

RTK i landinspektørbranchen

- en kvalitetsundersøgelse af RTK-tjenester



Søren Asbjørn Madsen

**Afgangprojekt 2008
Landinspektøruddannelsen
Aalborg Universitet**

Titel: RTK i landinspektørbranchen
- en kvalitetsundersøgelse af RTK-tjenester

Projektperiode: 1. februar 2008 – 11. juni 2008

Forfatter: Søren Asbjørn Madsen

Hovedvejleder: Karsten Jensen
Bivejleder: Peter Cederholm
Sideantal: 98
Bilagsantal: 16
Oplagstal: 4 stk.

Forsideillustration: Testopstilling i målepunkt nr. 01 på Spraglehøj i Stenløse.

Projektet må citeres med tydelig angivelse af kilde.

Synopsis

Dette afgangsprøjsjekt omhandler RTK i landinspektørbranchen, og tager udgangspunkt i de to landsdækkende RTK-tjenester i Danmark: GPSnet og GPS-referencen. GPS-referencen er med Spidernet begyndt at udbyde RTK-korrektioner baseret på en ny netværksteknologi, som endnu ikke er blevet testet i Danmark.

Foranalysen omhandler de to RTK-tjenester, som udbyder korrektioner baseret på tre forskellige teknologier. Gennem interviews med tre landinspektørfirmaer samt behandling af *Norm for RTK-tjenester*, som er et nyt tiltag fra KMS, er det fundet interessant at undersøge tjenesternes præcision og nøjagtighed samt initialisering, herunder initialiseringstid og reinitialiseringens betydning for rigtigheden.

Dataindsamlingen er foretaget med én antenne, hvorfra signalet er splittet ud til tre ens Trimble R7 GNSS-modtagere. Dette betyder at tjenesterne er testet under helt ens forhold. For at kunne undersøge nøjagtigheden er målingerne foretaget i syv REFDK og 10 km punkter.

Abstract

The subject of this thesis is the RTK in the chartered surveyor industry and is based on the two nationwide RTK-services in Denmark: GPSnet and GPS-referencen. GPS-referencen offers RTKkorrektioner based on a new Spidernet networktechnology, which has not yet been tested in Denmark.

The section 'Foranalyse' is about the two RTKServices, which offer corrections based on three different technologies. Through interviews with three chartered surveyor firms and processing of 'Norm for RTK-tjenester', which is a new initiative from KMS, it is considered interesting to examine the precision, accuracy and initializing of the services, including initializing time and reinitializing importance of accuracy.

The data collection has been made with one antenna, from which the signal is divided out to three identical Trimble R7 GNSS-receivers. This means that the services are tested under identical conditions. To investigate the accuracy, the measurements are made in seven REFDK and 10 km points.

Aalborg Universitet

Institut for samfundsudvikling og planlægning
Landinspektøruddannelsen
Fibigerstræde 11
9220 Aalborg Øst

Forord

Dette afgangsprøjsjekt er udarbejdet på landinspektøruddannelsens 10. semester, Measurement Science, på Aalborg Universitet. Prøjsket er udarbejdet i perioden februar til juni 2008. Prøjsket omhandler RTK i landinspektørbranchen og herunder en undersøgelse af de tre RTK-teknologier, som udbydes af GPS-referencen og GPSnet. Rapporten henvender sig primært til vejledere og censor, men kan læses af alle med interesse for RTK-opmåling.

Rapporten er inddelt i 12 kapitler, som er fortløbende nummereret. Figurer og tabeller er ligeledes begge fortløbende nummereret. Topografiske kort er gengivet i overensstemmelse med Aalborg Universitets aftale med KMS om copyright: G24-98.

Kildehenvisninger er for publikationer angivet med [forfatterens efternavn, udgivelsesår], for hjemmesider angivet med [hoveddomæne, besøgsår] og for interviews/samtale/e-mail angivet med [efternavn, år]. I kildelisten findes yderligere oplysninger om den enkelte kilde. Er kildehenvisningen placeret før et punktum, refererer den til sidste sætning. Står kildehenvisningen efter et punktum, refererer den til sidste afsnit.

Bagerst i rapporten findes bilag samt en bilagsoversigt. Nummereringen af bilag er fortløbende fra A til Q. Udover de bilag der findes i rapporten er der vedlagt en bilags-CD (rapportens sidste side) indeholdende lydfiler fra interviews, data, MatLab scripts mm.

Jeg vil i denne forbindelse gerne takke personer som har bidraget med oplysninger og besvaret spørgsmål i løbet af prøjsket. Ydermere vil jeg gerne rette en stor tak til Søren Ellegaard fra Geoteam, for at have stillet GNSS-udstyr til rådighed i forbindelse med indsamlingen af data.

God læselyst!

Søren Asbjørn Madsen
Aalborg, juni 2008

Indholdsfortegnelse

1	INDLEDNING.....	5
1.1	ARBEJDSOPGAVER I LANDINSPEKTØRBRANCHEN	5
1.2	GNSS.....	5
1.3	RTK-TJENESTER	7
1.4	INITIERENDE PROBLEMSTILLING.....	9
2	PROJEKTMETODE.....	11
2.1	PROJEKTETS HOVEDELEMENTER OG ARBEJDSGANG	11
2.2	VIDENSINDSAMLING	12
2.3	PROJEKTSTRUKTUR	12
3	RTK-TJENESTER	15
3.1	GPS-REFERENCEN.....	15
3.1.1	Enkelstations-RTK	16
3.1.2	Spidernet.....	18
3.2	GPSNET.DK.....	19
4	RTK I LANDINSPEKTØRBRANCHEN	23
4.1	PLANLÆGNING AF INTERVIEW	23
4.2	INTERVIEWMETODE.....	23
4.3	RESULTAT AF INTERVIEW	24
5	NORM FOR RTK-TJENESTER	27
5.1	BAGGRUND	27
5.2	INDHOLD	28
5.3	GOD OPMÅLINGSSKIK MED RTK	30
6	PROBLEMFORMULERING.....	31
7	DEFINITION AF TESTS.....	33
7.1	PRÆCISION	33
7.2	NØJAGTIGHED	33
7.3	INITIALISERING	33
7.4	AFGRÆNSNING.....	34
7.5	DEFINITION AF KVALITETSTERMER	35
8	PLANLÆGNING AF TESTS.....	39
8.1	TIDLIGERE TESTS AF RTK-TJENESTER.....	39
8.1.1	Tests udført af KMS 2002	39
8.1.2	Afgangsprojekt 2004 AAU	41
8.1.3	Svensk eksamensprojekt 2007:8.....	43
8.1.4	Svensk eksamensprojekt 2007:1.....	45
8.2	FORMULERING AF UNDERSØGELSER.....	46
8.2.1	Præcision.....	46
8.2.2	Nøjagtighed	48
8.2.3	Initialisering	48
8.2.4	Opsamling på undersøgelser.....	49
8.3	UDSTYR.....	49
8.3.1	GNSS modtager	50
8.3.2	GNSS- antenne.....	50
8.3.3	GNSS-signal splitter	51
8.3.4	Controller	51

8.3.5	GSM-modem	51
8.3.6	Målesetup.....	52
8.3.7	Verificering af udstyr.....	52
8.4	MÅLEOMRÅDE	53
8.4.1	Målepunkter.....	53
8.5	MÅLEPROCEDURE	56
8.5.1	Valg af koordinatsystem	57
8.5.2	Punktnummerstrategi.....	58
8.5.3	Indsamling af data	59
9	UDFØRELSE AF TEST.....	61
10	ANALYSE AF DATA	63
10.1	PRÆCISION	63
10.1.1	- Plan	63
10.1.2	- Højde	67
10.2	NØJAGTIGHED	71
10.2.1	- Plan	71
10.2.2	- Højde	73
10.3	INITIALISERING	76
10.3.1	Initialiseringstid.....	76
10.3.2	Reinitialiseringens betydning.....	83
11	KONKLUSION	89
12	PERSPEKTIVERING	93
13	KILDELISTE	95
13.1	PUBLIKATIONER	95
13.2	HJEMMESIDER	96
13.3	INTERVIEWS/SAMTALER	98
BILAG		99
BILAG A	REAL TIME KINEMATIC	100
BILAG B	SPIDERNET: MAX OG I-MAX (DANSK VERSION).....	103
BILAG C	RTK FEJLTYPEN	104
BILAG D	OPSÆTNING AF CONTROLLERNE	105
BILAG E	GPS-REFERENCENS ENKELSTATIONS GSM-OPKALDSLISTE.....	107
BILAG F	BESKRIVELSE AF OPMÅLINGER	108
BILAG G	PRÆCISION, PLAN – CA. 900 EPOKER	115
BILAG H	PRÆCISION, HØJDE – CA. 900 EPOKER.....	117
BILAG I	NØJAGTIGHED, PLAN – CA. 900 EPOKER	119
BILAG J	NØJAGTIGHED, HØJDE – CA. 900 EPOKER.....	121
BILAGS CD		123

1 Indledning

1.1 Arbejdsopgaver i landinspektørbranchen

Landinspektørbranchen har og er til stadighed i gang med en forrygende udvikling, hvor nye målemetoder og arbejdsområder udforskes. Inden for landinspektørbranchen arbejdes inden for mange forskellige områder, hvor de mest interessante i dette projekt er opgaver, hvor der arbejdes med stedbestemmelse. Her kan bl.a. nævnes opgaver som matrikulært arbejde, detailopmåling, afsætning, ledningsregistrering, søopmåling mm. Kravene til opgaverne er varierende, hvilket medfører, at der anvendes forskellige målemetoder. GPS med målemetoden RTK er en effektiv målemetode, hvor det vha. en GPS-modtager er muligt at stedbestemme fysiske punkter med en nøjagtighed på få centimeter i hele landet.

1.2 GNSS

Udviklingen inden for satellitpositionering (GNSS) har stor indflydelse inden for flere sektorområder, samt for civilbefolkningen. På nuværende tidspunkt findes der to verdensomspændende fuldt operationelle satellitpositioneringssystemer – det amerikanske GPS (Global Positioning System) og det russiske GLONASS (GLObalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema). Derudover er der et europæisk GNSS-system, betegnet Galileo, og et kinesisk satellitpositioneringssystem, betegnet COMPASS, under udvikling. Der er ligeledes ved at blive udviklet to regionale systemer, det japanske QZSS (Quasi Zenith Satellite System) og det indiske IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System). Et GNSS system bygger overordnet på de samme principper, og kan derfor beskrives under et. Overordnet består et GNSS system af tre dele: En satellitdel, en kontroldel og en brugerdel. Et GNSS system består af et antal specielle navigationssatellitter, som kredser omkring jorden i faste baner, med en inklinationsvinkel til ækvator som er med til at definere, hvor systemets geografiske hovedanvendelsesområder er. Systemet bygger på afstandsmåling til specielle navigationssatellitter, hvis position er kendt til tiden t .

GPS er det amerikanske satellitnavigationssystem. Systemet er udviklet og forvaltes af det amerikanske forsvarsministerium (U.S Department of Defence). Den primære baggrund for systemet var at etablere et effektivt navigationssystem, der var tilgængeligt for militære enheder over hele verden. For at kunne få systemet finansieret, var det dog en forudsætning, at systemet også kunne anvendes til civile formål. Udviklingen af systemet blev påbegyndt i 1973 under navnet NAVSTAR og blev d. 8. december 2008 erklæret fuldt operationelt med 24 satellitter. Systemet er uden begrænsning for antal af brugere og kan gratis benyttes. [Dueholm, 2005]

NAVSTAR GPS var oprindeligt dimensioneret til at være fuldt operationelt med 24 satellitter. I 2002 besluttede det amerikanske forsvarsministerium, at det skulle tilstræbes at have 28 satellitter i kredsløb, således at det kunne garanteres, at der hele tiden er 24 aktive satellitter. Antallet af aktive satellitter varierer, men er i marts måned 2008 oplyst til at være 31 [Tycho.usno.navy.mil, 2008]. GPS-satelliternes livslængde er forventet til at være 7,5-10 år, men er reelt længere, jf. figur 1.

Satelliternes kredser om Jorden i seks baner, med fire satellitter i hver. De resterende satellitter fordeles i banerne, efter hvor det forventes, at der vil blive behov for dem. Baneplanerne er forskudt 60° i forhold til hinanden og har en inklinationsvinkel på 55° i forhold til Ækvator. Satellitterne kredser omkring Jorden med en omløbstid på 11 timer og 58 minutter i en højde over Jordens overflade på ca. 20.200 km.

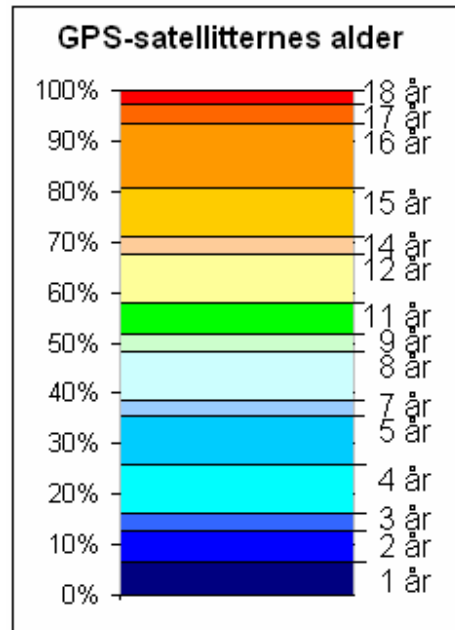


Fig. 1. GPS-satelliternes alder og procentvise fordeling.
[Tycho.usno.navy.mil, 2008]

GPS-satelliternes kontrolleres og styres af 5 kontrolstationer, hvor 3 er lokaliseret i nærheden af Ækvator og hovedkontrolstationen tæt ved Colorado Springs. Kontrolstationerne er fordelt således, at der er kontakt til alle satellitter mindst tre gange dagligt. Fra kontrolstationerne observeres satellitterne løbende, ved at kontrolstationerne kontinuerligt beregner afstanden til de satellitter, der er synlige på himlen. De beregnede afstande sendes til hovedkontrolstationen, som på den baggrund beregner satelliternes fejl samt broadcast efemerider¹.

GLONASS er det russiske satellit navigationssystem, opbygget efter de samme principper som GPS. GLONASS er udviklet med baggrund i militære interesser af Sovjetunionen, parallelt med USA's udvikling af GPS under den kolde krig. GLONASS blev d. 24. september 1993 erklæret for operationelt af daværende præsident Boris Yeltsin. Systemet var dog først fuldt operationelt med en komplet satellitkonstellation i december 1995. Vedligeholdelsen var i perioden herefter mangelfuld, grundet manglende politisk vilje, hvilket medførte, at der i april 2002 kun var otte operationelle satellitter og dermed ikke kunne betegnes som et

¹ Broadcast efemerider beskriver satelliternes fremskrevne baner med en nøjagtighed på 2 meter og sendes med navigationssignalet fra satellitterne [Dueholm, 2005]. Er der behov for mere nøjagtige satellitbaner, kan der efterfølgende downloades predicted efemerider fra nettet. Der findes forskellige typer predicted efemerider f.eks. ultra rapid efemerider, som bliver beregnet for hver tredje time [sopac.ucsd.edu, 2008].

globalt navigationssystem. En af årsagerne til de få satellitter var, at satellitternes reelle levetid var betydelig kortere end forventet. Det blev derfor dyrere at vedligeholde systemet, fordi der oftere skulle sendes nye satellitter op. Den politiske vilje i Rusland ser ud til at være vendt, og der tegner sig nu en mere lys fremtid for GLONASS.

1.3 RTK-tjenester

Nøjagtig GNSS positionering foretages med målemetoden RTK (Real Time Kinematic). I Danmark findes 2 landsdækkende privatejede GNSS RTK-tjenester: GPSnet og GPS-Referencen. Disse to tjenester tilbyder RTK-korrektioner², som bygger på tre forskellige teknologier. Tjenesterne består af et antal referencestationer, placeret over det meste af landet, således at brugerne kan modtage RTK-korrektioner fra næsten hele landet. Korrektionerne kan modtages via GSM- eller GPRS-nettet. Fra GPS-Referencen kan korrektionerne yderligere modtages via et UHF-radiolink. Fordelen ved at anvende en af de etablerende RTK-tjenester er, at brugeren kun skal investere i én GPS-modtager³, der fungerer som rover. En dobbeltfrekvent GPS-fasemodtager kan erhverves for ca. 150.000 kr. afhængig af fabrikant og model. En anden fordel ved at anvende en af de etablerende RTK-tjenester er, at brugeren har en vis form for garanti for en ensartet nøjagtighed. KMS udfører løbende kontrolmålinger og efterberegner referencestationernes position, hvilket er med til at sikre nettets absolutte nøjagtighed.

Udover de 2 tjenester i Danmark, findes der i Nord- og Centraleuropa lignende RTK-tjenester i Østrig, Belgien, Finland, Tyskland, England, Holland, Norge, Sverige (fig. 2) og Schweiz. De fleste er privatejede som de danske, men der findes også enkelte, som er ejet af staten [Engfeldt, 2005].

For at sikre kvaliteten af målinger i matrikulære sager, har KMS udarbejdet nogle specielle regler for opmåling med GPS i *Bekendtgørelse om matrikulære arbejder*. Derudover er KMS ved at udarbejde en norm for RTK-tjenester, som skal sørge for, at de private RTK-tjenester i Danmark

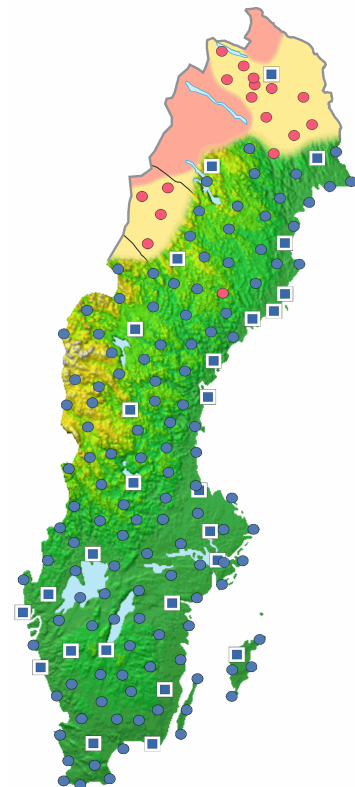


Fig. 2. Oversigtskort over referencestationer i RTK-tjenesten SWEPOS. [Swepos.lmw.lm.se, 2008]

² RTK-korrektioner defineres som de data ("rå" faseobservationer mm.) der bliver sendt fra RTK-tjenesten til roveren

³ En GPS-modtager defineres som enkelt- eller dobbeltfrekvent fasemodtager incl. antenne og modem.

overholder nogle krav inden for områderne nøjagtighed, integritet, kontinuitet og tilgængelighed. Med en kvalitetssikret RTK-tjeneste er det relativt enkelt at foretage en præcis positionsbestemmelse. Forkert betjening af udstyret og/eller manglende viden om teorierne bag positionering med GNSS kan medføre væsentlige kvalitetsforringelser. Dette stiller krav til brugerens uddannelsesniveau og som minimum har KMS iværksat arbejdet *God opmålingsskik med RTK*, som beskriver de mest grundlæggende faktorer, som brugeren skal tage højde for.

1.4 Initierende problemstilling

En stadig stigende del af landinspektørfirmaernes daglige målinger foretages med RTK. Det er endnu ikke helt klart for alle i branchen, hvilke forskelle der er på de forskellige RTK-teknologier, og hvilken nøjagtighed der kan opnås ved korrekt anvendelse af udstyret.

KMS er i gang med udarbejdelsen af en norm for RTK-tjenester, som skal sikre kvaliteten af de RTK-korrektioner, som brugeren modtager. Kvaliteten af RTK-korrektionerne er ikke udelukkende afgørende for kvaliteten af målingen, og KMS har derfor ved samme lejlighed udarbejdet en vejledning til god opmålingsskik med RTK. Danmark er et forgangsland hvad angår landsdækkende RTK-tjenester. Der findes to landsdækkende RTK-tjenester i Danmark, som bygger på tre forskellige teknologier: Enkelstations-RTK, virtuel referencestation (VRS) og Spidernet.

Det findes derfor interessant, at se nærmere på de tilgængelige RTK-tjenester i Danmark samt hvilke opgaver landinspektørfirmaerne anvender RTK-målinger til. Dette giver anledning til følgende initierende problem:

Hvilke forskelle er der på de landsdækkende RTK-tjenester, og i hvilket omfang anvendes de i landinspektørbranchen i Danmark?

Det initierende problem vil blive behandlet i foranalysen, hvor formålet er at konkretisere problemstillingen til en problemformulering. Inden foranalysen, beskrives projektrapportens opbygning og metode.

2 Projektmetode

Formålet med dette kapitel er at redegøre for hvilken projektmetode der anvendes igennem projektet til besvarelse af det initierende problem. Herunder redegøres nærmere for det problemorienterede projekts hovedelementer og arbejdsgang. Derudover beskrives metoden til vidensindsamling og projektets hovedstruktur.

2.1 Projektets hovedelementer og arbejdsgang

I det problemorienterede projektarbejde er formålet at konkretisere en problemstilling, som på baggrund af relevante analyser fører til en besvarelse. Hvilke analyser, der skal gennemføres, er umuligt på forhånd at sige, da projektarbejdet er en iterativ proces. Hvilke hovedelementer der bør indgå i projektarbejdet ligger dog klart. For at kunne besvare problemstillingen skal der indsamles og anvendes forskellig empiri og teorier. De fire hovedelementer i projektet defineres som: En problemstilling, empiri, teori og konklusion. Samspillet mellem de fire hovedelementer er visualiseret på figur 3, hvor pilene udgør de forskellige analyser.

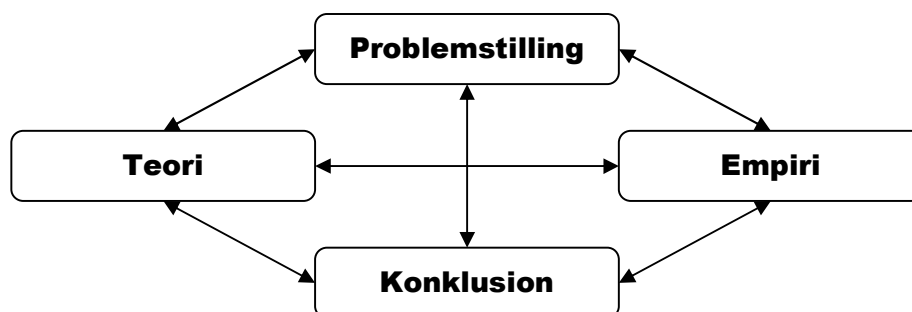


Fig. 3. Projektets hovedelementer og samspil [Andersen, 2005].

Figur 3 er en meget forenklet visualisering. I virkeligheden er projektarbejdet en meget iterativ proces, hvor samspillet mellem empiri og teori bidrager med ny viden, som giver anledning til nye analyser.

De fire hovedelementer er grundlæggende for det problemorienterede projektarbejde, hvorfor indholdet af dem beskrives nærmere herunder:

- Problemstillingen er det initierende problem som igennem foranalysen konkretiseres til problemformuleringen, som igennem hovedanalyserne ønskes besvaret

- Teori er den litteratur mm. som anvendes til at opnå viden inden for et område.
- Empiri er indsamling og bearbejdning af data
- Konklusionen er besvarelsen af den konkretiserede problemstilling med baggrund i den anvendte teori og empiri

Teori og empiri inddrages løbende i både for- og hovedanalysen, hvor forskellige teorier behandles og tests udføres til en endelig besvarelse af den konkretiserede problemstilling.

2.2 Vidensindsamling

I forbindelse med projektet er der søgt viden i forskellig litteratur. Listen over den anvendte litteratur fremgår af kapitel 12 bagerst i rapporten og omfatter bøger, publikationer og diverse fagrelevante hjemmesider. Søren Ellegaard fra Geoteam, har venligst udlånt materiale med bl.a. artikler fra ION GNSS 2007 konferencen. Til inspiration i den indledende fase samt til forberedelse af tests, er der gennemlæst relevante afgangsprojekter og lignende undersøgelsesrapporter fra Sverige og Danmark.

I den indledende fase har det ligeledes været nødvendigt at gennemføre en række interviews med RTK brugere fra forskellige danske landinspektørfirmaer. Disse interviews er blevet optaget, og lydfilerne er vedlagt på bilags CD'en, bagerst i rapporten.

2.3 Projektstruktur

Dette projekt omhandler brugen af RTK, herunder specielt RTK-tjenester i den danske landinspektørbranche. Dette emneområde behandles i foranalysen med det formål at konkretisere området til en problemformulering, som senere behandles i hovedanalysen. Formålet med dette afsnit er at beskrive strukturen i projektet, herunder hvilke analyser der skal foretages samt i hvilken rækkefølge.

I foranalysen behandles de brede emner, hvor formålet er at opnå viden inden for emneområdet opstillet i det initierende problem, således at den brede initierende problemstilling kan konkretiseres til problemformuleringen. Det forudsættes, at læseren har kendskab til GNSS-området og specielt målemetoden RTK, hvorfor RTK-teorien kun vil blive behandlet i et appendiks. Foranalysen består af 3 kapitler. Det første kapitel omhandler opbygningen og teknologierne bag de to landsdækkende RTK-tjenester i Danmark, som tilbyder RTK-korrektioner baseret på tre forskellige teknologier. Hvorledes RTK anvendes i landinspektørbranchen vil herefter blive behandlet i et kapitel, som bygger på interviews med flere landinspektører. Det er her specielt interessant at få belyst til hvilke opgaver RTK anvendes, samt hvilke krav og forventninger firmaerne har til brugen af RTK. I

det sidste kapitel af foranalysen vil KMSs igangværende arbejde med udarbejdelsen af *Norm for RTK-tjenester* blive behandlet, hvor det specielt er baggrunden for udarbejdelsen og indholdet af normen, som vil blive behandlet.

Med baggrund i de tre kapitler i foranalysen, vil det initierende problem blive konkretiseret til en problemformulering. Problemformuleringen forsøges besvaret igennem hovedanalysen.

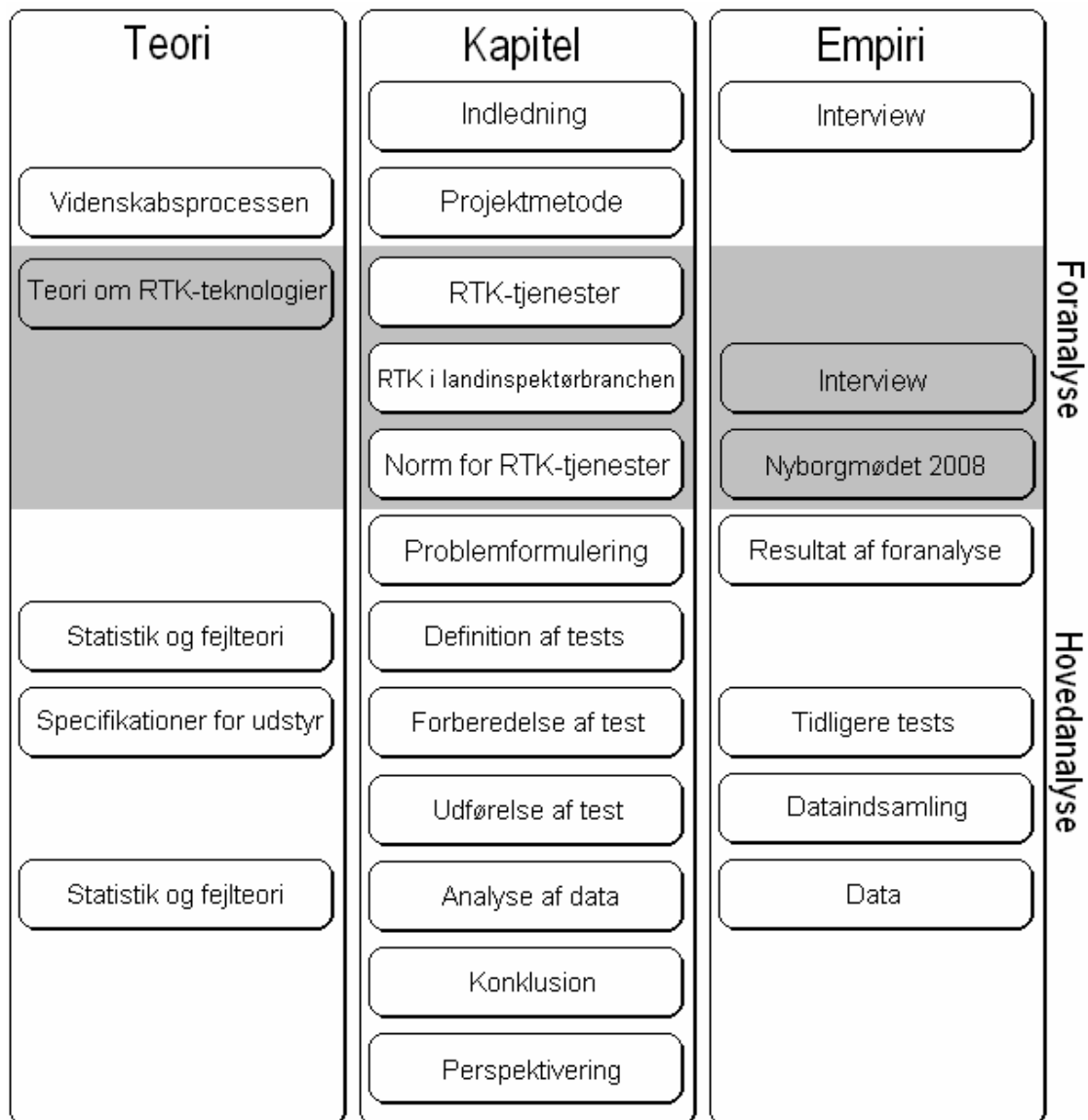


Fig. 4. Strukturdiagram for rapporten, med illustration af inddragelse af teori og empiri.

I hovedanalysen defineres formålet med de forskellige tests, som skal udføres for at kunne besvare problemformuleringen. Der bliver ligeledes lavet en nærmere definition af de anvendte kvalitetstermer som anvendes i problemformuleringen

og projektet afgrænses. I kapitlet 'Forberedelse af test' laves en gennemgang af tidligere relevante undersøgelser, for at give læseren mulighed for at sætte de senere fundne resultater i en kontekst. Herefter beskrives kravene til indsamlingen af data til de enkelte tests, hvilket udstyr og opmålingssetup der anvendes samt opmålingsområde og opmålingsprocedure. I kapitlet 'Udførelse af test' beskrives hvordan indsamlingen af data forløb, med eventuelle bemærkninger som er relevante for analysen af data. I kapitlet 'Analyse af data' behandles og analyseres de indsamlede data, med henblik på at besvare spørgsmålene opstillet i problemformuleringen. Resultatet af projektet samles i kapitlet 'Konklusion' og denne sættes i en kontekst i kapitlet 'Perspektivering' hvor der yderligere gives forslag til fremtidige projektet som kunne være interessante, inden for området.

3 RTK-tjenester

Formålet med dette kapitel er at beskrive de tilgængelige RTK-tjenester i Danmark. Som før nævnt findes der i Danmark to private udbydere af RTK-korrektionsdata: GPSnet og GPS-referencen. Tjenesterne er opbygget forskelligt organisatorisk, anvender forskellige teknologier samt forskelligt udstyr i referencestationerne.

Grundideen bag RTK-referencetjenester er, at brugeren skal spare tid og penge. Det er således ikke nødvendigt for brugeren at investere i to GPS-modtagere, og det er således heller ikke nødvendigt at opstille egen basestation.

Det er unikt at vi i Danmark har 2 private udbydere af RTK-tjenester, og er således et af de førende lande i verden, når det handler om adgang til RTK-korrektionsdata. I andre lande er det ofte en statslig enhed, som f.eks. KMS i Danmark, der finansierer, kontrollerer og udbyder tjenesten [Johnsson, 2007]. Det betyder at staten kan garantere kvaliteten af tjenesten. I Danmark har KMS gjort et tiltag med *Norm for RTK-tjenester*, som er under udarbejdelse. For at sikre kvaliteten af målinger udført med GPS til det offentlige (matrikulære målinger osv.), er KMS ved at udarbejde en norm, som stiller krav til danske RTK-tjenester. Grundlaget og indholdet af denne norm vil blive behandlet nærmere i kapitel 5 *Norm for RTK-tjenester*.

3.1 GPS-referencen

RTK-tjenesten GPS-referencen er etableret af brugerne i en andelsforening og administreres af Leica Geosystems A/S i Herlev. Nettet består af ca. 59 referencestationer, fordelt i hele Danmark, og er fuldt funktionelt 24 timer i døgnet. Stationerne er placeret med en indbyrdes afstand på ca. 45 km. Dog er der i nogle områder bedre dækning end andre, og i enkelte områder ingen dækning med enkelstations-RTK [Dueholm, 2005]. Stationernes koordinater beregnes af KMS en gang om året, hvorved tilknytningen til det danske referencenet sikres. For at blive andelshaver i foreningen, skal der bidrages med mindst en referencestation, som skal opstilles og vedligeholdes efter foreningens krav. Andelshaverne forpligter sig ligeledes til i minimum fire år at stille korrektionssignaler fra referencestationen i formatet RTCM SC104 til rådighed for de andre andelshavere og abonnenter. Foreningen består i øjeblikket af 35 andelshavere, som udgøres af bl.a. landinspektørfirmaer, kommuner samt energi- og naturgasselskaber. Formålet med stiftelsen af andelsforeningen i januar 2001 var følgende:

"Formålet med andelsselskabet er at lette andelshavernes brug af cm nøjagtigt GPS (Global Positioning System) til landmåling, samt at kunne tilbyde et landsdækkende referencenet til alle interesserede i Danmark."

I starten byggede GPS-referencen kun på enkelstations-RTK, men på en ekstraordinær generalforsamling d. 30 november 2004 vedtog foreningen at opgradere det eksisterende net til et netværksbaseret net, kaldet Spidernet. I det følgende vil GPS-referencens enkelstations-RTK blive betegnet enkelstations-RTK, og GPS-referencens netværksbaseret net, blive betegnet Spidernet. [Referencen.dk, 2008]

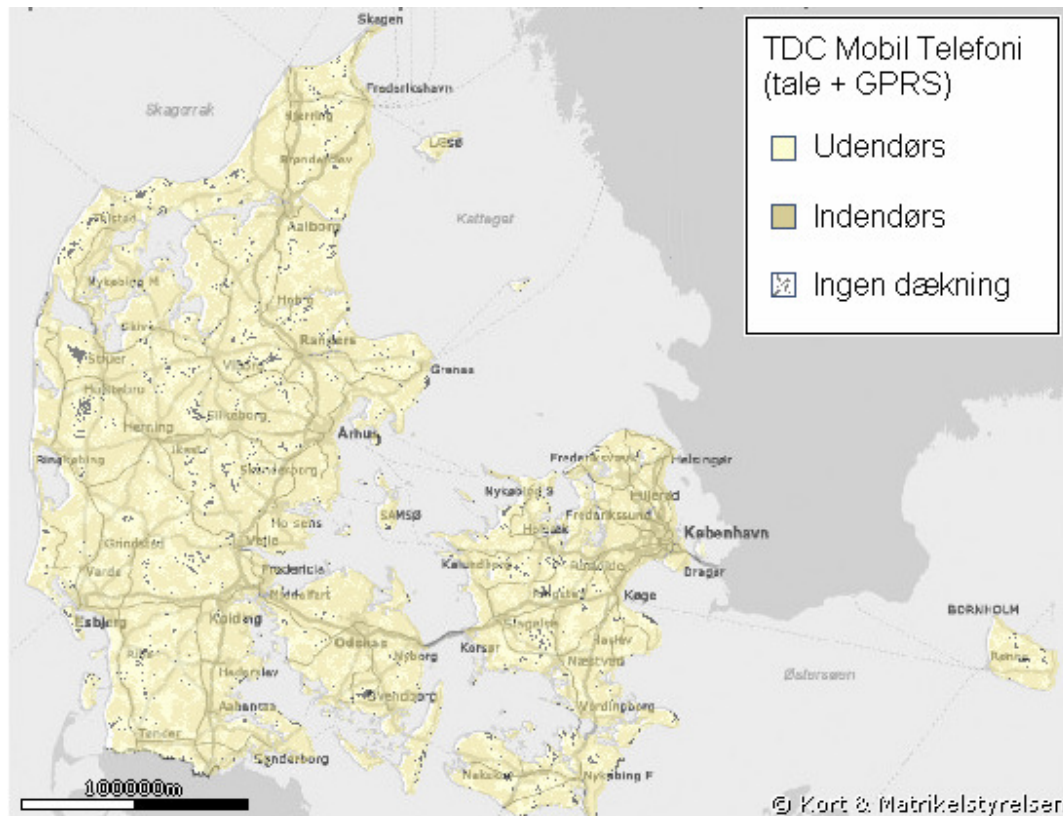


Fig. 5. Oversigtskort over GPS-referencens referencestationer. [Referencen.dk, 2008]

Referencestationerne er typisk udstyret med en Leica GPS-antenne og modtager, men Ashtech bliver også anvendt nogle steder [Engfeldt, 2005]. Enkelstations-RTK og Spidernet bygger på to forskellige teknologier, som vil blive behandlet nærmere i de følgende afsnit.

3.1.1 Enkelstations-RTK

Enkelstations-RTK er den simpleste form for RTK-måling og kan sammenlignes med, at brugeren selv stiller en base op og modtager observationer fra denne. Ved anvendelse af enkelstations-RTK tjenesten etableres et datalink til den nærmeste referencestation, hvorefter initialiseringen kan påbegyndes. GPS-referencen tilbyder datalink via GSM-nettet eller via et radiolink. Det er billigst at modtage data via et radiomodem, men afstanden og obstruktioner kan hindre, at dette kan lade sig gøre. Derfor kalder de fleste op via GSM-nettet.



Figur 6. Kortet viser TDC Mobil's dækningskort for GSM-nettet. Kortet er baseret på data fra d. 10. juni 2007. [Tdc.dk, 2008]

Figur 6 viser dækningen af TDC Mobil's GSM-net i Danmark. Den bedste dækning er i byerne og langs hovedveje. I tyndt befolkede områder kan der være områder hvor kontakten til nettet ikke kan etableres. Disse områder er på dækningskortet vist som mørke områder. [Tdc.dk, 2008]

GPS-referencen tilbyder at levere observationer fra referencestationerne på to forskellige måder. Det er muligt i marken at modtage observationer i RTCM SC104-formatet til måling i sand tid, eller det er muligt at modtage observationer i RINEX format til efterprocessering. Begrænsningen for enkelstations-RTK er de afstandsafhængige fejl, der stiger som funktion af afstanden til referencestationen.

Brian Hansen, kundeforsker hos Leica Geosystems, oplyser, at der ikke længere er brugere af enkelstations-RTK tjenesten efter indførelsen af Spidernet. Der bliver derfor ikke længere udført service af stationerne, hvorfor det må forventes, at enkelte stationer falder ud, og at der således ikke længere kan opnås forbindelse til dem. Der er dog overvejelser om at indføre et system fra sommeren 2008, således at en del af serviceringen af referencestationerne kan foretages fra hovedkontoret i Herlev. [Brian Hansen, 2008]

Der skal ligeledes gøres opmærksom på, at enkelstations-RTK nettet ikke er identisk med nettet, der anvendes til Spidernet. Det er dog tilfældet for langt de fleste stationer.

3.1.2 Spidernet

Spidernet er GPS-referencens netværkstjeneste, der anvender Leicas Master-Auxiliary Concept (MAC) og udbyder løsningen i-MAX. Konceptet MAC består af to løsninger i-MAX og MAX. GPS-referencen tilbyder kun RTK-korrektioner efter i-MAX løsningen indtil videre, da ikke alle instrumenter kan modtage MAX-korrektioner på grund af formatet, RTCM 3.0 netværk. I det følgende vil begge løsninger dog blive beskrevet. Spidernet anvender tilnærmelsesvis de samme referencestationer som til GPS-referencens enkelstations-RTK, og der har derfor ikke været så store udgifter til at udbygge det allerede eksisterende net af referencestationer til en netværkstjeneste. Spidernet er i dag den eneste tjeneste som GPS-referencens flere end 300 brugere anvender, og der er planer om tilbyde både GPS og GPS/GLONASS RTK-korrektioner fra sommeren 2008 [Brian Hansen, 2008]

Der findes endnu ingen dansk version af, hvordan Spidernet løsningerne MAX og i-MAX er opbygget. Der er derfor valgt at gengive den engelske udgave, uden risiko for at fortolkninger i oversættelsen kan medføre uklarheder. I bilag B er konceptet bag løsningerne forsøgt oversat til dansk, med udgangspunkt i GPS-referencens Spidernet.

Konceptet bag Spidernet MAX er vist på figur 7 og beskrives i det følgende med reference til tallene på figuren.

1. Transmission of raw observation data from the reference stations to the networking facility.
2. Network estimation process including Ambiguity Resolution to reduce the stations to the common ambiguity level.
3. (Optional) NMEA GGA position received from the rover at the network processing facility. The most appropriate reference stations are chosen for the rover based on its location.
4. Formation and transmission of RTCM 3.0 network message using Corrections for the Master station and Correction Differences for the Auxiliary stations.
5. Computation of high accuracy rover position using the full information from the reference network.

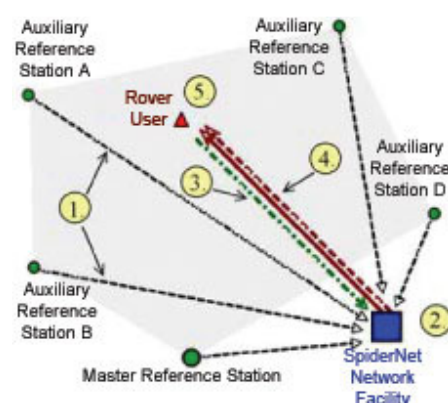


Fig. 7. Koncept skitse over MAX-løsningen [Loyola.com. 2008]

GPS-referencens Spidernet tilbyder indtil videre kun i-MAX løsningen. Konceptet bag Spidernet i-MAX, er vist på figur 8 og beskrives i det følgende med reference til tallene på figuren.

1. Transmission of raw observation data from the reference stations to the networking facility.
2. Network estimation process including Ambiguity Resolution to reduce the stations to the common ambiguity level.
3. NMEA GGA position received from the rover at the network processing facility. The most appropriate reference stations are chosen for the rover based on its location. The master station is chosen as the reference station closest to the rover.
4. Leica GPS Spidernet calculates the network corrections for the rover and applies them to the observations from the master station.
5. Formation and transmission of RTCM 2.3 or Leica format from the Master station.
6. Computation of high accuracy rover position using the reference network.

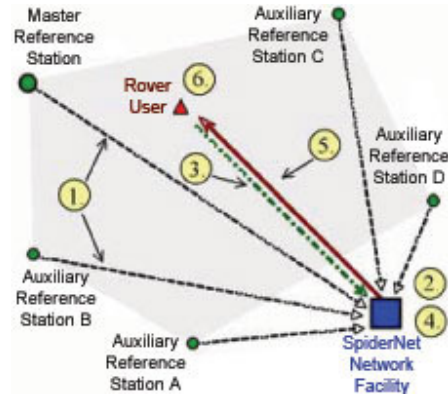


Fig. 8. Koncept skitse over i-MAX systemet. [Loyola.com, 2008]

[Leica, 2005]

3.2 GPSnet.dk

GPSnet.dk blev etableret i 2000 og ejes samt drives af GEOTEAM (tidligere Trimble Center Denmark A/S) i Ballerup. Udover GEOTEAM samarbejdes der med en række eksterne partnere. De eksterne partnere er Vejdirektoratet, COWI A/S, Dansk Total Opmåling og Danmarks Tekniske Universitet.

Nettet består af 26 referencestationer, fordelt i hele Danmark, og er fuldt funktionelt 24 timer i døgnet. Stationerne er placeret med en indbyrdes afstand på ca. 60-70 km. 25 af referencestationerne er samlet i et netværk, mens stationen på Bornholm fungerer som enkelstations-RTK. Stationernes koordinater beregnes af KMS en gang om måneden, hvorved tilknytningen til det danske referencenet sikres. Referencestationernes placering samt dækningsområde fremgår af figur 9. Dækningsområdet er oplyst til at være op til 70 km fra nærmeste referencestation i netværket og 22 km fra referencestationen på Bornholm, der ikke er en del af netværket. [GPSnet.dk, 2008] I det følgende er det kun GPSnet's netværksløsning, bestående af de 25 referencestationer, dækkende hele Danmark med undtagelse af Bornholm, der vil blive beskrevet.

GPSnet anvender Trimble's netværks RTK-teknologi Virtual Reference Station (VRS). VRS teknologien er baseret på et netværk af referencestationer, som kontinuerligt indsamler rå faseobservationer fra de tilgængelige GNSS-satellitter og sender dem videre til kontrolcenteret i Ballerup via en ADSL-forbindelse [Engfeldt, 2005]. I kontrolcenteret modtager en computer data fra alle referencestationerne, og der laves en dynamisk database med regionale

arealkorrekationer. Denne database bruges til at beregne en "Virtual Reference Station" lokaliseret kun få meter fra, hvor brugeren ringede op til tjenesten med roveren. I det følgende beskrives, hvad der sker fra brugeren kalder op til den første opmåling er foretaget.

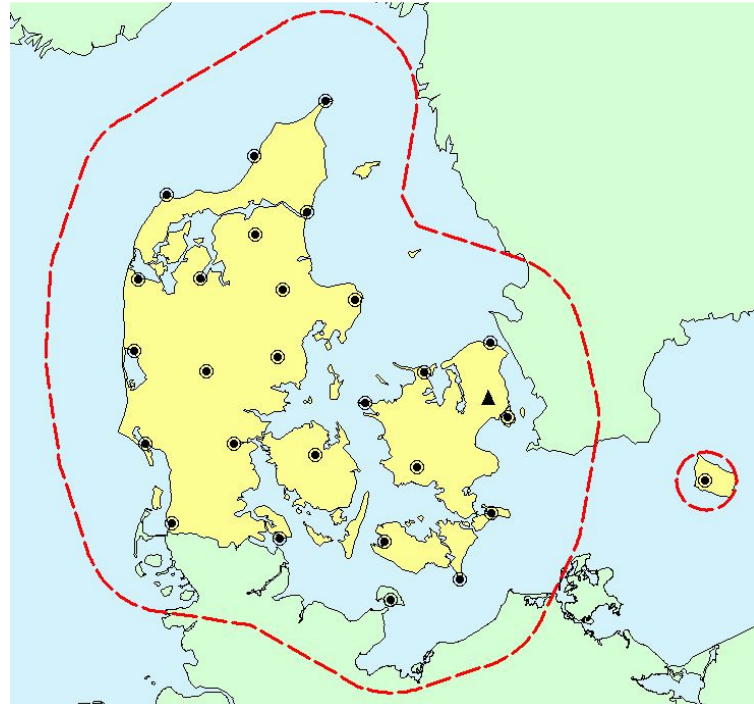


Fig. 9. Oversigtskort over referencestationer i GPSnet, vist som sorte cirkler. Trekanten i Ballerup angiver kontrolcenteret mens den rødstriplede linje angiver dækningsområdet. [GPSnet.dk, 2008]

Roveren opstilles inden for netværkets dækningsområde, og der ringes op til GPSnet enten via et GSM- eller GPRS-modem. Siden marts 2007 har det været muligt at modtage observationer fra både GPS og GPS/GLONASS. Det skal her bemærkes, at det er to forskellige telefonnumre, der skal anvendes [Geoteam.dk, 2008].

Roveren sender sin approksimerede position til kontrolcenteret, som en standard NMEA-streng kaldet GGA. Grunden til at dette format er valgt er, at det er tilgængeligt på de fleste modtagere. Efter at kontrolcenteret har modtaget roverens position, sender kontrolcenteret RTCM korrektioner til roveren. Så snart roveren har modtaget disse korrektionsdata, vil den beregne en ny og mere nøjagtig DGPS position samt opdatere sin position. Roverens nye position sendes samtidig til kontrolcenteret, som herefter beregner nye RTCM korrektioner, som om de kom fra en referencestation lige ved siden af roveren. RTCM korrektionerne sender til roveren, som herefter kan beregne en ny DGPS løsning med en nøjagtighed på ca. en meter. Denne teknik med at beregne

råfaseobservationer til en ny, ikke fysisk tilstedeværende referencestation har givet konceptet navnet 'The Virtual Reference Station Concept'. [Chen, 2002]

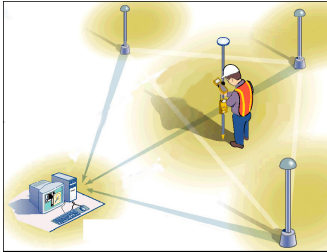


Fig. 10. GNSS modtagerens position bestemmes vha. DGPS

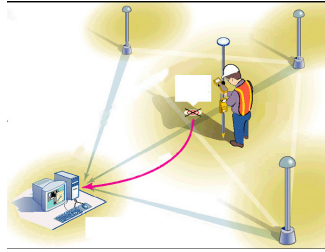


Fig. 11. Kontrolcenteret opretter en Virtuel Reference Station (VRS) under en meter fra roveren.

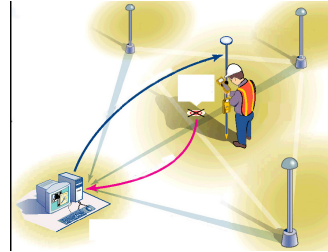


Fig. 12. VRS sender rå faseobservationer til roveren i RTCM-format [Chen, 2002]

Det er muligt at hente data til efterprocessering i op til 21 dage efter opmålingen, og der lagres data for hvert 30 sekund i flere år. Referencestationerne er udstyret med Trimble GPS-antenne og modtager [Engfeldt, 2005].

GPSnet har mere end 290 brugere, som bl.a. omfatter landinspektørfirmaer, entreprenører og kommuner. [Gpsnet.dk, 2008][Søren Ellegaard, 2008]

4 RTK i landinspektørbranchen

Formålet med dette kapitel er at undersøge og redegøre for brugen af RTK i landinspektørbranchen. Grundlaget for dette tilvejebringes gennem interviews.

4.1 Planlægning af interview

I forbindelse med planlægningen af interviewene er der fokuseret på at finde firmaer, som anvender forskellige RTK-tjenester med forskelligt udstyr. Dette er gjort for at få et nuanceret billede af brugerne af RTK-tjenesterne. Anvendelsen af RTK er efterhånden omfattende i flere brancher, men er i dette projekt afgrænset til kun at være med fokus på landinspektørbranchen. Der vil derfor kun blive taget kontakt til landinspektørfirmaer. Interviewene gennemføres i samarbejde med en anden specialegruppe på landinspektøruddannelsen, Aalborg Universitet.

De interviewede er:

Landinspektør og adm. direktør Mads Hvolby (MH) fra landinspektørfirmaet Nelleman & Bjørnkjær i Aalborg. Nullemann & Bjørnkjær har fornyeligt udskiftet deres GPS-udstyr til Trimble og anvender GPSnet som RTK-tjeneste.

Landinspektør Lars Overvad Mathiasen (LOM) fra landinspektørfirmaet Geopartner i Silkeborg. Geopartner anvender Leica GPS-udstyr og GPS-referencen som RTK-tjeneste.

Landinspektør Peter Jensen (PJ) fra Landinspektørfirmaet i Århus. Landinspektørfirmaet anvender Leica GPS-udstyr med GPSnet som RTK-tjeneste.

4.2 Interviewmetode

Før interviewene gennemføres, udarbejdes der nogle spørgsmål, som interviewet skal forsøges struktureret efter. Interviewene gennemføres som samtaler, hvor den interviewede får mulighed for at præge samtalen i den retning som personen ønsker. Dette kan medføre, at samtalen vil komme til at berøre andre relevante og interessante emner, som ikke på forhånd er planlagt.

4.3 Resultat af interview

I det følgende beskrives resultatet af de tre interviews. Svarene vil blive sammenskrevet til en sammenhængende tekst under forskellige overskrifter.

Refleksioner i forbindelse med valg af RTK-målemetoden

LOM anvender RTK hvor det er muligt, fordi det er billigere og lettere at tilknytte målingen til referencenettet. LOM fortæller, at der lægges op til, at der i fremtiden kan bruges RTK-koordinater mere direkte. Der, hvor RTK fravælges, er pga. nøjagtigheden eller i byen, hvor der er begrænset udsyn til åben himmel. MH mener, at det afhænger af beliggenheden, og om GPS'en kan levere den ønskede nøjagtighed. GPS'en er i direkte konkurrence med totalstationen, som er lidt mere besværlig at stille op. MH laver ofte tilknytningen til referencesystemet med GPS og måler derefter mange punkter med totalstationen. Det sker ofte, at man sidder hjemme på kontoret og planlægger at anvende RTK, og så er forholdene ikke til det.

Forventet nøjagtighed

MH forventer, at der med GPSnet kan opnås en nøjagtighed på 2-4 cm i planen og 3-6 i højden. MH mener dog selv, at dette måske kan være lidt for optimistisk. LOM forventer en nøjagtighed på 2 cm i højden for 95 pct. af målingerne og under 2 cm i planen, som kan påvirkes hvis stokken ikke holdes lodret. PJ forventer, at nøjagtigheden er 2-3 cm i planen og lidt dårligere i højden

Forventet præcision

PJ forventer at præcisionen er 2-3 cm i højden og at der ved brug af egen referencestation kan forventes en præcision på ned til 1 cm ved under 5 km til referencestationen. PJ forventer ligeledes at præcisionen er bedst hvis der måles på én initialisering og reinitialiseringer undgås.

Afstand til nærmeste referencestations betydning

MH mener ikke, at afstanden til den nærmeste referencestation betyder noget når der måles til GPSnet. Ønskes en bedre nøjagtighed måles der med egen base i stedet. PJ er af samme opfattelse med GPSnet, da teknologien bygger på en netværkstjeneste. LOM erfarede en temmelig stor forskel på GPS-referencens enkelstations-RTK og Spidernet i forbindelse med overgangen. LOM mener i den sammenhæng, at der tidligere har været en større afstandsafhængig fejl.

Fordele ved at måle til både GPS og GLONASS

MH mener at systemet er blevet mere robust, og at initialiseringstiden er blevet kortere. Nøjagtigheden er dog kun blevet marginalt bedre. PJ har erfaret, at der kan måles steder, hvor det ikke tidligere var muligt, men har ikke lavet undersøgelser af nøjagtigheden.

Datalink til transmission af RTK-korrektioner fra RTK-tjeneste

LOM og PJ anvender GSM-nettet til transmission af RTK-korrektioner. De startede begge med GPRS, men forbindelsen var ikke stabil nok, så man gik i stedet over til at anvende GSM. MH måler stadig med GPRS, med undtagelse af når der måles med egen base, typisk i forbindelse med søopmåling. Her anvendes i stedet et radiolink for at spare penge, da der ikke betales for den tid, der er kaldet op. PJ anvender også GSM-nettet, når der måles med egen base, da det vurderes ikke at være minuttaksten, der er afgørende, men tiden, da det er arbejdstimerne, der er dyre. LOM mener generelt, at TDC's GSM dækning er det svage led ved RTK-tjenesterne, pga. manglende dækning ude på landet.

Kontrol af RTK-målinger

Der er ingen af firmaerne, der har udarbejdet rutiner til kontrol af RTK-målinger. De måler dog alle til kendte punkter i forbindelse med tilknytning til referencesystemer, som senere anvendes som grundlag for en evt. transformation. Foretages der en kontrol af målingerne, er det typisk ved at genindmåle punktet efter en reinitialisering og vurdere afvigelsen mellem de to målinger.

Anvendelse af egen referencestation?

MH anvender egen referencestation en del. Bl.a. til søopmåling og offshore opgaver. Derudover bruges egen referencestation i grusgrave, hvor det gør det muligt at få en mere nøjagtig kote.

Opgaver

LOM anvender RTK til så mange opgaver som muligt. I særdeleshed i forbindelse med landbrugssager, hvor det er svært at knytte målinger til referencenettet med totalstation. LOM anvender RTK til ca. 60-70 pct. af de matrikulære sager i større eller mindre grad. RTK anvendes også i forbindelse med byggemodning, flade nivellementer, afsætning af kantsten, situationsplaner osv.. Fordelen er, at måleren ikke er begrænset af jordbunker og andre forhold, der betyder, at prismet ikke kan ses fra totalstationen. RTK anvendes specielt til at lave tilknytningen til referencenettet, som kan danne baggrund for indmåling med totalstation. MH anvender RTK til situationsplaner, ledningsregistrering, matrikulære opmålinger, koteplaner afhængig af specifikationer. Det er generelt

en vurdering fra opgave til opgave, og nøjagtigheden er ikke god nok på nuværende tidspunkt til kloakledninger og –dæksler, og det kan ikke betale sig med dobbelt eller trippel målinger. PJ anvender RTK til opgaver, hvor koten ikke er afgørende. Typisk anvendes RTK til systemtilknytning, og i 75 pct. af de matrikulære sager anvendes RTK på en eller anden måde, men ikke direkte til afsætning. PJ mener ligeledes ikke, at nøjagtigheden er god nok til kloakdæksler.

Efterprocessering

LOM og PJ laver aldrig efterprocesserede RTK målinger. Såfremt det dog kan være med til at forbedre præcisionen af koten, finder PJ det relevant at se nærmere på.

Efteruddannelse

Efteruddannelse i firmaerne foregår typisk ved, at en eller flere i firmaet holder sig orienteret om udviklingen, og de formidler så deres viden internt i firmaet, enten via interne vejledninger eller via mund til mund metoden.

Implementeringen af den nye 'Norm for RTK-tjenester'

Alle tre firmaer har hørt om den nye *Norm for RTK-tjenester*. MH mener umiddelbart, at den kan være med til at højne kvaliteten af tjenesterne, såfremt den bliver forvaltet korrekt. LOM og PJ er derimod mere skeptiske. De mener ikke, at normen strammer kravene til tjenesterne i forhold til hvordan det er i dag. PJ tror derimod, at den kan være med til at holde tjenester af en dårligere kvalitet ude. De tror generelt mere, at vejledningen *God opmålings skik* fra KMS, kan være med til at højne kvaliteten. MH mener specielt, at den nuværende integritet er et problem. Systemet advarer ikke, hvis der er ikke valide signaler, og det kan medføre dårlig nøjagtighed. Der mangler indikation af dårlig nøjagtighed, og det skal ikke være en subjektiv vurdering fra brugeren. [Lars Overvad Mathiasen, 2008],[Mads Hvolby, 2008],[Peter Jensen, 2008]

5 Norm for RTK-tjenester

KMS er som tidligere nævnt i gang med udarbejdelsen af *Norm for RTK-tjenester*. Teknikken udvikles og tilknytningen til referencenet udfordres. Formålet med dette kapitel er at beskrive baggrunden for *Norm for RTK-tjenester* samt indholdet i normen, herunder nøjagtighed, integritet, kontinuitet og tilgængelighed. Normen er stadig under udarbejdelse, og kapitlet vil derfor udelukkende baseres på Lolita Bahl's, fra KMS, fremlæggelse på Landinspektørernes Nyborgmøde d. 1. februar 2008 samt *Forslag til norm for RTK-tjenester version v.5*. Der skal derfor tages det forbehold at kapitlet baseres på et udkast og ikke den endelige version.

5.1 Baggrund

Kort og Matrikelstyrelsen er statens infrastrukturvirksomhed for kort og geodata. I Lov om Kort og Matrikelstyrelsen (lov. nr. 749 §3 stk. 1 og stk. 2) gives der mulighed for, at KMS kan indføre normer og standarder for offentlig opmåling, kortlægning og anden registrering af stedbestemt oplysninger. I takt med udviklingen inden for positioneringsområdet, med stigende brug af GPS, er tilknytningen til referencenettet blevet udfordret. I *Vejledning om matrikulære arbejder* er fastsat krav om tilknytning til referencenettet. Disse krav betyder i mange tilfælde, at en nøjagtig RTK-opmåling, forringes ved at transformere RTK målte punkter efter mere unøjagtige fikspunkter. En RTK-måling kan aldrig være mere nøjagtig, end nøjagtigheden af referencestationens koordinater. Der kan derfor ikke tales om generelle nøjagtigheder ved RTK-måling, med mindre der er kontrol af referencestationens koordinater. Der findes allerede regulativer for GNSS-navigation og -positionering til søs og i luften, men ingen regulativer for GNSS-positionering på land. Med *Norm for RTK-tjenester* ønsker KMS at indføre et sæt retningslinjer for høj præcisions GNSS applikationer, der som en bekendtgørelse eller et cirkulære er forankret i en lov.

Det første udkast til normen blev præsenteret i efteråret 2006. Herefter startede KMS en dialog med de to landsdækkende udbydere af RTK-tjenester i Danmark, GPSnet og GPS-referencen. Som resultat af denne dialog samt input fra Dansk Rumforsknings Center og KMS's nordiske kollegaer, blev der udarbejdet en ny version, som blev udsendt til foreløbig høring hos tjenesterne ultimo år 2007. Dette førte endnu engang til en ny version, som i foråret 2008 blev sendt ud i en bred høringsskare. Resultatet af den sidste høring ventes stadig, og det forventes at normen vil blive implementeret i lovgivningen umiddelbart efter.

Normens fokusområde er de matrikulære arbejder, men den tænkes også anvendt af andre, der vil stille krav til, at data skal stamme fra en godkendt RTK-tjeneste. Det kunne f.eks. være i forbindelse med ledningsregistrering, opmåling

ved tekniske arbejder eller al offentlig opmåling eller opmåling med en offentlig bygherre, hvor der stilles krav til nøjagtigheden.

RTK-tjenester defineres i normen som RTK-tjenester, der anvendes som grundlag for offentlig kortlægning og registrering og skelner således ikke mellem enkelstations- og netværks-RTK.

5.2 Indhold

Normen omhandler de krav, som der stilles til RTK-tjenesterne for at kunne blive godkendt og registreret. Overordnet omhandler disse krav tilgængelighed, kontinuitet, integritet og nøjagtighed. De fire hovedemner er vist på figur 13, og vil blive beskrevet nærmere i det følgende.

Nøjagtighed

RTK-tjenesten skal kunne levere RTK-korrektioner, så brugeren kan opnå en positionsnøjagtighed på 10 cm i højden for 95 pct. af målingerne og 5 cm i planen i et cirkulærtinterval for 95 pct. af målingerne. Tjenesten skal én gang årligt dokumentere ved egenkontrol at denne positionsnøjagtighed overholdes. Egenkontrollen udføres som en test over en sammenhængende periode på 8 dagtimer i udvalgte REFDK-punkter, 10 km-punkter eller punkter koordineret ved en statisk GPS-måling med reference til et af KMS' 3D-fikspunkter. Under testen skal der lagres koordinater med et interval på højst 30 sekunder, og der skal reinitialiseres efter hver 60. lagrede koordinat. Normen stiller ikke krav til præcision.

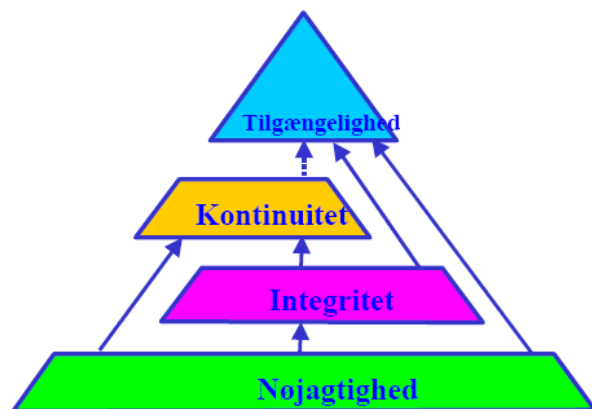


Fig. 13. Strukturdiagram over krav i 'Norm for RTK-tjenester'. [Bahl, 2008]

Integritet

Kan tjenesten ikke levere RTK-korrektioner, der lever op til kravene om nøjagtighed, skal tjenesten give brugeren besked. Der stilles krav til, at tjenesten løbende udfører kontrol af de modtagne satellitdata, baseret på kontinuert real tidsregistrering og beregning af kvalitetsparametre. Kvalitetsparametrene skal indikere særlig høj ionosfæreaktivitet eller fejl i de modtagne satellitdata.

Kontinuitet

Normen stiller krav til, at tjenesten ikke er sårbar overfor udfald af én enkelt referencestation. I forbindelse med egenkontrollen skal det dokumenteres, at kravene til nøjagtighed overholdes i punkter, der antages at være de mest udsatte ved nedbrud. Hvis flere end én referencestation falder ud, skal brugeren af tjenesten have besked, såfremt kravene til nøjagtigheden ikke kan overholdes.

Tilgængelighed

Tjenesten skal være tilgængelig med en sandsynlighed på 98 pct. pr. år, inden for normal arbejdstid fra kl 7:00 til 17:00. Tilgængelighed defineres som den tid, hvor RTK-tjenesten er tilgængelig for brugeren, og hvor kravene til nøjagtighed, integritet og kontinuitet er opfyldt. Ved beregning af tilgængelighed medtages perioder, hvor tjenesten ikke har været tilgængelig som følge af f.eks. nedbrud i tjenestens infrastruktur, fejl i GNSS-systemerne, atmosfæriske forstyrrelser eller andre forhold der har umuliggjort positionering eller har reduceret den opnåelige positionsnøjagtighed, samt varslede nedbrud som f.eks. i forbindelse med vedligeholdelsesarbejde.

Dokumentation

For at KMS kan kontrollere om tjenesten lever op til kravene i normen, skal der løbende og årligt indsendes dokumentation til KMS. Disse omfatter:

Løbende dokumentation:

- Logning af fysiske ændringer på og ved referencestationerne
- Logning over opdatering af software
- Dokumentation for egenkontrol vedrørende positionsnøjagtighed
- Logning af beregnede kvalitetsparametre

Årlig dokumentation:

- GNSS data for en aftalt periode
- Log over fysiske ændringer på og ved referencestationerne
- Log over opdateringer af software
- Dokumentation af nøjagtighed
- Log over beregnede kvalitetsparametre
- Dokumentation for tilgængelighed

På grundlag af de modtagne GNSS data, foretager KMS kontrolberegninger.

Registrering

KMS er myndighed for normen, og det er derfor KMS, som står for registrering og godkendelse af RTK-tjenester, der ønsker optagelse som en godkendt RTK-tjeneste. For at blive godkendt kræves det, at tjenesten som minimum består af 5

referencestationer. Dækningsområdet skal være beskrevet, og kravene skal være opfyldt. Tjenesten skal gennemføre egenkontrol, og RTK-korrektioner skal sendes i et åbent format, der ikke begrænses af GNSS-modtagerens fabrikant. Referencestationernes koordinater skal knyttes korrekt til det danske referencenet, hvor KMS står for at foretage kontrolberegninger. I forbindelse med registreringen skal følgende dokumentation forevises:

- Tjenestens dækningsområde
- Anvendt format til RTK-korrektioner
- Koordinatberegning for referencestationer
- Anvendte kvalitetsparametre
- Procedure for information om forringet nøjagtighed

KMS forbeholder sig ret til af ophæve registreringen af en tjeneste, der ikke kan levere dokumentation for at denne opfylder de aftalte kvalitetskrav. [KMS, 2008]

5.3 God opmålingsskik med RTK

Norm for RTK-tjenester vedrører kun selve tjenesten og ikke de fejl, som forkert brug af udstyret kan medføre. KMS har derfor ved samme lejlighed igangsat *God opmålingsskik med RTK*.

God opmålingsskik med RTK er en vejledning til brugeren af RTK-udstyr. I vejledningen beskrives kort, hvilke faktorer brugeren skal være opmærksom på, så nøjagtigheden ikke forringes. Det være i forbindelse med opmålingen og udstyret generelt. [KMS, 2008]

6 Problemformulering

Formålet med dette kapitel er at konkretisere det initierende problem, der er blevet behandlet i foranalysen, og indkredse dette til en mere snæver problemformulering.

Der udbydes i Danmark tre forskellige RTK-teknologier. Foranalysen har ført til at det vil være interessant at se nærmere på følgende emneområder:

- Præcision
- Nøjagtighed
- Initialisering

Ovenstående emneområder vil blive beskrevet nærmere i det følgende.

Præcision

Præcisionen af RTK-tjenesterne, GPSnet (VRS-teknologien) og GPS-referencen (enkeltstations RTK), er blevet undersøgt tidligere, men brugerne er stadig i tvivl om, hvilken nøjagtighed der kan opnås ved brug af de enkelte systemer. Derudover er der blevet implementeret en ny netværks RTK-tjeneste hos GPS-referencen. Præcisionen af denne teknologi er endnu ikke blevet undersøgt i Danmark, siden den blev fuldt operationel, hvorfor det findes interessant at undersøge dette område nærmere.

Nøjagtighed

Med samme baggrund som beskrevet ovenfor mht. præcision, findes det interessant at undersøge hvilken nøjagtighed der kan opnås med de forskellige RTK-tjenester.

Initialisering

Hver gang en GPS-modtager tændes, eller modtageren på anden måde har mistet signalet fra satellitterne, skal modtageren initialiseres. Det findes her interessant at undersøge initialiseringen både mht. tid og reinitialiseringens betydning for rigtighed.

På baggrund af ovenstående opsamling på foranalysen, formuleres problemformuleringen som følgende:

Hvilken præcision og nøjagtighed kan brugeren forvente at kunne opnå, når der måles til en af de tre landsdækkende RTK-tjenester, og hvilken indflydelse har initialiseringen?

Ovenstående problemformulering giver anledning til følgende underspørgsmål:

- Hvilken præcision kan forventes at kunne opnå?
- Hvilken nøjagtighed kan forventes at kunne opnå?
- Hvad betyder afstanden til den nærmeste referencestation for præcisionen og nøjagtigheden?
- Hvad er den generelle initialiseringstid?
- Er initialiseringstiden afhængig af parametre som antallet af satellitter, PDOP eller afstanden til nærmeste referencestation?
- Hvilken indflydelse har reinitialisering på rigtigheden?

7 Definition af tests

Formålet med dette kapitel er at definere det nærmere indhold af de tre overordnede tests i dette projekt: Præcision, nøjagtighed og initialisering. Pga. begrænsede ressourcer, afgrænses området således, at der holdes fokus på det væsentlige i forhold til problemformuleringen. I et særskilt afsnit defineres de forskellige kvalitetstermer, som senere anvendes i behandlingen af data fra de tre tests.

7.1 *Præcision*

Præcision defineres i dette projekt som den relative spredning af et givent antal målinger og er således et udtryk for, hvordan et givent antal målinger indbyrdes stemmer overens. Det findes her interessant at se nærmere på præcisionen af målinger indsamlet med hver af de tre forskellige RTK-teknologier, som tjenesterne udbyder i Danmark. Hvad er grundfejlen, og er der afstandsafhængige fejl, som følge af afstanden til den nærmeste referencestation.

7.2 *Nøjagtighed*

Nøjagtigheden defineres i dette projekt som spredningen af et givent antal punkter, i forhold til en sand koordinat, og er således et udtryk for den absolutte spredning. For at kunne gennemføre denne test, er det nødvendigt at have målepunkter med overlegen stor nøjagtighed. Denne test skal ligeledes føre frem til, hvad grundfejlen er, og om der er afstandsafhængige fejl.

7.3 *Initialisering*

Initialisering er et udtryk for at ambiguity er blevet løst, jf. bilag A. Initialiseringstiden defineres i dette projekt som den tid det tager fra opkaldet til tjenesten startes, til instrumentet er initialiseret. Testen *Initialisering* deles op i to tests. Initialiseringstiden undersøges i den ene test, hvor det findes interessant at se nærmere på initialiseringstiden som funktion af PDOP, antallet af satellitter og afstanden til den nærmeste referencestation. Derudover undersøges den generelle initialiseringstid som brugeren oplever ved brug af hver af de tre RTK-teknologier, samt hvilke minimum og maksimum værdier der ved data indsamlingen er blevet observeret. Den anden test omhandler reinitialiseringens betydning for rigtigheden, som er et udtryk for hvordan middelfvigelsen ændres i forbindelse med at instrumentet reinitialiseres.

7.4 Afgrænsning

I forhold til problemformuleringen er det nødvendigt at foretage nogle afgrænsninger. Formålet med dette afsnit er at redegøre for, hvilke afgrænsninger der foretages samt begrunde valget.

I tidligere projekter er en eller flere RTK-tjenester blevet undersøgt, med GNSS-udstyr af forskellig fabrikant. Dette øger mængden af data og tidsforbruget til indsamling og bearbejdning af data. Der er derfor valgt kun at måle med én type GNSS-modtager i dette projekt. Geoteam A/S i Ballerup har tilbudt at stille tre Trimble R7 GNSS-modtagere til rådighed i forbindelse med indsamlingen af data til dette projekt, hvilket der er blevet taget imod. Dette betyder, at undersøgelsen af de tre tjenester kun gælder ved brug af denne type modtagere, og der må derfor kunne forventes andre resultater ved brug af andre modtagere.

At der er blevet stillet tre ens modtagere til rådighed, gør det muligt at undersøge de tre RTK-teknologier under næsten samme forhold. De tre teknologier, der ønskes undersøgt, er enkelstations-RTK, Spidernet og GPSnet. Enkelstations-RTK og Spidernet anvender næsten det samme net af referencestationer mens GPSnet anvender deres eget net af referencestationer. Forholdet der ikke vil være ens i forbindelse med dataindsamlingen er derfor målepunkternes afstand til den nærmeste referencestation. GPSnet tilbyder to tjenester, hvor der enten kun modtages GPS data eller GPS og GLONASS data. Det er derfor nødvendigt at vælge, hvilken af de to GPSnet tjenester der ønskes undersøgt. Spidernet tilbyder på nuværende tidspunkt kun RTK-korrektioner fra GPS. For at teste de tre teknologier under ens forhold, vælges det kun at måle til GPS med GPSnet

I undersøgelserne vurderes præcision og nøjagtighed i forhold til afstandsafhængige fejl, som følge af afstanden til nærmeste referencestation. Der tages ikke højde for de resterende referencestationers geometriske placering, som tjenesten anvender til modellering af RTK-korrektioner.

Geoteam (GPSnet) og Leica (GPS-referencen) har begge kontor i Storkøbenhavn, og det findes derfor nærliggende at udføre målingerne i det område, så der er let adgang til support. Det geografiske måleområde afgrænses til København og området omkring.

På grund af begrænsede tidsressourcer, foretages alle opmålinger kun under optimale konditioner med begrænsede obstruktioner. For at målingerne skal kunne relateres til brugerens hverdag, foretages alle målinger i dagtimerne, hvor der kun lagres data hvor PDOP er under 4. Ydermere indsamles data i en periode, hvor solplet aktiviteten er lav.

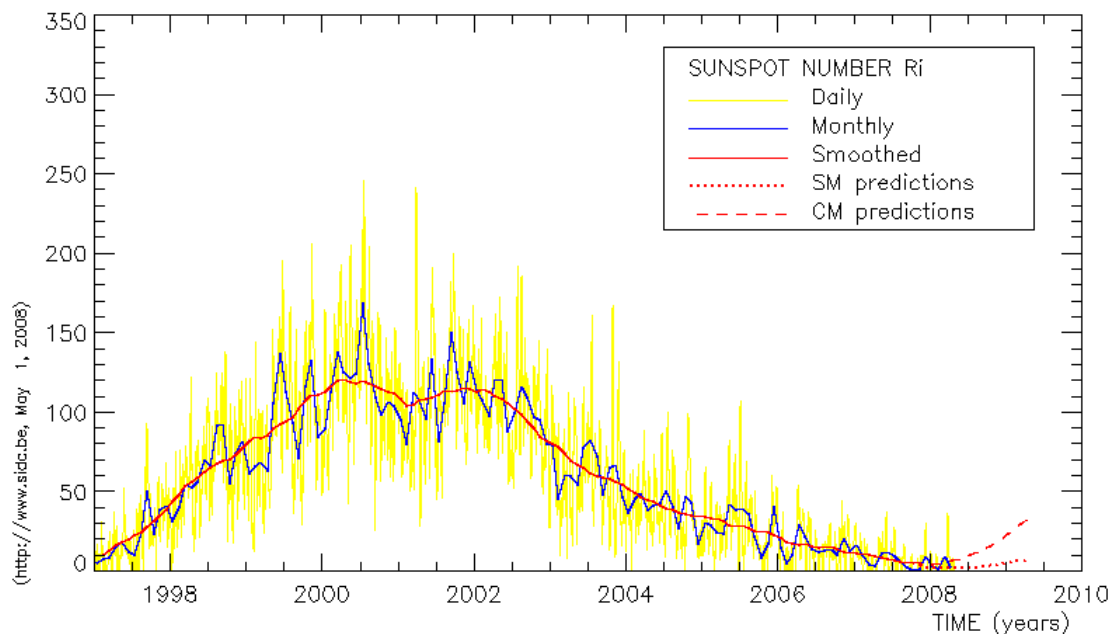


Fig. 14. Solpletaktivitet for de sidste 12 år og fremskrevet for de næste 12 måneder. [sidc.be, 2008]

Det fremgår af figur 14. at solpletaktiviteten i foråret 2008 er på det laveste og at den forventes at stige efter sommeren.

7.5 Definition af kvalitetstermer

I problemformuleringen er der anvendt nogle centrale kvalitetstermer som det vurderes at være nødvendigt at præcisere definitionen af i dette projekt.:

- Præcision
- Nøjagtighed
- Rigtighed

Der findes mange måder at angive og beregne forskellige kvalitetstermer på, og det kan derfor være svært at tale om kvalitet, uden at definere termen. I dette projekt er der valgt at skelne mellem plane og lodrette kvalitetstermer i forbindelse med præcision og nøjagtighed. Kvalitetstermerne vil blive uddybet i det følgende, hvorefter en omregningstabel vil blive præsenteret for omregning til og andre definitioner.

Præcision

Præcisionen er et udtryk for den relative spredning. Præcisionen betegnes σ (græsk bogstav sigma) og udtrykkes for et konfidensinterval på 68 pct. i en

dimension. For at kunne beregne præcisionen, skal middellobservationen $\bar{x}$ beregnes, jf. formel (1).

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

, hvor

x_i er observationen

n er antallet af observationer

Præcisionen σ beregnes på baggrund af middellobservationen $\bar{x}$ i en dimension jf. formel (2).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

For at beregne præcisionen i planen, anvendes formel (3). Det skal her bemærkes at udtrykket gælder for et konfidensinterval på 63 pct..

$$\sigma_{plan} = \sqrt{\sigma_E^2 + \sigma_N^2} \quad (3)$$

, hvor

σ_E er præcisionen af Easting-koordinaten beregnet jf. formel (2)

σ_N er præcisionen af Northing-koordinaten beregnet jf. formel (2)

Nøjagtighed

Nøjagtigheden er et udtryk for den absolutte spredning, og defineres som spredningen af et givent antal målinger i forhold til en sand værdi. Nøjagtigheden betegnes RMS og udtrykkes for et konfidensinterval på 68 pct. i en dimension.

Nøjagtigheden beregnes i en dimension, jf. formel (4).

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X)^2}{n}} \quad , \text{ hvor } X \text{ er punktets sande koordinat } (4)$$

For at beregne nøjagtigheden i planen, anvendes formel (5). Det skal her bemærkes at udtrykket gælder for et konfidensinterval på 63 pct..

$$RMS_{plan} = \sqrt{RMS_E^2 + RMS_N^2} \quad (5)$$

hvor:

RMS_E er nøjagtigheden af Easting-koordinaten beregnet jf. formel (4)

RMS_N er nøjagtigheden af Northing-koordinaten beregnet jf. formel (4)

Rigtighed

Rigtighed er et udtryk for, hvor meget de observerede koordinater afviger fra den sande koordinat og er således et udtryk for middelfvigelsen. Middelfvigelsen skal være så lille som mulig, og såfremt den afviger fra nul, er der systematiske fejl enten i observationerne eller i den sande koordinat. Middelfvigelsen betegnes Φ (Græsk bogstav fi) og beregnes jf. formel (6).

$$\phi = \frac{\sum_{i=1}^n x_i - X}{n} \quad (6)$$

Sammenhæng mellem nøjagtighed, præcision og rigtighed

God nøjagtighed (RMS) medfører en god præcision (σ) og rigtighed (Φ). Det modsatte er derimod ikke gældende, og for at forstå de tre meget centrale kvalitetstermer er de visualiseret på figur 15.

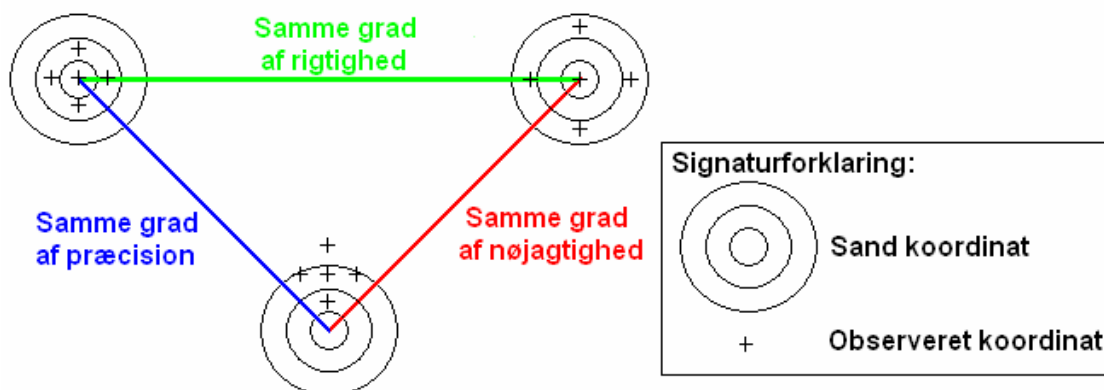


Fig. 15. Forholdet mellem præcision, nøjagtighed og rigtighed. Figuren er udarbejdet med inspiration fra [Lantmåteriverket, 1996]

Omregning mellem kvalitetsdefinitioner

Udover sammenhængen mellem kvalitetstermer, kan statistiske beregningsmetoder være årsag til misforståelser. I *Norm for RTK-tjenester* anvendes definitionen R95, som et nøjagtighedskrav som tjenesterne skal kunne levere RTK-korrektioner til. R95 er et udtryk for at 95 pct. af målingerne i planen ligger inden for en cirkel med centrum i målepunktets sandekoordinater og med radius svarende til værdien af R95. For at omregne fra RMS til R95 kan følgende omregningmetode anvendes:

$$R95 \approx 1,7 RMS$$

Omregningsmetoden bygger på antagelser baseret på simuleringer, og giver således ikke den eksakte værdi.

[Diggelen, 1998]

8 Planlægning af tests

Formålet med dette kapitel er at planlægge de tests som senere skal udføres og danne baggrund for besvarelsen af problemformuleringen. I kapitlet beskrives først tidligere relevante tests, udført af KMS, et afgangsprøve fra AAU og to svenske eksamensprojekter. Herefter beskrives, hvordan de enkelte tests skal udføres, hvilke instrumenter der anvendes, måleområdet hvor data bliver indsamlet og hvilke målepunkter, der vil blive målt til.

8.1 Tidligere tests af RTK-tjenester

Der er tidligere blevet udført en række tests af RTK-tjenester i Danmark og Sverige. I det følgende vil nogle af de relevante tests blive beskrevet kort mht. overvejelser i forbindelse med indsamling af data samt resultater. Alle resultater i det følgende er taget fra de omtalte rapporter og gengivet efter de kvalitetstermer, som anvendes i dette projekt, hvis ikke andet er angivet.

8.1.1 Tests udført af KMS 2002

I efteråret 2000 og sommeren 2001 udførte KMS i samarbejde med Rådet for Danmarks referencenet en række forsøg med RTK. Formålet med forsøgene var at undersøge tjenester og deres nøjagtighed, og dermed også at kunne rådgive brugerne af tjenesterne. I sommeren 2002 fortsatte forsøgsrækken, hvor formålet bl.a. var at :

- Afprøve de to tilgængelige tjenesters (GPSnet og GPS-referencen enkelstations-RTK) nøjagtighed ved simultane målinger.
- Afprøve tjenesterne med nye instrumenttyper
- Afprøve enkelstations-RTK på længere afstande

Data blev i august 2002 indsamlet i området omkring Århus/Randers, hvor KMS har opbygget et net til måling med GPS. Kontrolpunkterne er statisk indmålte og godt funderede. Data til undersøgelsen er indsamlet under optimale GPS forhold uden obstruktioner.

Testen var planlagt således, at der skulle foretages 15 målinger til 12 punkter, i alt 180 målinger til hver af de to RTK-tjenester. Testen forløb over ca. 10 arbejdsdage, og med afstande til nærmeste base i intervallet 3-30 km for GPSnet og 3-24 km for GPS-referencen. GPS-antennen blev ikke orienteret mod nord ved hver opmåling.

Opstillingerne blev foretaget med snapstativ ved alle jordpunkter og med en KMS "postamentfodplade" (malkestol) på postamenter.

Fra alle 12 punkter blev der indsamlet data fra GPSnet. Fra 8 af punkterne blev der umiddelbart efter indsamlet data fra GPS-referencen, hvor der fra 4 af punkterne blev målt til to forskellige GPS-referencen enkelstationer. For at indsamle så uafhængige data som muligt, blev målingerne foretaget ved at der blev udført et sæt målinger i hvert punkt og derefter kørt videre til næste. Der blev således kørt i alt 15 runder, hvilket medførte, at data blev indsamlet på forskellige tider i det samme punkt.

Udstyr

Der blev til testen ikke anvendt det samme udstyr, og konfigurationerne på det anvendte udstyr var forskellig.

Til testen af GPSnet blev der anvendt en Trimble 5700 GPS-modtager med en tilhørende TSC1 controller (firmware version 7.71) og en Trimble Zephyr antenne. Som datalink blev der anvendt en ikke nærmere angivet GSM telefon og et MAXON MM-6854 GSM-modem. Modtageren var konfigureret til at lagre observationer, hvor PDOP var under 6, den plane præcision under 1,5 cm og under højden 2,0 cm. Elevationsvinklen var sat til 13°, og data blev lagret for hvert 5. sekund.

Til testen af GPS-referencen blev der anvendt en Leica Geosystem 530 GPS-modtager med tilhørende controller (firmware version 4.01) og en Leica AT502 antenne med built-in groundplane. Som datalink blev der anvendt en ikke nærmere angivet GSM telefon. Controlleren var konfigureret til at lagre observationer, hvor 3D-præcisionen var bedre end 3,0 cm. Elevationsvinklen var sat til 10°, og data blev lagret for hvert 5. sekund.

Resultater

Resultaterne fra testen er kort beskrevet i det følgende:

	Plan [mm]	Højde [mm]
GPSnet, σ	17	23
GPS-referencen, σ	20	28
GPSnet, RMS	20	27
GPS-referencen, RMS	21	29

Tabel 1. Skema over præcision σ og nøjagtighed RMS for de to RTK-tjenester: GPSnet og GPS-referencen (enkelstations-RTK) [Madsen, 2003].

Resultatet af præcision σ og nøjagtighed RMS fremgår af tabel 1. Som det ses af tabel 1 er forskellen mellem GPSnet og GPS-referencen (enkelstations-RTK) ikke stor, når de kun vurderes i forhold til præcision og nøjagtighed.

Der blev også foretaget en analyse af de afstandsafhængige fejl ved nøjagtigheden. Resultatet fremgår af tabel 2, og svarer til at 68 pct. af målingerne ligger inden for en cirkel med denne radius[Dueholm, 2005].

RMS	Grundfejl [mm]	Afstandsafhængig fejl [ppm]	Fejl [mm]
Afstand til base	0-20 km		>20 km
GPSnet, plan	6,6	0,8	Ca. 23
GPSnet, højde	12	1,0	Ca. 29
Afstand til base	0 – 15 km		> 15 km
GPS-referencen, plan	7,1	1,5	Ca. 23
GPS-referencen, højde	5,6	2,0	Ca. 38

Tabel 2. Afstandsafhængig fejl ved GPSnet og GPS-referencen (enkelstations-RTK). [Dueholm, 2005]

Det fremgår af tabel 2, at den afstandsafhængige fejl er ca. dobbelt så stor ved enkelstations-RTK med GPS-referencen, i forhold til VRS-netværks RTK med GPSnet.

Endelig blev initialiseringstiden undersøgt. Initialiseringstiden er defineret som den tid, det tager fra opkaldet startes, til initialiseringen er fuldført.

RTK-tjeneste	Initialiseringstid
GPSnet	50 sek.
GPS-referencen	47 sek.

Tabel 3. RTK-tjenesternes gennemsnitlige initialiseringstid [Madsen, 2003].

Testen viste at der ikke var stor forskel på initialiseringstiden. Resultatet af den gennemsnitlige initialiseringstid fremgår af tabel 3. [Madsen, 2003]

8.1.2 Afgangprojekt 2004 AAU

I år 2004 blev der på Aalborg Universitet gennemført et afgangprojekt under titlen 'RTK-tjenester i Danmark – en anvendelsesorienteret undersøgelse'. Formålet med projektet var at undersøge, hvilke problemer samt uopklarede forhold der er omkring opmåling og afsætning med RTK-tjenesterne, og hvordan brugeren skal forholde sig til disse i forbindelse med procedurer og kontrol. Ud fra dette formål blev der defineret 8 tests:

- Absolut nøjagtighed og indflydelsen af afstanden til referencestationen på denne.
- Præcisionen og indflydelsen af afstanden til referencestationen på denne.
- Nabonøjagtighed og indflydelsen af afstanden til referencestationen på denne.
- Initialiseringstid og indflydelsen af afstanden til referencestationen på denne.
- Undersøgelse af korrelation ved RTK-måling.
- Undersøgelse af udstyrsafhængighed ved RTK-tjenesterne
- Nøjagtigheden af GPS-udstyrets omregnings- samt transformationsrutiner.

- Fastsættelse af fejlbidrag som følge af måden der afsættes på.

Testenes forskellige karakter medførte, at det var nødvendigt at udføre dem to geografisk forskellige steder. Den regionale test blev udført på Fyn og den lokale test forskellige steder i Aalborg.

Udstyr

Udstyret, der blev anvendt, var Leica's SR530 GPS-modtagere med en tilhørende SR500 terminal. GPS-antennen var en Leica AT502, og GSM-modemmet var et Siemens TC35. Modtageren var konfigureret til en observationshastighed på én epoke pr. sekund, og én måling baseres på ialt ti epoker. 3D-kvaliteten blev sat til 0,05 m, elevationsvinklen var sat til 10°. En evt. PDOP grænseværdi er ikke oplyst.

Opstilling i punkterne blev foretaget med en to-meter stok i jordpunkterne, støttet af et treben og en malkeskammel med optiskcentrering over postamenterne.

Resultater

Relevante resultatet fra undersøgelsen er beskrevet kort i det følgende.

Afstand [km]	GPS-referencen		GPSnet		GPS-referencen		GPSnet	
	σ_{plan} [mm]	$\sigma_{\text{højde}}$ [mm]	σ_{plan} [mm]	$\sigma_{\text{højde}}$ [mm]	RMS _p [mm]	RMS _h [mm]	RMS _p [mm]	RMS _h [mm]
1	5	16	9	16	6	32	14	20
2	6	17			7	33		
3	7	17			8	34		
4	8	17			9	35		
5	8	18			10	36		
6	9	18			10	37		
7	10	19			11	38		
8	11	19			12	39		
9	11	20			13	40		
10	12	20			14	41		
11	13	21			15	42		
12	14	21			15	42		
13	15	22			16	43		
14	15	22			17	44		
15	16	23			18	45		
16	17	23			19	46		
17	18	24			20	47		
18	18	24			20	48		
19	19	24			21	49		
20	20	25			22	50		
21	21	25			23	51		
22	21	26			24	52		
23	22	26			25	53		
24	23	27			26	54		

Tabel 4. Præcision og nøjagtighed ved GPS-referencen (enkelstations-RTK) og GPSnet ved afstande ud til 24 km. [Andkjær, 2004]

Resultatet af præcision og nøjagtighedsanalysen fremgår af tabel 4. Det fremgår af tabellen at der ved måling til GPSnet ikke er afstandsafhængige fejl, og at højden aldrig bestemmes bedre med GPS-referencen i forhold til GPSnet. I planen er GPS-referencen mere nøjagtig for afstande kortere end 10 km.

Nabonøjagtighed	Plan [mm]	Højde [mm]
GPS-referencen	10	18
GPSnet	9	12

Tabel 5. Nabonøjagtighed [Andkjær, 2004]

Ved undersøgelsen af nabonøjagtighed⁴ blev 4 punkter indmålt på samme initialisering inden for 6-7 minutter. Resultatet er vist i tabel 6, og det skal bemærkes, at datagrundlaget er korrelerede observationer, idet observationerne er indsamlet umiddelbart efter hinanden.

RTK-tjeneste	Initialiseringstid
GPSnet	26 sek.
GPS-referencen	41 sek.

Tabel 6. RTK-tjenesternes gennemsnitlige initialiseringstid. [Andkjær, 2004]

Resultatet af undersøgelsen af initialiseringstiden fremgår af tabel 6. Det ses her at den gennemsnitlige initialiseringstid for GPSnet er 26 sekunder, mens den for GPS-referencen er 41 sekunder. Det skal bemærkes, at initialiseringen ikke altid lykkedes inden for to minutter, hvorefter forbindelsen blev afbrudt. Herefter kunne en ny initialisering startes som oftest lykkedes inden for et minut. [Andkjær, 2004]

8.1.3 Svensk eksamensprojekt 2007:8

På højskolen Väst i Trollhättan, Sverige, blev der i 2007 udarbejdet et afsluttende projekt på Landmåler/ingeniør overbygningen under titlen: *Jämförelse av distributionskanaler för projektanpassad nätverks-RTK*. Formålet med projektet var at undersøge, om der var en forskel på at modtage data fra den svenske netværks-RTK-tjeneste SWEPOS med radio- eller GPRS-link.

⁴ Nabonøjagtighed er beregnet med følgende formel:

$$RMS_{nabo} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{nabo(i)} - X_{nabo})^2}, \text{ hvor:}$$

n : Antal målinger

$x_{nabo(i)}$: Dimension eller højdeforskel beregnet ud fra RTK-måling

X_{nabo} : Dimension eller højdeforskel fundet gennem båndmål eller nivellement. Disse betragtes som de sande værdier.

[Andkjær, 2004]

Opmålingen blev foretaget i området omkring Göta älv, i seks veldefinerede punkter. Fem af de seks punkter var RIX 95-punkter, som er beregnet i en statisk GPS-måling i 2006 og angivet i referencesystemet SWEREF 99. Det sidste punkt var et nymarkeret punkt.

Indsamlingen af data foregik i otte måleserier, hvor en måleserie var 10 målinger udført umiddelbart efter hinanden i et punkt. Hvilket blev udført i alle seks punkter. Målearbejdet foregik i perioden 16 april 2007 til 2. maj 2007.

Udstyr

Målesetuppet bestod af én GPS-antenne og 2 GPS-modtagere. GPS-antennen var en Leica AX1202 GG, hvorfra signalet blev splittet med en GPS Networking INC LDCBS1X4 antennesplitter til to Leica GX1230 GPS-modtagere med tilhørende Leica GX1230 controllere. Der blev anvendt to forskellige modems, et Siemens MC45 GPRS-modem og et Sateline 3Asd radio-modem. Opstillingen i de kendte punkter blev foretaget med et Leica stativ med optisk centrering. Modtagernes konfigurationer var ens, og datatransmissionsformatet var ligeledes det samme.

Resultater

Interessante resultatet fra undersøgelsen er beskrevet kort i det følgende.

	σ_{Plan} [mm]	$\sigma_{\text{Højde}}$ [mm]	RMS_{Plan} [mm]	$\text{RMS}_{\text{Højde}}$ [mm]
GPRS	11	15	11	15
Radio	11	13	12	15

Tabel 7. Nøjagtighed og præcision ved anvendelse af GPRS- og radiolink til RTK-måling [Halvardsson, 2007].

Undersøgelsen af datalinkets betydning for nøjagtighed og præcision fremgår af tabel 7. Som det ses, er der ikke en nævneværdig forskel, og det må derfor anses som værende uden betydning.

Datalink	Initialiseringstid [sek.]
GPRS	24
Radio	10

Tabel 8. Initialiseringstid, middeltal. [Halvardsson, 2007]

Resultatet af undersøgelsen af initialiseringstiden fremgår af tabel 8. Det ses her at initialiseringstiden, ved anvendelse af GPRS som datalink, er 24 sekunder, mens den ved anvendelse af et radiolink kun er 10 sekunder. Initialiseringstiden er defineret som den tid, det tager, fra modtageren har den første absolutte position, til modtageren kan levere en fixed-løsning.

[Halvardsson, 2007]

8.1.4 Svensk eksamensprojekt 2007:1

På højskolen i Gävle, Sverige, blev der i 2007 udarbejdet et afsluttende projekt på Landmåler/ingeniør overbygningen under titlen: *En nätverks-RTK-jämförelse mellan GPS och GPS/GLONASS*. Formålet med projektet var at undersøge, om der var nogle forbedringer ved at måle til både GLONASS og GPS i forhold til kun at måle til GPS.

Opmålingen blev foretaget i Mårtsbo, inden for et afgrænset område af ca. 200 gang 200 meter. Her blev udvalgt 6 punkter, hvor mængden af obstruktioner blev bestemt ved hjælp af billedteknik.

Indsamlingen af data foregik på forskellige tidspunkter, og der blev indsamlet til måleserier til hvert punkt med 3 forskellige typer af GPS-modtagere, både med og uden brug af signal fra GLONASS. Netværks-RTK-tjenesten SWEPOS blev brugt som referencetjeneste og bygger på den samme VRS teknologi som den danske GPSnet tjeneste.

Udstyr

Der blev til undersøgelsen anvendt 3 forskellige GPS-modtagere fra producenterne Leica, Trimble og Topcon.

Leica GPS-modtageren var en GX 1230 GG med en tilhørende RX 1210T controller og en AX 1202GG GPS-antenne. Firmwaren var system 1200 version 4.10.

Topcon GPS-modtageren var en HiPer+ med en integreret GPS-antenne og med en tilhørende FC-100 controller. Firmwaren var TopSURV version 6.04.03.

Trimble GPS-modtageren var en R8 – model 2 med integreret GPS-antenne med en tilhørende TSC2 controller. Firmwaren var Trimble Survey Controller version 11.32.

Opstillingen blev foretaget med et stativ og centreret med optisk lod. Dataoverførelsen blev foretaget med GPRS.

Resultater

Interessante resultatet fra undersøgelsen er beskrevet kort i det følgende.

	Leica		Topcon		Trimble	
	σ_P [mm]	σ_H [mm]	σ_P [mm]	σ_H [mm]	σ_P [mm]	σ_H [mm]
GPS	14	22	15	20	17	23
GPS/GLONASS	14	20	13	19	15	21

Tabel 9. Præcision med og uden brug af GLONASS målt med tre forskellige instrumenter [Johnsson, 2007].

Resultaterne fra undersøgelsen af præcisionen fremgår af tabel 9. Der ses her ingen systematisk forskel på, om der er blevet målt til GPS eller både GPS og GLONASS. Mht. instrumenterne lader det til, at Topcon har målt lidt mere præcist end Trimble og Leica.

	Leica		Topcon		Trimble	
	RMS _P [mm]	RMS _H [mm]	RMS _P [mm]	RMS _H [mm]	RMS _P [mm]	RMS _H [mm]
GPS	14	22	15	24	18	24
GPS/GLONASS	14	20	14	20	15	23

Tabel 10. Nøjagtighed med og uden brug af GLONASS målt med tre forskellige instrumenter [Johnsson, 2007].

Resultaterne fra undersøgelsen af nøjagtigheden fremgår af tabel 10. Det ses ligeledes her, at der ikke er den store forskel på, om GLONASS er medtages i beregningerne eller ej. Der er dog en lille indikation af, at nøjagtigheden bliver bedre når GLONASS medtages i beregningerne, hvilket medfører, at positionen også bliver mere overbestemt med signal fra flere satellitter.

GNSS	Initialiseringstid [sek.]
GPS	54
GPS/GLONASS	40

Tabel 11. Gennemsnitlige Initialiseringstid [Johnsson, 2007].

Undersøgelsen af initialiseringstiden viste, at der var en forskel på, om der kun blev modtaget signal fra GPS eller både GPS og GLONASS. Den gennemsnitlige initialiseringstid for GPS og GLONASS var 40 sekunder, hvorimod den var 54 sekunder, hvis der kun blev modtaget signal fra GPS. Undersøgelsen viste ligeledes, at nøjagtigheden af koordinaterne ikke var afhængig af, hvor lang initialiseringstiden er.

[Johnsson, 2007]

8.2 Formulering af undersøgelser

På baggrund af problemformuleringen og de tilhørende spørgsmål opstillet i problemformuleringen, formuleres tre undersøgelser, som til sammen skal afdække og besvare problemformuleringen. De tre undersøgelser omhandler præcision, nøjagtighed og initialisering og vil blive uddybet i de følgende afsnit.

8.2.1 Præcision

Første undersøgelse omhandler hvilken præcision, der kan opnås ved opkald til en af de tre RTK-teknologier, herunder afstanden til den nærmeste referencestationens betydning. For at kunne bestemme præcisionen, skal der måles til veldefinerede punkter. Disse punkter skal være lokaliseret, således at der måles til punkter med varierende afstand til den nærmeste referencestation. De to udbydere af RTK-tjenester benytter to forskellige net af RTK-referencestationer, og afstanden til nærmeste referencestation i de to net vil

derfor typisk være forskellig fra hvert målepunkt. Dette stiller krav til udvælgelsen af målepunkter, hvor der opstilles følgende kriterier:

- Veldefinerede målepunkter
- Ingen/begrænsede obstruktioner
- Minimere antallet af målepunkter
- Varierende afstand til nærmeste referencestation i de to net

Undersøgelsen af præcisionen af de tre RTK-tjenester foretages med instrumenter fra samme fabrikant og samme model og under væsentlig samme konditioner. På grund af de to udbyderes varierende referencestationsnet, er den maksimale afstand til nærmeste referencestation varierende. For at undersøge systemerne, i forhold til hvad brugeren oplever i marken, skal undersøgelsen udføres således, at der forøges tilvejebragt et datagrundlag for opmåling i hvert af intervallerne:

$$[0-5km] \cup [5-10km] \cup [10-15km] \cup [15-20km] \dots \cup [\text{max.afstand km}]$$

Max. afstand defineres som den maksimale afstand, der kan opnås fra et målepunkt til den nærmeste netværks-referencestation i området.

Data indsamles i 18 RTK-sessioner for hver af de tre RTK-tjenester fra hvert målepunkt. En RTK-session består af ca. 15 minutters måling, hvor der indsamles data hvert sekund. Mellem hver RTK-session skal instrumenterne reinitialiseres. I tidligere projekter er der blevet målt en RTK-session i et målepunkt, hvorefter udstyret er blevet flyttet til næste målepunkt osv.. Dette er gjort for at minimere fejlbidrag som følge af de varierende atmosfæriske forhold. De atmosfæriske fejlbidrag elimineres, hvis afstanden til den nærmeste referencestation er lille. Som dokumentation for de atmosfæriske forhold vedlægges ionosfæreindex I95 i bilag F, sammen med beskrivelser af de enkelte opmålinger.

For at begrænse antallet af dårlige målinger, som er influeret af f.eks. multipath, eller hvor satellitterne har en ringe satellitkonstellation, tages der to forbehold. RTK-koordinater skal kun lagres når PDOP er under 4, og der skal kun medtages signaler fra satellitter med en elevationsvinkel over 12° i beregningerne. Derudover anvendes den mest moderne GNSS-antenne, Trimble Zephyr Geodetic II antenne, med stelth-teknologien, som minimerer risikoen for bl.a. multipath.

I behandlingen af data til undersøgelsen beregnes middelfejlen og spredningen for både højde- og plankoordinater for hver RTK-session. Middelfejlen og spredningen beregnes ad tre omgange på baggrund af samtlige epoker i hver RTK-session, ca. 900 epoker, og for de første fem og de første ti epoker. Ved at basere beregningerne på 900 epoker, fås et statistisk godt grundlag for at beregne spredningen. I praksis baserer brugeren oftest én måling på mellem fem og ti epoker. Der laves derfor ligeledes en beregning baseret på fem og ti epoker,

for at vise hvad brugeren må forvente at kunne opnå. Gennemsnittet af spredningerne målt i et punkt til én tjeneste, beregnes og overskrider spredningen af én RTK-session, tre gange gennemsnittet medtages denne RTK-session ikke i beregningerne. Det markeres tydeligt hvilken RTK-session der evt. ikke medtages i beregningerne.

For at kunne redegøre for evt. afstandsafhængige fejl, beregnes en lineær approksimation efter mindste kvadraters metode, hvor b-værdien er et udtryk for grundfejlen og a-værdien er et udtryk for den afstandsafhængige fejl.

8.2.2 Nøjagtighed

Anden undersøgelse omhandler nøjagtighed. Her kan datagrundlaget fra præcisionsundersøgelsen anvendes, såfremt der tilføjes endnu et krav til udvælgelsen af målepunkter. For at kunne beregne nøjagtigheden er det nødvendigt at måle til veldefinerende punkter, hvis sande koordinat er kendt. Det er derfor et krav til udvælgelsen af målepunkter, at de er indmålt med stor nøjagtighed.

I undersøgelsen beregnes RMS for både plan- og højdekoordinater og rigtigheden i hver dimension, for hver RTK-sessioner. Afviger middelfvigelsen systematisk fra nul for de tre RTK-tjenester i samme målepunkt, kan dette evt. give anledning til at målepunktets sandekoordinat transformeres. Gennemsnittet af RMS-værdierne målt i et punkt til én tjeneste beregnes, og overskrider RMS-værdien for én RTK-session, tre gange gennemsnittet medtages denne RTK-session ikke i beregningerne. Det markeres tydeligt, hvilken RTK-session der evt. ikke medtages i beregningerne. For at kunne redegøre for evt. afstandsafhængige fejl, beregnes en lineær approksimation efter mindste kvadraters metode, hvor b-værdien er et udtryk for grundfejlen, og a-værdien er et udtryk for den afstandsafhængige fejl.

8.2.3 Initialisering

Undersøgelsen *Initialisering* omhandler to områder. Dels er det interessant at undersøge hvad initialiseringstiden er for de tre RTK-tjenester, og herunder hvilke parametre der har indflydelse. Disse parametre vurderes at være antallet af satellitter, PDOP-værdi samt afstand til nærmeste referencestation. I forbindelse med dataindsamlingen skal der derfor indsamles følgende data:

- Initialiseringstid
- Anvendt RTK-tjeneste
- Afstand til nærmeste referencestation
- PDOP-værdi ved start af initialisering
- Evt. obstruktioner

Initialiseringstiden defineres i dette projekt, som den tid det tager fra opkaldet til tjenesten startes til modtageren er initialiseret

For at gøre undersøgelsen sammenlignelig med, hvordan den almindelige brugers målesetup er, indstilles instrumentet til kun at måle, når PDOP er under 4 og der skal kun medtages signaler fra satellitter med en elevationsvinkel over 12° i beregningerne.

Derudover er det interessant at se nærmere på reinitialiseringens betydning. Her menes hvad betyder det for rigtigheden af opmålingen når der reinitialiseres. Det undersøges her hvordan middelfvigelsen af målingerne ændres for hver RTK-session, hvor der i mellem hver RTK-session reinitialiseres.

8.2.4 Opsamling på undersøgelser

Som beskrevet i de forrige afsnit, skal der laves tre hovedanalyser i dette projekt, for at besvare problemformuleringen. Hovedanalyserne er som følgende:

- Nøjagtighed
- Præcision
- Initialisering
 - Initialiseringstid
 - Reinitialiseringens betydning

8.3 Udstyr

I forbindelse med indsamling af data, er der lånt GNSS udstyr af Geoteam A/S i Ballerup, der forhandler Trimble udstyr i Danmark. Direktør Søren Ellegaard fra Geoteam, har i samarbejde med sine udenlandske kollegaer stillet det mest moderne GNSS udstyr til rådighed. Formålet med dette afsnit er at beskrive udstyret samt hele opmålingssetuppet. Udstyret der anvendes, omfatter følgende enheder:

- 3 GNSS-modtagere
- GNSS-antenne
- GNSS-signalsplitter
- 3 controllere
- 3 GSM-modem

8.3.1 GNSS modtager

Trimble R7 GNSS modtager er en dobbelt frekvent fasemodtager med 72 kanaler. Modtageren understøtter følgende signaler:

GPS: L1 C/A-kode, L2C, L1/L2/L5

GLONASS: L1 C/A-kode, L1 P-kode, L2 P-kode, L1/L2

Derudover har modtageren fire SBAS WASS/EGNOS-kanaler. Modtageren har en integreret UHF-radio samt mulighed for trådløs forbindelse til controlleren via bluetooth. I tabel 12 er angivet, hvilke nøjagtigheder der kan forventes at kunne opnås med en Trimble R7 GNSS modtager.

Kinematisk måling	Trimble R7 GNSS
RMS _{Plan}	10 mm + 1 ppm
RMS _{Højde}	20 mm + 1 ppm
Initialiseringstid	<10 sekunder

Tabel 12. Specifikationer for Trimble R7 GNSS modtager [Trimble, 2007 (a)].



Fig. 16. Trimble R7 GNSS modtager [Trimble.com, 2008].

8.3.2 GNSS- antenne

Til undersøgelsen anvendes en Trimble Zephyr Geodetic II antenne. Antennen kan modtage følgende signaler:

GPS: L1, L2, L5

GLONASS: L1, L2, L3

Galileo: E1, E2, E5, E6

SBAS: WAAS, EGNOS, QZSS, Gagan,

MSAS og OmniSTAR



Fig. 17. Trimble Zephyr Geodetic II antenne [Trimble, 2007 (b)].

Antennens fasecenter er bestemt bedre end 1 mm, og for at reducere risikoen for multipath anvendes Trimble Stealth teknologien.

8.3.3 GNSS-signal splitter

GNSS-signalerne som modtages med antennen skal splittes ud til tre GNSS modtagere. Til dette bruges en LDCBS1X4 GPS antennesplitter fra GPS Networking INC. LDCBS1X4 GPS antennesplitter er en passiv splitter med en indgang og mulighed for op til 4 udgange. Splitteren er specielt designet til GPS L1, L2 samt GLONASS. En af udgangene forsyner antennen med strøm fra modtageren, mens de resterende 3 udgange er DC-blokerede for at undgå skade på antennen [GPS Networking, 2007].

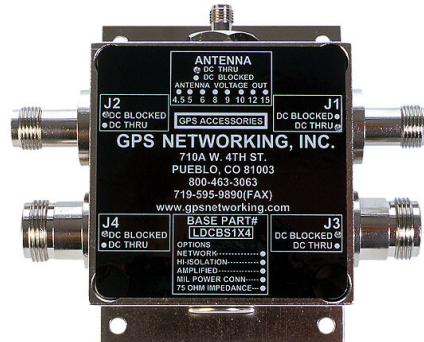


Fig. 18. LDCBS1X4 GPS-antenne splitter [Gpsnetworking.com, 2008].

8.3.4 Controller

Interface-delen i målesetuppet er Trimbles TSC2 controller. Dette er en håndholdt computer baseret på Microsoft's Windows mobile software, med Trimbles Survey Controller landmålingssoftware. Standard er 128Mb SDRAM og 512 Mb intern disk med en 520 MHz PXA 270 Xscale CPU processor. Skærmen er en trykfølsom TFT farveskærm, der kombineret med tastaturet gør det let at navigere rundt. Der er et integreret batteri i controlleren, som ved normal anvendelse har en kapacitet på 30 timers opmåling. Ved hjælp af Bluetooth er det muligt at kommunikere trådløst med Trimble R7 GNSS modtageren eller anden computer i forbindelse med dataoverførsel. Derudover er den støv og vandtæt [Trimble, 2005].



Fig. 19. Trimble TSC2 controller. [Geoteam.dk, 2008]

8.3.5 GSM-modem

For at kunne modtage korrektionsdata fra RTK-tjenesterne, anvendes et GSM-modem. Det har desværre ikke været muligt at få fat i tre helt ens GSM-modemmer, men da opkaldstypen er konfigureret til det samme, burde dette ikke have indflydelse på undersøgelsen. Der er blevet anvendt 2 forskellige GSM-modemmer. Opkald til GPS-referencens enkelstations-RTK, er foretaget med et MAXON MM-6854 GSM-modem. Dette modem kan kun modtage data i ASCII format og er derfor tilstrækkeligt i denne forbindelse. Opkald til GPSnet og Spidernet er foretaget med 2 Siemens GSM mobiltelefoner, som både kan modtage data i ASCII- og binærtformat.

8.3.6 Målesetup

Der er i dette projekt valgt at indsamle data fra de tre RTK-tjenester, under helt samme konditioner. Det betyder, at der kun anvendes én Trimble Zephyr Geodetic II antenne, hvor signalet splittes ud til tre Trimble R7 GNSS modtagere. Trimble R7 GNSS modtagerne betjenes hver med en Trimble TSC2 controller, hvor data bl.a. lagres. Hver Trimble R7 GNSS modtager, modtager korrektionsdata vha. et GSM-modem, hvor der til hvert GSM-modem skal være et SIM-kort, der er registreret som abonnent hos den RTK-tjeneste der kaldes op til. Figur 20 er et strukturdiagram, der viser opbygningen af målesetupet.

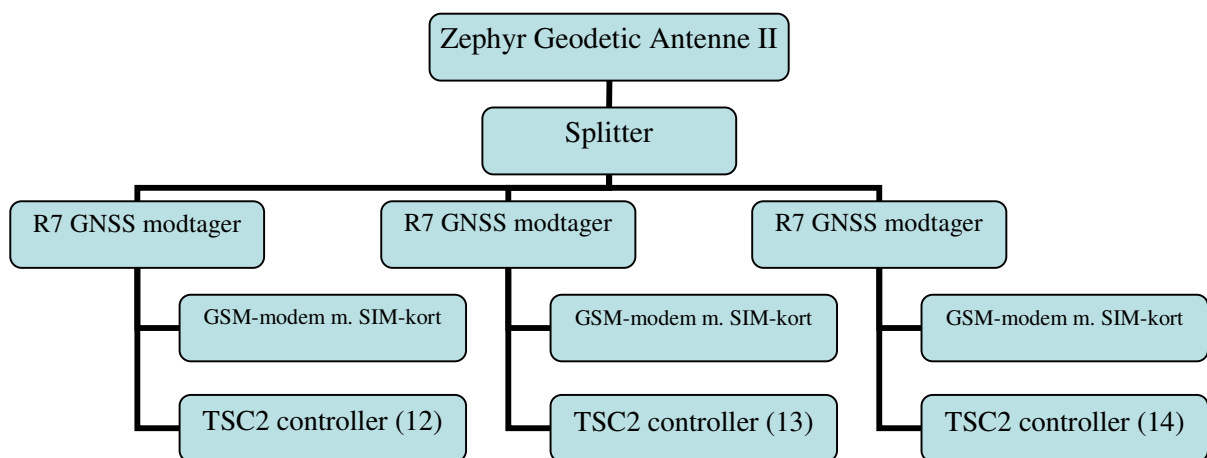


Fig. 20. Strukturdiagram over målesetupet

8.3.7 Verificering af udstyr

For at reducere antallet af fejlkilder, skal udstyret verificeres inden data indsamlingen påbegyndes. Der gennemføres i den forbindelse en række rutiner til verificering af følgende udstyr:

- Fodstykke med optisk lod
- Libelle på Trimble snapstativ samt højde
- Tommestok

Anders Otte fra Laboratoriet for Geoinformatik på Aalborg Universitet har stået for at verificere to fodstykker med optisk lod. Verificeringen er udført på en dertil indrettet testopstilling i laboratoriet, med en spredning bedre end 1 mm på en afstand af 3 meter.

Libelle samt højde af Trimble snapstativet, er verificeret hos Geoteam i Ballerup. Det blev her fundet ud af at bunden af antennerammen er ca. 1mm over stativets afslutning. Dette medfører at der altid skal tillægges 1 mm til den aflæste stativhøjde.

Den anvendte tommestok er kontrolleret for nulpunkts-, index-, og samplingsfejl. Der er ingen bemærkninger til denne.

Splitteren blev ligeledes testet for indflydelse på signal/støjforhold hos Geoteam. Der blev ikke fundet nogen forskel på om der bliver modtaget signal direkte fra antennen, eller om signalet bliver splittet i tre.

8.4 Måleområde

I problemformuleringens afgrænsning, er måleområdet afgrænset til København og området omkring. Dette skyldes at instrumenterne er udlånt af Geoteam som er beliggende i Ballerup. I forbindelse med opsætning af målesetupet vil teknikere fra Geoteam være behjælpelige med at få det hele til at virke, og det findes derfor oplagt at foretage opmålingen i området, så der er let afgang til support.

8.4.1 Målepunkter

Kriterierne for udvælgelsen af målepunkter, blev beskrevet i afsnit 8.2 *Formulering af undersøgelser*. Det vil være meget tidskrævende at oprette og indmåle veldefinerede punkter med stor nøjagtighed til dette projekt. Det er derfor valgt at anvende allerede eksisterende målepunkter, som KMS har indmålt og beregnet. Punkterne der vil blive anvendt i dette projekt er 10-km punkter og REFDK-punkter.

REFDK-punkterne er fordelt over hele landet med en afstand på ca. 40 km. Punkterne er afmærket som granit- eller murstenspostamenter med en bolt, som markerer punktet. Nøjagtigheden af punkterne er ca. 1 cm.

10-km punkterne er en fortætning af REFDK-nettet og består af ca. 700 punkter. Der er ca. 10 km mellem punkterne, og er enten afmærket på et postament eller skrueløk. Generel nøjagtighed ukendt. [Kms.dk, 2008]

Det har ikke været muligt at få oplyst nøjagtighed eller præcisionen af de enkelte punkter hos KMS. De forventes dog at have en nøjagtighed på ca. 1,5 cm i det geodætiske net [Engsager, 2007].

Punktnummer	Anvendt nr.	Type	Afmærkning	Beregnet	Koordinater
					UTM33/ETRS89-DVR90
01-16-00855	55	REFDK	Postament	1997	6164765.150 N 347256.084 E 1.977 m
01-08-00005	05	REFDK	Postament	1997	6159910.511 N 346593.112 E 3.731 m
01-13-00821	21	REFDK	Betonstøbning med markering i jernplade	1997	6179847.517 N 343046.229 E 51.820 m
02-11-00835	35	10-km	Skruepløk	2001	6180957.836 N 332165.518 E 26.274 m
09-01-00838	38	10-km	Skruepløk	2001	6189061.819 N 334818.696 E 40.862 m
13-03-00816	16	10-km	Skruepløk	2001	6196183.301 N 346268.985 E 3.860 m
03-09-00001	01	10-km	Betonstøbning med markering i jernplade	2001	6181325.867 N 319560.406 E 36.237 m

Tabel 13. Anvendte målepunkter med plan koordinater opgivet i UTM33/ETRS89 og kote i DVR90 [Valdemar.kms.dk, 2008].

Koordinaterne til punkterne i tabel 13 er transformeret fra UTM32/ETRS89-DVR90 til UTM33/ETRS89-DVR90. Dette gøres, fordi måleområdet er i zone 33. Transformationen har ingen praktisk betydning, da KMS har defineret UTM zone 32 til at kunne dække hele Sjælland. Transformationen er ikke behæftet med fejl, og nøjagtigheden bevares derfor. Yderligere beskrivelser af målepunkterne, fremgår af bilag CD-L.

Målepunkterne der anvendes i undersøgelsen af GPSnets netværkstjeneste VRS, fremgår af tabel 14.

Punktnummer	Referencestation	Afstand
55	Tårnby	2,4 km
05	Tårnby	7,2 km
21	Tårnby	14,2 km
35	Tårnby	21,7 km
38	Tårnby	26,2 km
16	Tårnby	29,5 km
01	Tårnby	32,4 km

Tabel 14. Målepunkter til undersøgelse af GPSnet, med angivelse af afstand til nærmeste referencestation.

Målepunkterne, der anvendes i undersøgelsen af GPS-referencens netværkstjeneste Spidernet (i-MAX), fremgår af tabel X15.

Punktnummer	Referencestation	Afstand
21	Herlev	4,5 km
55	Teglholmen	5,7 km
35	Herlev	7,5 km
05	Teglholmen	10,4 km
38	Herlev	11,9 km
16	Helsingør	15,7 km
01	Herlev	19,9 km

Tabel 15. Målepunkter til undersøgelse af Spidernet, med angivelse af afstand til nærmeste referencestation.

Målepunkterne, der anvendes i undersøgelsen af GPS-referencens enkelstations-RTK tjeneste med GPS, fremgår af tabel 16.

Punktnummer	Referencestation	Afstand
21	Herlev	4,5 km
55	Teglholmen	5,7 km
35	Herlev	7,5 km
05	Teglholmen	10,4 km
16	Helsingør	15,7 km
01	Herlev	19,9 km
38	Helsingør	26,5 km

Tabel 16. Målepunkter til undersøgelse af enkelstations-RTK, med angivelse af afstand til den anvendte referencestation.

Figur 21 er et kort over målepunkterne, med angivelse af den planlagte nærmeste referencestation fra hver tjeneste.

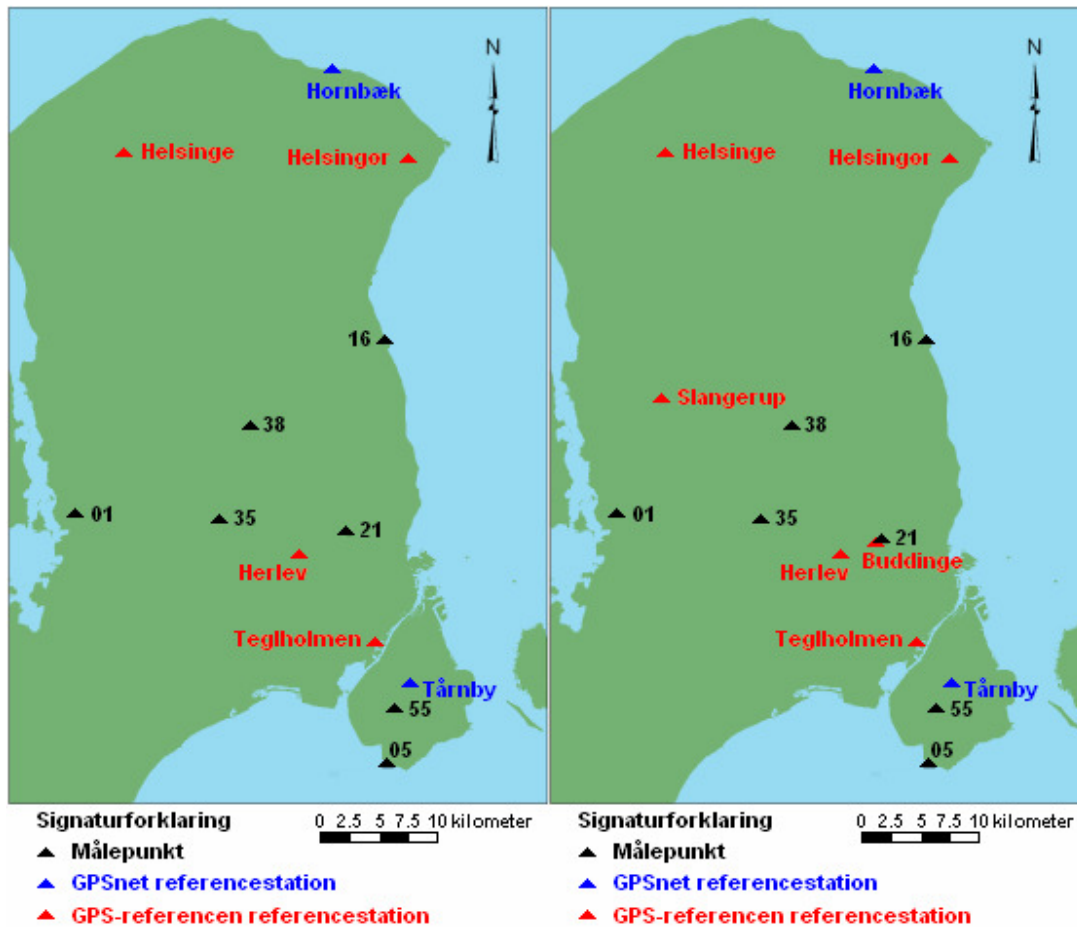


Fig. 21. Kort over målepunkter og tjenesternes referencestationer som planlægningen blev foretaget efter.

Fig. 22. Kort over målepunkter, med tjenesternes referencestationer som faktisk er i området. Det skal bemærkes at GPS-referencens referencestation i Buddinge ikke er en del af netværkstjenesten Spidernet.

Som beskrevet senere i kapitel 9, *Udførelse af test*, gik opmålingen desværre ikke som planlagt. Kortet vist på figur 22 viser målepunkterne, med de referencestationer som faktisk var i området. Konsekvensen af dette er at afstanden til den nærmeste referencestation ikke følger planlægningen, og at der derfor ikke indsamlet data i de afstandsintervaller som det var planlagt.

8.5 Måleprocedure

I dette afsnit beskrives måleproceduren i forbindelse med indsamling af data. Her vil de nærmere detaljer blive beskrevet om valg af koordinatsystem, en detaljeret gennemgang af procedure i forbindelse med indsamling af data, og hvilken punktnummerstrategi der anvendes for at holde styr på de mange observationer.

8.5.1 Valg af koordinatsystem

Inden dataindsamlingen påbegyndes, er det nødvendigt at fastlægge, hvilket koordinatsystem der skal lagres data i. I Danmark bliver der dagligt anvendt flere koordinatsystemer til forskellige formål. System 34 er dog ikke egnet som koordinatsystem til RTK-positionering [Engsager, 2007].

ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989) er det nye grundlæggende 3-dimensionale referencesystem i Danmark, og den europæiske realisering af WGS84⁵. WGS84 er et globalt datum, der løbende vedligeholdes med målinger til globale fundamentalstationer, således at datummet er en funktion af tiden. I Europa ønskede man en fast referenceramme, og fastlagde derfor ETRS89 d. 1. januar 1989. ETRS89 og WGS84 anses for at være identiske i Europa af KMS.

I Danmark har KMS introduceret ETRS89 i to, 2-dimensionale horisontale kortprojektioner, hvor den primære er UTM og den sekundære Kp2000. UTM står for Universal Transverse Mercator, og er en tværliggende mercator kortprojektion, hvor vinkler afbildes korrekt, mens afstande og arealer skal korrigeres. Afstandskorrekturen er maksimalt 40 cm/km. UTM projektionen er defineret i 60 zoner dækkende hele jorden. Danmark ligger i zone 32 og 33, hvor Jylland, Fyn og Vestsjælland dækkes af zone 32, mens Østjylland og Bornholm dækkes af zone 33. Zone 32 kan dog "strækkes" til at dække hele Sjælland. [KMS, 2006]

På grund af den store afstandskorrektion i UTM, indførte KMS Kp2000. Kp2000 er en dansk tilpasset kortprojektion, defineret således at afstandskorrekturen minimeres. Som det fremgår af figur 24, er den maksimale afstandskorrektion 5 cm/km.

⁵ Samme datum som GPS-satelliternes position er angivet i.

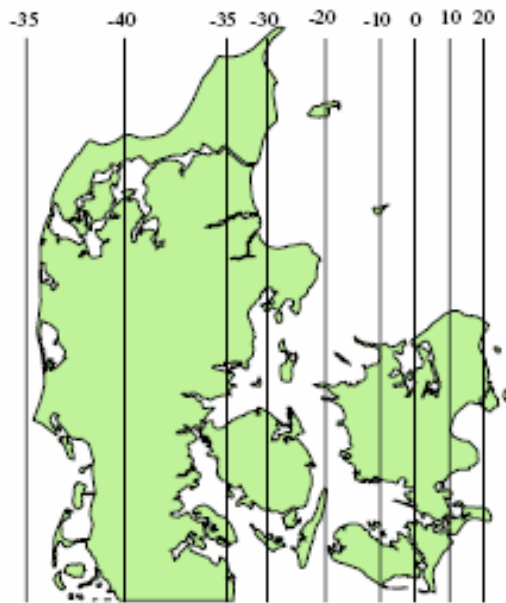


Fig. 23. Afstandskorrektion i cm pr. km i UTM32/ETRS89 [KMS, 2001]

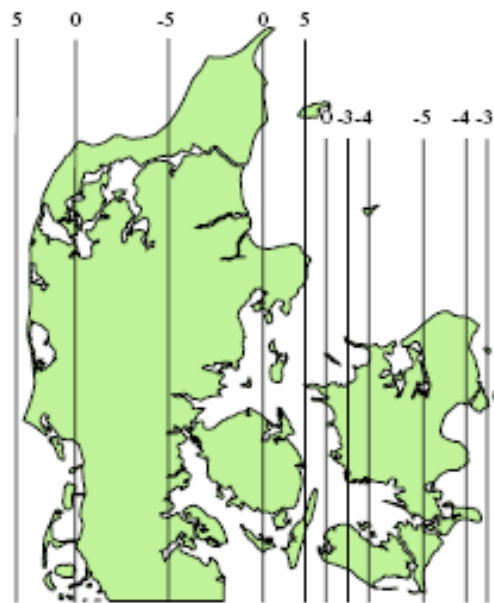


Fig. 24. Afstandskorrektion i cm pr. km i Kp2000 [KMS, 2001]

Både UTM/ETRS89 og Kp2000 er veldefinerede matematiske kortprojektioner, hvor der ikke sker tab af nøjagtighed ved transformation. UTM/ETRS89 anbefales dog som den primære kortprojektion i forbindelse med kortlægning og fremstilling af data.

Da både System 34, UTM/ETRS89 og Kp2000 er 2-dimensionelle horisontale referencesystemer, skal højden angives i et andet referencesystem. Til fastlæggelse af højden, er der i Danmark 2 højderferencesystemer. Det vælges her at anvende det nyeste system DVR90.

8.5.2 Punktnummerstrategi

Der vil ca. blive indsamlet ca. 340.000 observationer til undersøgelsen i dette projekt. For at kunne holde styr på hvilke observationer, der er målt under hvilke forhold osv. er det nødvendigt at lave en klar punktnummerstrategi. Der skal indsamles observationer med tre forskellige instrumenter. Med hvert instrument skal der måles 18 RTK-sessioner til hver af de syv målepunkter. Det er derfor oplagt at bruge instrument nummeret, RTK-session nummeret samt målepunkt nummeret til det punkt hvor observationen måles.

På Trimble TSC2 controlleren skal der oprettes et job, hvor alle observationer bliver lagret. For at kunne holde styr på observationerne, oprettes et nyt job for hver RTK-session. Navnet på jobbene beskriver den anvendte GNSS modtager, RTK-session, samt det målepunkt der er indsamlet observationer i.

YY-XX-ZZ , hvor

YY er punktnummeret til det målepunkt der måles i

XX er nummeret på den RTK-session observationen er foretaget i

ZZ er nummeret på den GNSS modtager der er blevet anvendt

I hvert job lagres data fortløbende med punkt nr. 1 som det første.

GNSS modtagernes numre er:

12: GPSnet

13: Spidernet

14: Enkelstations-RTK

Eksempel: **13-06-16**

Modtager **13** (Spidernet) – RTK-session **06** – målt i punkt nr. **16** (Rungsted)

8.5.3 Indsamling af data

For at tilvejebringe et dækkende datagrundlag, indsamles data i måleserier. Indsamling af data foretages i 7 veldefinerede punkter, som er nærmere beskrevet i afsnit 8.4.1, *Målepunkter*. Opmålingerne foretages i perioden d. 27. marts til d. 2. april 2008, og påbegyndes hver dag omkring kl 9:30⁶. I hvert punkt forsøges foretaget 18 RTK-sessioner, med tre forskellige GNSS modtagere. Ved hver RTK-session skal nedenstående måleprocedure foretages:

1. Stativ med GPS-antenne stilles op over et 'kendt punkt' og centreres.
2. Højde fra 'kendt punkt' til bund af antenneramme noteres.
3. Der oprettes et nyt job, jf. afsnit 8.4.2.
4. PDOP, antal satellitter og starttidspunkt noteres.
5. Opmålingen startes på én modtager, samtidig med at et stopur starter optælling på sekundniveau. Stopuret stoppes, når modtageren har initialiseret, og tiden noteres.
6. Punkt 5 udføres for alle tre modtagere.
7. Højden indtastes i instrumenterne, og målingerne påbegyndes og lagres for hvert sekund.
8. Evt. bemærkninger noteres
9. Efter ca. 15 minutters måling stoppes opmålingen.
10. Punkt 1-9 gentages 18 gange, med ca. 20 minutter mellem hvert punkt 7.

I hvert punkt foretages 18 RTK-sessioner, umiddelbart efter hinanden i et tidsrum på ca. 6 timer. Til forskel fra andre undersøgelser bruges tiden på at indsamle

⁶ Tidspunkt opgivet i lokaltid, hvor der ikke tages højde for sommer- og vintertid.

data, frem for at køre rundt til de forskellige punkter. Dette er bl.a. valgt da det er et lidt komplekst opmålingssetup, med mange enheder og ledninger, der tager tid at sætte op. Begrundelsen for at køre rundt til næste punkt efter hver opmålingssession i tidligere projekter, har været, at de atmosfæriske forhold ændres, og at fejlbidragene dermed kunne fordeles. De atmosfæriske forhold ændres også over kort tid, og der er derfor vedlagt data for de atmosfæriske forstyrrelser i bilag F.

Alle observationer indsamles med samme indstillinger og mål, som fremgår af nedenstående liste:

1. Elevationsvinkel 12°
2. Målinger lagres for hvert sekund
3. Max. PDOP 4,0
4. Plankoordinater lagres i UTM zone 33 ETRS89 og højder i DVR90
5. Initialiseringstype 'on the fly'
6. Ingen maksimal initialiseringstid

9 Udførelse af test

Formålet med dette kapitel er at beskrive, opsætningen af udstyret samt hvorledes udførelsen af dataindsamlingen forløb. Først gennemgås erfaringer fra selve opsætningsfasen hos Geoteam i Ballerup, hvorefter der laves en gennemgang af, hvordan udførelsen af testen forløb i hvert enkelt punkt.

Udførelsen af testen blev foretaget i perioden fra d. 27. marts til d. 2. april 2008. Udstyret blev modtaget hos Geoteam d. 25. marts fra Italien og Tyskland, hvorefter alle modtagere fik opdateret firmware, således at alle observationer er indsamlet med den samme software. Der blev brugt to dage hos Geoteam til at samle udstyret og få det konfigureret. Hver af de tre controllere blev konfigureret til at kunne måle til en af de tre RTK-tjenester. Opsætningen fremgår af bilag D. Nedenfor er vist, hvilken controller der er anvendt til hvilken tjeneste:

- GPSnet (GPS) - controller 12 (Geoteam)
- Spidernet (i-MAX) – controller 13 (Aalborg Universitet)
- Enkelstations-RTK – controller 14 (Aalborg Universitet)

Hvilken GNSS-modtager og hvilket signal fra splitteren, der anvendes, er vilkårligt for hver opsætning.

Til hver af de syv målepunkter er der udarbejdet et observationsark. På hvert observationsark noteres:

- Dato
- Målepunkt nr.
- Enkelstations-RTK referencestation
- Bemærkninger til punkt

For hver RTK-session:

- Starttid
- Antennehøjde
- PDOP
- Antal satellitter
- Initialiseringstid
- Bemærkninger

Observationsarkene er vedlagt som bilag CD-N.

Ca. 14 dage før opmålingsperioden blev påbegyndt, blev de syv målepunkter besigtiget, og der blev taget 360° panorama billeder fra alle punkter som dokumentation for eventuelle obstruktioner, se bilag CD-M. Punkt 16 i Rungsted var ikke muligt at genfinde, og der blev i stedet etableret et nyt veldefineret punkt i nærheden som opmålingerne blev foretaget fra. Det nye punkt har imidlertid

ingen kendte koordinater, og det er derfor ikke muligt at bruge observationer fra dette punkt til nøjagtighedsanalysen. Punkt 21 er beliggende inde på en indhegnet ejendom, hvor der skiltes med adgang forbudt. Der kræves her tilladelse fra ejeren på telefon nr. 20333025 før der gives adgang til ejendommen. Punkt nr. 55 er beliggende i naturområdet Vestamager, hvor der kræves køretilladelse. Køretilladelsen kan erhverves ved at kontakte Anne Marie Wiener fra Skov og Naturstyrelsen, Hovedstaden.



Fig. 25. Opstilling af de tre kontrollere, GNSS-modtagere, GSM-modems mm. foran postament.

I det følgende beskrives måleproceduren, samt hvordan målingerne forløb i hvert punkt.

Måleprocedure

Måleproceduren var ens i alle målepunkter, og beskrives derfor samlet. Hver morgen blev udstyret samlet og antennen centreret over målepunktet med enten malkeskammel med optisk centring eller Trimble snap-stativ. Der blev forsøgt gennemført 18 RTK-sessioner i hvert målepunkt, hvor den første blev forsøgt startet kl 9:30. Måleproceduren fremgår af nedenstående punktopstilling:

1. Ny opstilling og centring af antenne
2. Mål antennehøjde, indtast i kontrollere og noter på observationsark
3. Initialiser instrumenter
 - a. Først initialiseres modtager 12 til GPSnet. Initialiseringstiden, PDOP-værdien og antallet af satellitter noteres.
 - b. Derefter initialiseres modtager 13 til Spidernet. Initialiseringstiden, PDOP-værdien og antallet af satellitter noteres.
 - c. Til sidst initialiseres modtager 14 til enkelstations-RTK. Initialiseringstiden, PDOP-værdien og antallet af satellitter noteres.
4. Opmåling startes med alle tre instrumenter, og der lagres observationer for hvert sekund i ca. 15 minutter.
5. Eventuelle bemærkninger noteres undervejs

Punkt 1-5 gentages 18 gange, hvor der tilstræbes at være ca. 20 minutter mellem at punkt 4 gentages.

10 Analyse af data

Formålet med dette kapitel er at analysere de indsamlede data, og danne baggrund for besvarelsen af problemformuleringen. Hovedanalyserne i dette kapitel omhandler præcision og nøjagtighed for både plan og højde koordinater. Derudover laves en analyse omhandlende initialisering, herunder initialiseringstid og reinitialiseringens betydning, vurderet i forhold til rigtigheden.

Beregninger er foretaget i MatLab 6.5 med scriptet *Beregn_praecision-noejagtighed-rigtighed*, vedlagt i bilag CD-P. Grafer er udarbejdet i Microsoft Excel 2002 med standard diagrammet XY (Scatter). Tendenslinjer er beregnet med Microsoft Excel 2002 efter mindste kvadraters metode. For at gøre graferne i dette kapitel lette at overskue og sammenligne, er data fra GPSnet vist med blå, data fra Spidernet vist med rød og data fra enkelstations-RTK vist med grøn.

10.1 Præcision

I dette afsnit undersøges præcision i planen og højden for de tre forskellige RTK-teknologier. Endvidere undersøges det, om afstanden til den nærmeste referencestation har indflydelse på præcisionen.

10.1.1 - Plan

Undersøgelsen af præcisionen i planen σ_p er baseret på gennemsnittet af spredningen i hver af de syv målepunkter med hver af de tre RTK-teknologier. Spredningerne fremgår af bilag G og er beregnet på baggrund af ca. 900 epokers opmåling pr. RTK-session, svarende til ca. 15 minutters opmåling. I de beregnede gennemsnit er frasortet RTK-sessioner, hvor spredningen er større end 3 gange gennemsnittet af spredningen målt i et punkt. Det fremgår tydeligt af bilag G hvilke RTK-sessioner, der udelades fra beregningerne.

GPSnet

Der er ialt målt 122 RTK-sessioner til GPSnet (GPS), fordelt på 7 punkter. Der er ved beregning af gennemsnittet af spredningen i planen, frasortet én RTK-session, som oversteg grænsen på tre gange gennemsnittet, se tabel G1 i bilag G.

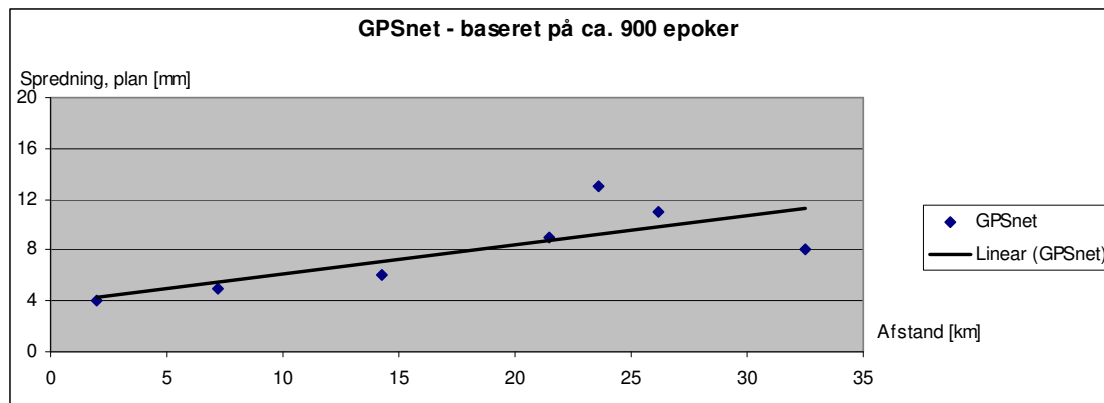


Fig. 26. Præcision i planen for GPSnet afbildet som funktion af afstanden til den nærmeste referencestation.

Præcisionen af GPSnet i planen fremgår af figur 26. Det ses her, at der er en klar tendens til, at præcisionen i planen er afhængig af afstanden til den nærmeste referencestation. Spredningen stiger således proportionelt med afstanden til den nærmeste referencestation.

Spidernet

Der er ialt målt 122 RTK-sessioner til Spidernet (i-MAX), fordelt på 7 punkter. Der er ved beregning af gennemsnittet af spredningen i planen frasorteret to RTK-sessioner, som oversteg grænsen på tre gange gennemsnittet, se tabel G2 i bilag G.

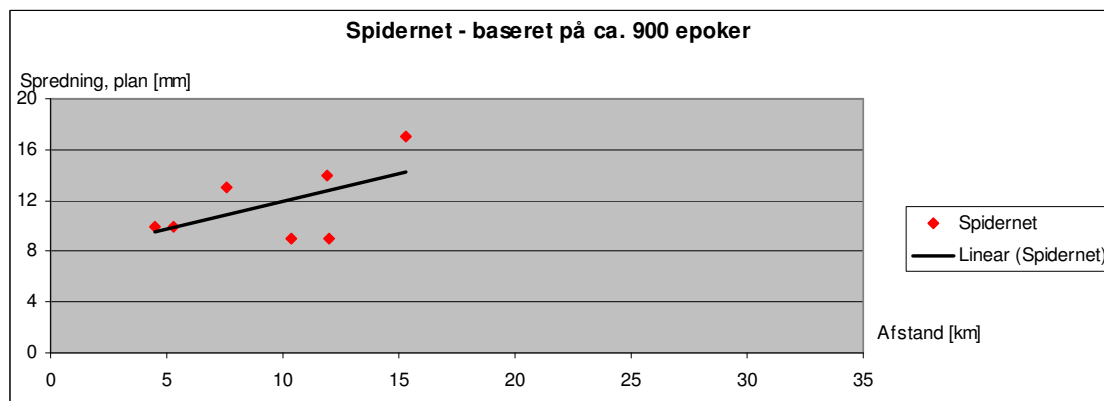


Fig. 27. Præcision i planen for Spidernet afbildet som funktion af afstanden til den nærmeste referencestation.

Præcisionen af Spidernet i planen fremgår af figur 27. Det ses også her, at der er en klar tendens til, at præcisionen i planen er afhængig af afstanden til den nærmeste referencestation. Spredningen stiger proportionelt med afstanden til den nærmeste referencestation.

Enkelstations-RTK

Til undersøgelsen af enkelstations-RTK er der målt ialt 100 RTK-sessioner, fordelt på syv målepunkter. Grunden til at der ikke er målt 122 RTK-sessioner som ved GPSnet og Spidernet, skyldes at der har været problemer med at kalde op til referencestationerne. Der er ved beregning af gennemsnittet af spredningen i planen frasorteret tre RTK-sessioner, som oversteg grænsen på tre gange gennemsnittet. Dette fremgår nærmere af tabel G3 i bilag G.

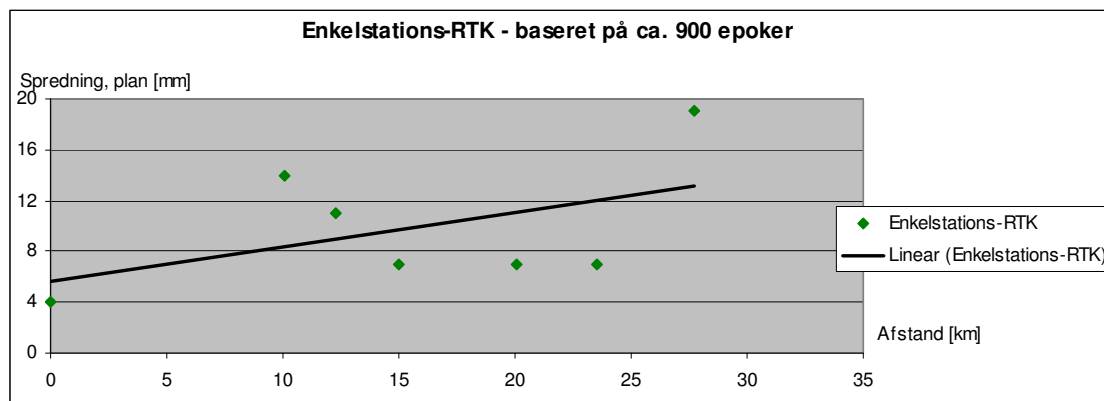


Fig. 28. Præcision i planen for enkelstations-RTK afbildet som funktion af afstanden til den nærmeste referencestation.

Præcisionen af enkelstations-RTK i planen fremgår af figur 28. Her er punkterne ikke lige så pænt fordelt omkring tendenslinjen. Der ses alligevel en tendens til, at præcisionen i planen er afhængig af afstanden til den nærmeste referencestation. Spredningen stiger således også proportionelt med afstanden til den nærmeste referencestation. Hvorvidt det er rimeligt at aproksimere en ret linje gennem punkterne kan diskuteres, men det vælges alligevel at gøres for at afkode en mulig tendens.

Sammenligning

I det følgende sammenlignes de tre RTK-teknologier, i forhold til præcisionen i planen som funktion af afstanden til den nærmeste referencestation. Figur 29 er udarbejdet på baggrund af spredninger udregnet på baggrund af ca. 900 epoker, mens figur 30 og 31 er udregnet på baggrund af henholdsvis 10 og 5 epoker. Grunden til, at der yderligere inddrages data beregnet på 5 og 10 epoker, skyldes, at dette er det normale antal epoker, brugeren vil basere én RTK-måling på.

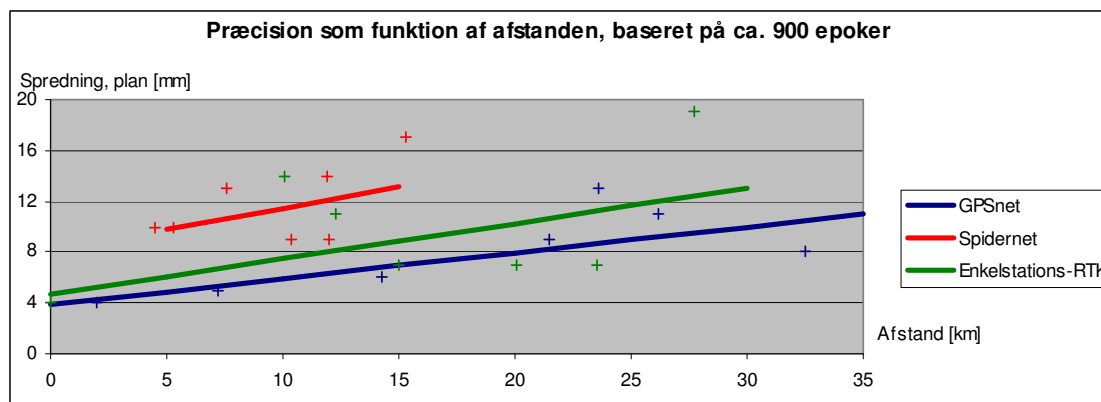


Fig. 29. Spredningen i plan som funktion af afstanden til nærmeste referencestation. Datagrundlag er gennemsnittet af spredningerne, beregnet på baggrund af ca. 900 epoker fra hver RTK-session.

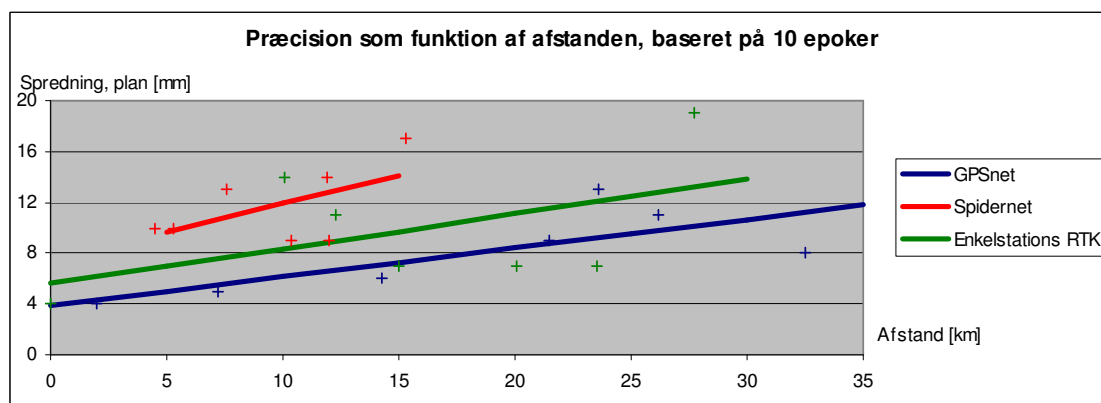


Fig. 30. Spredningen i plan som funktion af afstanden til nærmeste referencestation. Datagrundlag er gennemsnittet af spredningerne, beregnet på baggrund af de første 10 epoker fra hver RTK-session.

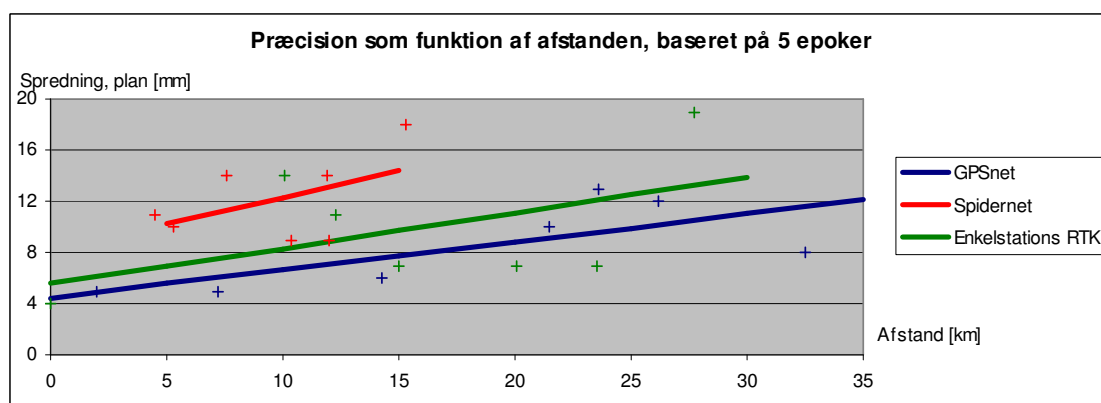


Fig. 31. Spredningen i plan som funktion af afstanden til nærmeste referencestation. Datagrundlag er gennemsnittet af spredningerne, beregnet på baggrund af ca. 5 epoker fra hver RTK-session.

Som det fremgår af figur 29-31, er der en klar tendens til at alle tre teknologier er påvirket af afstandsafhængige fejl i forhold til planpræcisionen. Grafernes hældningskoefficient kan ligestilles med den afstandsafhængige fejl [ppm], som giver værdierne vist i tabel 17.

	GPSnet (GPS)	Spidernet (i-MAX)	Enkelstations-RTK
Afstandsafhængig fejl, plan [ppm]	0,2	0,4	0,3

Tabel 17. Afstandsafhængig fejl i planen, beregnet på baggrund af en lineær approksimation, af gennemsnittet af spredninger fra bilag G, baseret på 900 epoker.

Der skal tages forbehold for den afstandsafhængige fejl, beregnet for Spidernet, hvor datagrundlaget kun er baseret på afstande inden for et interval af 10 km.

Det kan herefter konkluderes på baggrund af figur 29-31, at GPSnet (GPS) har den største grad af præcision i planen. Derefter kommer enkelstations-RTK, og til sidst leverer Spidernet med i-MAX løsningen, den laveste præcision i planen.

10.1.2 - Højde

Undersøgelsen af præcisionen i højden σ_h bygger på beregnede gennemsnit af spredningen i hver af de syv målepunkter. Spredningerne fremgår af bilag H og er beregnet på baggrund af ca. 900 epokers opmåling pr. RTK-session, svarende til ca. 15 minutters opmåling. I de beregnede gennemsnit er frasortet RTK-sessioner, hvor spredningen er større end 3 gange gennemsnittet af spredningen målt i et punkt. Det fremgår tydeligt af bilag H, hvilke RTK-sessioner, der udelades fra beregningerne.

GPSnet

Der er ialt målt 122 RTK-sessioner til GPSnet (GPS), fordelt på 7 punkter. Der er ved beregning af gennemsnittet af spredningen i planen, frasortet én RTK-session, som oversteg grænsen på tre gange gennemsnittet, se tabel H1 i bilag H.

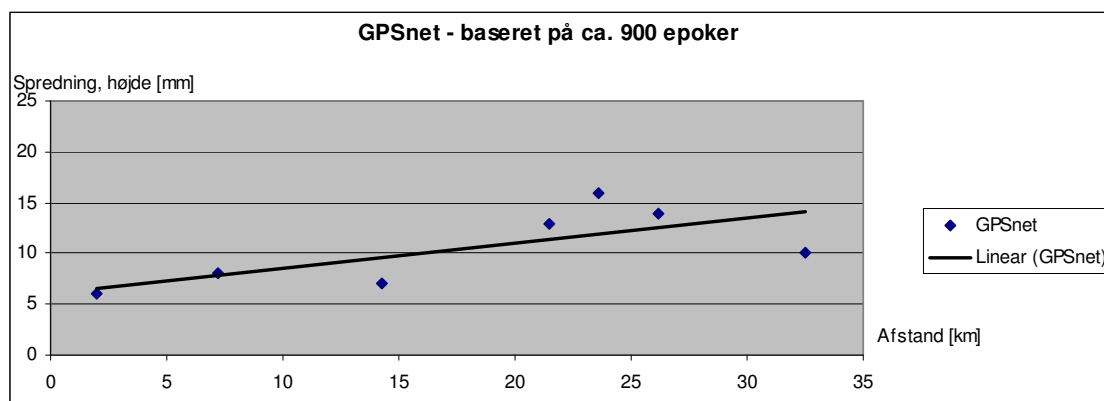


Fig. 32. Præcision i højden for GPSnet, afbildet som funktion af afstanden til den nærmeste referencestation.

Præcisionen af GPSnet i højden fremgår af figur 32. Det ses her, at der er en klar tendens til at præcisionen i højden også er afhængig af afstanden til den nærmeste referencestation. Spredningen stiger således proportionelt med afstanden til den nærmeste referencestation.

Spidernet

Der er ialt målt 122 RTK-sessioner til Spidernet (i-MAX), fordelt på 7 punkter. Der er ved beregning af gennemsnittet af spredningen i højden frasortet fire RTK-sessioner, som oversteg grænsen på tre gange gennemsnittet, se tabel H2 i bilag H.

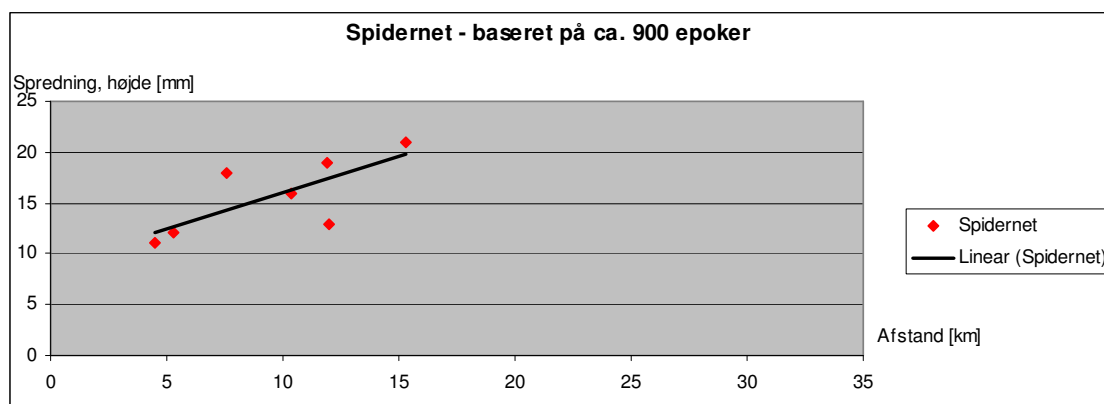


Fig. 33. Præcision i højden for Spidernet afbildet som funktion af afstanden til den nærmeste referencestation.

Præcisionen af Spidernet (i-MAX) i højden fremgår af figur 33. Det ses også her at der er en klar tendens til, at præcisionen i højden er afhængig af afstanden til den nærmeste referencestation. Spredningen stiger proportionelt med afstanden til den nærmeste referencestation, og også her med en højere hældningskoefficient end for GPSnet.

Enkelstations-RTK

Til undersøgelsen af enkelstations-RTK er der målt ialt 100 RTK-sessioner, fordelt på syv punkter. Der er ved beregning af gennemsnittet af spredningen i højden frasortet tre RTK-sessioner, som oversteg grænsen på tre gange gennemsnittet. Dette fremgår nærmere af tabel H3 i bilag H.

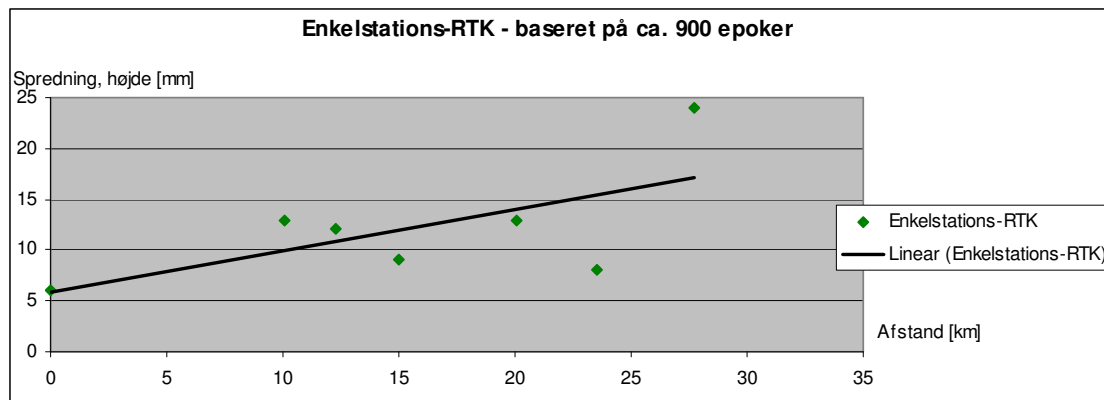


Fig. 34. Præcision i højden for enkelstations-RTK afbildet som funktion af afstanden til den nærmeste referencestation.

Præcisionen af enkelstations-RTK i højden fremgår af figur 34. Der ses her en tendens til, at spredningen i højden er afhængig af afstanden til den nærmeste referencestation. Spredningen stiger proportionelt med afstanden til den nærmeste referencestation.

Sammenligning

I det følgende sammenlignes de tre RTK-teknologier i forhold til præcisionen i højden som funktion af afstanden til den nærmeste referencestation. Figur 35 er udarbejdet på baggrund af spredninger udregnet på baggrund af ca. 900 epoker, mens figur 36 og 37 er udregnet på baggrund af henholdsvis 10 og 5 epoker. Grunden til, at der yderligere inddrages data beregnet på 5 og 10 epoker, skyldes som tidligere beskrevet, at dette er det normale antal epoker, brugeren vil basere én RTK-måling på.

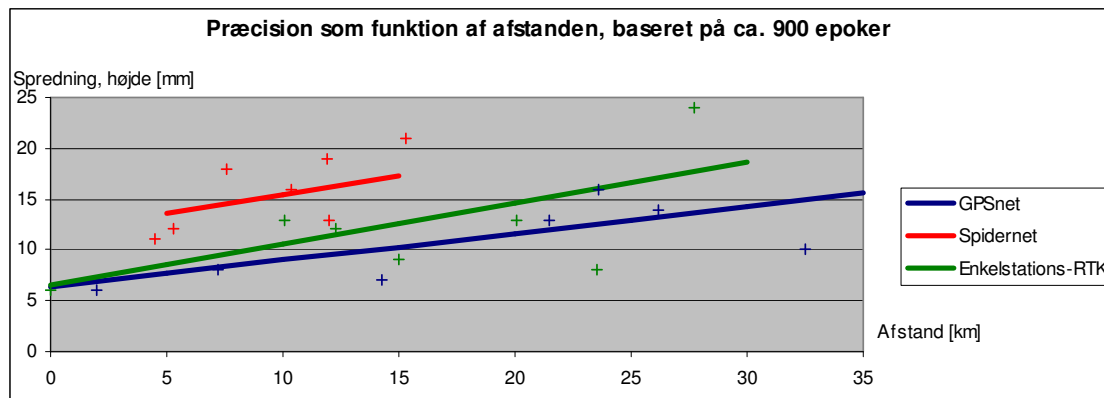


Fig. 35. Spredningen i plan som funktion af afstanden til nærmeste referencestation. Datagrundlag er gennemsnittet af spredningerne, beregnet på baggrund af ca. 900 epoker fra hver RTK-session.

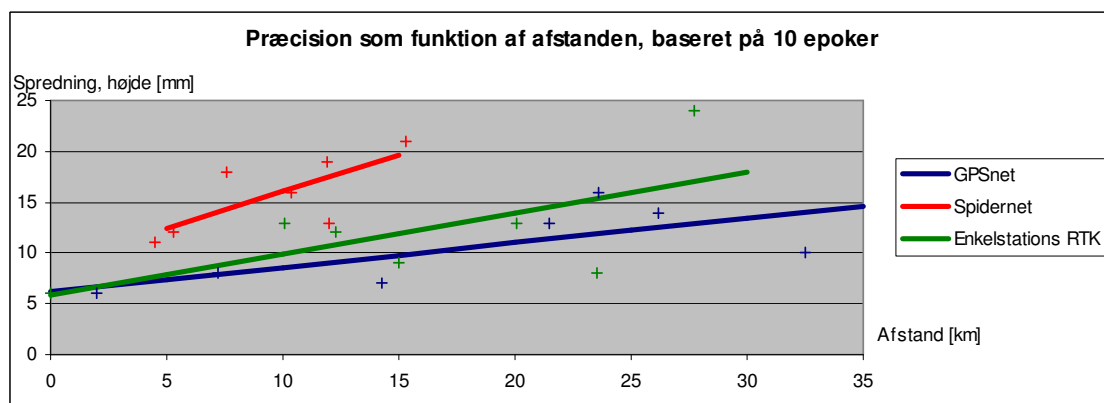


Fig. 36. Spredningen i højden som funktion af afstanden til nærmeste referencestation. Datagrundlag er gennemsnittet af spredningerne, beregnet på baggrund af de første 10 epoker fra hver RTK-session.

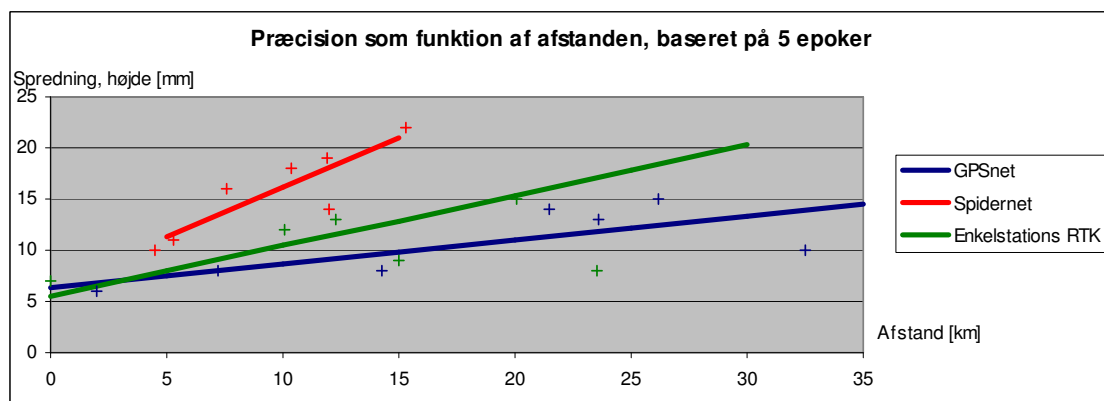


Fig. 37. Spredningen i højden som funktion af afstanden til nærmeste referencestation. Datagrundlag er gennemsnittet af spredningerne, beregnet på baggrund af de første 5 epoker fra hver RTK-session.

Som det fremgår af figur 35-37, er der en klar tendens til, at alle tre teknologier er påvirket af afstandsafhængige fejl i forhold til højdepræcisionen, som det også var gældende for planpræcisionen. Grafernes hældningskoefficient kan ligestilles med den afstandsafhængige fejl [ppm], som giver værdierne vist i tabel 18.

	GPSnet (GPS)	Spidernet (i-MAX)	Enkelstations-RTK
Afstandsafhængig fejl, højde [ppm]	0,3	0,4	0,4

Tabel 18. Afstandsafhængig fejl i højden, beregnet på baggrund af en lineær approksimation, af gennemsnittet af spredninger fra bilag H, baseret på 900 epoker.

Der skal tages forbehold for den afstandsafhængige fejl, beregnet for Spidernet, hvor datagrundlaget kun er baseret på afstande inden for et interval af 10 km.

Det kan herefter konkluderes på baggrund af figur 35-37, at GPSnet (GPS) har den største grad af præcision i højden. Derefter kommer enkelstations-RTK, og til sidst leverer Spidernet med i-MAX løsningen den laveste præcision.

10.2 Nøjagtighed

I dette afsnit undersøges nøjagtigheden i planen og højden for de tre forskellige RTK-teknologier. Endvidere undersøges det, om afstanden til den nærmeste referencestation har indflydelse på nøjagtigheden. For at kunne bestemme nøjagtigheden, skal der måles til veldefinerede punkter med stor nøjagtighed. I dette projekt anvendes REFDK og 10-km punkter som veldefinerede punkter med en nøjagtighed på ca. 1,5 cm. I afsnittet vil plan- og højdekoordinaterne blive behandlet hver for sig.

10.2.1 - Plan

I planen beregnes udtrykket for nøjagtigheden RMS_p samlet for både North- og Easting-koordinater jf. formel (5). I afsnittet vil data fra GPSnet, Spidernet og enkelstations-RTK blive behandlet i nævnt rækkefølge, hvorefter der laves en sammenligning af de tre teknologier sidst i afsnittet. I afsnittet frasorteres RTK-sessioner, hvor RMS-værdien er større end tre gange gennemsnittet af RMS-værdierne målt i et punkt. Der er under databehandlingen til hver enkelt tjeneste nøjagtigt angivet hvilke RTK-sessioner, der udelades fra beregningerne.

GPSnet

Til undersøgelsen af plannøjagtigheden for GPSnet, er der målt 87 RTK-sessioner, fordelt på målinger i 5 målepunkter med kendte koordinater. RMS_p -værdierne fremgår af bilag I tabel I1. Der er frasorteret én RTK-session i beregningen af gennemsnittet, fordi denne oversteg grænsen på tre gange gennemsnittet af RMS_p -værdierne i et punkt.

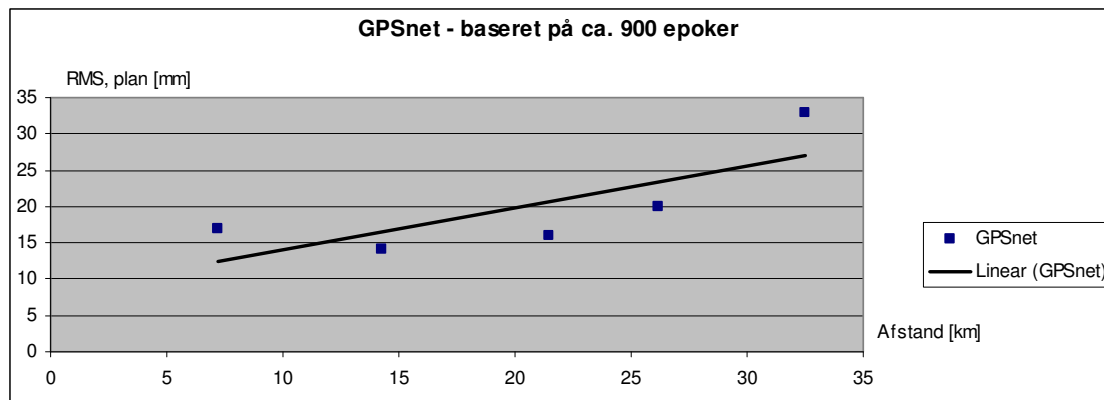


Fig. 38. Nøjagtighed i planen for GPSnet afbildet som funktion af afstanden til den nærmeste referencestation.

Nøjagtigheden af GPSnet i planen fremgår af figur 38. Det ses her, at der er en klar tendens til, at nøjagtigheden i planen er afhængig af afstanden til den nærmeste referencestation. Nøjagtigheden forringes således proportionelt med afstanden til den nærmeste referencestation, som det også var tilfældet med præcisionen.

Spidernet

Til undersøgelsen af plannøjagtigheden for Spidernet er der målt 87 RTK-sessioner, fordelt på målinger i fem målepunkter med kendte koordinater. RMS_p -værdierne fremgår af bilag I tabel I2. Der er frasorteret to RTK-sessioner i beregningen af gennemsnittet, fordi disse oversteg grænsen på tre gange gennemsnittet af RMS_p -værdierne i et punkt.

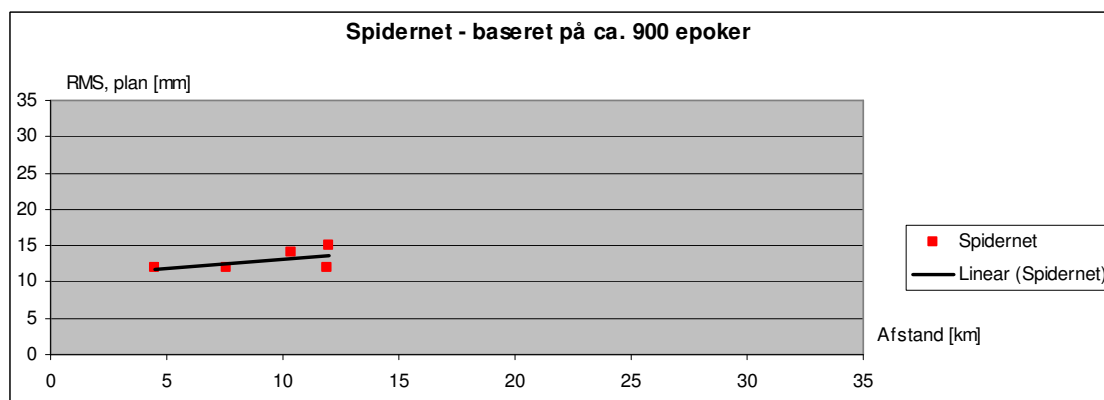


Fig. 39. Nøjagtighed i planen for Spidernet, afbildet som funktion af afstanden til den nærmeste referencestation.

Nøjagtigheden af Spidernet i planen fremgår af figur 39. Det ses her at der er en lille tendens til, at nøjagtigheden i planen er afhængig af afstanden til den nærmeste referencestation. Nøjagtigheden forringes således proportionelt med

afstanden til den nærmeste referencestation, men med en lavere hældningskoefficient end det var tilfældet for præcisionen.

Enkelstations-RTK

Til undersøgelsen af plannøjagtigheden for enkelstations-RTK er der målt 68 RTK-sessioner, fordelt på målinger i fem målepunkter med kendte koordinater. RMS_p -værdierne fremgår af bilag I tabel I3. Der er ikke frasortet nogle RTK-sessioner i beregningen af gennemsnittet, da ingen af disse oversteg grænsen på tre gange gennemsnittet af RMS_p -værdierne i et punkt.

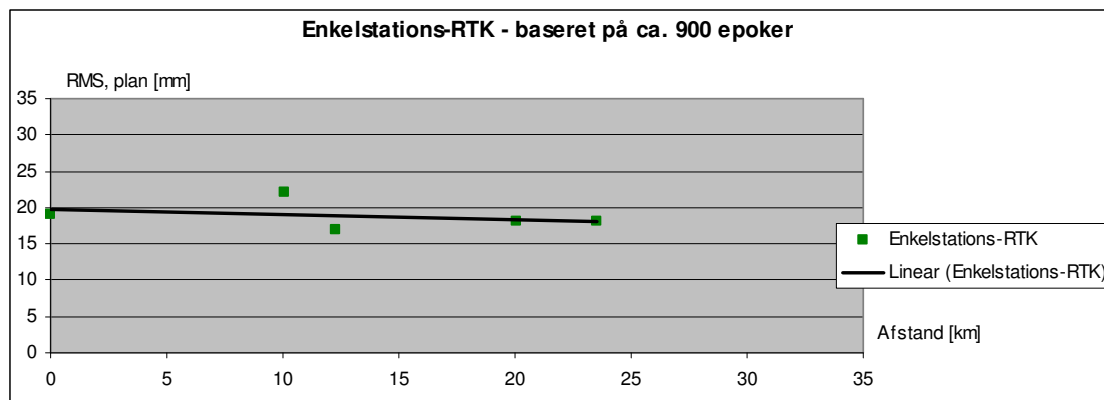


Fig. 40. Nøjagtighed i planen for enkelstations-RTK afbildet som funktion af afstanden til den nærmeste referencestation.

Nøjagtigheden af enkelstations-RTK i planen fremgår af figur 40. Det ses her, at der er en lille tendens til, at nøjagtigheden i planen er afhængig af afstanden til den nærmeste referencestation. Tendensen viser, at nøjagtigheden bliver bedre, proportionelt med afstanden til den nærmeste referencestation øges. Dette er modsat, hvad der var tilfældet for præcisionen, og det giver derfor anledning til at betvivle nøjagtigheden af målepunkternes koordinater.

Sammenligning

Figur 38-40 giver anledning til at betvivle nøjagtigheden af de sande koordinater til målepunkterne. Det giver ingen mening, at nøjagtigheden og præcisionen for en tjeneste påvirkes af afstanden til nærmeste referencestation, med forskelligt fortegn. Nøjagtigheden i planen vil derfor ikke blive behandlet yderligere pga. for unøjagtige målepunkter, hvilket RTK-tjenesterne ikke har indflydelse på.

10.2.2 - Højde

Undersøgelsen af nøjagtigheden i højden RMS_h bygger på beregnede gennemsnit af RMS-værdierne i hver af de fem målepunkter. RMS-værdierne fremgår af bilag J og er beregnet på baggrund af ca. 900 epokers opmåling pr. RTK-session, svarende til ca. 15 minutters opmåling. I de beregnede gennemsnit

er frasorteret RTK-sessioner, hvor RMS-værdien er større end tre gange gennemsnittet af RMS-værdien målt i et punkt. Det fremgår tydeligt af bilag J hvilke RTK-sessioner der udelades fra beregningerne.

GPSnet

Til undersøgelsen af højdenøjagtigheden for GPSnet, er der målt 87 RTK-sessioner, fordelt på målinger i fem målepunkter med kendte koordinater. RMS_h -værdierne fremgår af bilag J tabel J1. Der er frasorteret én RTK-session i beregningen af gennemsnittet, fordi denne oversteg grænsen på tre gange gennemsnittet af RMS_h -værdierne i et punkt.

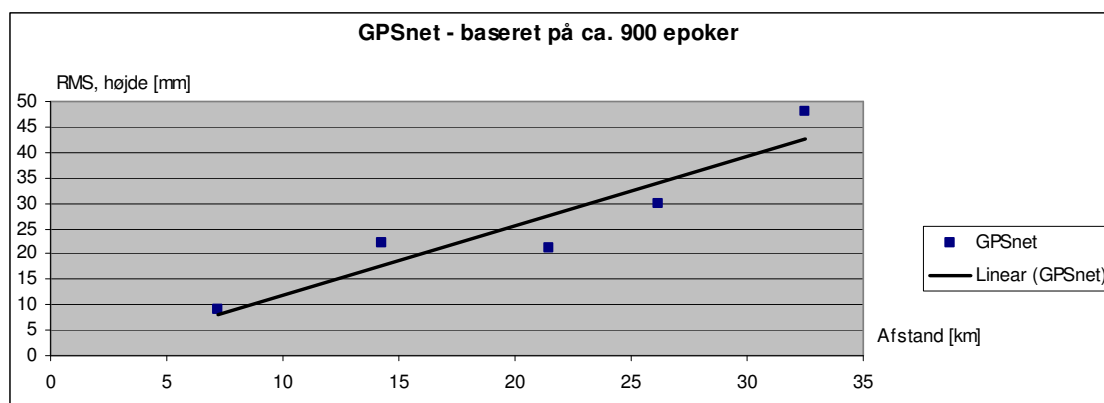


Fig. 41. Nøjagtighed i højden for GPSnet, afbildet som funktion af afstanden til den nærmeste referencestation.

Nøjagtigheden af GPSnet i højden fremgår af figur 41. Det ses her, at der er en klar tendens til, at nøjagtigheden i højden er afhængig af afstanden til den nærmeste referencestation. Nøjagtigheden forringes således proportionelt med afstanden til den nærmeste referencestation, som det også var tilfældet med præcisionen.

Spidernet

Til undersøgelsen af højdenøjagtigheden for Spidernet, er der målt 87 RTK-sessioner, fordelt på målinger i fem målepunkter med kendte koordinater. RMS_h -værdierne fremgår af bilag J tabel J2. Der er frasorteret én RTK-session i beregningen af gennemsnittet, fordi denne oversteg grænsen på tre gange gennemsnittet af RMS_h -værdierne i et punkt.

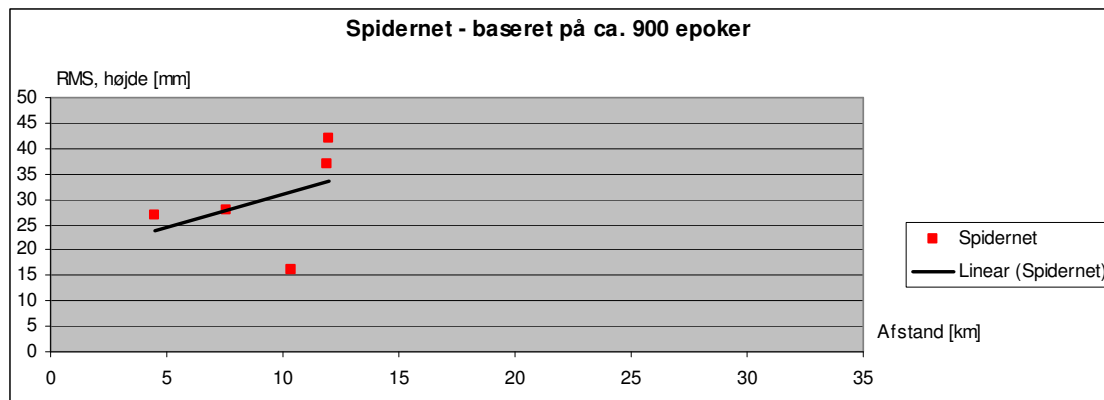


Fig. 42. Nøjagtighed i højden for Spidernet, afbildet som funktion af afstanden til den nærmeste referencestation.

Nøjagtigheden af Spidernet i højden fremgår af figur 42. Det ses her, at der er en tendens til, at nøjagtigheden i højden er afhængig af afstanden til den nærmeste referencestation. Tendenslinjen for nøjagtigheden forringes således proportionelt med afstanden til den nærmeste referencestation, som det også var tilfældet med præcisionen. Dog afviger et af punkterne markant fra denne tendens.

Enkelstations-RTK

Til undersøgelsen af højde nøjagtigheden for enkelstations-RTK, er der målt 68 RTK-sessioner, fordelt på målinger i fem målepunkter med kendte koordinater. RMS_h -værdierne fremgår af bilag J tabel J3. Der er frasorteret to RTK-session i beregningen af gennemsnittet, fordi disse oversteg grænsen på tre gange gennemsnittet af RMS_h -værdierne i et punkt.

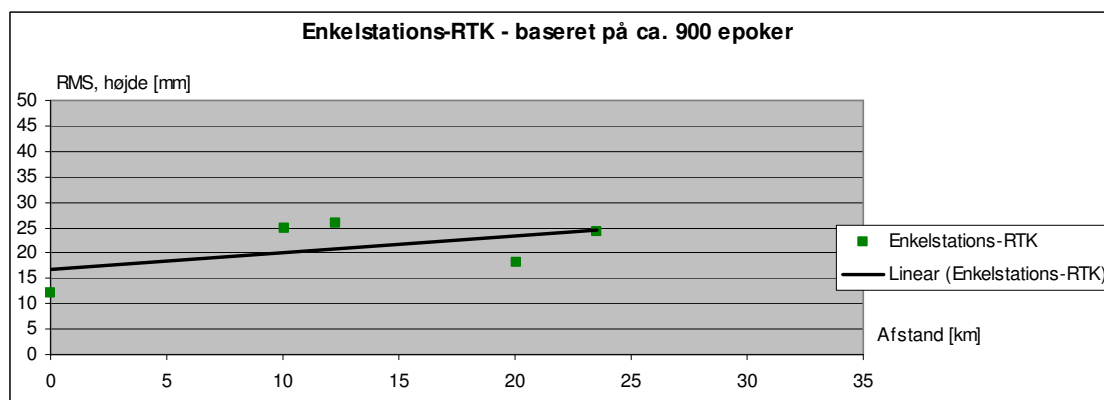


Fig. 43. Nøjagtighed i højden for enkelstations-RTK, afbildet som funktion af afstanden til den nærmeste referencestation.

Nøjagtigheden af enkelstations-RTK i højden fremgår af figur 43. Det ses her, at der er en tendens til, at nøjagtigheden i højden er afhængig af afstanden til den nærmeste referencestation. Tendenslinjen for nøjagtigheden forringes således

proportionelt med afstanden til den nærmeste referencestation, som det også var tilfældet med præcisionen.

Sammenligning

Analysen af nøjagtigheden i planen viste at der er grund til at betvivle målepunkternes nøjagtighed. Der ses derfor heller ingen grund til at anvende disse til at beskrive tjenesternes nøjagtighed i højden. Analysen af nøjagtigheden i højden vil derfor ikke blive behandlet yderligere.

Analysen af nøjagtighed var planlagt udført med syv målepunkter. Resultatet af data indsamlingen medførte imidlertid at der kun blev foretaget opstillinger i fem af de syv planlagte målepunkter. Dette skyldtes at målepunkt 16 i Rungsted ikke kunne genfindes og at der på Vestamager ved KMS's prøvebane blev opstillet i et forkert postament, som der kun findes lokationskoordinater til. Derudover må det vurderes om en analyse af nøjagtigheden, er så kompleks og påvirkes at så mange forskellige faktorer at der yderligere skal inddrages et antal målepunkter som kan være med til at udjævne en approksimeret ret linje. Faktorer som er afgørende ved analyse af nøjagtighed er netspændinger i RTK-tjenesternes referencestationsnet og netspændinger i 1. ordens nettet samt fortætningsnettet bestående af 10 km-punkter. Netspændingerne fremkommer som følge af de anvendte målemetoder ved fastlæggelse af punkternes og stationernes koordinaterne, samt en varierende og ukendt grad af stabilitet som kan afhænge af tid og sted. Derudover har metoden som anvendes til at undersøge nøjagtigheden en afgørende betydning. Selve opmålingssetuppet findes ikke relevant at kritisere. Men der burde være blevet indsamlet data fra et langt større antal punkter, for at udjævne før nævnte faktorer. Dette har imidlertid ikke været muligt, af ressourcemæssige årsager, at gennemføre en udvidet målekampagne i dette projekt.

10.3 Initialisering

Initialiseringen analyseres med to forskellige formål. Først analyseres initialiseringstiden og derefter reinitialiserings betydning for rigtigheden af opmålingen.

10.3.1 Initialiseringstid

I forbindelse med indsamling af data til undersøgelsen *Initialiseringstid*, blev alle initialiseringstider for hver RTK-session registreret. Det er meget få initialiseringstider, der er længere end 180 sekunder, men for at gøre analysen sammenlignelig med tidligere undersøgelser, sorteres disse fra i den følgende analyse af data. Der er ved hver graf/tabel anført, hvor mange observationer der oversteg grænsen, og som dermed er sorteret fra. Undersøgelsen udarbejdes på baggrund af data fra observationsarkene, se bilag CD-N.

Initialiseringstiden er i dette projekt defineret som den tid det tager fra der kaldes op til RTK-tjenesten og til initialiseringen er fuldført. Initialiseringen foretages ligeledes i et område, hvor der under et døgn forinden er blevet foretaget opmålinger, hvilket betyder, at der ved initialiseringen anvendes en relativ ny almanak, hvilket har indflydelse på initialiseringstiden.

Initialiseringstiden vurderes i forhold til de tre testede RTK-tjenester, hvor det undersøges, om der er sammenhænge i forhold til PDOP-værdi, antal satellitter og afstanden til nærmeste referencestation. Derudover beregnes den gennemsnitlige initialiseringstid. Til sidst i afsnittet vurderes de tre tjenester i forhold til hinanden.

GPSnet

Til undersøgelsen af initialiseringstiden af GPSnet er der er indsamlet 123 observationer. Disse er fordelt over syv dage og foretaget med variende PDOP-værdi, antal satellitter og afstand til nærmeste referencestation. I forbindelse med databearbejdningen er der ikke blevet sorteret observationer fra.

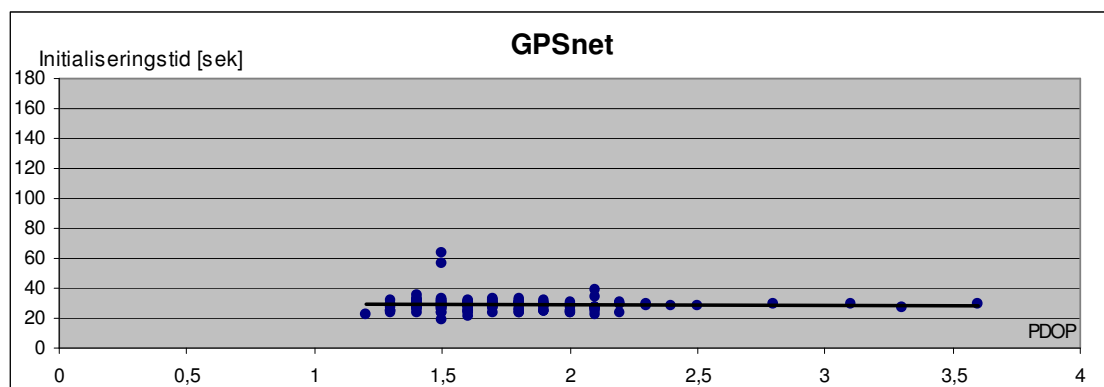


Fig. 44. Initialiseringstider som funktion af PDOP-værdi, observeret ved måling med GPSnet.

Initialiseringstiden som funktion af PDOP-værdien fremgår af figur 44. Der er her indsamlet data med PDOP-værdier i intervallet [1,2;3,6]. Som det fremgår af figur 44, er der en meget lille tendens til at initialiseringstiden bliver kortere, jo højere PDOP-værdien er. Denne tendens er dog så lille, at den betragtes som uden betydning.

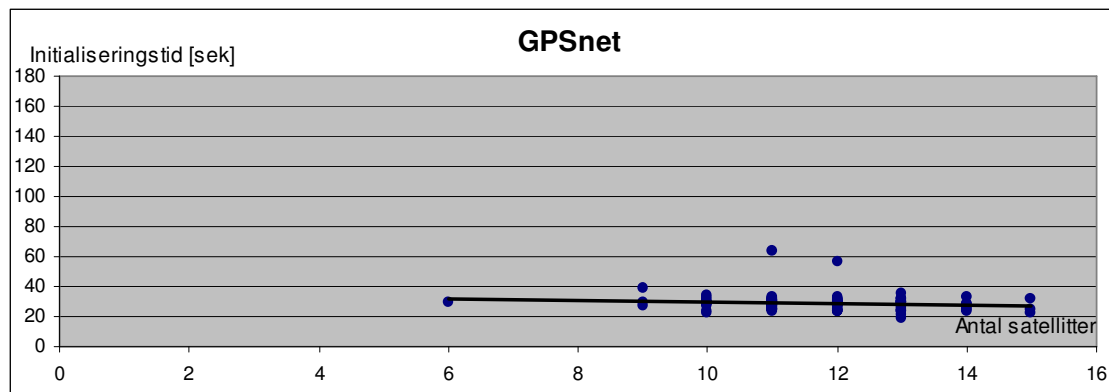


Fig. 45. Initialiseringstider som funktion af antallet af satellitter, observeret ved måling med GPSnet.

Initialiseringstiden som funktion af antallet af satellitter fremgår af figur 45. Der er her indsamlet data med mellem 6 og 15 satellitter. Her ses ligeledes en lille tendens til, at initialiseringstiden bliver kortere, jo flere satellitter der medtages beregninger fra. Igen er denne tendens så lille, at den betragtes som værende uden betydning.

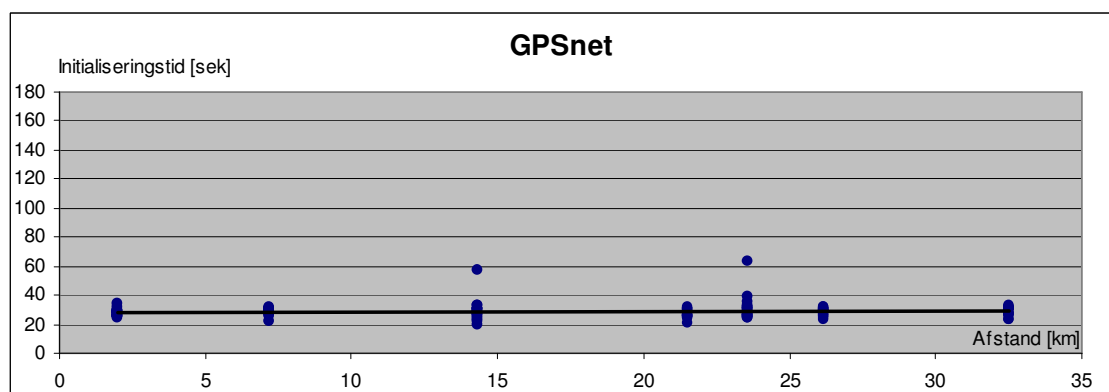


Fig. 46. Initialiseringstider som funktion af afstanden til nærmeste referencestation, observeret ved måling med GPSnet.

Initialiseringstiden som funktion af afstanden til nærmeste referencestation, fremgår af figur 46. Til denne undersøgelse er der indsamlet data med afstande fra ca. 2 km til 32 km. Tendenslinjen viser på figur 46, at initialiseringstiden ikke påvirkes af afstanden til nærmeste referencestation.

Det kan herefter konkluderes, at hverken PDOP-værdi, antallet af satellitter eller afstanden til nærmeste referencestation har indflydelse på initialiseringstiden, når der måles med GPSnet.

Spidernet

Til undersøgelsen af initialiseringstiden af Spidernet er der indsamlet 122 observationer. Disse er målt i samme tidsrum og i samme punkter som med GPSnet, fordelt over syv dage og foretaget med variende PDOP-værdi, antal satellitter og afstand til nærmeste referencestation. Afstanden til nærmeste referencestation er forskellig i forhold til GPSnet, da de to tjenester anvender to forskellige net af referencetjenester. I forbindelse med databearbejdningen er der blevet sorteret én observation fra, som oversteg grænsen på 180 sekunder.

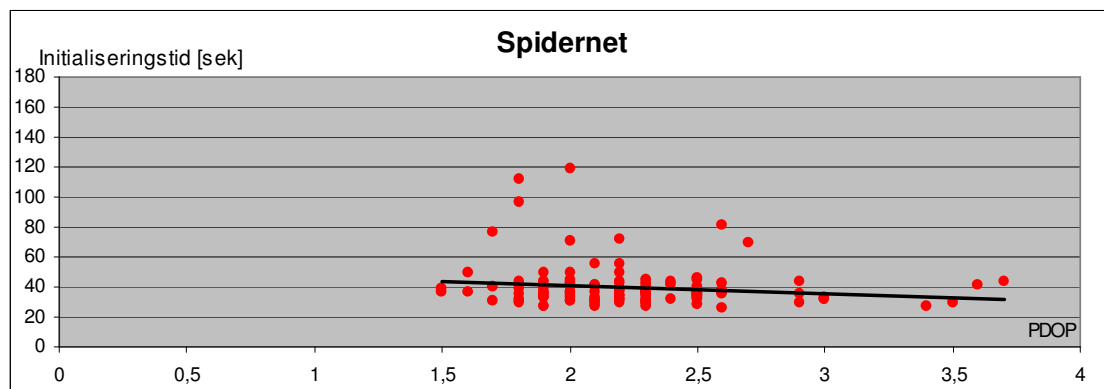


Fig. 47. Initialiseringstider som funktion af PDOP-værdi, observeret ved måling med Spidernet. Bemærk at der er fjernet én observation, som oversteg grænsen på 180 sekunder.

Initialiseringstiden som funktion af PDOP-værdien fremgår af figur 47. Der er her indsamlet data med PDOP-værdier i intervallet [1,5;3,7]. Figur 47 viser, at der er en tendens til at initialiseringstiden forkortes, når PDOP-værdien går mod 4. Undersøgelsen bygger på et begrænset antal observationer, og det kan derfor ikke entydigt konkluderes, men tendensen kan konstateres.

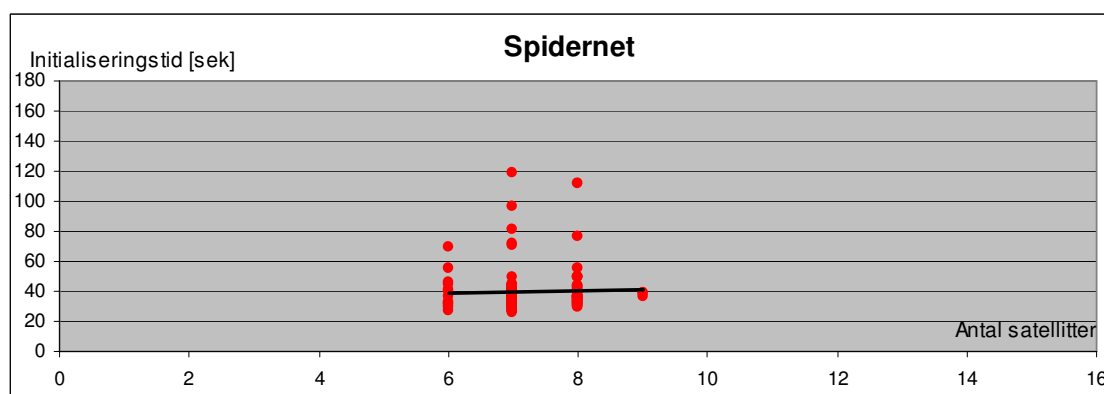


Fig. 48. Initialiseringstider som funktion af antallet af satellitter, observeret ved måling med Spidernet. Bemærk at der er fjernet én observation, som oversteg grænsen på 180 sekunder.

Initialiseringstiden som funktion af antallet af satellitter fremgår af figur 48. Der er her indsamlet data med mellem 6 og 9 satellitter. Der ses her, at initialiseringstiden ikke ændres som funktion af antallet af satellitter.

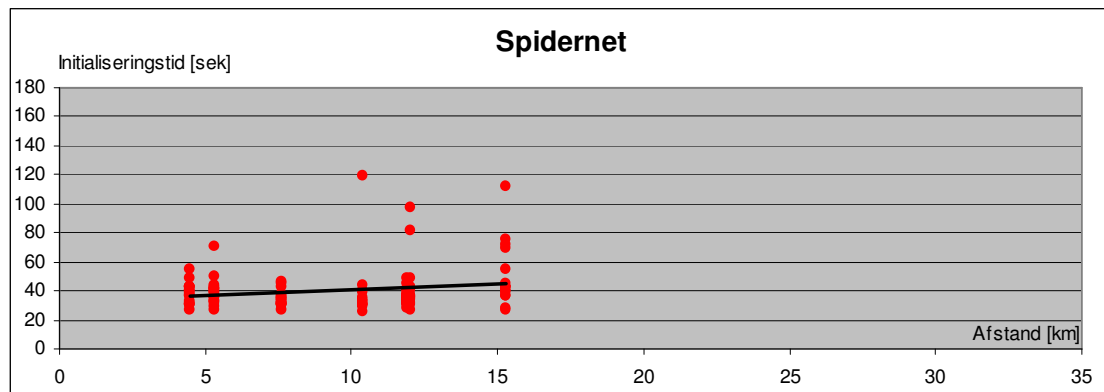


Fig. 49. Initialiseringstider som funktion af afstanden til nærmeste referencestation, observeret ved måling med Spidernet. Bemærk at der er fjernet én observation, som oversteg grænsen på 180 sekunder.

Initialiseringstiden som funktion af afstanden til nærmeste referencestation, fremgår af figur 49. Til denne undersøgelse er der indsamlet data med afstande fra ca. 5 km til 15 km. Tendenslinjen på figur 49 viser, at der er en tendens til at initialiseringstiden stiger, jo længere afstanden er til den nærmeste referencestation.

Det kan konkluderes, at antallet af satellitter ikke har indflydelse på initialiseringstiden for Spidernet. Derimod er der en tendens til, at initialiseringstiden reduceres lidt, når PDOP går mod 4, eller jo tættere der initialiseres på en referencestation.

Enkelstations-RTK

Til undersøgelsen af initialiseringstiden af enkelstations-RTK, er der indsamlet 102 observationer. Disse er målt i samme tidsrum og i samme punkter som med GPSnet og Spidernet, fordelt over syv dage og foretaget med variende PDOP-værdi, antal satellitter og afstand til nærmeste referencestation. Afstanden til nærmeste referencestation er forskellig fra de to forrige tjenester. Selvom GPS-referencens enkelstations-RTK og Spidernet overordnet anvender det samme net af referencestationer, er der enkelte stationer, som ikke er ens. Derudover er der i forbindelse med indsamling af data til enkelstations-RTK ikke altid blevet ringet op til den nærmeste station, for i stedet at få nogle længere afstande. I forbindelse med databearbejdningen er der blevet sorteret syv observationer fra, som oversteg grænsen på 180 sekunder.

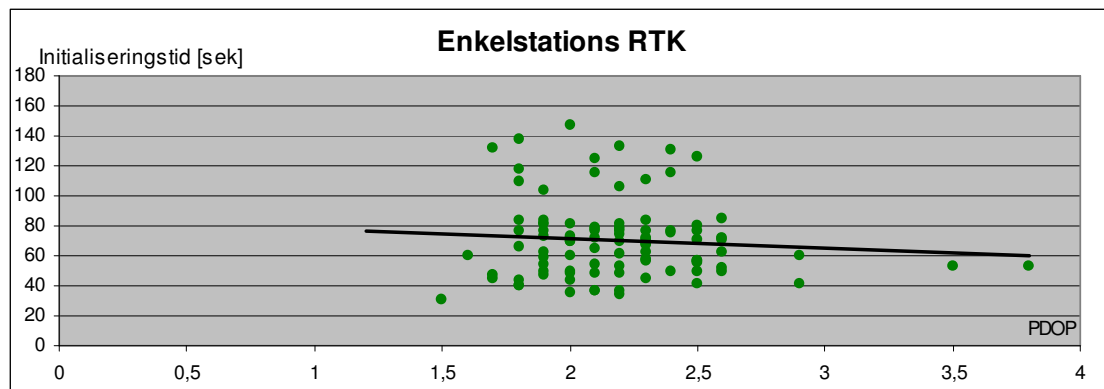


Fig. 50. Initialiseringstid som funktion af PDOP-værdi, observeret ved måling med enkelstations-RTK. Bemærk at der er fjernet syv observationer, som oversteg grænsen på 180 sekunder.

Initialiseringstiden som funktion af PDOP-værdien fremgår af figur 50. Der er her indsamlet data med PDOP-værdier i intervallet $[1,5;3,8]$. Figur 50 viser at der også her er en tendens til, at initialiseringstiden forkortes, når PDOP-værdien går mod 4. Undersøgelsen bygger på et begrænset antal observationer, og det kan derfor ikke entydigt konkluderes, men tendensen kan blot konstateres.

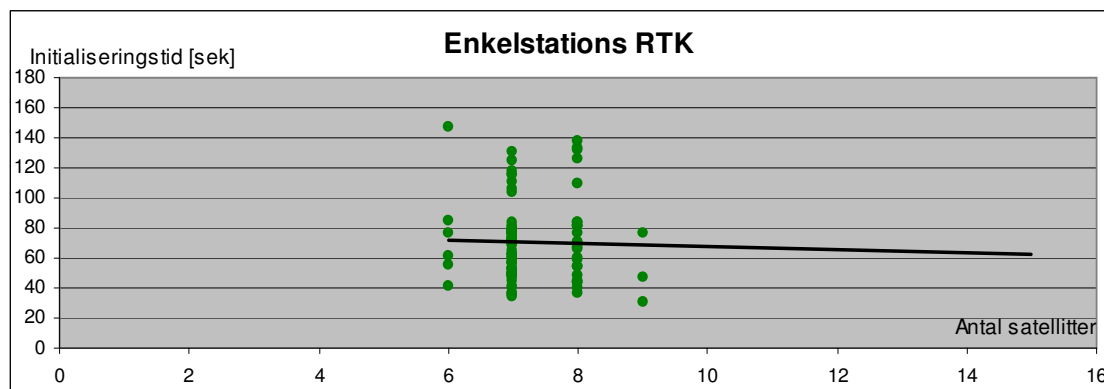


Fig. 51. Initialiseringstider som funktion af antallet af satellitter, observeret ved måling med enkelstations-RTK. Bemærk at der er fjernet syv observationer, som oversteg grænsen på 180 sekunder.

Initialiseringstiden som funktion af antallet af satellitter fremgår af figur 51. Der er her indsamlet data med mellem 6 og 9 satellitter. Der ses her, at antallet af satellitter ikke har indflydelse på initialiseringstiden.

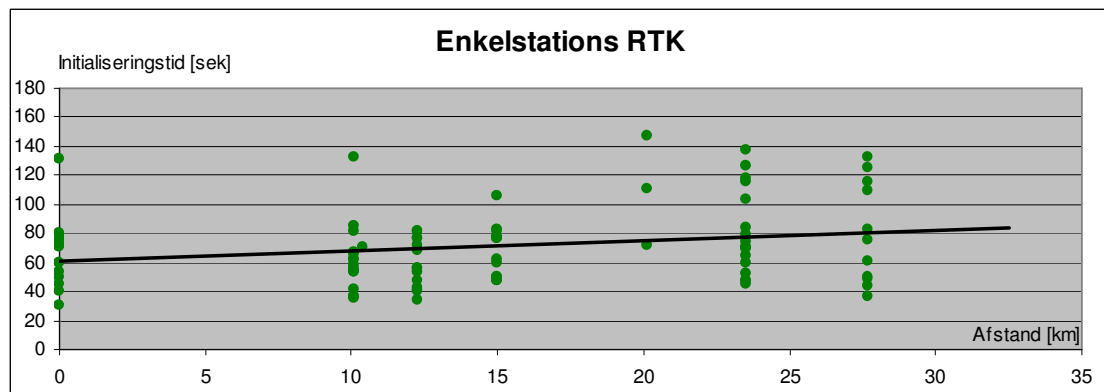


Fig. 52. Initialiseringstider som funktion af afstanden til nærmeste referencestation, observeret ved måling med enkelstations-RTK. Bemærk at der er fjernet syv observationer, som oversteg grænsen på 180 sekunder.

Initialiseringstiden som funktion af afstanden til nærmeste referencestation, fremgår af figur 52. Til denne undersøgelse er der indsamlet data med afstande fra ca. 0 km til 28 km. Tendenslinjen på figur 52 viser, at der er en tendens til, at initialiseringstiden stiger, jo længere afstanden er til den nærmeste referencestation.

Det tyder ved måling til enkelstations-RTK, at antallet af satellitter ikke har en indflydelse på initialiseringstiden. Derimod er der en tendens til, at initialiseringstiden falder, når PDOP-værdien går mod 4, og jo kortere afstanden er til den nærmeste referencestation.

Sammenligning

Med baggrund i ovenstående analyser, kan det konkluderes, at antallet af satellitter ikke har indflydelse på initialiseringstiden. Enkelstations-RTK og Spidernet har en tendens til, at initialiseringstiden forkortes lidt, når PDOP-værdien går mod fire, mens initialiseringstiden for GPSnet ikke tyder på at være afhængig af PDOP-værdien. Initialiseringstiden for GPSnet er heller ikke afhængig af afstanden til den nærmeste referencestation, mens initialiseringstiden for enkelstations-RTK og Spidernet forkortes, jo tættere der måles på referencestationen.

	GPSnet	Spidernet	Enkelstations-RTK
Mindste værdi	19 sek.	26 sek.	31 sek.
Højeste værdi	63 sek.	572 sek.	706 sek.
Gennemsnit	29 sek.	*40 sek.	**70 sek.

Tabel. 19. Gennemsnitlige initialiseringstider for de tre RTK-tjenester. Initialiseringstider over 180 sekunder er ikke medregnet i gennemsnittet.

* Bemærk at der er fjernet én observation, som oversteg grænsen på 180 sekunder

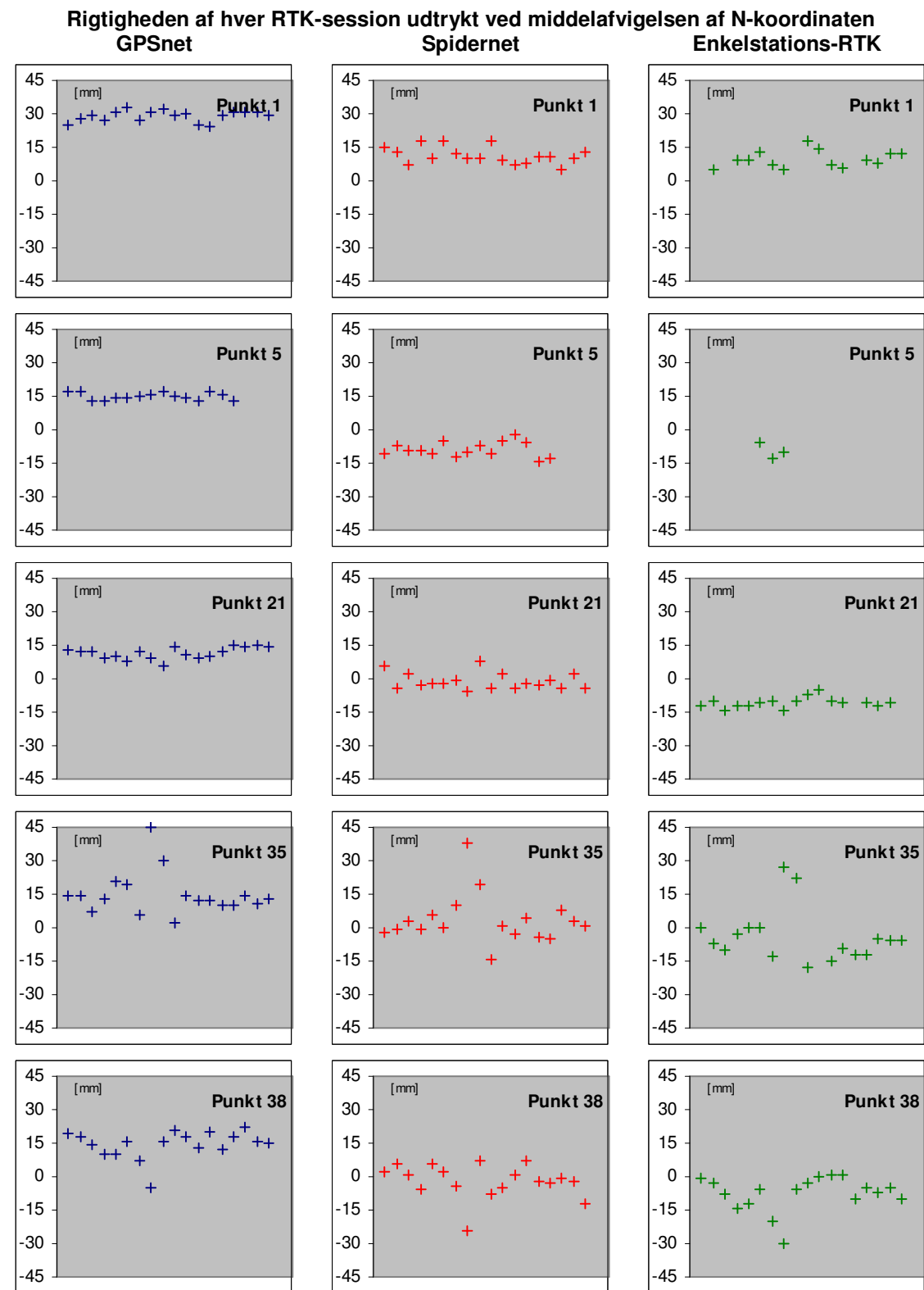
** Bemærk at der er fjernet syv observation, som oversteg grænsen på 180 sekunder

Tabel 19 viser de gennemsnitlige initialiseringstider for de tre RTK-tjenester, samt mindste og højeste initialiseringstid. På baggrund af tallene i tabel 19 kan

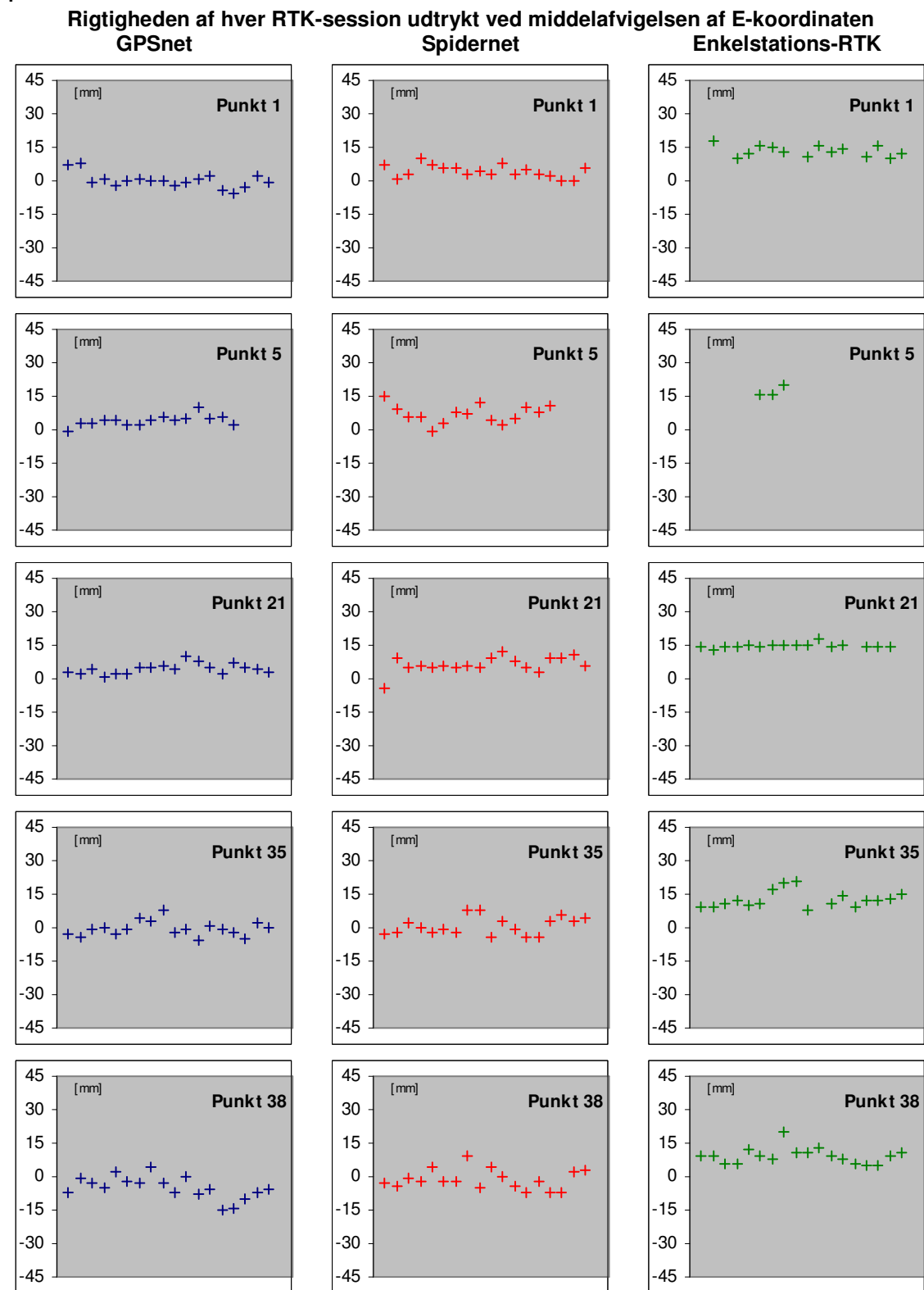
det konkluderes, at GPSnet har den korteste initialiseringstid samt den mest stabile, hvor der ikke er observeret initialiseringstider på over 63 sekunder. Spidernet er i gennemsnit 11 sekunder langsommere til at initialisere, og der er her observeret én initialisering, der varede længere end 180 sekunder. Denne observation er ikke medregnet i gennemsnittet. Derudover var Spidernet generel også rimelig stabil til at initialisere. Enkelstations-RTK viste sig at være den, der brugte længst tid på at initialisere. Gennemsnittet er beregnet til 70 sekunder, og der er her observeret syv værdier, som overstiger 180 sekunder. Disse værdier er ikke medregnet i gennemsnittet.

10.3.2 Reinitialiseringens betydning

Hver gang en GPS-modtager slukkes eller signalet til satellitterne mistes, skal modtageren reinitialiseres. Formålet med dette afsnit er at undersøge, hvad reinitialiseringen betyder for rigtigheden af målingen. Rigtigheden er et udtryk for middelfvigelsen i forhold til punktets sande værdi. Middelfvigelsen er baseret på ca. 900 epoker pr. session. På figur 53-55 er rigtigheden for hver RTK-session målt i fem forskellige punkter med de tre RTK-teknologier vist. Det skal bemærkes, at afstanden til den nærmeste referencestation er forskellig fra hver RTK-tjeneste til målepunkterne. På figurernes første akse vises de forskellige RTK-sessioner, mens anden akse viser rigtigheden for henholdsvis N, E og h-koordinaten.



Figur 53. Middelfvigelsen af N-kordinaten ved hver RTK-session målt i 5 målepunkter med hver af de tre RTK-teknologier.



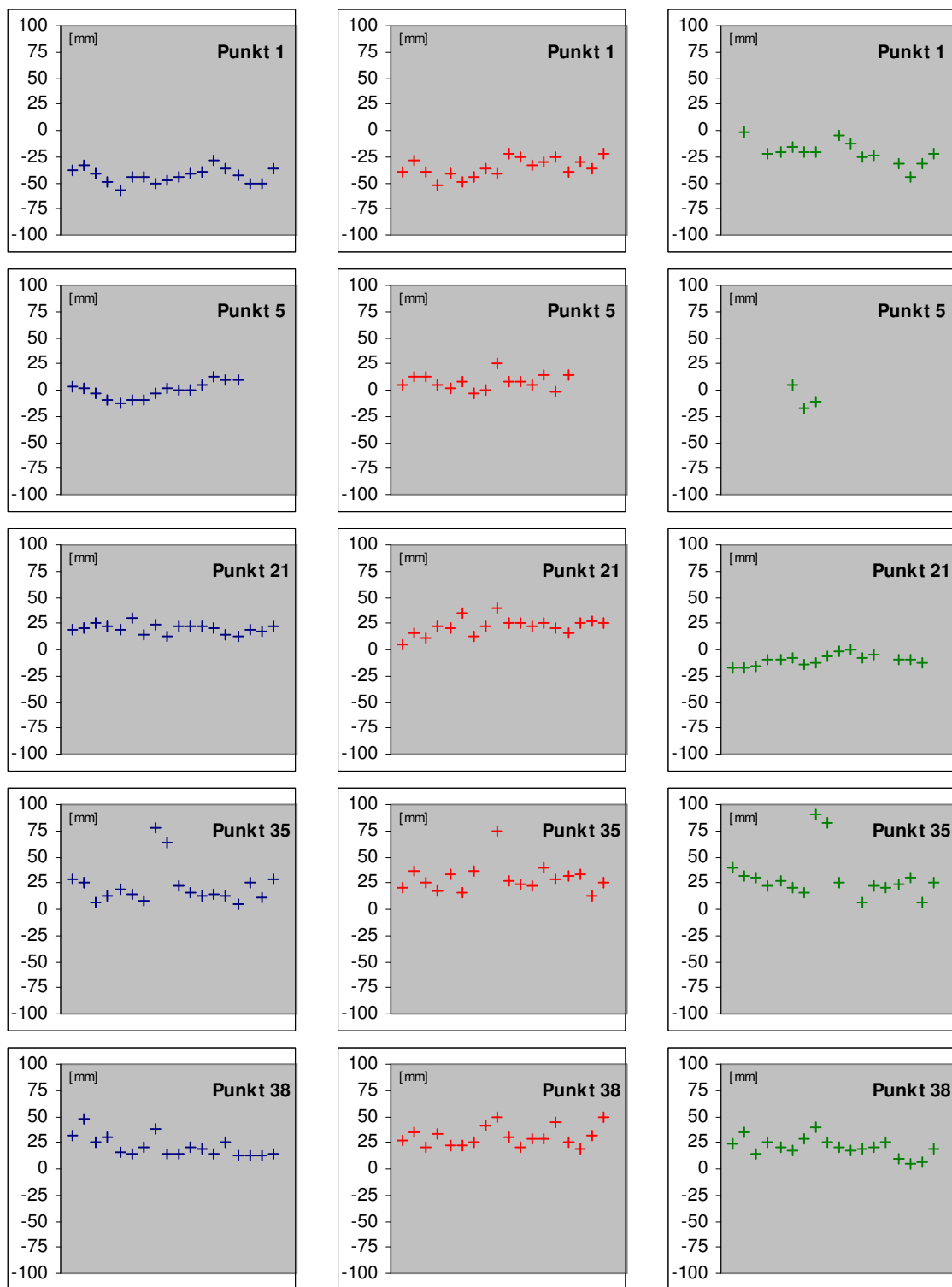
Figur 54. Middelfvigelsen af E-koordinaten ved hver RTK-session målt i 5 målepunkter med hver af de tre RTK-teknologier.

Rigtigheden af hver RTK-session udtrykt ved middelfvigelsen af højden.

GPSnet

Spidernet

Enkelstations-RTK



Figur 55. Middelfvigelsen i højden ved hver RTK-session målt i 5 målepunkter med hver af de tre RTK-teknologier.

Rigtigheden er ikke et udtryk for reinitialiseringens betydning alene, da rigtigheden er afhængig af målepunktets koordinaters nøjagtighed. Afviger de observerede koordinater systematisk for alle tre RTK-tjenester i forhold til målepunktets koordinater, kan dette give anledning til at betvivle målepunktets koordinaters nøjagtighed. Det findes derfor interessant at se nærmere på differensen Δ mellem den maksimale og minimale middelfvigelse i hvert målepunkt.

Målepunkt	1	5	21	35	38	Gns.
GPSnet (GPS)						
<i>Afstand til referencestation [km]</i>	32	7	14	21	26	20
<i>Antal RTK-sessioner, n</i>	18	15	18	18	18	17
$\Delta\Phi_{N,max}$ [mm]	9	4	9	43	27	18
$\Delta\Phi_{E,max}$ [mm]	14	11	9	14	19	13
$\Delta\Phi_{h,max}$ [mm]	28	25	17	73	36	36
Spidernet (i-MAX)						
<i>Afstand til referencestation [km]</i>	12	10	4	8	12	9
<i>Antal RTK-sessioner, n</i>	18	15	18	18	18	17
$\Delta\Phi_{N,max}$ [mm]	13	12	14	52	31	24
$\Delta\Phi_{E,max}$ [mm]	10	16	16	12	16	14
$\Delta\Phi_{h,max}$ [mm]	31	29	34	97	31	44
Enkelstations-RTK						
<i>Afstand til referencestation [km]</i>	23	20	0	10	12	13
<i>Antal RTK-sessioner, n</i>	14	3	16	17	18	14
$\Delta\Phi_{N,max}$ [mm]	13	7	9	45	31	21
$\Delta\Phi_{E,max}$ [mm]	8	4	5	13	15	9
$\Delta\Phi_{h,max}$ [mm]	43	21	18	84	35	40

Tabel 19. Tabellen viser den maksimale differens mellem middelfvigelserne i hvert målepunkt for de tre RTK-teknologier.

Tabel 19 viser den maksimale differens Δ af middelfvigelserne Φ målt med én RTK-tjeneste i et målepunkt. Differenserne er fri for fejlbidrag som følge af målepunkternes unøjagtighed og er således kun påvirket af fejlbidrag fra opstillingen og RTK-tjenesterne. I punkt nr. 35 forekommer de største afvigelser i både E- og h-koordinaten. Opstillingen er foretaget med et Trimble snapstativ, og fejlbidraget, som følge af opstillingen er derfor meget lille i højden. Som det fremgår af figur 55, er det session otte og ni der medfører de store differenser. I følge observationsarket (se bilag CD-N) er der intet at bemærke ved session otte og ni i målepunkt 35.

Som det fremgår af tabel 19, kan der ved måling til GPSnet i gennemsnit forventes variationer i rigtigheden på 13 og 18 mm for henholdsvis E- og N-koordinaten og ca. det dobbelte på 36 mm i højden. For Spidernet kan der i gennemsnit forventes variationer i rigtigheden på 14 og 24 mm for henholdsvis E- og N-koordinaten og ca. det dobbelte på 44 mm i højden. For enkelstations-RTK kan der i gennemsnit forventes variationer i rigtigheden på 9 og 21 mm for

henholdsvis E- og N-koordinaten og ca. det dobbelte på 40 mm i højden. Det skal her bemærkes, at gennemsnittet ikke er beregnet med de samme afstande til nærmeste referencestation, for de tre RTK-tjenester. De nøjagtige afstande fremgår af tabel 19.

11 Konklusion

Projektet tager udgangspunkt i de to landsdækkende RTK-tjenester; GPSnet og GPS-referencen. GPSnet blev etableret i år 2000 og var Danmarks første landsdækkende RTK-tjeneste. GPSnet anvender Trimbles RTK-teknologi VRS, som er et netværkssystem, der på baggrund af nettets referencestationer modellerer rå faseobservationer til en virtuel base i nærheden af brugeren. GPS-referencen har siden år 2001 leveret RTK-korrektionsdata fra et landsdækkende net af referencestationer, baseret på enkelstations-RTK teknologien. I år 2004 valgte GPS-referencen at implementere og udbyde en ny netværks RTK-teknologi, som udnytter nettet af referencestationer. Denne teknologi kaldes for Spidernet og består af en MAX og en i-MAX løsning, hvor det pt. kun er i-MAX løsningen, der udbydes. I-MAX løsningen består af rå faseobservationer fra den nærmeste referencestation, påmodelleret korrektioner beregnet på baggrund af data fra hjælpereferencestationerne.

RTK anvendes i stigende grad i landinspektørbranchen. Der er i projektet blevet interviewet tre landinspektører fra tre forskellige landinspektørfirmaer. Dette har vist en tendens til, at RTK anvendes i ca. 60-75 pct. af de matrikulære sager i større eller mindre omfang. Typisk anvendes RTK-målinger som relative målinger til at oprette et lokalt fikspunktsnet, som senere transformeres i forhold til kendte punkter med nettilknytning. Hvilken præcision og nøjagtighed, der kan opnås med de forskellige RTK-teknologier, er endnu lidt uklart, der er dog en klar enighed om at, netværks-RTK er mere præcist over lange afstande i forhold til enkelstations-RTK. Der er dog enighed om, at præcisionen af RTK-målemetoderne endnu ikke er god nok til, at den kan anvendes til alle typer opgaver, som f.eks. opmåling af kloakdæksler, selvom målingerne kan foretages under optimale forhold. Interviewene viste også, at efteruddannelse af personalet i firmaerne typisk foregår internt.

KMS er i gang med udarbejdelsen af *Norm for RTK-tjenester*. Normen er endnu ikke færdig, og det er således kun udkastet, der er blevet behandlet i projektet. Normens fokusområde er de matrikulære arbejder, men tænkes også anvendt af andre der vil stille krav til, at data skal stamme fra en godkendt RTK-tjeneste. Det kunne f.eks. være i forbindelse med ledningsregistrering, opmåling ved tekniske arbejder eller al offentlig opmåling eller opmåling med en offentlig bygherre, hvor der stilles krav til nøjagtigheden. I normen stilles der krav til, at tjenesterne skal kunne levere korrektionsdata, der giver en nøjagtighed (R95) bedre end 5 cm i planen og 10 cm i højden, i hele tjenestens dækningsområde. Kravene til nøjagtighed gælder også i tilfælde, hvor én referencestation falder ud. Derudover stilles der krav til tjenesternes integritet, kontinuitet og tilgængelighed. RTK-målinger er generelt simple at udføre. Men for at udføre målinger af høj kvalitet, stilles der i dag krav til brugeren om at vurdere forholdene, som målingen foretages under, på baggrund af erfaring og viden. Normen stiller her krav til, at udstyret i fremtiden skal give brugeren besked om forskellige kvalitetsparametre.

Foranalysen førte til, at det kunne være interessant at se nærmere på, hvilken præcision og nøjagtighed brugeren kunne forvente at opnå med en af de tre RTK-teknologier. Derudover fandtes det interessant at se nærmere på initialiseringen, herunder initialiseringstiden og initialiseringens betydning for rigtigheden.

Dataindsamlingen er foretaget i tre REFDK-punkter og fire 10km-punkter, i Københavnsområdet med forskellig afstand til referencestationerne. Under indsamlingen af data er der anvendt en GNSS-antenne, hvorfra signalet er splittet ud til tre GNSS-modtagere. Det betyder, at modtagerforholdene har været helt ens for roverne. Til datatransmission af RTK-korrektioner fra tjenesterne er anvendt GSM-modems. I hvert målepunkt er der målt ca. 18 RTK-sessioner, som består af ca. 15 minutters måling med lagring af observationer for hvert sekund, svarende til ca. 900 observationer. RTK-sessionerne er startet med ca. 20 minutters interval, hvor der mellem hver session er foretaget en ny opstilling, og udstyret er blevet reinitialiseret.

Analysen af præcisionen viste, at alle tre RTK-teknologier (VRS, Spidernet (i-MAX) og enkelstations-RTK) er påvirket af afstandsafhængige fejl. På figur 56 er vist en lineær approksimation af præcisionen i planen σ_p .

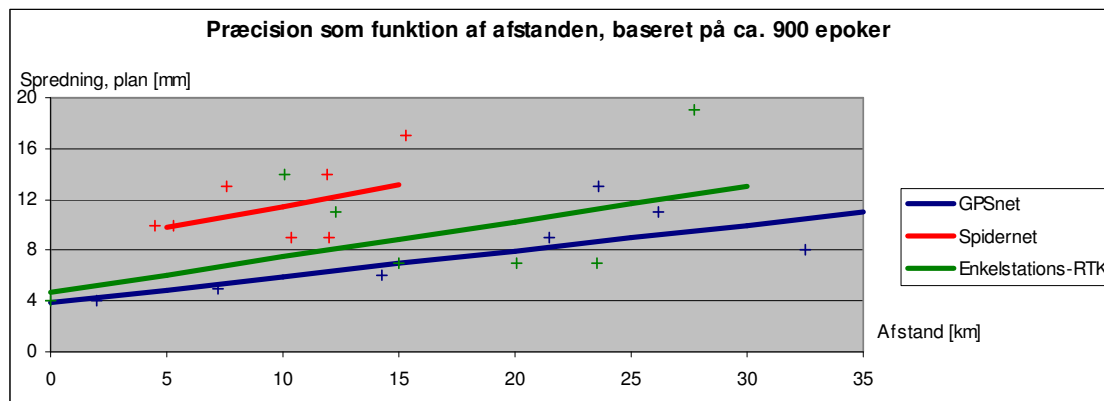


Fig. 56. Spredningen i planen som funktion af afstanden til nærmeste referencestation. Datagrundlaget er gennemsnittet af spredningerne, beregnet på baggrund af ca. 900 epoker fra hver RTK-session.

Som det fremgår af figur 56, har GPSnet med VRS-teknologien ved denne undersøgelse den største grad af præcision i planen. Tæt på en fysisk referencestation har GPSnet og enkelstations-RTK den samme grad af præcision. Den afstandsafhængige fejl i planen er beregnet til at være 0,2 ppm for GPSnet, 0,3 ppm for enkelstations-RTK og 0,4 ppm for Spidernet (i-MAX). Det kan derfor konkluderes, at Spidernet (i-MAX) har den laveste grad af præcision i planen.

På figur 57, er vist en lineær approksimation af præcisionen i højden σ_h .

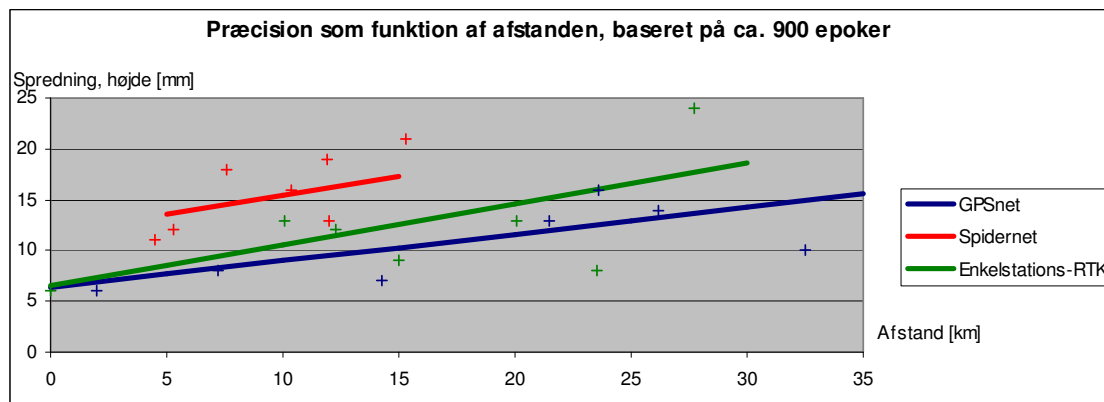


Fig. 57. Spredningen i højden som funktion af afstanden til nærmeste referencestation. Datagrundlaget er gennemsnittet af spredningerne, beregnet på baggrund af ca. 900 epoker fra hver RTK-session.

Som det fremgår af figur 57, har GPSnet med VRS-teknologien den største grad af præcision i højden. Tæt på en fysisk referencestation har GPSnet og enkelstations-RTK den samme grad af præcision. Den afstandsafhængige fejl i højden er beregnet til at være 0,3 ppm for GPSnet, 0,4 ppm for enkelstations-RTK og 0,4 ppm for Spidernet (i-MAX). Det kan herefter konkluderes, at Spidernet (i-MAX) har den laveste grad af præcision i højden.

Til analysen af nøjagtigheden af de tre teknologier er anvendt REFDK og 10 km-punkternes koordinater, oplyst fra [Valdemar.kms.dk, 2008]. Analysen viste imidlertid, at punkternes nøjagtighed ikke var tilstrækkelig til at kunne gennemføre denne analyse med et fornuftigt resultat. Årsagen til dette kan skyldes flere ting. Det kan f.eks. skyldes nøjagtigheden af metoden i forbindelse med målekampagnen for REFDK og 10 km-punkterne eller indmåling og tilknytning af referencestationerne. Punkternes stabilitet kan også være årsagen. Det har i midlertidig ikke været muligt at klarlægge på baggrund af de indsamlede data i projektet.

Initialiseringstiden er blevet analyseret, for bl.a. at finde sammenhænge i forhold til antallet af satellitter, PDOP og afstanden til nærmeste fysiske referencestation. Analysen viste, at antallet af satellitter ikke har indflydelse på initialiseringstiden. Enkelstations-RTK og Spidernet har en tendens til, at initialiseringstiden forkortes lidt, når PDOP-værdien går mod 4, mens initialiseringstiden for GPSnet ikke tyder på at være afhængig af PDOP-værdien. Initialiseringstiden for GPSnet er heller ikke afhængig af afstanden til den nærmeste referencestation, mens initialiseringstiden for enkelstations-RTK og Spidernet forkortes, jo kortere afstanden er til den nærmeste referencestation.

Gennemsnittet af initialiseringstiden er ligeledes blevet analyseret, og resultatet fremgår af tabel 20.

	GPSnet	Spidernet	Enkelstations-RTK
Gennemsnit	29 sek.	40 sek.	70 sek.

Tabel 20. Gennemsnitlige initialiseringstider for de tre RTK-teknologier.

Gennemsnittet af initialiseringstiden er beregnet på baggrund af observationer, hvor initialiseringstiden var kortere end 180 sekunder. Som det fremgår af tabel 20, er initialiseringstiden kortest for GPSnet med 29 sekunder, mens den for Spidernet er 40 sekunder og 70 sekunder for enkelstations-RTK.

Hver gang en GNSS-modtager reinitialiseres, ændres middelfvigelsen, også betegnet rigtigheden. Reinitialiseringens betydning for rigtigheden er blevet analyseret, og resultatet fremgår af tabel 21.

	$\Delta\Phi_{N,max}$ [mm]	$\Delta\Phi_{E,max}$ [mm]	$\Delta\Phi_{h,max}$ [mm]
GPSnet	18	13	36
Spidernet	24	14	44
Enkelstations-RTK	21	9	40

Tabel 21. Tabellen viser gennemsnittet af den maksimale differens mellem middelfvigelserne i hvert målepunkt, for hver af de tre RTK-teknologier.

Som det fremgår af tabel 21, er gennemsnittet af den maksimale differens mellem middelfvigelserne i hvert målepunkt for hver af de tre RTK-teknologier relativ ens. For højden gælder, at differensen er ca. det dobbelte af i N- og E-retningen.

12 Perspektivering

Formålet med dette kapitel er at perspektivere projektet, herunder at sætte konklusionen i en kontekst og komme med forslag til yderligere analyser, som kunne være interessante at arbejde videre med i fremtidige projekter. Udviklingen inden for GNSS er stadig i gang. Målemetoder forbedres løbende, således at der kan opnås bedre nøjagtigheder, hurtigere og med en stadig større grad af pålidelighed. Samtidig udvikles udstyret konstant, og der er i den grad grund til at tale om en fremtid med GNSS inden for landinspektørbranchen.

Det forventes, at GPS-referencen inden for en kortere periode vil blive moderniseret med nye GNSS-antennor og –modtagere. Dette betyder, at GPS-referencen i fremtiden kan levere RTK-korrektioner baseret på både GPS og GLONASS. Det forventes ligeledes, at GPS-referencen med Spidernetkonceptet vil begynde at tilbyde MAX løsningen, som bygger på en anden RTK-teknologi end i-MAX løsningen, som er blevet undersøgt i dette projekt. Det vil derfor være oplagt at udføre en lignende undersøgelse af RTK-teknologierne, når denne nye løsning tilbydes.

Når både GPS-referencen og GPSnet tilbyder RTK-korrektioner til GPS og GLONASS, findes det ligeledes interessant at se nærmere på betydningen af GLONASS. Det være sig f.eks. ændringer i præcision, nøjagtighed, rigtighed, initialiseringstid og mulighed for at måle i områder med obstruktioner, hvor det ikke tidligere har været muligt at måle.

I dette projekt er undersøgelsen foretaget med én model af udstyr fra én fabrikant. Det findes interessant at foretage undersøgelsen med forskellige fabrikater og modeller af GNSS-udstyr, for at klarlægge, om der er en sammenhæng mellem GNSS-udstyret og f.eks. præcisionen. Ligeledes findes det interessant at se nærmere på datalinkets betydning. Her tænkes på mulighederne med GSM, GPRS og i begrænset omfang UHF-radio. Det kunne være interessant at klarlægge om datalinkets type og evt. forsinkelse har betydning for præcisionen af målingen.

Der er i landinspektørbranchen efterspørgsel efter en effektiv opmålingsmetode med en præcision i højden bedre end 1 cm. Resultatet af dette projekt har vist, at RTK-tjenesterne pt. ikke kan levere denne præcision. Det findes derfor interessant i et senere projekt at undersøge præcisionen og reinitialiseringens betydning for rigtigheden af enkelstations-RTK med egen base og med afstande under 1 km. Såfremt enkelstations-RTK kan levere tilfredsstillende resultater, vil denne opmålingsmetode bl.a. kunne anvendes til afsætning af veje, kloakdæksler etc..

Det findes ligeledes interessant at undersøge, hvilken præcision og nøjagtighed, der kan opnås ved efterprocessering af data fra tjenesterne.

Udviklingen af nye RTK-teknologier er i fuld gang. Næste generation af netværks RTK forventes at blive PPP-RTK (Precise Point Positioning). PPP-RTK modellerer på baggrund af data fra nettets referencestationer, alle fejlbidrag fra fundamentalligningen. Roveren kan ved at kende disse fejlbidrag for hver satellit beregne en absolut position med en nøjagtighed på cm niveau. [Wübbena, 2005] PPP-RTK er endnu kun på udviklingsstadiet, og der er ikke kendskab til en RTK-tjeneste, som udbyder teknologien.

Hvis RTK-tjenesterne vil styrke deres position, som en pålidelig opmålingsmetode, bør integriteten forbedres. Kvaliteten af en RTK-måling skal ikke baseres på brugerens erfaring og viden, men skal i stedet fremgå af udstyret på baggrund af nogle veldefinerede og standardiserede kvalitetsparametre.

At anvende statistiske begreber om kvaliteten af en måling er nødvendigt. Der findes imidlertid mange definitioner og beregningsmetoder til netop at vurdere kvaliteten, herunder præcision og nøjagtighed. Dette er med til at skabe uklarhed, og det kunne derfor være interessant hvis Den Danske Landinspektørforening i samarbejde med KMS og de relevante uddannelsesinstitutioner gik sammen om at anvende en fælles definition og terminologi.

For at kunne undersøge nøjagtigheden af RTK-tjenesterne er det nødvendigt at have veldefinerede målepunkter med en overlegen nøjagtighed. Det viste sig i dette projekt, at nøjagtigheden af de valgte målepunkter, REFDK og 10 km-punkterne, ikke havde den tilstrækkelige nøjagtighed, til at denne undersøgelse kunne gennemføres. Dette har betydet, at det kun har været muligt at konkludere noget på baggrund af præcisionen.

REFDK punkterne er typisk afmærket på et postament og er lette at genfinde. 10 km-punkterne er derimod ofte afmærket som en skruepløk, med toppen ca. 60 cm under terræn og dækket af et brønddæksel. I punktbeskrivelserne fra KMS er der angivet om punktet er velegnet til GPS-måling. Såfremt punktet er kategoriseret som velegnet, er dette imidlertid ikke et udtryk for, at der ikke er obstruktioner omkring punktet. I en fremtidig undersøgelse af tjenesterne kan det anbefales selv at afmærke veldefinerede punkter og evt. udføre en statisk måling af punktet, såfremt nøjagtigheden ønskes undersøgt.

13 Kildeliste

Dette kapitel omfatter nærmere detaljer for de kilder, som er blevet anvendt i rapporten. Kildelisten omfatter publikationer, hjemmesider og interviews/samtaler.

13.1 Publikationer

Andersen, 2005

Ib Andersen, Den Skinbarlige Virkelighed, 3. udgave, Forlaget Samfundsvidenskab, 2005

Andkjær, 2004

Line Andkjær m.fl., RTK-tjenester i Danmark – en anvendelses orienteret undersøgelse, Aalborg Universitet, 2004

Bahl, 2008

Lolita Bahl, Norm for RTK-tjenester – det 60. Nyborgmøde, d. 1. februar 2008, Kort & Matrikelstyrelsen, 2008

Borre, 1995

Kai Borre, GPS i landmålingen, Central-Trykkeriet Nykøbing F. a/s, 1995

Cameron, 2008

Alan Cameron, The System – A Healthy Constellation, GPS World, 1. april 2008

Chen, 2002

Xiaoming Chen m.fl., Virtual Reference Station Systems, Journal of Global Positioning Systems, Vol. 1, No. 2:137-143, 2002

Diggelen, 1998

Frank Van Diggelen, GPS Accuracy: Lies, Damn Lies, and Statistics, GPS World, 1998

Dueholm, 2005

Keld Dueholm m.fl., GPS, 3. udgave, Ny Teknisk Forlag, København, 2005

Engfeldt, 2005

Andreas Engfeldt, Network RTK in Northern and Central Europe, Lantmäteriet, 2005

Engsager, 2007

Karsten Engsager, Landinspektøren, Den Danske Landinspektørforening, januar 2007

GPS Networking, 2007

GPS Networking INC, Technical product data LDCBS1X4, GPS Networking INC, 2007

Halvardsson, 2007

Daniel Halvardsson m.fl., Jämförelse av distributionskanaler för projektanpassad nätverks-RTK, Lantmäteriet, 2007

Jensen, 2003

Karsten Jensen, Landmåling i teori og praksis, Aalborg Universitet, 2003

Johnsson, 2007

Fredrik Johnsson, En nätverks-RTK.jämförelse mellem GPS och GPS/GLONASS, Lantmäteriverket, 2007

Hofmann, 2001

B. Hofmann-Wellenhof m.fl., Global Positioning System: Theory and Practice, Springer, 2001

KMS, 2001

KMS, Kortprojektioner tilknyttet EUREF89, KMS, januar 2001

KMS, 2006

KMS, UTM-kortprojektion – specifikation nr. 4 vers. 1.1, KMS, juni 2006

KMS, 2008

KMS, Forslag til norm for RTK-tjenester version v.5, KMS, 2008

Lantmäteriverket, 1996

Lantmäteriverket, HMK-Geodesi:Strommätning, Lantmäteriverket, 1996

Leica, 2005

Leica Geosystems, Networked Reference Stations – Take it to the MAX!, Leica Geosystems, 2005

Madsen, 2003

Kurt Madsen m.fl., Test af GPSnet.dk og PGS-referencen i Danmark, KMS, 2003

Trimble, 2005

Trimble, Datasheet – Trimble TSC2 controller – English, Trimble, 2005

Trimble, 2007 (a)

Trimble, Datasheet – Trimble R7 GNSS – English, Trimble, 2007

Trimble, 2007 (b)

Trimble, Datasheet – Trimble GNSS Antennas – English, Trimble, 2007

Wübbena, 2005

Gerhard Wübbena m. fl., PPP-RTK: Precise Point Positioning Using State-Space Representation in RTK Networks, 2005, Geo++.

13.2Hjemmesider

Geoteam.dk, 2008

Geoteam, importør af Trimble udstyr i Danmark

<http://geoteam.dk>

Besøgt marts 2008

GPSnet.dk, 2008

Dansk RTK-tjeneste, GPSnet

[Http://gpsnet.dk](http://gpsnet.dk)

Besøgt april 2008

Gpsnetworking.com, 2008

Producent af forskelligt GNSS udstyr

<http://gpsnetworking.com>

Besøgt april 2008

Kms.dk, 2008

Kort- og Matrikelstyrelsen, Statens infrastrukturvirksomhed for kort og geodata.

<http://kms.dk>

Besøgt april 2008

Loyola.com, 2008

Forhandler af Leica udstyr

<http://leica.loyola.com/rtk-net/max-imax.html>

Besøgt april 2008

Referencen, 2008

Dansk RTK-tjeneste, GPS-referencen

<http://referencen.dk>

Besøgt marts 2008

Sidc.be, 2008

The solar Influences Data Analysis Center (SIDC), Royal Observatory of Belgium

<http://sidc.oma.be/html/wolfjmmms.html>

Besøgt maj 2008

Sopac.ucsd.edu, 2008

Sopac, leverandør af høj præcisions GPS-data

<http://sopac.ucsd.edu>

Besøgt marts 2008

Swepos.lwm.lm.se, 2008

SWEPOS hjemmeside, Svensk RTK-tjeneste

<http://swepos.lwm.lm.se>

Besøgt februar 2008

Tdc.dk, 2008

TDC, udbyder af bl.a. mobil telefoni

http://erhverv.tdc.dk/element.php?id=2722&dogtag=f5_e_mob_daek

Besøgt maj 2008

Tycho.usno.navy.mil, 2008

Time Service Department, U. S. Naval Observatory

<http://tycho.usno.navy.mil>

Besøgt marts 2008

Valdemar.kms.dk, 2008

Betalings database over plan- og højdefikspunkter i Danmark, drevet af KMS

<http://valdemar.kms.dk>

Besøgt marts 2008

13.3 Interviews/samtaler

Brian Hansen, 2008

Samtale med kundekonsulent Brian Hansen og Christian Hansen, Leica/Herlev, d. 26. marts 2008

Lars Overvad Mathiasen, 2008

Interview med landinspektør Lars Overvad Mathiasen, landinspektørfirmaet Geopartner Silkeborg, d. 20. februar 2008. Optaget og vedlagt som bilag CD-K.

Mads Hvolby, 2008

Interview med landinspektør Mads Hvolby, adm. direktør for landinspektørfirmaet Nellemann og Bjørnkjær, d. 19. februar 2008. Optaget og vedlagt som bilag CD-K.

Peter Jensen, 2008

Interview med landinspektør Peter Jensen, Landinspektørfirmaet i Århus, d. 20. februar 2008. Optaget og vedlagt som bilag CD-K.

Søren Ellegaard, 2008

Trimble Express 2008 Aalborg Universitet, v. Landinspektør Søren Ellegaard, direktør for Geoteam, d. 6. marts 2008

Bilag

A	Real Time Kinematic (RTK)
B	Spidernet: MAX og i-MAX (dansk version)
C	RTK fejltyper
D	Opsætning af controllere
E	GPS-referencens enkelstations GSM-opkaldsliste
F	Beskrivelse af opmålinger
G	Præcision, plan – ca. 900 epoker
H	Præcision, højde – ca. 900 epoker
I	Nøjagtighed, plan – ca. 900 epoker
J	Nøjagtighed, højde – ca. 900 epoker

Bilags CD

CD-K	Interviews
CD-L	Punktbeskrivelser
CD-M	Billeder
CD-N	Observationsark
CD-O	Data
CD-P	Matbal Script

Bilag A Real Time Kinematic

Formålet med dette bilag er at beskrive teorien bag målemetoden RTK (Real Time Kinematic), og er tiltænkt som et supplement til kapitel 3 *RTK-tjenester*.

RTK-målinger udføres relativt mellem to enkelt eller dobbelt frekvente GNSS-modtagere. Når en GNSS-modtager tændes, og der modtages signal fra en satellit, begynder den automatisk at registrere faseforskellen ϕ mellem bølgebølgen og en i modtageren genereret kopi. GPS-satellitter udsender signaler med en frekvens på henholdsvis 1598 MHz (L1) og 1343 MHz (L2). Dette medfører forholdsvis korte bølgelængder på henholdsvis 19,05 cm og 24,45 cm. GNSS-modtageren registrerer ikke bare hele bølgelængder, men også brøkdele. Forskellen i fase kan bestemmes bedre end 1 pct. af bølgelængden, og nogle modtagere helt ned til 0,1 pct. og 0,01 pct.. Faseforskelle summeres kontinuerligt, fra modtageren modtager signal fra satellitten. Det betyder, at afstanden til satellitten, som er omkring

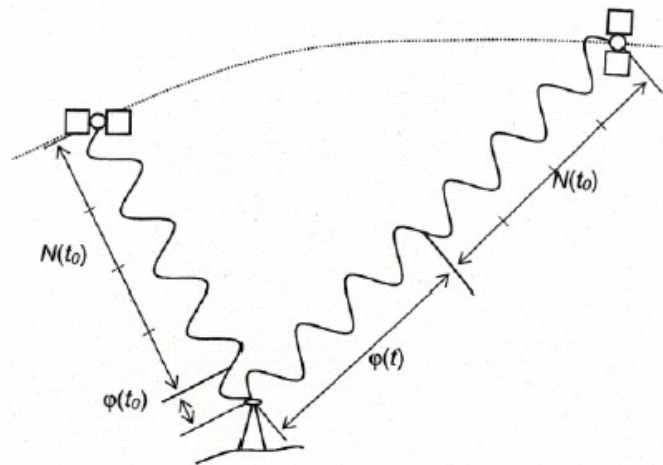


Fig. A1. Faseobservation til samme satellit til tiden t_0 og t . [Dueholm, 2005]

20200 km over jordens overflade, burde kunne bestemmes med en nøjagtighed bedre end 2 mm. Det er imidlertid ikke tilfældet, da modtagerne ikke er i stand til at måle antallet af hele bølgelængder til satellitten, kaldet periodekonstanten N . Dette kan imidlertid løses matematisk ved at måle differentielt mellem to modtagere, hvor koordinaterne til den ene modtager, kaldet basen b , er kendt.

Observationsligningerne for to modtagere, rover r og base b , til satellitten s , fremgår af ligning (A1).

$$\begin{aligned}\phi_r^s &= \rho_r^s(t) - \lambda \cdot N_r^s(t_0) - c \cdot dT_r + c \cdot dt^s - d_{ion} + d_{trop} + \varepsilon_r^s \\ \phi_b^s &= \rho_b^s(t) - \lambda \cdot N_b^s(t_0) - c \cdot dT_b + c \cdot dt^s - d_{ion} + d_{trop} + \varepsilon_b^s\end{aligned}\tag{A1}$$

, hvor

$\phi(t)$ er de summerede faseforskelle til tiden t

$\rho(t)$ er den geometriske afstand til tiden t

λ er bølglængden

$N(t_0)$ er periodekonstanten til tiden t_0

c er lysets hastighed i vakuum

dT er modtagerens urfejl

dt er satellittens urfejl

d_{ion} er ionosfærefejl

d_{trop} er troposfærefejl

ε er restfejl

index:

r er rover modtageren

b er base modtageren

s er satellitten

Ved at beregne differensen mellem de to observationsligninger til satellitten s til tiden t , udgår satellittens urfejl, da denne er ens ved begge modtagere. Denne beregningsoperation betegnes enkelt-differens. Hvis det antages at de to modtagere er placeret med en kort basislinje, således at det kan antages at signalet fra satellitten går gennem den samme atmosfære, vil fejlbidrag som følge af ionosfæren og troposfæren elimineres. Enkelt-differensen beregnes jf. ligning (A2).

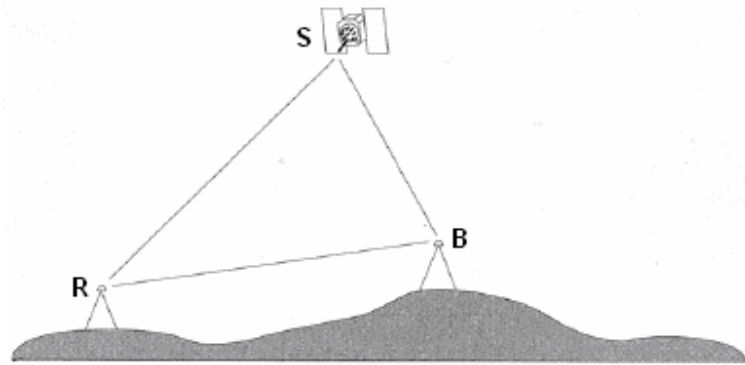


Fig. A2. To modtagere modtager signal fra satellitten S til tiden t . [Dueholm, 2005]

$$\begin{aligned}\phi_{r,b}^s(t) &= \phi_r^s(t) - \phi_b^s(t) \Rightarrow \\ \phi_{r,b}^s &= \rho_r^s(t) - \rho_b^s(t) - \lambda \cdot (N_r^s(t_0) - N_b^s(t_0)) - c \cdot (dT_r - dT_b)\end{aligned}\quad (A2)$$

Ved at måle til flere satellitter til tiden t , kan enkelt-differenser beregnes til alle de målte satellitter. Differensen mellem to enkelt-differenser, kaldes for dobbelt-differens og beregnes jf. ligning (A3).

$$\begin{aligned}\phi_{r,b}^{s1,s2}(t) &= \phi_r^{s1}(t) - \phi_b^{s2}(t) \Rightarrow \\ \phi_{r,b}^{s1,s2}(t) &= \rho_r^{s1}(t) - \rho_b^{s1}(t) - \rho_r^{s2}(t) + \rho_b^{s2}(t) - \lambda \cdot (N_r^{s1}(t_0) - N_b^{s1}(t_0) - N_r^{s2}(t_0) + N_b^{s2}(t_0)) - c \cdot (dT_r - dT_b - dT_r + dT_b)\end{aligned}\quad (A3)$$

Som det ses af ligning (A4), elimineres modtagernes urfejl dT , således at ligningen kan skrives som følgende:

$$\phi_{r,b}^{s1,s2}(t) = \rho_{r,b}^{s1,s2}(t) - \lambda \cdot N_{r,b}^{s1,s2}(t_0) \quad (\text{A4})$$

, hvor

$\rho_{r,b}^{s1,s2}(t)$ er en linearkombination af de fire geometriske afstande til tiden t
 $N_{r,b}^{s1,s2}(t_0)$ er en linearkombination af de fire periodekonstanter, kaldet ambiguity, til tiden t_0

Over tid er ambiguity konstant, da ambiguity netop er et udtryk for hele bølgelængder til tiden t_0 . Ved at beregne trippeldifferenser mellem 2 epoker, udgår ambiguity fra ligningen, jf. ligning (A5).

$$\begin{aligned} \phi_{r,b}^{s1,s2}(t_1, t_2) &= \phi_{r,b}^{s1,s2}(t_2) - \phi_{r,b}^{s1,s2}(t_1) \Leftrightarrow \\ \phi_{r,b}^{s1,s2}(t_1, t_2) &= \rho_{r,b}^{s1,s2}(t_2) - \rho_{r,b}^{s1,s2}(t_1) - \lambda \cdot (N_{r,b}^{s1,s2}(t_0) - N_{r,b}^{s1,s2}(t_0)) \Rightarrow \\ \phi_{r,b}^{s1,s2}(t_1, t_2) &= \rho_{r,b}^{s1,s2}(t_2) - \rho_{r,b}^{s1,s2}(t_1) \end{aligned} \quad (\text{A5})$$

Trippeldifferenser bruges bl.a. til at finde grove fejl i observationer, hvilket ikke vil blive beskrevet yderligere her. For at finde periodekonstanterne $N_{r,b}^{s1,s2}(t_0)$ samt differensen mellem de geometriske afstande fra modtagerne til satellitterne $\rho_{r,b}^{s1,s2}(t)$, anvendes forskellige matematiske metoder. Satellitternes position er kendt fra efemeriderne til tiden t , og det er derfor kun 3D-vektoren $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$ mellem base- og rovermodtager, også betegnet basislinjen, samt periodekonstanterne $N_{r,b}^{s1,s2}(t_0)$ der er ukendt. For nærmere beskrivelse af de matematiske metoder henvises til [Hofmann, 2001].

[Dueholm, 2005],[Borre, 1995]

Bilag B Spidernet: MAX og i-MAX (dansk version)

I det følgende er forsøgt lavet en dansk oversættelse af de to Spidernet løsninger, MAX og i-MAX.

MAX:

1. Rå faseobservationer sendes fra netværkets referencestationer, til kontrolcenteret i Herlev.
2. Kontrolcenteret estimerer netværkets ambiguity løsninger til det fælles ambiguity niveau.
3. Roverens position bestemmes og sendes til kontrolcenteret som en standard GGA NMEA-streng. Herefter vælger kontrolcenteret de nærmeste referencestationer til at indgå i de senere beregninger.
4. Kontrolcenteret sender herefter rå faseobservationer fra master referencestationen og korrektions differenser fra hjælpe referencestationerne i RTCM 3.0 netværks format.
5. Roveren kan herefter beregne sin position med stor nøjagtighed.

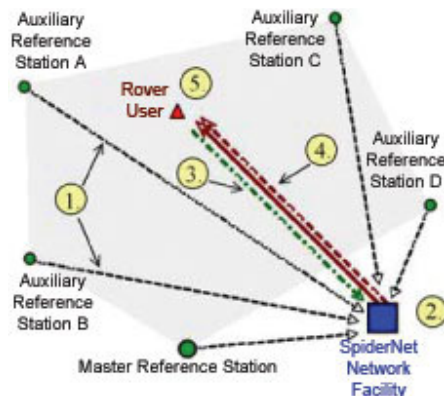


Fig. B1. Koncept skitse over MAX-systemet [Loyola.com. 2008]

i-MAX:

1. Rå faseobservationer sendes fra netværkets referencestationer, til kontrolcenteret i Herlev.
2. Kontrolcenteret estimerer netværkets ambiguity løsninger til det almindelige ambiguity niveau.
3. Roverens position bestemmes og sendes til kontrolcenteret som en standard GGA NMEA-streng. Herefter vælger kontrolcenteret de nærmeste referencestationer til at indgå i de senere beregninger, og referencestationen, der er tættest på roveren, vælges som master referencestation.
4. Kontrolcenteret beregner netværkskorrektioner for roveren, og tilføjer dem til de rå faseobservationer fra master referencestationen.
5. Herefter sendes RTCM 2.3 eller Leica format til roveren.
6. Roveren kan herefter beregne sin position med stor nøjagtighed og stadig udnytte netværket af referencetjenester.

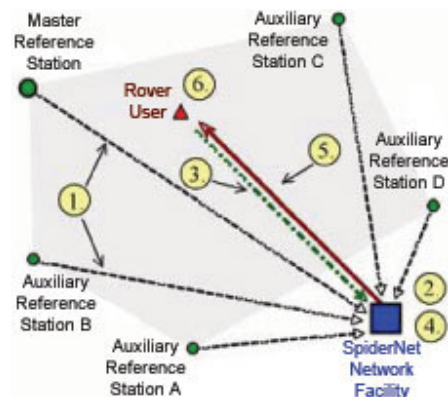


Fig. B2. Koncept skitse over i-MAX systemet. [Loyola.com, 2008]

[Leica, 2005]

Bilag C RTK fejltyper

I forbindelse med indsamling af data, er ingen observationer helt fejlfri. Statistiske beregningsmetoder gør det muligt at identificere nogle fejltyper mens der skal foretages andre foranstaltninger i forbindelse med opmålingen for at minimere risikoen for fejl. Fejltyperne kan inddeles som grove, systematiske og tilfældige fejl og beskrevet mere i det følgende.

Systematiske fejl

De systematiske fejl skyldes primært:

- Unøjagtige baneparametre (efemerider)
- Fejl i satellit-/modtager ur
- Atmosfæriske forstyrrelser

Store dele af de systematiske fejl, elimineres ved at danne enkelt- og dobbeltdifferenser. Ved dannelse af enkelt-differenser elimineres bane- og satellit urenes fejl. Er afstanden til nærmeste referencestation lille, elimineres de atmosfæriske fejl ligeledes. Ved dannelse af dobbeltdifferenser elimineres modtager urenes fejl.

Grove fejl

De grove fejl skyldes primært:

- Fejl ved betjening af udstyr
- Indtastning af diverse data (antennenhøjde)

Grove fejl kan afsløres ved at tilknytte målingen til fikspunkter eller kontrolpunkter, bestemt ved en anden uafhængig opmåling.

Tilfældige fejl

De tilfældige fejl skyldes primært:

- Flytning af fasecenter
- Multipath
- Resterende systematiske fejl (fejl som ikke elimineres ved differensdannelse)
- Centrering af antenne
- Måling af antennenhøjde

GNSS-antennens fasecenter kan være forskudt, hvilket medfører en tilfældig fejl afhængig af hvordan antennen orienteres.

[Jensen, 2003]

Bilag D Opsætning af controllere

Der er ikke tidligere erfaringer fra Aalborg Universitet, Geoteam eller GPS-referencens support med at modtage RTK-korrektioner fra Spidernet med et Trimble instrument. Transmitteringsformatet skal ifølge GPS-referencens vejledning til opsætning sættes til RTCM3Net. Det viste sig, at det ikke var muligt at få forbindelse til Spidernetserveren med det format, da opkaldet blot blev afvist, til trods for at nummeret der blev ringet op fra, var registreret som abonnent. GPS-referencens support oplyste, at der skulle sendes en GGA NMEA-streng med modtagerens position som det første. Det samme er tilfældet ved opkald til GPSnet, hvor transmitteringsformatet VRS (RTCM) anvendes. Det viste sig, at det samme transmitteringsformat kan anvendes til Spidernet.

Der er ingen bemærkninger til opsætning af controllere til GPSnet og enkelstations-RTK.

Opsætningen af de controllere var som følgende:

Controller 12 – GPSnet (GPS)

Profil:

Telefon:	44649455 (GPS/GLONASS 44200499)
Init:	at+cbst=71
Læg på:	ATHO

Opmålingsstil:

Rover optioner:	
Opmålingstype:	RTK
Transmitterings-format:	VRS(RTCM)
Gem punkt som:	Positioner
Afskæringsvinkel:	12°
PDOP grænse:	4.0
Antenne:	
Type:	Zephyr Geod-2
Mål til:	Bund på antenneramme
Antennehøjde:	(varierende)
Sporing:	
L2e:	Ja
L2c:	Ja
GLONASS:	Nej

Controller 13 – Spidernet (i-MAX)

Profil:

Telefon:	44534430
Init:	at+cbst=71
Læg på:	ATHO

Opmålingsstil:

Rover optioner:	
Opmålingstype:	RTK
Transmitterings-format:	VRS(RTCM)
Gem punkt som:	Positioner
Afskæringsvinkel:	12°
PDOP grænse:	4.0
Antenne:	
Type:	Zephyr Geod-2
Mål til:	Bund på antenneramme
Antennehøjde:	(varierende)
Sporing:	
L2e:	Ja
L2c:	Ja
GLONASS:	Nej

Controller 14 – enkelstations-RTK

Profil:

Telefon:	(se bilag E)
Init:	at+cbst=71
Læg på:	ATHO

Opmålingsstil:

Rover optioner:	
Opmålingstype:	RTK
Transmitterings-format:	RTCM
Gem punkt som:	Positioner
Afskæringsvinkel:	12°
PDOP grænse:	4.0
Antenne:	
Type:	Zephyr Geod-2
Mål til:	Bund på antenneramme
Antennehøjde:	(varierende)
Sporing:	
L2e:	Ja
L2c:	Ja
GLONASS:	Nej

Bilag E GPS-referencens enkelstations GSM-opkaldsliste

Nedenstående liste er et udklip fra GPS-referencens enkelstations GSM-opkaldsliste, med numre til de enkelte stationer. Listen er blevet udleveret af Christian Hansen, Leica, onsdag d. 26. marts 2008. Der blev i forbindelse med udleveringen af listen, gjort opmærksom på, at Leica ikke længere yder service på deres enkelstationer, men kun på Spidernet. Der er dog overvejelser om at ændre rutiner, således at der fra sommeren år 2008, kan ydes delvis service på enkelstationerne fra kontoret i Herlev.

I forbindelse med opmålingerne har der været problemer med at få kontakt til nogle af stationerne. Leica oplyste i den forbindelse flere numre, som den enkelte station kan kontaktes med. Disse numre er tilføjet listen, og markeret med en stjerne.

Stationen i Herlev fremgik ligeledes ikke af listen, og er derfor blevet tilføjet og markeret med en stjerne.

Datanummer	Placering	Status
29231545	Tegholmen	I drift
29231546*	Tegholmen	Ikke oplyst
29231547*	Tegholmen	Ikke oplyst
29231548*	Tegholmen	Ikke oplyst
29231732	Buddinge	I drift
29231733*	Buddinge	Ikke oplyst
29231734*	Buddinge	Ikke oplyst
29231735*	Buddinge	Ikke oplyst
29231558	Hillerød	I drift
29231550	Helsinge	I drift
29231627	Slangerup	I drift
29231680	Tune	I drift
29231600	Tølløse	I drift
29231604	Nykøbing Sj.	I drift
29231607*	Herlev	Ikke oplyst
29231603*	Herlev	Ikke oplyst
29231599*	Herlev	Ikke oplyst

Driftstatus er oplyst af Leica d. 26. marts 2008. Dette skal dog tages med forbehold, da Leica ikke har et system til at kontrollere driftstatus af de enkelte stationer fra deres kontor i Herlev.

Bilag F Beskrivelse af opmålinger

Sydamager – målepunkt 05

Den første dag, der blev indsamlet observationer, var i REFDK punktet på Sydamager. Opstillingen blev foretaget med malleskammel på postamentet og centreret med et fodstykke med optisk lod, se fig. F1. Højden blev målt med tommestok.



Fig. F1. Centrering over punkt 05 med malleskammel.

Ifølge planlægningen skulle der med enkelstations-RTK modtageren ringes op til Tegholmens referencestation. Denne var desværre ude af drift, og efter flere forsøg og kontakt til GPS-referencens support måtte det også opgives at få forbindelse til stationen i Herlev. Det lykkedes endelig i 6. RTK-session at opnå forbindelse til stationen i Buddinge, hvorefter de følgende sessioner blev målt til denne som reference. Den faktiske afstand til nærmeste referencestation, fremgår af tabel F1, og følger dermed ikke planlægningen:

Punkt 05	GPSnet	Spidernet	Enkelstations-RTK
Afstand til nærmeste referencestation	7,2 km	10,4 km	20,1 km

Tabel F1, Oversigt over afstande til nærmeste referencestation fra målepunkt 05.

Figur F2 viser, at de ionosfæriske aktiviteter var under det normale, mens der blev målt i punkt nr. 05.

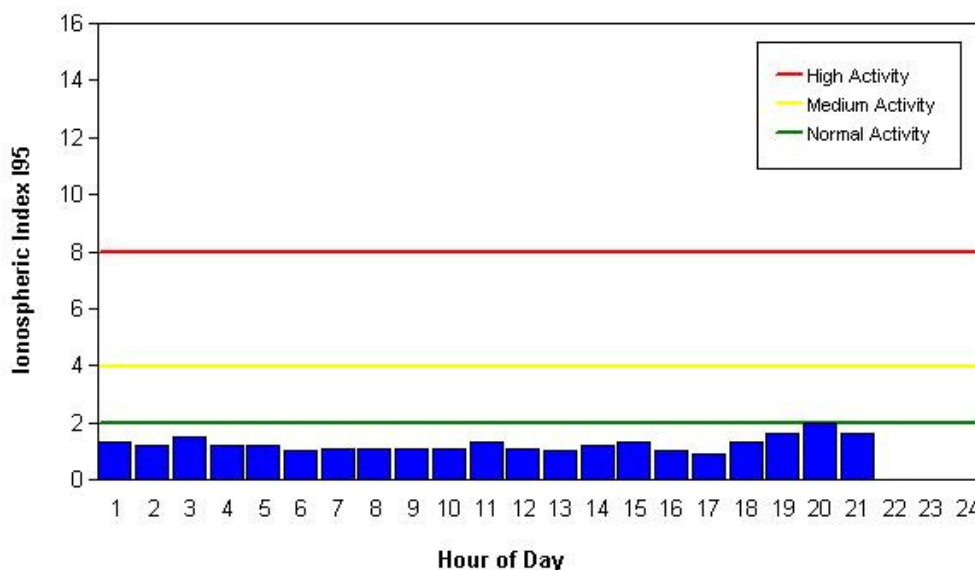


Fig. F2. Ionosfære index I95, d. 27. marts 2008

Buddinge Batteri – målepunkt 21

Den anden opmålingsdag forløb ved Buddinge Batteri, hvor der blev indsamlet observationer i et REFDPunkt. Opstillingen blev foretaget i et fast monteret GPS-stativ over en ca. 85x85x100cm stor betonklods med en jernplade med hul i, jf. figur F3. Centreringen blev foretaget med et fodstykke med optisk lod og højden målt med tommestok.



Fig. F3. Centrering over punkt 21 med optisk lod i et fastmonteret GPS-stativ. I baggrunden ses referencestationen i Buddinge.

Ifølge planlægningen skulle der med enkelstations-RTK modtageren ringes op til referencestationen i Herlev. Erfaringer fra dagen inden, ændrede dette til at der blev kaldt op til referencestationen i Buddinge. Alle 18 RTK-sessioner forløb uden problemer.

Den faktiske afstand til nærmeste referencestation, fremgår af tabel F2, og følger dermed ikke planlægningen:

Punkt 21	GPSnet	Spidernet	Enkelstations-RTK
Afstand til nærmeste referencestation	14,3 km	4,5 km	0 km

Tabel F2, Oversigt over afstande til nærmeste referencestation fra målepunkt 21.

Figur F4 viser, at de ionosfæriske aktiviteter var under det normale, mens der blev målt i punkt nr. 21.

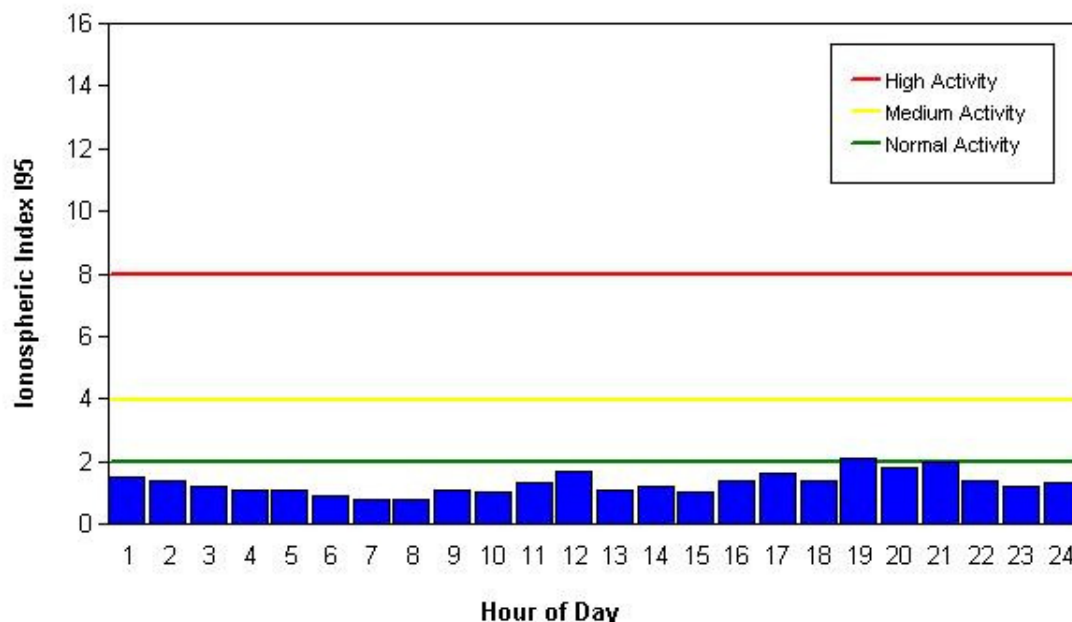


Fig. F4. Ionosfære index I95, d. 28. marts 2008

Måløv – målepunkt 35

Den tredje opmålingsdag forgik i Måløv, i et 10-km punkt ved Måløvgård transformatorstation. Opstillingen blev foretaget med et Trimble snapstativ over punktet afmærket med en skruepløk ca. 60 cm under terræn, jf. figur F5.

Ifølge planlægningen skulle der med enkelstations-RTK modtageren ringes op til referencestationen i Herlev. Der blev i stedet ringet op til stationen i Buddinge, som de foregående dage. Næsten alle 18 RTK-sessioner forløb uden problemer.

Den faktiske afstand til nærmeste referencestation, fremgår af tabel F3, og følger dermed ikke planlægningen:



Fig. F5. Centrering over punkt 35 med Trimble snapstativ

Punkt 35	GPSnet	Spidernet	Enkelstations-RTK
Afstand til nærmeste referencestation	21,5 km	7,6 km	10,1 km

Tabel F3, Oversigt over afstande til nærmeste referencestation fra målepunkt 35.

Figur F6 viser, at de ionosfæriske aktiviteter var under det normale, mens der blev målt i punkt nr. 35.

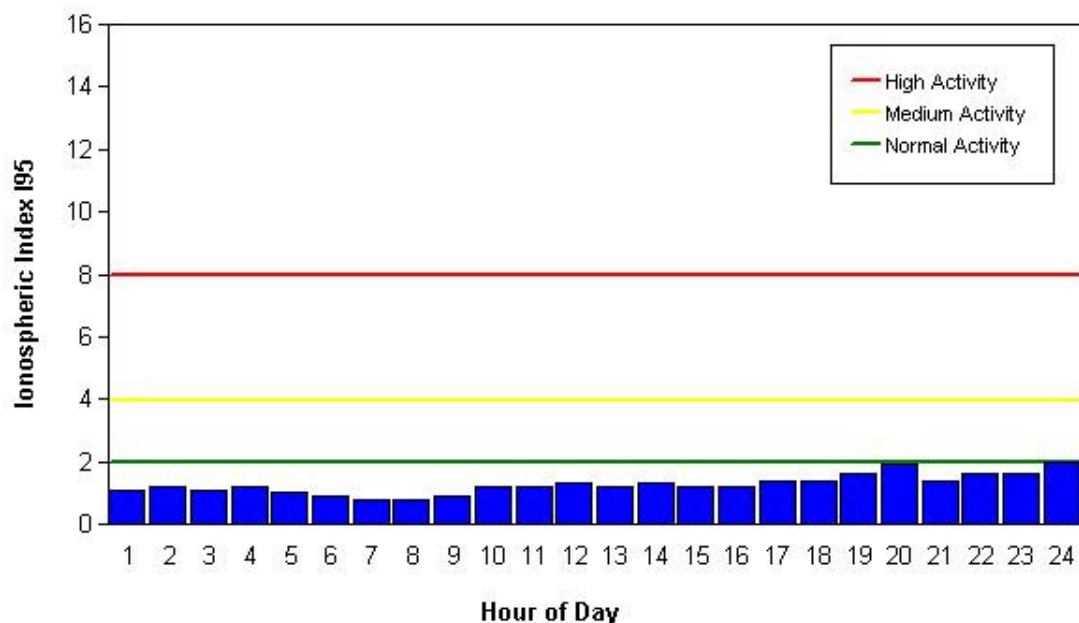


Fig. F6. Ionosfære index I95, d. 29. marts 2008

Farum – målepunkt 38

Den fjerde opmålingsdag foregik i Farum i et 10-km punkt, ved Farum Gydegård transformatorstation. Opstillingen blev foretaget med et Trimble snap-stativ over punktet afmærket med en skruepløk ca. 60 cm under terræn, jf. figur F7.

Ifølge planlægningen skulle der med enkelstations-RTK modtageren ringes op til referencestationen i Helsingør. Denne station var tilsyneladende også ude af drift, og det blev derfor ændret til, at der også herfra blev ringet op til referencestationen i Buddinge. Alle 18 RTK-sessioner forløb uden problemer.

Den faktiske afstand til nærmeste referencestation, fremgår af tabel F4, og følger dermed ikke planlægningen:



Fig. F7. Centrering i punkt 38 med et Trimble snapstativ

Punkt 38	GPSnet	Spidernet	Enkelstations-RTK
Afstand til nærmeste referencestation	26,2 km	11,9 km	12,3 km

Tabel F4, Oversigt over afstande til nærmeste referencestation fra målepunkt 38.

Figur F8 viser at de ionosfæriske aktiviteter var under det normale, mens der blev målt i punkt nr. 38.

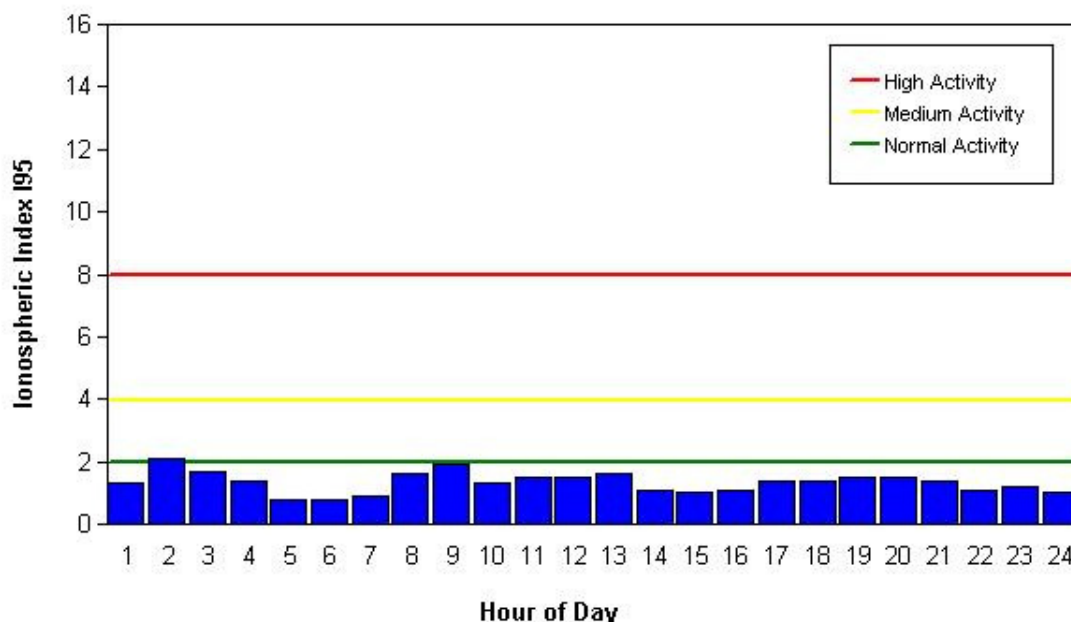


Fig. F8. Ionosfære index I95, d. 30. marts 2008

Spraglehøj – målepunkt 01

Den femte opmålingsdag foregik nær Stenløse, på toppen af en 4 m kæmpehøj i et 10 km-punkt. Opstillingen blev foretaget med et Trimble snapstativ over punktet, som er afmærket med en metalplade i en ca. 80x80cm stor betonstøbning, jf. figur F9.



Fig. F9. Centrering i punkt 01 med et Trimble snap-stativ.

Ifølge planlægningen skulle der med enkelstations-RTK modtageren ringes op til referencestationen i Herlev. Pga. tidligere dages erfaringer, blev dette ændret til Buddinge referencestation. Der var her problemer med at initialisere ved den første session, men herefter forløb det uden problemer. Den faktiske afstand til nærmeste referencestation, fremgår af tabel F5, og følger dermed ikke planlægningen:

Punkt 01	GPSnet	Spidernet	Enkelstations-RTK
Afstand til nærmeste referencestation	32,5 km	12 km	23,5 km

Tabel F5, Oversigt over afstande til nærmeste referencestation fra målepunkt 01.

Figur F10 viser, at de ionosfæriske aktiviteter var under det normale, mens der blev målt i punkt nr. 01.

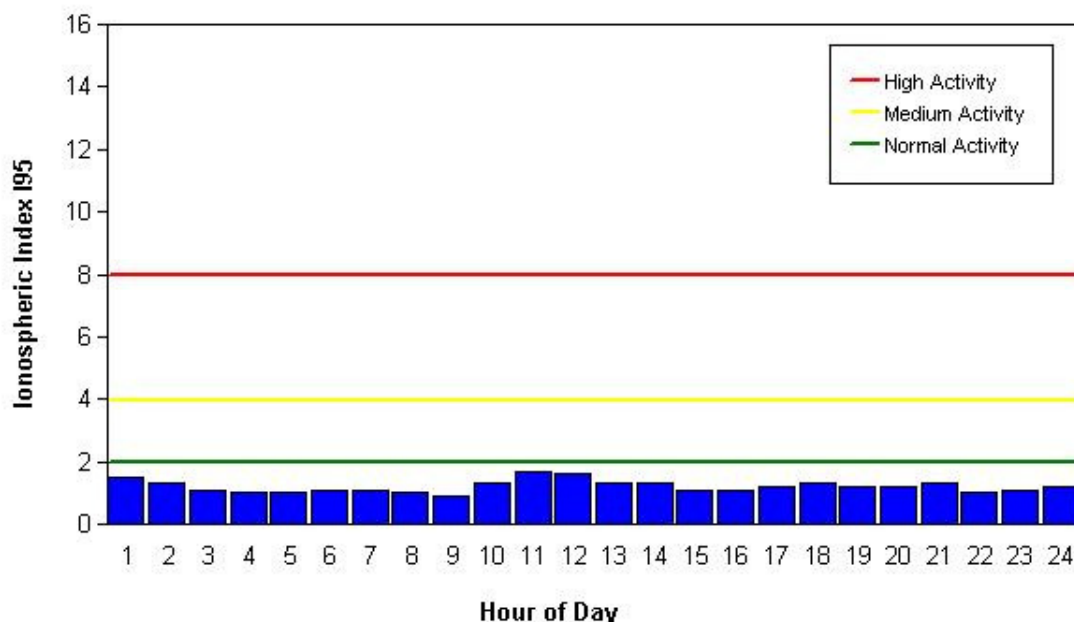


Fig. F10. Ionosfære index I95, d. 31. marts 2008

Vestamager– målepunkt 55

Den sjette opmålingsdag foregik på Vestamager. KMS har her en "prøvebane", bestående af flere postamenter. Pille nr. 0 på "prøvebanen" er et REFDK-punkt, og var det punkt, der var planlagt måling i. Manglende afmærkning medførte, at opstillingen i stedet blev foretaget i pille nr. 3. Opstillingen blev foretaget med malkeskammel, og centreret med et fodstykke med optisk centrering, jf. figur F11. Højden blev målt med tommestok.



Fig. F11. Centrering i punkt 55 med malkeskammel med optisk centrering.

Ifølge planlægningen skulle der med enkelstations-RTK modtageren ringes op til Tegholmen referencestation. Denne station var stadig nede, og det blev i stedet ændret til Buddinge referencestation. De 18 sessioner forløb uden problemer. Den faktiske afstand til nærmeste referencestation, fremgår af tabel F6, og følger dermed ikke planlægningen:

Punkt 55	GPSnet	Spidernet	Enkelstations-RTK
Afstand til nærmeste referencestation	2,0 km	5,3 km	15,0 km

Tabel F6. Oversigt over afstande til nærmeste referencestation fra målepunkt 55.

Figur F12 viser, at de ionosfæriske aktiviteter var under det normale, mens der blev målt i punkt nr. 55.

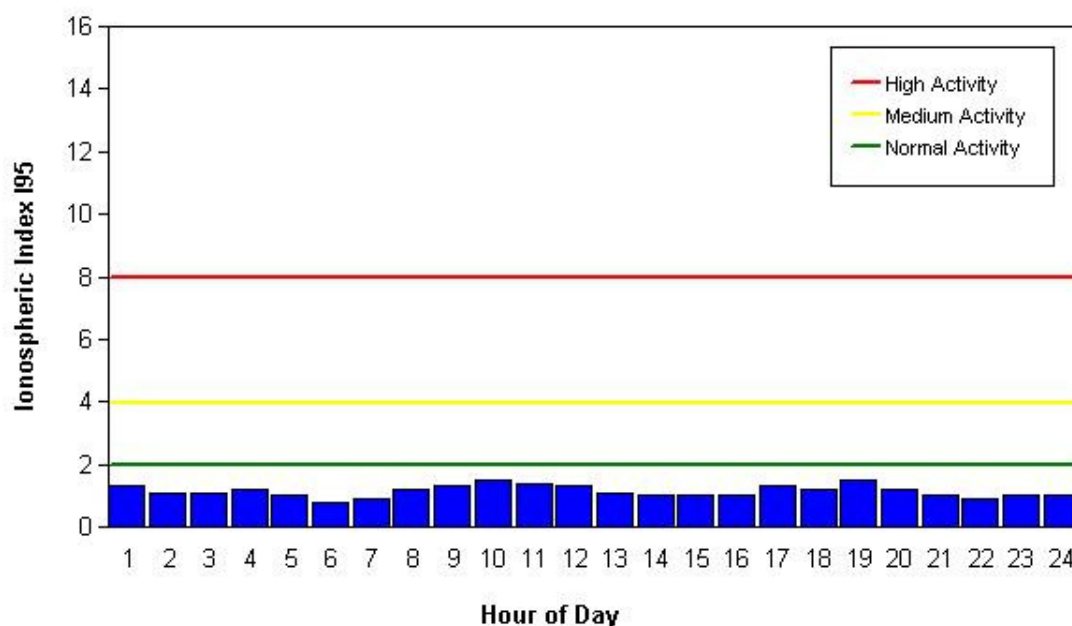


Fig. F12. Ionosfære index I95, d. 1. maj 2008

Rungsted – målepunkt 16

Den syvende og sidste opmålingsdag foregik i Rungsted. Her skulle opmålingen være foretaget i et 10-km punkt, afmærket med en skruepløk ca. 60 cm under terræn. Denne var imidlertid ikke mulig at finde, og der blev derfor oprettet et veldefineret punkt i nærheden, dog uden kendte koordinater. Opstillingen blev foretaget med et Trimble snap-stativ, jf. figur F13.



Fig. F13. Centrering i punkt "16" nær det rigtige punkt 16 med Trimble snapstativ.

Ifølge planlægningen skulle der med enkelstations-RTK modtageren ringes op til referencestationen i Helsingør. Denne station var imidlertid stadig ude af drift, og der blev i stedet ringet op til referencestationen i Helsingør. De tre første sessioner med enkelstations-RTK, blev ikke gennemført, men resten forløb uden problemer.

Den faktiske afstand til nærmeste referencestation, fremgår af tabel F7, og følger dermed ikke planlægningen:

Punkt 16	GPSnet	Spidernet	Enkelstations-RTK
Afstand til nærmeste referencestation	23,6 km	15,3 km	27,7 km

Tabel F7, Oversigt over afstande til nærmeste referencestation fra målepunkt 16.

Figur F14 viser, at de ionosfæriske aktiviteter var under det normale, mens der blev målt i punkt nr. 05.

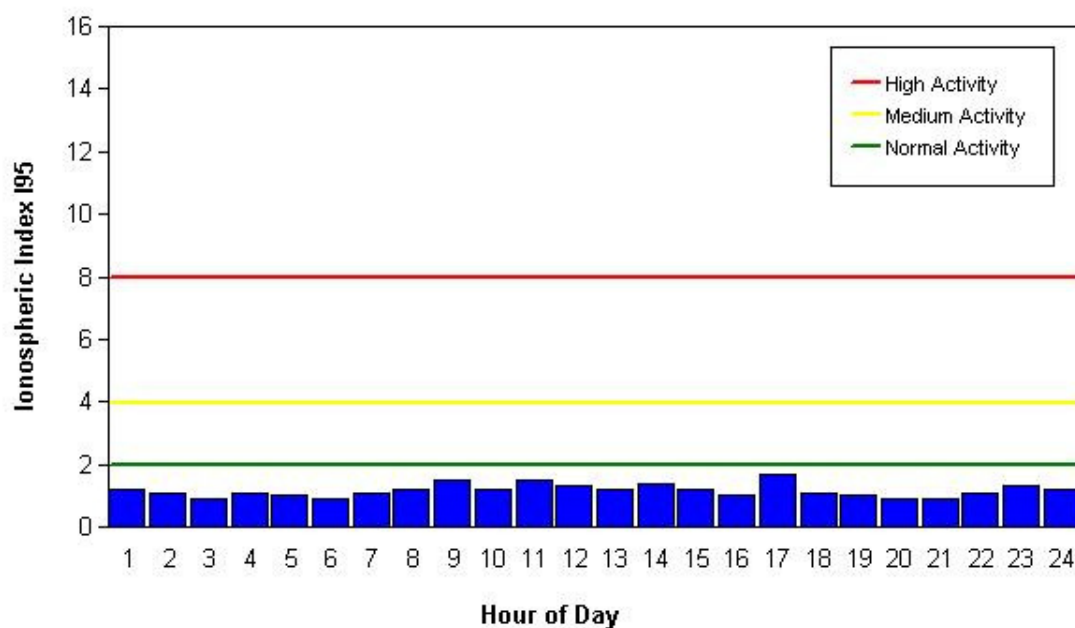


Fig. F14. Ionosfære index I95, d. 2. maj 2008

Bilag G Præcision, plan – ca. 900 epoker

Præcision i planen for hver RTK-session baseret på ca. 900 epoker, svarende til 15 minutters måling. I skemaerne frasorteres RTK-sessioner, hvor spredningen er større end tre gange gennemsnittet af spredningen målt i et punkt. Der er under databehandlingen til hver enkelt tjeneste nøjagtigt angivet, hvilke RTK-sessioner der udelades fra beregningerne.

GPSnet

Målepunkt	01	05	16	21	35	38	55
Session	σ_p [mm]	σ_p [mm]	σ_p [mm]	σ_p [mm]	σ_p [mm]	σ_p [mm]	σ_p [mm]
Session 1	9	3	11	6	10	9	9
Session 2	8	4	17	6	12	8	6
Session 3	6	4	11	5	7	8	5
Session 4	8	4	9	4	9	9	4
Session 5	7	3	9	4	7	8	4
Session 6	6	5	11	5	14	6	3
Session 7	6	3	13	6	16	10	3
Session 8	6	4	12	7	35	16	3
Session 9	8	4	24	9	18	9	5
Session 10	9	4	21	5	10	6	4
Session 11	8	5	19	6	7	8	4
Session 12	7	3	10	6	9	8	3
Session 13	6	4	10	5	8	8	3
Session 14	6	4	8	6	9	10	3
Session 15	6	4	11	5	8	9	3
Session 16	7	-	12	6	11	10	3
Session 17	9	-	8	7	15	11	-
Session 18	5	-	10	6	8	12	3
Gns.	7	4	13	6	10	9	4

Tabel G1. σ_p [mm] for samtlige RTK sessioner i syv målepunkter, målt med GPSnet.

Røde tal er ikke medregnet i gennemsnittet.

Spidernet

Målepunkt	01	05	16	21	35	38	55
Session	σ_p [mm]	σ_p [mm]	σ_p [mm]	σ_p [mm]	σ_p [mm]	σ_p [mm]	σ_p [mm]
Session 1	13	7	12	15	14	12	11
Session 2	11	6	16	8	13	7	9
Session 3	8	7	13	7	10	8	7
Session 4	11	11	11	7	10	9	12
Session 5	7	34	11	8	9	9	9
Session 6	10	13	13	7	16	7	6
Session 7	8	9	14	8	21	13	9
Session 8	6	9	11	8	48	15	13
Session 9	9	54	15	20	29	20	13
Session 10	20	7	90	8	13	15	7
Session 11	6	8	24	11	8	10	12
Session 12	6	6	16	10	11	11	8
Session 13	6	8	18	9	16	9	8
Session 14	8	12	14	9	9	10	8
Session 15	6	8	18	8	9	9	7
Session 16	8	-	15	7	10	10	8
Session 17	5	-	11	19	17	13	-
Session 18	7	-	20	9	8	10	9
Gns.	9	13	15	10	12	11	9

Tabel G2. σ_p [mm] for samtlige RTK sessioner i syv målepunkter, målt med Spidernet.
Røde tal er ikke medregnet i gennemsnittet.

Enkelstations-RTK

Målepunkt	01	05	16	21	35	38	55
Session	σ_p [mm]	σ_p [mm]	σ_p [mm]	σ_p [mm]	σ_p [mm]	σ_p [mm]	σ_p [mm]
Session 1	-	-	-	4	8	8	7
Session 2	7	-	-	3	12	8	7
Session 3	-	-	-	3	7	8	6
Session 4	6	-	12	4	10	10	6
Session 5	5	-	11	3	8	9	7
Session 6	5	12	17	4	14	6	5
Session 7	7	7	20	3	13	12	6
Session 8	6	7	23	4	35	15	7
Session 9	-	-	21	7	33	16	9
Session 10	10	-	65	4	11	8	6
Session 11	7	-	18	4	-	8	9
Session 12	5	-	19	4	6	10	7
Session 13	6	-	19	4	11	9	-
Session 14	-	-	12	-	8	10	5
Session 15	5	-	18	3	8	10	4
Session 16	6	-	15	4	9	8	8
Session 17	6	-	17	5	13	9	8
Session 18	7	-	16	-	9	11	6
Gns.	6	9	17	4	10	10	7

Tabel G3. σ_p [mm] for samtlige RTK sessioner i syv målepunkter, målt med Enkelstations-RTK.
Røde tal er ikke medregnet i gennemsnittet.

Bilag H Præcision, højde – ca. 900 epoker

Præcision i højden for hver RTK-session baseret på ca. 900 epoker, svarende til 15 minutters måling. I skemaerne frasorteres RTK-sessioner hvor spredningen er større end tre gange gennemsnittet af spredningen målt i et punkt. Der er under databehandlingen til hver enkelt tjeneste nøjagtigt angivet, hvilke RTK-sessioner der udelades fra beregningerne.

GPSnet

Målepunkt	01	05	16	21	35	38	55
Session	σ_h [mm]	σ_h [mm]	σ_h [mm]	σ_h [mm]	σ_h [mm]	σ_h [mm]	σ_h [mm]
Session 1	13	5	19	7	18	15	9
Session 2	8	7	22	9	21	11	7
Session 3	7	6	13	9	13	13	7
Session 4	10	6	14	7	10	12	7
Session 5	9	5	14	8	12	15	6
Session 6	8	8	17	9	16	9	4
Session 7	7	5	15	7	21	16	5
Session 8	7	6	13	8	68	20	4
Session 9	8	6	38	16	43	13	8
Session 10	18	6	15	9	24	11	7
Session 11	15	5	18	8	13	14	6
Session 12	9	5	19	11	10	12	6
Session 13	8	6	16	9	12	10	5
Session 14	7	4	10	8	11	10	5
Session 15	7	7	12	9	15	10	4
Session 16	8	-	11	7	15	11	4
Session 17	8	-	13	10	22	17	-
Session 18	9	-	21	6	26	22	5
Gns.	9	6	17	9	18	13	6

Tabel H1. σ_h [mm] for samtlige RTK sessioner i syv målepunkter, målt med GPSnet.

Røde tal er ikke medregnet i gennemsnittet.

Spidernet

Målepunkt	01	05	16	21	35	38	55
Session	σ_h [mm]	σ_h [mm]	σ_h [mm]	σ_h [mm]	σ_h [mm]	σ_h [mm]	σ_h [mm]
Session 1	22	7	22	20	20	22	19
Session 2	13	10	26	16	24	8	13
Session 3	9	16	21	12	19	14	14
Session 4	26	9	21	10	9	14	11
Session 5	10	33	17	14	14	17	12
Session 6	11	21	16	10	21	12	10
Session 7	12	13	16	16	33	21	12
Session 8	9	12	17	11	93	18	14
Session 9	10	86	22	35	65	24	17
Session 10	28	12	73	11	18	22	12
Session 11	12	14	34	13	10	14	16
Session 12	10	12	29	15	10	17	12
Session 13	9	15	17	15	16	11	10
Session 14	10	23	13	9	14	14	11
Session 15	10	15	14	12	14	10	11
Session 16	9	-	16	12	16	14	9
Session 17	8	-	18	28	25	17	-
Session 18	10	-	25	10	21	20	12
Gns.	13	15	20	15	15	16	13

Tabel H2. σ_h [mm] for samtlige RTK sessioner i syv målepunkter, målt med GPSnet.

Røde tal er ikke medregnet i gennemsnittet.

Enkelstations-RTK

Målepunkt	01	05	16	21	35	38	55
Session	σ_h [mm]	σ_h [mm]	σ_h [mm]	σ_h [mm]	σ_h [mm]	σ_h [mm]	σ_h [mm]
Session 1	-	-	-	5	12	11	7
Session 2	10	-	-	7	22	8	8
Session 3	-	-	-	6	12	15	9
Session 4	10	-	18	6	8	13	9
Session 5	8	-	28	6	12	14	10
Session 6	7	18	23	5	16	10	8
Session 7	8	9	32	5	23	17	10
Session 8	9	9	36	6	68	15	9
Session 9	-	-	27	12	68	20	16
Session 10	17	-	74	5	18	10	10
Session 11	8	-	30	6	-	15	13
Session 12	8	-	31	7	8	10	10
Session 13	9	-	23	7	11	9	-
Session 14	-	-	16	-	13	12	6
Session 15	9	-	18	5	15	12	5
Session 16	9	-	14	6	14	13	10
Session 17	8	-	34	5	17	14	7
Session 18	9	-	25	-	21	26	7
Gns.	9	12	25	6	15	14	9

Tabel H3. σ_h [mm] for samtlige RTK sessioner i syv målepunkter, målt med GPSnet.

Røde tal er ikke medregnet i gennemsnittet.

Bilag I Nøjagtighed, plan – ca. 900 epoker

Nøjagtighed i planen for hver RTK-session baseret på ca. 900 epoker, svarende til 15 minutters måling. I skemaerne frasorteres RTK-sessioner, hvor RMS-værdien er større end tre gange gennemsnittet af RMS-værdierne målt i et punkt. Der er under databehandlingen til hver enkelt tjeneste nøjagtigt angivet, hvilke RTK-sessioner der udelades fra beregningerne.

GPSnet

Målepunkt	01	05	16	21	35	38	55
Session	RMS _p [mm]	RMS _p [mm]	RMS _p [mm]	RMS _p [mm]	RMS _p [mm]	RMS _p [mm]	RMS _p [mm]
Session 1	28	18	-	15	18	23	-
Session 2	30	17	-	14	19	20	-
Session 3	29	14	-	14	10	17	-
Session 4	28	15	-	10	15	14	-
Session 5	32	15	-	11	22	13	-
Session 6	33	15	-	9	24	17	-
Session 7	28	16	-	14	17	12	-
Session 8	32	17	-	12	58	17	-
Session 9	33	19	-	12	36	18	-
Session 10	31	16	-	16	11	22	-
Session 11	31	16	-	16	15	19	-
Session 12	26	17	-	14	16	18	-
Session 13	25	18	-	13	14	23	-
Session 14	30	18	-	14	13	22	-
Session 15	32	14	-	17	13	24	-
Session 16	32	-	-	16	19	26	-
Session 17	32	-	-	17	19	21	-
Session 18	29	-	-	16	15	20	-
Gns.	30	16	-	14	17	19	-

Tabel I1. RMS_p [mm] for samtlige RTK sessioner i syv målepunkter, målt med GPSnet.

Røde tal er ikke medregnet i gennemsnittet.

Spidernet

Målepunkt	01	05	16	21	35	38	55
Session	RMS _p [mm]	RMS _p [mm]	RMS _p [mm]	RMS _p [mm]	RMS _p [mm]	RMS _p [mm]	RMS _p [mm]
Session 1	21	19	-	17	15	13	-
Session 2	17	13	-	13	13	11	-
Session 3	11	13	-	9	10	9	-
Session 4	23	15	-	10	10	11	-
Session 5	14	36	-	10	10	12	-
Session 6	21	14	-	9	16	7	-
Session 7	16	17	-	9	23	14	-
Session 8	12	15	-	11	62	29	-
Session 9	14	56	-	22	36	22	-
Session 10	27	14	-	13	20	18	-
Session 11	14	10	-	16	9	12	-
Session 12	10	8	-	13	12	12	-
Session 13	11	15	-	10	17	13	-
Session 14	14	21	-	10	10	11	-
Session 15	13	19	-	12	11	12	-
Session 16	9	-	-	12	14	13	-
Session 17	11	-	-	22	18	13	-
Session 18	16	-	-	11	10	16	-
Gns.	15	16	-	13	15	14	-

Tabel I2. RMS_p [mm] for samtlige RTK sessioner i syv målepunkter, målt med Spidernet.

Røde tal er ikke medregnet i gennemsnittet.

Enkelstations-RTK

Målepunkt	01	05	16	21	35	38	55
Session	RMS _p [mm]	RMS _p [mm]	RMS _p [mm]	RMS _p [mm]	RMS _p [mm]	RMS _p [mm]	RMS _p [mm]
Session 1	-	-	-	18	12	12	-
Session 2	20	-	-	17	17	12	-
Session 3	-	-	-	20	17	12	-
Session 4	15	-	-	19	16	19	-
Session 5	16	-	-	19	13	19	-
Session 6	21	21	-	18	18	13	-
Session 7	17	22	-	18	25	24	-
Session 8	16	24	-	22	48	39	-
Session 9	-	-	-	19	45	21	-
Session 10	23	-	-	17	22	14	-
Session 11	22	-	-	19	-	15	-
Session 12	15	-	-	17	19	13	-
Session 13	17	-	-	19	20	13	-
Session 14	-	-	-	-	17	15	-
Session 15	15	-	-	18	19	12	-
Session 16	19	-	-	18	16	12	-
Session 17	17	-	-	18	19	14	-
Session 18	18	-	-	-	18	18	-
Gns.	18	22	-	19	21	17	-

Tabel I3. RMS_p [mm] for samtlige RTK sessioner i syv målepunkter, målt med Enkelstations-RTK.

Bilag J Nøjagtighed, højde – ca. 900 epoker

Nøjagtighed i højden for hver RTK-session baseret på ca. 900 epoker, svarende til 15 minutters måling. I skemaerne frasorteres RTK-sessioner, hvor RMS-værdien er større end tre gange gennemsnittet af RMS-værdierne målt i et punkt. Der er under databehandlingen til hver enkelt tjeneste nøjagtigt angivet, hvilke RTK-sessioner der udelades fra beregningerne.

GPSnet

Målepunkt	01	05	16	21	35	38	55
Session	RMS _h [mm]	RMS _h [mm]	RMS _h [mm]	RMS _h [mm]	RMS _h [mm]	RMS _h [mm]	RMS _h [mm]
Session 1	40	6	-	20	34	34	-
Session 2	35	7	-	22	34	49	-
Session 3	43	7	-	26	15	29	-
Session 4	50	12	-	23	15	33	-
Session 5	57	13	-	21	22	22	-
Session 6	46	12	-	31	22	17	-
Session 7	44	10	-	17	22	27	-
Session 8	51	6	-	25	103	42	-
Session 9	47	7	-	21	76	20	-
Session 10	48	6	-	24	33	19	-
Session 11	44	5	-	25	21	25	-
Session 12	41	7	-	25	16	22	-
Session 13	30	14	-	22	19	18	-
Session 14	37	10	-	17	17	27	-
Session 15	43	11	-	15	16	15	-
Session 16	50	-	-	20	30	17	-
Session 17	50	-	-	20	24	21	-
Session 18	38	-	-	24	38	27	-
Gns.	44	16	-	22	27	26	-

Tabel J1. RMS_h [mm] for samtlige RTK sessioner i syv målepunkter, målt med GPSnet.

Røde tal er ikke medregnet i gennemsnittet.

Spidernet

Målepunkt	01	05	16	21	35	38	55
Session	RMS _h [mm]	RMS _h [mm]	RMS _h [mm]	RMS _h [mm]	RMS _h [mm]	RMS _h [mm]	RMS _h [mm]
Session 1	45	9	-	21	29	35	-
Session 2	32	16	-	22	44	36	-
Session 3	40	20	-	16	31	25	-
Session 4	59	10	-	24	20	37	-
Session 5	42	33	-	25	36	28	-
Session 6	51	22	-	37	26	25	-
Session 7	47	14	-	20	50	32	-
Session 8	37	12	-	25	144	45	-
Session 9	42	90	-	52	99	55	-
Session 10	36	14	-	28	32	37	-
Session 11	29	16	-	28	26	24	-
Session 12	35	13	-	26	25	34	-
Session 13	31	21	-	29	43	31	-
Session 14	27	23	-	22	32	47	-
Session 15	40	21	-	20	34	28	-
Session 16	31	-	-	28	37	24	-
Session 17	37	-	-	39	28	35	-
Session 18	24	-	-	26	32	54	-
Gns.	38	22	-	27	37	35	-

Tabel J2. RMS_h [mm] for samtlige RTK sessioner i syv målepunkter, målt med Spidernet.

Røde tal er ikke medregnet i gennemsnittet.

Enkelstations-RTK

Målepunkt	01	05	16	21	35	38	55
Session	RMS _h [mm]	RMS _h [mm]	RMS _h [mm]	RMS _h [mm]	RMS _h [mm]	RMS _h [mm]	RMS _h [mm]
Session 1	-	-	-	18	42	27	-
Session 2	10	-	-	19	39	36	-
Session 3	-	-	-	17	32	21	-
Session 4	25	-	-	11	24	29	-
Session 5	22	-	-	11	29	24	-
Session 6	18	19	-	10	26	21	-
Session 7	21	19	-	15	28	34	-
Session 8	22	14	-	14	113	42	-
Session 9	-	-	-	14	107	33	-
Session 10	18	-	-	6	31	23	-
Session 11	16	-	-	6	-	23	-
Session 12	26	-	-	11	10	21	-
Session 13	26	-	-	9	25	23	-
Session 14	-	-	-	-	24	29	-
Session 15	33	-	-	18	29	15	-
Session 16	46	-	-	18	33	13	-
Session 17	32	-	-	18	19	15	-
Session 18	24	-	-	-	33	32	-
Gns.	24	17	-	12	26	26	-

Tabel J3. RMS_h [mm] for samtlige RTK sessioner i syv målepunkter, målt med enkelstations-RTK.

Røde tal er ikke medregnet i gennemsnittet.

Bilags CD

