype 26 fremgår af Figur C.10.



Figur C.10: Datablokformat for meddelelsestype 26.

C.5.1 Implementering af ionosfæreforsinkelseskorrigeringer

Implementeringen af ionosfæreforsinkelseskorrigeringerne er ikke lige så simpel som ved de foregående meddelellestyper. Dette skyldes, at de udsendte korrigeringer som nævnt knytter sig til IGP-punkterne, hvorfor der må ske en interpolation, således at korrigeringerne relaterer dig til modtagerens position. Implementeringen af ionosfæreforsinkelsespositionerne kan inddrages i en 3-trins model:

1. Beregning af signalets skæringspunkt med ionosfæren
2. Valg af IGP-punkter for interpolation
3. Interpolation og beregning af ionosfæreforsinkelse

[Eurocontrol, 2003, s. 48-55]

Beregning af signalets skæringspunkt med ionosfæren

Første del af implementeringen består i at beregne positionen for, hvor signalet fra den enkelte GNSS-satellit til modtageren skærer ionosfæren (Punktet beregnes i 350 km højde, da elektrontætheden antages at være størst i denne højde). Dette punkt kaldes for Pierce Point (PP), se Figur C.11. Indledningsvist beregnes den geografiske bredde for skæringspunktet, efter følgende formel:

$$\Phi_{PP} = \sin^{-1}(\sin(\Phi_u) \cos(\Psi_{PP}) + \cos(\Phi_u) \sin(\Psi_{PP}) \cos(A_i)) \quad , \text{ hvor} \quad (C6)$$

Φ_{PP} = Pierce point latitude (in radian)

Φ_u = User latitude

Ψ_{PP} = Central Earth angle (in radian)

A_i = Azimuth of satellite

[Eurocontrol, 2003, s. 48]

Parametren *central earth angle* beregnes som:

$$\Psi_{PP} = \frac{\pi}{2} - E_i - \sin^{-1}\left(\frac{R_e}{R_e + h_i} \cos(E_i)\right) \quad , \text{ hvor} \quad (C7)$$

E_i = Elevation of satellite

R_e = Earth radius (Sættes til 6386 km i Danmark)

h_i = Height of maximum electron density (Antages at være 350 km)

[Eurocontrol, 2003, s. 48]

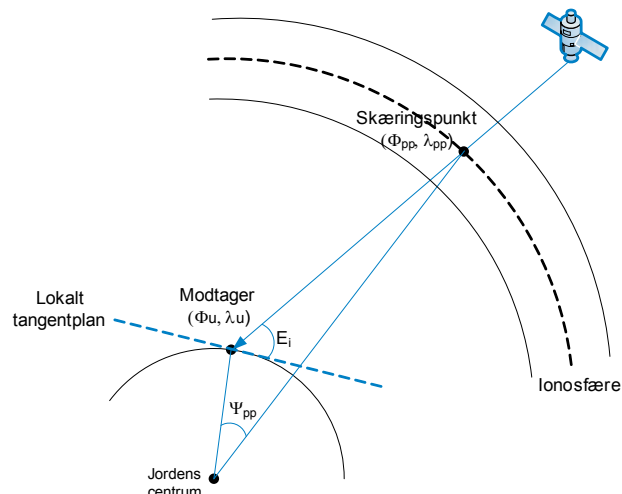
Herefter kan den geografiske længde for skæringspunktet bestemmes som:

$$\lambda_{PP} = \lambda_u + \sin^{-1}\left(\frac{\sin(\Psi_{PP}) \sin(A_i)}{\cos(\Phi_{PP})}\right) \quad , \text{ hvor} \quad (C8)$$

λ_{PP} = Pierce point longitude (in radian)

λ_u = User longitude

[Eurocontrol, 2003, s. 48]



Figur C.11: Skitsering af signalets skæringspunkt med ionosfæren, kaldet Pierce Point.

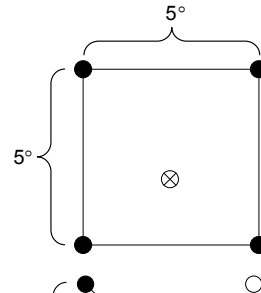
Valg af IGP'er for interpolation

Eftersom skæringspunktets længde og bredde næppe vil være sammenfaldende med et IGP-punkt, skal de vertikale ionosfæreforsinkelseskorrektionerne for de omkringliggende IGP-punkter interpoleres, således at der kan beregnes en vertikal ionosfæreforsinkelseskorrektionerne for skæringspunktet. Inden interpolationen kan beregnes, er det nødvendigt at vælge hvilke IGP-punkter interpolationen skal beregnes ud fra. Hvorvidt der vælges at interpolere ud fra de nærmeste tre eller fire IGP-punkter, afhænger følgelig af hvilke IGP-punkter der udsendes korrektioner for, jf. meddelelsestype 18, men også af modtagerens geografiske placering. Nedenstående fremstilling bygger på en vejledning i valg af IGP-punkter for interpolation, publiceret af Eurocontrol i [Eurocontrol, 2003, s. 49-50]. Overalt i fremstillingen henviser PP til Pierce Point og IGP-masken til meddelelsestype 18. Undervejs findes en række figurer, som illustrerer valgene af IGP-punkter for interpolation. Signaturerne for nedenstående figurer har følgende betydninger:

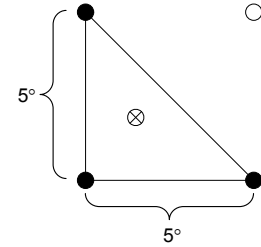
- ⊗ Pierce Point
- Monitoreret og anvendt IGP
- Ikke monitoreret IGP
- Monitoreret IGP , ikke anvendt

Situation 1: Geografisk bredde for Pierce Point = 55°S .. 55°N

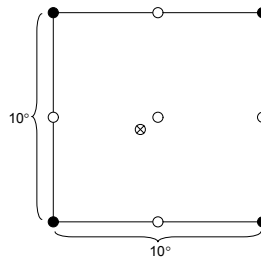
1A) Hvis fire IGP-punkter definerer et 5° × 5° rektangulært område omkring PP, og findes i IGP-masken, vælges alle fire IGP-punkter til interpolation, ellers



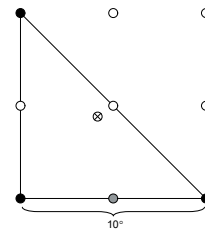
1B) Hvis tre IGP-punkter definerer et 5° × 5° trekantet område omkring PP, og findes i IGP-masken, vælges disse tre IGP-punkter til interpolation, ellers



1C) Hvis fire IGP-punkter definerer et 10° × 10° rektangulært område omkring PP, og findes i IGP-masken, vælges alle fire IGP-punkter til interpolation, ellers



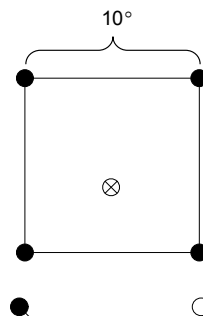
1D) Hvis tre IGP-punkter definerer et 10° × 10° trekantet område omkring PP, og findes i IGP-masken, vælges disse tre IGP-punkter til interpolation, ellers



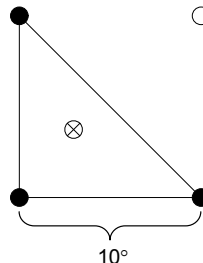
1E) Er ionosfæreforsinkelseskorrektion ikke mulig

Situation 2: Geografisk bredde for Pierce Point = 55°S .. 75°S eller 55°N .. 75°N

- 2A) Hvis fire IGP-punkter definerer et $10^\circ \times 10^\circ$ rektangulært område omkring PP, og findes i IGP-masken, vælges alle fire IGP-punkter til interpolation, ellers



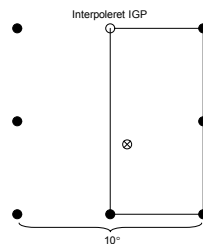
- 2B) Hvis tre IGP-punkter definerer et $10^\circ \times 10^\circ$ trekantet område omkring PP, og findes i IGP-masken, vælges disse tre IGP-punkter til interpolation, ellers



- 2C) Er ionosfæreforsinkelseskorrektion ikke mulig.

Situation 3: Geografisk bredde for Pierce Point = 75°S .. 85°S eller 75°N .. 85°N

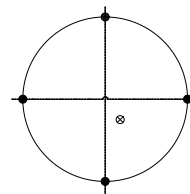
- 3A) Hvis de to nærmeste IGP-punkter ved 75° bredde og de to nærmeste IGP-punkter ved 85° findes i IGP-masken, dannes et $10^\circ \times 10^\circ$ rektangulært område. Området dannes ved lineær interpolation mellem IGP-punkterne ved 85° bredde, således at der dannes et virtuel IGP-punkt, ellers



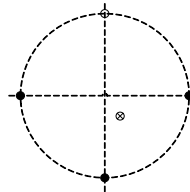
- 3B) Er ionosfæreforsinkelseskorrektion ikke mulig.

Situation 4: Geografisk bredde for Pierce Point > 85°N

- 4A) Hvis fire IGP-punkter ved bredde 85°N og længde 180°W, 90°W, 0° og 90°E findes i IGP-masken, vælges disse IGP-punkter til interpolation, ellers



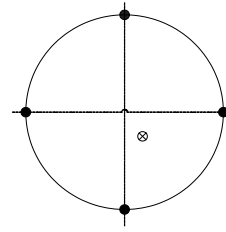
- 4B) Hvis tre af ovenstående IGP-punkter ved bredde 85°N beskriver en halvcirkel som omkranser PP og som findes i IGP-masken, vælges disse IGP-punkter til interpolation, ellers



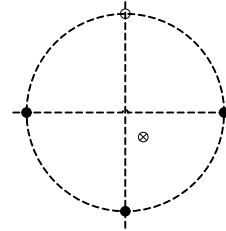
- 4C) Er ionosfæreforsinkelseskorrektion ikke mulig.

Situation 5: Geografisk bredde for Pierce Point > 85°S

- 5A) Hvis fire IGP-punkter ved bredde 85°N og længde 140°W, 50°W, 40°E og 130°E findes i IGP-masken, vælges disse IGP-punkter til interpolation, ellers



- 5B) Hvis tre af ovenstående IGP-punkter ved bredde 85°S beskriver en halvcirkel som omkranser PP og som findes i IGP-masken, vælges disse IGP-punkter til interpolation, ellers



- 5C) Er ionosfæreforsinkelseskorrektion ikke mulig.

Beregning af interpolation

Efter modtageren har bestemt hvilke IGP-punkter der skal interpoleres ud fra, kan interpolationen af ionosfæreforsinkelseskorrektionen til skæringspunktet, PP, påbegyndes. Interpolationen foretages efter metoden 3- eller 4-punkts bilinear interpolation som bl.a. er beskrevet af [Watson, 1992, afsnit 2.5]. Se desuden Figur C.12 og Figur C.13

I de tilfælde hvor der er valgt at interpolere ud fra fire IGP-punkter anvendes følgende formel:

$$\tau_{vpp}(\Phi_{pp}, \lambda_{pp}) = \sum_{i=1}^4 W_i(x_{pp}, y_{pp}) \tau_{vi} \quad \text{, hvor} \quad \text{(C9)}$$

τ_{vpp} = Vertical ionospheric delay at pierce point

τ_{vi} = Vertical ionospheric delay at grid points

x_{pp} = Relative longitude in the interpolation grid, givet ved:

$$x = \frac{\lambda_{pp} - \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \quad \text{, hvor} \quad \text{(Se Figur C.12)}$$

y_{pp} = Relative latitude in the interpolation grid, givet ved:

$$y = \frac{\Phi_{pp} - \Phi_1}{\Phi_2 - \Phi_1} \quad \text{, hvor} \quad \text{(Se Figur C.12)}$$

W_i = Weighting function, givet ved:

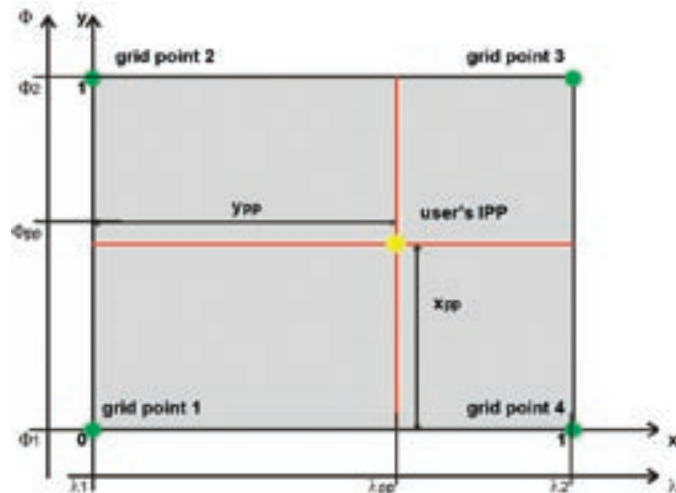
$$W_1(x, y) = xy$$

$$W_2(x, y) = (1-x)y$$

$$W_3(x, y) = (1-x)(1-y)$$

$$W_4(x, y) = x(1-y)$$

[Eurocontrol, 2003, s. 51]



Figur C.12: Interpolation af ionosfæreforsinkelse til pierce point – 4-punktstilfælde [Eurocontrol, 2003, s. 51].

I de tilfælde hvor der er valgt at interpolere ud fra tre IGP-punkter anvendes følgende formel:

$$\tau_{ipp}(\Phi_{pp}, \lambda_{pp}) = \sum_{i=1}^3 W_i(x_{pp}, y_{pp}) \tau_{vi} \quad \text{, hvor} \quad (C10)$$

x_{pp} = Relative longitude in the interpolation grid, givet ved:

$$x = \frac{\lambda_{pp} - \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \quad \text{(Se Figur B.13)}$$

y_{pp} = Relative latitude in the interpolation grid, givet ved:

$$y = \frac{\Phi_{pp} - \Phi_1}{\Phi_2 - \Phi_1}$$

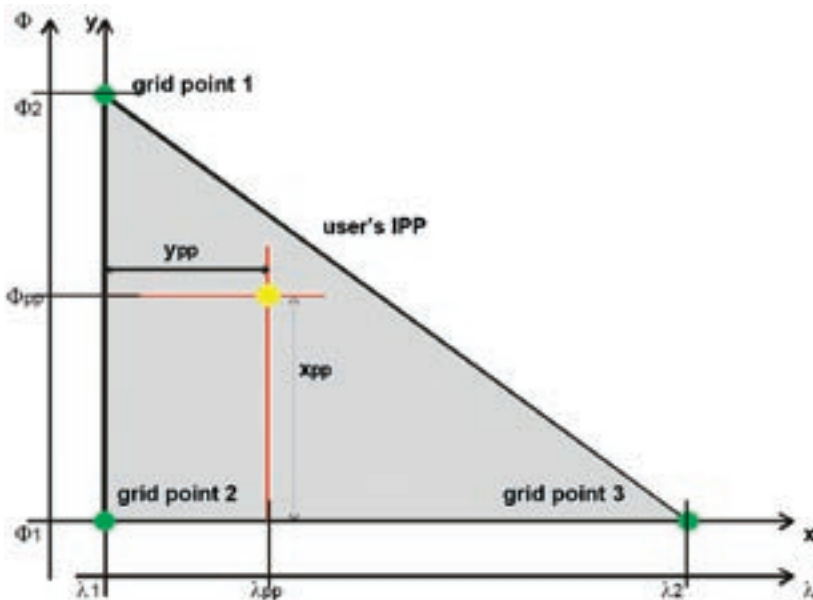
W_i = Weighting function, givet ved:

$$W_1(x, y) = y$$

$$W_2(x, y) = (1 - x - y)$$

$$W_3(x, y) = x$$

[Eurocontrol, 2003, s. 53]



Figur C.13: Interpolation af ionosfæreforsinkelse til pierce point – 3-punktstilfælde [Eurocontrol, 2003, s. 54].

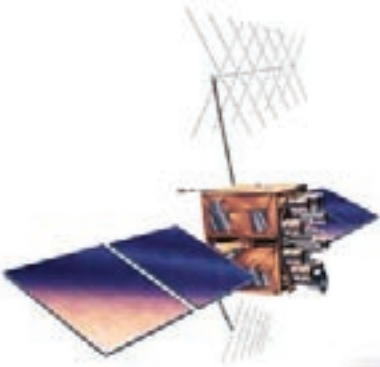
Efter beregningen af den vertikale ionosfæreforsinkelse i skæringspunktet er overstået, kan den skrå ionosfæreforsinkelse i skæringspunktet beregnes som:

$$RC_{iono} = \left(1 - \left(\frac{R_e \cos(E_f)}{R_e + h_f} \right)^2 \right)^{-1/2} \cdot r_{ypp} \quad (C11)$$

[Eurocontrol, 2003, s. 55]

C.6 Degradering af udsendte meddelelser

Af hensyn til båndbredden er det ikke muligt at udsende alle meddelelsestyper hvert sekund. De udsendte meddelelser varierer over tid, og det er således nødvendig at korrigere størrelsen af de udsendte UDRE'er og PRC'er afhængigt af hvor længe det er siden den pågældende meddelelse er udsendt. Til dette formål anvendes meddelelsestype 7 og 10, der indeholder henholdsvis oplysninger om hastigheden for degradingen af de udsendte UDRE'er og PRC'er der findes i meddelelsestype 2-5, 6, 25 og 26 (fast corrections, integrity information, slow corrections og ionospheric corrections). Meddelelsestype 7 og 10 indeholder desuden oplysninger om hvor længe den pågældende meddelelse er gældende, varierende fra 240 – 360 sekunder afhængigt af anvendelsen. [Eurocontrol, 2003, s. 23 - 25]



APPENDIKS

D

NMEA

Dette appendiks indeholder en beskrivelse af NMEA 0183-standarden, og er medtaget, fordi projektgruppen under pilottesten har benyttet standarden til at udlæse data fra de anvendte modtagere. [The National Marine Electronics Association, 2002]

National Marine Electronics Association har udviklet NMEA 0183-standarden som en specifikation, der definerer kommunikationen og interface mellem forskellige maritime instrumenter. NMEA-standarden muliggør dataudveksling mellem elektroniske instrumenter. Et eksempel herpå er, når en håndholdt GNSS-modtager tilsluttes en computer der indeholder et kortværk, hvorved modtagerens position løbende vises på kortet, hvilket muliggør, at modtageren anvendes til navigationsformål.

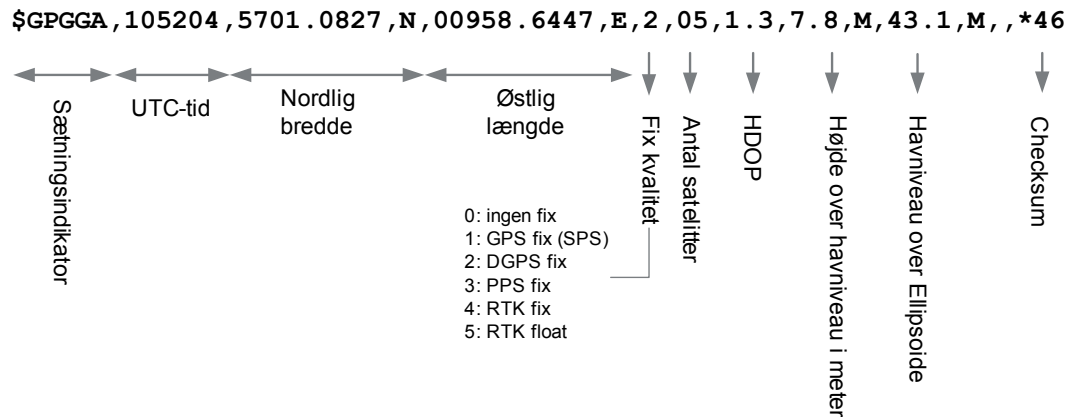
De informationer, der sendes via NMEA-standarden betegnes sætninger eller strenge, og indeholder hver især forskellige oplysninger. Der findes en lang række prædefinerede sætninger, og derudover er der også mulighed for at en modtagerproducent kan fremstille egne sætningstyper.

En sætning startes altid med et '\$' og ender med et linieskift. Længden på de forskellige sætningstyper varierer alt efter deres indhold, men kan ikke være længere end 80 karakterer. Selve sætningen er læsbar i ASCII-format, og der skal derved ikke foretages nogen konvertering før informationerne i sætningen kan bruges. De sætninger, der udsendes fra GNSS-modtagere, indeholder efter '\$' tegnet bogstaverne GP, som efterfølges af tre bogstaver der kaldes sætningens ID. Sætningens indhold bestemmes af det ID der står forrest i sætningen. Indholdet af sætningen kan både være tal og bogstaver som adskilles af komma'er. Til sidst i sætningen findes et '*' efterfulgt af to karakterer i hex-format. Denne slutning kaldes en checksum, og kan bruges til at afgøre, om hele sætningen er modtaget korrekt. Checksummen beregnes i modtageren ud fra sætningens indhold omskrevet til binært format, hvorefter der udføres en række regneoperationer. Efterfølgende omregnes checksummen til hex-format og skrives sidst i sætningen. Ved efterfølgende at anvende samme algoritme, som modtageren anvendte da NMEA-sætningen blev dannet, kan det kontrolleres at der ikke er sket fejl i datatransmissionen mellem modtager og computer. [Dodds, 2003] og [DePriest, 2006]

I pilottesten har projektgruppen gjort brug af to forskellige sætninger, GGA og GSA, disse vil i det efterfølgende blive gennemgået. For yderligere informationer henvises der til [DePriest, Dale, 2006].

D.1 GGA

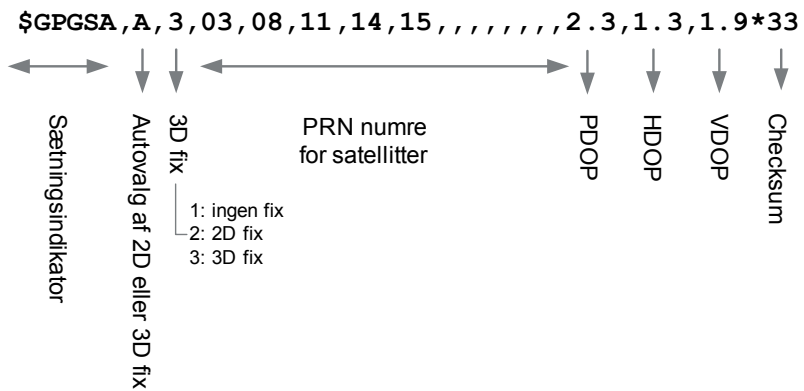
GGA-sætninger indeholder oplysninger omkring den beregnede position og forskellige andre informationer, se Figur D.1. UTC-tiden kan bruges som ID til den målte position. Desuden angives et kvalitetsmål for positionen kaldet *Fix kvalitet*. Højden over ellipsoiden er angivet ved to forskellige værdier som summeres; Først højden over havniveauet og dernæst havniveauets højde over WGS84-ellipsoiden. Sidst i sætningen er checksummen som før nævnt angivet. En GGA-sætning indeholder kun oplysning om den aktuelle position af modtageren. For at måle med en GNSS-modtager i længere tid, er det derfor nødvendigt at indsamle flere GGA-sætninger. På nogle modtagere kan opdateringsfrekvensen indstilles således, at der sendes en GGA-sætning med et bestemt interval, f.eks. 1 Hz.



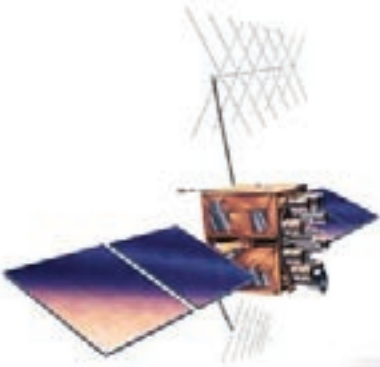
Figur D.1: Eksempel på GGA sætningens indhold.

D.2 GSA

Indholdet af GSA-sætningen er vist i Figur D.2. I sætningen er der plads til 12 PRN-numre for de satellitter der er brugt til positionsberegningen. Derudover fremgår der også forskellige DOP-værdier. Disse benyttes af projektgruppen til at kvalitetsbestemme målingerne foretaget i pilottesten. Efter sætningsindikatoren fremgår det hvilket fix der er brugt til positionsbestemmelsen. (Se desuden Figur D.2) Sætningen indeholder ikke et tidsstempel og derfor kan den ikke identificeres med et unikt ID på baggrund heraf. Hvis modtageren er sat op til at måle med f.eks. 1 Hz vil der umiddelbart efter hver GGA-sætning fremkomme en GSA-sætning.



Figur D.2: Eksempel på GSA sætningens indhold.



APPENDIKS

E

RINEX-FORMAT V.2.10

Formålet med dette appendiks er kort at præsentere strukturen af RINEX-formatet (Receiver Independent Exchange Format), med hensyn til opbygning og indhold. Dette gøres idet forståelsen af formatet er essentielt for bl.a. at kunne påføre diverse korrektioner til pseudoafstandene som det skal gøres i forbindelse med problemformuleringens spørgsmål I.

RINEX-formatet blev oprindeligt udviklet til brug ved målekampagnen forud for implementeringen af EUREF89, og er udviklet med det formål at sikre mulighed for at anvende ét format til udveksling af observationer fra GPS og andre GNSS-systemer i ASCII-format. RINEX-formatet definerer følgende seks filtyper:

1. Observation Data File
2. Navigation Data File
3. Meteorological Data File
4. GLONASS Navigation File
5. GEO Navigation Message File
6. Satellite and Receiver Clock Date File

[Gurtner, 2001]

I forbindelse med denne projektrapport er det kun de to første filtyper der anvendes, og det er således valgt kun at præsentere indhold og opbygning af disse.

Alle RINEX-filer er opbygget efter samme overordnede princip, bestående af en headersektion med bl.a. metadata og derefter en datasektion med selve observationerne. RINEX-formatet er et fleksibelt format, hvor brugeren i vid udstrækning kan definere indholdet af headeren. Jævnfør formålet med dette appendiks kan det ikke forsvares at give en detaljeret beskrivelse af alle de oplysninger der kan indgå i headeren på en RINEX-fil, da det interessante i denne kontekst er observationerne. Det er derfor valgt kun at beskrive det væsentligste indhold i en observations- og en navigationsfil med udgangspunkt i eksempler der stammer fra observationer indsamlet i forbindelse med de gennemførte tests.

E.1 Observation Data File

Af Figur E.1 fremgår et eksempel på indholdet i en RINEX-observationsfil dannet ud fra observationer indsamlet med R8-modtageren. Første post beskriver hvilken RINEX-version der er anvendt, i dette tilfælde version 2.10. Efterfølgende fremgår det hvilket program der er anvendt til at danne RINEX-filen, i dette tilfælde DAT2RINW, som er en applikation til Trimble Geomatics Office og det fremgår hvornår konverteringen er gennemført. Lidt senere i headeren findes en post der hedder *APPROX POSITION XYZ*. Denne angiver en foreløbig position, som i forbindelse med dette projekt bl.a. kan anvendes når der ved besvarelsen af spørgsmål I skal beregnes pierce points, hvilket kræver en omtrentlig position for modtageren. Posten *WAVELENGTH FACT L1/2* kan antage tre forskellige værdier: '1' angiver at den anvendte modtager måler i hele bølgelængder, '2' angiver at der måles i halve bølgelængder og et '0' på postens anden plads angiver at der er anvendt en enkeltfrekvent modtager der kun måler på L1. I eksemplet i Figur E.1, er der således anvendt en dobbeltfrekvent modtager der måler i hele bølgelængder.

Den næste post *#TYPES OF OBSERV* beskriver hvor mange og hvilke observationer der indgår i observationsdelen af den pågældende fil. I eksemplet indgår således:

- Antallet af hele bølgelængder på L1
- Pseudoafstanden målt på C/A-koden på L1 i meter
- Antallet af hele bølgelængder på L2
- Pseudoafstanden målt på P-koden på L1 i meter

Af observationssektionen i eksemplet, Figur E.1, fremgår det at denne RINEX-fil kun indeholder observationer for tre epoker. Hver epoke indledes med angivelse af tidspunktet for pågældende epoke, angivet efter formatet: år, måned, dag, time, minut og sekund angivet i GPS-tid. Efter tidsangivelsen er der et tal, kaldet *event flag*, der kan variere fra 0 – 5, hvor '0' betyder OK, og andre værdier betyder at der er ændringer i forhold til foregående epoke. Efter værdien for *event flag*, angives antallet af satellitter anvendt i pågældende epoke. I de tre epoker i eksemplet har der således indgået 7 satellitter i hver. Tallene efter antallet af satellitter er PRN numre på de anvendte satellitter. [Gurtner, 2001]

Efter den første linie i hver epoke, som indeholder oplysninger om tid og anvendte satellitter, følger et antal linier svarende til antallet af satellitter. Disse angiver selve observationerne. Hver linie består i eksemplet af fire tal, som refererer til rækkefølgen angivet i punktopstillingen ovenfor. I eksemplet er pseudoafstanden målt på C/A-koden således angivet ved det andet tal i hver linie.

E.2 Navigation Data File

Navigationensfilen indeholder oplysninger om de satellitter, der indgår i observationerne og er dermed ikke specifik i forhold til brugerens position. Navigationsfilen kan evt. downloades efter at opmålingen er gennemført, når blot navigationsfilen gælder for det tidsrum, der er målt, og for de satellitter der har indgået i opmålingen.

Af Figur E.2 fremgår det, at de første linier i headeren indeholder samme informationer som det er tilfældet i observationsfilen. Derefter fremgår ionosfærekorrektioner som stammer fra almanakfilen samt informationer som muliggør omregning til UTC-tid. *Leap Seconds*, som

Header	2.10	OBSERVATION DATA				G (GPS)	RINEX VERSION / TYPE													
	DAT2RINW 3.10 001	AM				27MAR06 11:46:09	PGM / RUN BY / DATE													
	AM	AAU					OBSERVER / AGENCY													
	4546101125	Trimble R8 GNSS	Nav 3.10 Sig 0.00			REC # / TYPE / VERS														
	0000000000	Internal Model 2					ANT # / TYPE													
	-----						COMMENT													
	Offset from BOTTOM OF ANTENNA to PHASE CENTER is 0.0 mm						COMMENT													
	-----						COMMENT													
	1125						MARKER NAME													
	1125						MARKER NUMBER													
	3427695.5050		603001.5397	5327036.2596			APPROX POSITION XYZ													
	0.0000		0.0000	0.0000			ANTENNA: DELTA H/E/N													
	-----						COMMENT													
	Note: The above offsets are NOT corrected.						COMMENT													
	-----						COMMENT													
1	1	0				WAVELENGTH FACT L1/2														
4	L1	C1	L2	P2	# / TYPES OF OBSERV															
1.000						INTERVAL														
2006	3	21	11	32	15.0000000															
2006	3	21	11	32	17.0000000															
0						TIME OF FIRST OBS														
7						TIME OF LAST OBS														
1	3	3	3	3	RCV CLOCK OFFS APPL															
3	3	3	3	3	# OF SATELLITES															
11	3	3	3	3	PRN / # OF OBS															
14	3	3	3	3	PRN / # OF OBS															
19	3	3	3	3	PRN / # OF OBS															
22	3	3	3	3	PRN / # OF OBS															
28	3	3	3	3	PRN / # OF OBS															
						END OF HEADER														
Observationer	06	3	21	11	32	15.0000000	0	7	1	3	11	14	19	22	28					
																	629142.09805	23990206.12605	-2721382.05546	23990203.15146
																	2081146.15606	23358701.93206	4040651.92647	23358698.14847
																	-4220673.47307	21268246.53507	-3246717.59848	21268240.87248
																	-3841413.36706	22334610.82506	-2953490.56347	22334605.87347
																	1571033.21907	20935978.55407	1225514.43849	20935971.52949
																	3305483.15206	22224546.94906	2563559.68848	22224540.53848
																	-2172430.12106	23353276.54206	-1663398.88747	23353271.43347
	06	3	21	11	32	16.0000000	0	7	1	3	11	14	19	22	28					
																	606001.39505	23985802.58205	-2739413.76246	23985799.81046
																	2093547.59005	23361062.07405	4050315.41447	23361057.35547
																	-4237211.50007	21265099.27607	-3259604.36348	21265093.63548
																	-3855981.82806	22331838.67606	-2964842.59448	22331833.52748
																	1573370.48807	20936423.47707	1227335.69149	20936416.36549
																	3312577.29707	22225897.06607	2569087.58248	22225890.43848
																	-2181539.29706	23351542.60106	-1670496.94147	23351538.47947
	06	3	21	11	32	17.0000000	0	7	1	3	11	14	19	22	28					
																	582865.07005	23981399.39805	-2757442.09446	23981396.75246
																	2105953.76605	23363422.03305	4059982.53547	23363418.24647
																	-4253740.32407	21261954.12607	-3272483.95348	21261948.34048
																	-3870535.71907	22329069.45207	-2976183.31648	22329064.34548
																	1575721.47307	20936870.61707	1229167.61749	20936863.79649
																	3319680.54706	22227249.01606	2574622.58648	22227242.01148
																	-2190632.85906	23349812.39806	-1677582.82447	23349807.52147

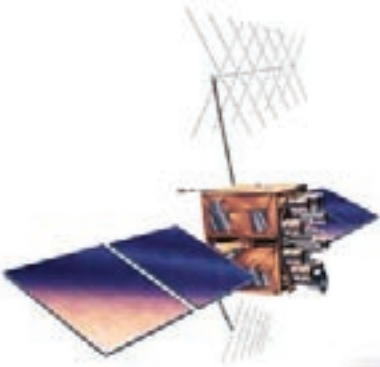
Figur E.1: Eksempel på RINEX observations-fil.

er angivet til '14', hvilket er forskellen mellem UTC- og GPS-tid, som var synkroniseret 6. jan. 1980. [U.S.Naval Observatory, 2006]

I observationssektionen af headeren, findes der en eller flere poster om hver af de satellitter der har indgået i positionsberegningen. Hver post indledes med et PRN-nummer for pågældende satellit samt et tidspunkt, efterfulgt af satellitrets *clock bias*, *clock drift* og *clock drift rate*. De efterfølgende linier indeholder bl.a. efemeridedata, korrektionskoefficienter for de påvirkninger af satellitbanen der bl.a. skyldes jordens tyngdefelt samt oplysninger om satellitbanens inklination og excentricitet. For en nærmere beskrivelse af indholdet i navigationsfilen henvises til [Gurtner, 2001] og [Calais, 2006].

Header		2.10	NAVIGATION DATA	G (GPS)	RINEX VERSION / TYPE
		DAT2RINW 3.10 001	AM	27MAR06 11:46:09	PGM / RUN BY / DATE
					COMMENT
		.1118D-07	.7451D-08	-.5960D-07	-.5960D-07
		.9011D+05	.0000D+00	-.1966D+06	-.6554D+05
		.106581410364D-13	.931322574615D-09	405504	1367 DELTA-UTC: A0,A1,T,W
		14			LEAP SECONDS
					END OF HEADER
		1 06 3 21 12 0 0.0	.425982289016D-04	.193267624127D-11	.000000000000D+00
		.920000000000D+02	-.699687500000D+02	.365158067442D-08	.198080476200D+01
		-.363774597645D-05	.625092315022D-02	.667944550514D-05	.515368560600D+04
		.216000000000D+06	.651925802231D-07	-.259180539197D+01	-.126659870148D-06
		.987295992224D+00	.263375000000D+03	-.170871345244D+01	-.765889045210D-08
		.775032283206D-10	.100000000000D+01	.136700000000D+04	.000000000000D+00
		.340000000000D+01	.000000000000D+00	-.325962901115D-08	.920000000000D+02
		.213282000000D+06	.400000000000D+01		
		3 06 3 21 12 0 0.0	.836290419102D-04	.306954461848D-11	.000000000000D+00
		.640000000000D+02	.147812500000D+02	.538486715847D-08	.257628553837D+01
		.694766640663D-06	.792584940791D-02	.891648232937D-05	.515367629433D+04
		.216000000000D+06	-.117346644402D-06	.421970568585D+00	-.968575477600D-07
		.926686911452D+00	.188906250000D+03	.662863100555D+00	-.816176854185D-08
		-.281440294547D-09	.100000000000D+01	.136700000000D+04	.000000000000D+00
		.340000000000D+01	.000000000000D+00	-.419095158577D-08	.320000000000D+03
		.212748000000D+06	.400000000000D+01		
		11 06 3 21 12 0 0.0	.315011944622D-03	.261479726760D-11	.000000000000D+00
		.230000000000D+02	.910312500000D+02	.599917846129D-08	.103323512945D+01
		.492483377457D-05	.537180644460D-02	.680424273014D-05	.515369728661D+04
		.216000000000D+06	.260770320892D-07	.141643959340D+01	.558793544769D-07
		.897845026552D+00	.211968750000D+03	.367098721901D+00	-.874715006820D-08
		-.248581783000D-09	.100000000000D+01	.136700000000D+04	.000000000000D+00
		.240000000000D+01	.000000000000D+00	-.116415321827D-07	.279000000000D+03
		.212748000000D+06	.400000000000D+01		
		14 06 3 21 12 0 0.0	-.174436718225D-04	.682121026330D-12	.000000000000D+00
		.670000000000D+02	-.625000000000D+02	.362229374022D-08	.289481640701D+01
		-.321120023727D-05	.233025371563D-02	.652298331261D-05	.515363258934D+04
		.216000000000D+06	.186264514923D-08	-.261921830141D+01	.000000000000D+00
		.985686763319D+00	.266031250000D+03	-.198115208655D+01	-.767746265428D-08
		.732173355102D-10	.100000000000D+01	.136700000000D+04	.000000000000D+00
		.240000000000D+01	.000000000000D+00	-.931322574615D-08	.670000000000D+02
		.212748000000D+06	.400000000000D+01		
		19 06 3 21 12 0 0.0	-.181673094630D-04	.125055521494D-11	.000000000000D+00
		.920000000000D+02	.320000000000D+02	.467269463649D-08	-.233624496161D+01
		.172667205334D-05	.325855670962D-02	.917725265026D-05	.515357940292D+04
		.216000000000D+06	.260770320892D-07	.571285880007D+00	.819563865662D-07
		.958576222947D+00	.200843750000D+03	-.133150985505D+01	-.782389732530D-08
		-.251081887140D-09	.100000000000D+01	.136700000000D+04	.000000000000D+00
		.240000000000D+01	.000000000000D+00	-.144354999065D-07	.348000000000D+03
		.212748000000D+06	.400000000000D+01		
		22 06 3 21 12 0 0.0	.780671834946D-04	.341060513165D-11	.000000000000D+00
		.600000000000D+01	.115625000000D+02	.448697261471D-08	-.272611871987D+01
		.623986124992D-06	.473800476175D-02	.344403088093D-05	.515368812370D+04
		.216000000000D+06	.353902578354D-07	.265886249630D+01	-.260770320892D-07
		.956285084038D+00	.312312500000D+03	-.157094792900D+01	-.812748139937D-08
		-.151792037033D-09	.100000000000D+01	.136700000000D+04	.000000000000D+00
		.485000000000D+01	.000000000000D+00	-.181607902050D-07	.262000000000D+03
		.212748000000D+06	.400000000000D+01		
		28 06 3 21 12 0 0.0	.310647301376D-04	-.795807864051D-12	.000000000000D+00
		.460000000000D+02	-.245312500000D+02	.477127017113D-08	-.185920858535D+01
		-.131689012051D-05	.112133105285D-01	.661797821522D-05	.51536591812D+04
		.216000000000D+06	.160187482834D-06	-.517090160412D+00	-.353902578354D-07
		.960321427162D+00	.246906250000D+03	-.227117835483D+01	-.786461330700D-08
		.223580741607D-09	.100000000000D+01	.136700000000D+04	.000000000000D+00
		.340000000000D+01	.000000000000D+00	-.102445483208D-07	.460000000000D+02
		.212748000000D+06	.400000000000D+01		

Figur E.2: Eksempel på RINEX Navigations-fil.



APPENDIKS

F

RINEX2ENH

For at beregne positioner ud fra RINEX-observationsfiler skal der fremstilles et program der kan foretage beregningerne. Kravene til programmet opstilles i Tabel F.1 således at programmeringen kan foretages på baggrund heraf.

Krav vedrørende	Implementering
Input	<ul style="list-style-type: none">- Programmet skal kunne indlæse en liste af RINEX-observationsfiler med observationer fra de anvendte modtagere.- Programmet skal kunne indlæse en RINEX-navigationsfil for den periode som RINEX-observationsfilerne dækker.
Output	<ul style="list-style-type: none">- Programmet skal kunne udskrive en ENh-fil for hver indlæst RINEX-observationsfil.- ENh-filen skal indeholde positioner i UTM32/WGS84 og ellipsoidehøjder.
Beregninger	<ul style="list-style-type: none">- Programmet skal, for hver indlæst RINEX-observationsfil beregne positioner for hver epoke i RINEX-observationsfilen.- Programmet skal kunne behandle RINEX-observationsfiler for modtagere, som har indsamlet observationer henholdsvis som stand-alone GPS og EGNOS-realtime.

Tabel F.1: Kravspecifikation for programmering af rutine til at fremstille ENh-filer.

F.1 Programmering: *RINEX2ENh.m*

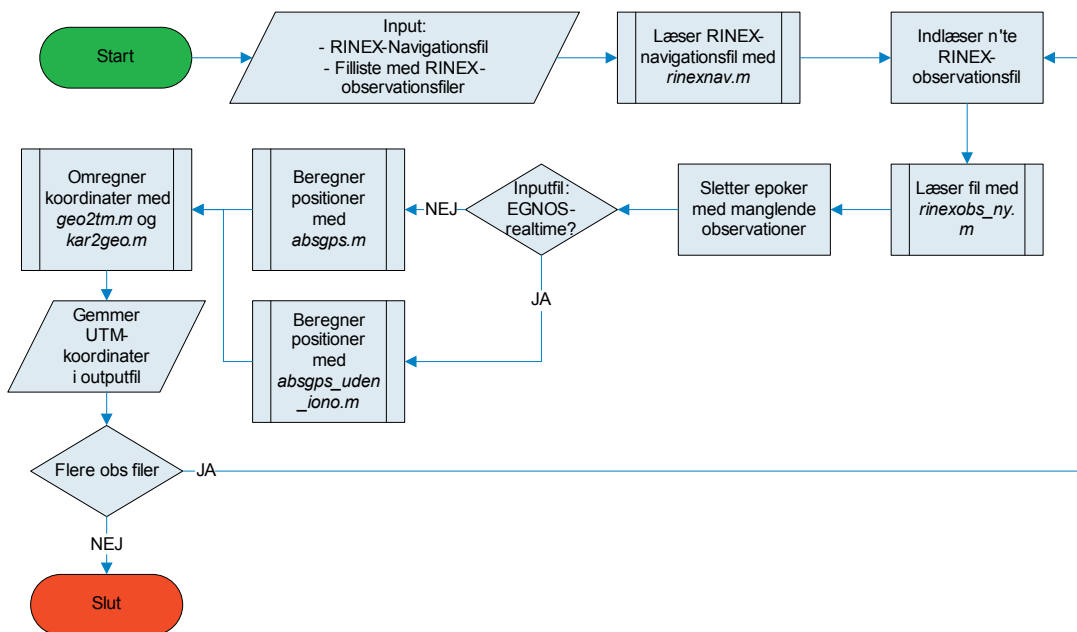
Når kravspecifikationen er opstillet, kan programmeringen opstartes ved at påbegynde designet af programmets hovedstruktur, High-Level design, jf. V-modellen præsenteret i Afsnit 1.1 (Projektstruktur). Herefter kan den mere detaljerede del af programmets enkelte bestanddele opbygges og gennemtestes inden programmet færdiggøres.

I Figur F.1 ses et flowdiagram over *rinex2ENh.m*. Programmet kan deles op i tre dele: En indlæsnings-, en beregnings- samt en udlæsningsdel.

Indlæsningsdel

I indlæsningsdelen af programmet indlæses en RINEX-navigationsfil som indeholder navigationsdata for den periode som der også indlæses RINEX-observationsfiler.

Ved hjælp af et subscript kaldet *rinexnav.m*, udviklet af lektor Peter Cederholm ved Aalborg Universitet, konverteres den indlæste RINEX-navigationsfil til en matrice.



Figur F.1: Dataflow for *rinex2ENh.m*.

Projektgruppen har valgt at downloade RINEX-navigationsfiler fra CORS (Continuously Operating Reference Stations). Disse RINEX-navigationsfiler kan frit downloades fra <http://www.ngs.noaa.gov/CORS/download2/>.

Fra CORS er downloadet globale navigationsfiler som hver dækker et døgn. Begrundelsen for at benytte disse navigationsfiler, er at sikre et ens grundlag for beregning af positioner for alle modtagere, samt sikre, at alle satellitter indgår i navigationsfilerne. Scriptet *rinex2ENh.m* eksekveres én gang for hver dag, således at der beregnes ENh-filer for fire modtagere: To modtagere med EGNOS-realtime og to modtagere med stand-alone GPS.

Herefter gennemløbes en løkke for hver indlæst observationsfil. Observationsfilen konverteres til en matrice ved at benytte *rinexobs_ny.m* som oprindeligt er udviklet af Peter Cederholm under navnet *rinexobs.m*. Projektgruppen har editeret *rinexobs.m* således at epoker, hvor der er fejl i den indlæste RINEX-observationsfil skrives i en matrice som indeholder rækkenumre for de epoker, hvor fejlen opstår. Fejl i observationerne er typisk forkerte pseudoafstande og opstår oftest i den første epoke, efter at en ny satellit indgår i løsningen.

Efter nærmere undersøgelse, som projektgruppen har forestået, sker der, hvis fejlepoken beholdes, store fejl i den efterfølgende positionsberegning. For at undgå dette, har projektgruppen valgt at slette fejlepoken plus den efterfølgende epoke.

Beregningsdel

Beregningsdelen af programmet indeholder selve positionsberegningen af de rå RINEX-observationer. Da observationerne fra de modtagere, der har målt med EGNOS-realtime, allerede er korrigeret for ionosfæreforsinkelsen, skal der ikke tages højde for dette i positionsberegningen med *absgps.m*. Derfor skal det afgøres hvorvidt den n'te RINEX-observationsfil stammer fra en modtager der har målt med stand-alone GPS eller EGNOS-realtime, da den videre beregning er afhængig heraf.

Beregningen af positioner foretages som beskrevet med *absgps.m*, udviklet af Peter Cederholm for de observationer der er indsamlet med stand-alone GPS. En editeret udgave af *absgps.m* kaldet *absgps_uden_iono.m* benyttes til de observationer der stammer fra de to modtagere der har indsamlet observationer med EGNOS-realtime. I forbindelse med beregningen af positioner bruges efemeridedata fra navigationsfilen som ikke må være mere end fire timer gamle. Hvis det er tilfældet, medtages satellitten ikke i beregningen. Hvad enten *absgps_uden_iono.m* eller *absgps.m* benyttes til positionsberegningen anvendes der endvidere en række subscripts som beregner de forskellige korrektioner og værdier der skal bruges til processeringen af de absolutte kodepositioner, se oversigten over Matlab-scripts, bagest i rapporten.

Begrundelsen for at anvende de scripts, som Peter Cederholm har udviklet, er at det ikke er dette projekts fokusområde at beregne absolutte GPS-positioner, men derimod om EGNOS-realtime medfører forbedringer eller ej.

Resultatet af positionsberegningen er kartesiske koordinater som efterfølgende skal omregnes til UTM32/WGS84 og højder refereret til WGS84-ellipsoiden. Omregning foretages med *kar2geo.m* og *geo2tm.m*.

Udlæsningsdel

De beregnede UTM-koordinater og ellipsoidehøjder gemmes endeligt for hver indlæst RINEX-observationsfil i en koordinatfil, med samme navn som den n'te RINEX-observationsfil. I koordinatfilen gemmes endvidere andre relevante oplysninger omkring beregningen af koordinaterne. Disse andre oplysninger kan benyttes til at kvalitetsbedømme de indsamlede observationer yderligere.

Dette afgangsprøjsjekt omhandler det europæiske satellitnavigationsstøttesystem, EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service), herunder systemets anvendelsesmuligheder i en landmålingsmæssig kontekst. I foranalysen gennemføres en mindre test som antyder, at jo højere kvalitet af GPS-modtagere der anvendes, jo større forbedringer er det muligt at opnå ved anvendelse af EGNOS i realtime.

I projektets problemanalyse tages der udgangspunkt i tre problemstillinger:

For det første udvikler projektgruppens software til at foretage postprocessering, hvor EGNOS-korrektioner påføres stand-alone GPS observationer. Det lykkes ikke konsekvent at opnå forbedret præcision og nøjagtighed ved postprocesseringen, på trods af at ESA's anvisninger for anvendelse af EGNOS-korrektioner følges.

For det andet analyseres det om kvaliteten af EGNOS-korrektionerne er varierende over tid. Analysen viser, at der er stor forskel på effekten af at anvende EGNOS på forskellige tidspunkter af døgnet. I testperioden medfører det store forbedringer at anvende EGNOS i realtime i tidsrummet 2-12 (UTC), mens der ikke er nogen synlig effekt de resterende timer af døgnet.

Den tredje del undersøger hvorvidt de integritetsoplysninger der udsendes via EGNOS kan anvendes som kvalitetsindikatorer ved landmålingsopgaver hvor der benyttes GNSS. Ud fra projektgruppens analyser kan det ikke påvises at integritetsmeddelelserne direkte kan anvendes som kvalitetsindikatorer.

This master thesis discusses the European Geostationary Navigation Overlay Service, EGNOS, and focus specifically upon the applications of this system through the context of land surveying. From the project's preliminary analysis, it can be concluded that the use of better GPS receivers, will allow more significant improvements to be achieved by using EGNOS in real time.

The project's main analysis is based upon three issues:

First of all; the project group develops software to perform post processing, where EGNOS-corrections are applied to stand-alone GPS observables. It fails to sequentially achieve improved precision and/or accuracy with the post processing procedure, in despite the fact that the guidelines from ESA concerning application of EGNOS-corrections, are followed.

Secondly it is analyzed whether the quality of the EGNOS-corrections varies over time. The analysis shows great differences on the influence of using EGNOS depending of the time of the day. During the test period it shows great improvements to use EGNOS in real time in the hours from 2-12 (UTC), while no improvements are seen throughout the remaining parts of the day.

The third part concerns determination of whether the integrity messages broadcasted by EGNOS are applicable as quality indicators in relation to land survey applications, when using GNSS. From the analysis carried out it cannot be proved that the integrity messages directly can be applied as quality indicators.