

1 Indholdsfortegnelse

2	Læsevejledning.....	3
3	Indledning.....	6
4	Problemstilling.....	7
4.1	Problemformulering.....	7
5	Indledende undersøgelser.....	8
5.1	Eksisterende systemer til orientering af flyfoto.....	8
5.2	Optimale løsningsforslag.....	10
5.3	Begrænsninger i forhold til helikopteren.....	13
5.4	Udvælgelse af komponenterne.....	14
6	Teknisk komponentbeskrivelse.....	19
6.1	u-blox EVK-6T.....	19
6.2	Kameraets blitzsko.....	20
6.3	Forbindelsen mellem kamera og GPS.....	22
6.4	Radio link.....	22
6.5	Placering af antenne.....	22
6.6	Komponenter installeret på helikopteren.....	24
7	Teori.....	25
7.1	Differentiel fase GNSS.....	25
7.2	Leverarm.....	30
7.3	Fotogrammetri.....	31
8	Præsentation af beregningsmetode.....	35
8.1	Trin 1 - konvertering af ubx fil.....	36
8.2	Trin 2 - post-processering.....	37
8.3	Trin 3 - interpolation.....	38
8.4	Trin 4 - matchning af positioner og billednavne.....	39
8.5	Trin 5 - beregning af leverarm.....	40
8.6	Trin 6 - foreløbig absolut orientering.....	41
8.7	Trin 7 - anvendelse af leverarm.....	42
8.8	Trin 8 - endelig absolut orientering.....	43
9	Forsøgsafsnit.....	44
10	Forsøg 4: Kinematisk forsøg.....	45

10.1	Forsøgsopstilling	45
10.2	Metode.....	47
10.3	Databehandling.....	47
10.4	Resultater	49
10.5	Erfaring.....	52
11	Forsøg 5: GPS undersøgelse.....	54
11.1	Forsøgsopstilling	54
11.2	Metode.....	54
11.3	Databehandling.....	56
11.4	Resultat	56
11.5	Afprøvelse af andre programmer	58
11.6	Erfaringer	62
12	Testflyvning.....	64
12.1	Forsøgsopstilling	64
12.2	Metode.....	65
12.3	Databehandling.....	66
12.4	Post-processering gennem RTKLIB.....	68
12.5	Post-processering ved PCE.....	70
13	Konklusion.....	73
14	Perspektivering	75
15	Litteraturliste	77
16	Appendiks- og bilagsliste.....	79
16.1	Appendiks.....	79
16.2	Bilag.....	79

2 Læsevejledning

I løbet af projektperioden har der været flere uforudsete problematiske forhold, som skulle løses inden der kunne fortsættes. Dette har haft indflydelse på den måde projektet er blevet afviklet på, og tiltagene der er foretaget for at løse disse problemer, vil ligeledes være afspejlet i rapporten. Læsevejledningen skal bidrage til at give læseren en overordnet forståelse for de problemer der er opstået, hvad der er blevet gjort for at løse dem og hvordan dette kommer til udtryk gennem afrapporteringen. Inden disse problemer gennemgås, følger der her en ganske kort orddefinition.

Dette projekt tager udgangspunkt i at LE34 har en fjernstyret helikopter, som projektgruppen har fået muligheden for at arbejde med. Helikopteren er ubemandet og fjernstyret.

Ubemandede helikoptere har flere navne, heriblandt droner eller UAV (Unmanned Aerial Vehicle). Dette er begge navne der

kommer af engelske begreber, og projektgruppen vil derfor istedet anvende ordet; helikopter. Det vil sige at, når ordet helikopter anvendes, så refereres der til en lille ubemandede helikopter i stil med den som kan ses på figur 1. Som billedet også viser, er der visse ligheder mellem den fjernstyrede helikopter, og en rigtig helikopter. De har også samme egenskaber, kan stå stille i luften, rotere om sin egen akse, osv. Det kan desuden nævnes at diameteren af helikopteren, ca. er én meter.



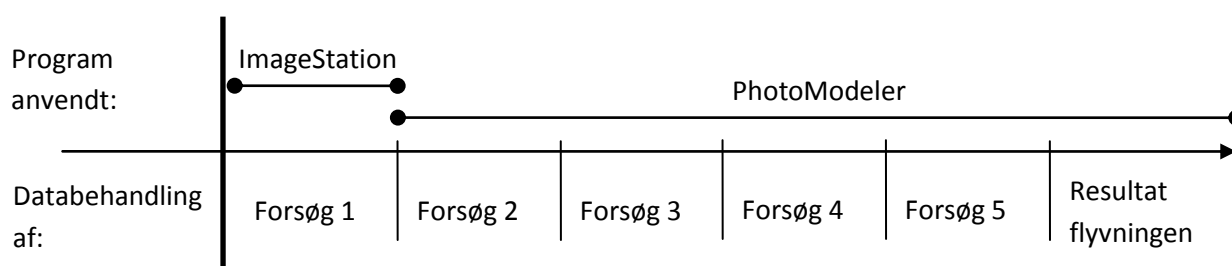
Figure 1: Den helikopter som har været udgangspunkt for projektet.

Herefter følger en gennemgang af de uforudsete problemer, som projektgruppen har måtte forholde sig til og søge løst. Den første forhindring projektgruppe måtte forholde sig til var, tidshorizonten for hvornår de ønskede komponenter kunne være installeret. Da komponenterne først skulle udvælges, bestilles og fragtes, installeres og testes ville der gå lang tid før data var tilgængeligt. Derfor blev det i stedet valgt at udvikle et system, med næsten tilsvarende komponenter, men som kunne anvendes til tests og forsøg på jorden. Opbygningen af dette system tog hensyn til at det evt. skulle kunne installeres på helikopteren.

I forhold til rapporten kommer dette til udtryk ved at alle forsøg (1-5) er udført uden helikopter. Desuden var der en længere leveringstid på den GPS-modtager, som projektgruppen ønskede at anvende til projektet. For at udnytte denne tid bedst muligt, er der i starten af projektet anvendt en GPS-modtager fra samme producent, men af en anden model. Denne var til rådighed gennem universitetet og er anvendt i forsøg 1-3.

Den anden større forhindring projektgruppen har måtte forholde sig til var, at helikopteren styrtede og blev totaltskadet. Dette skete med 6 uger inden afleveringsdatoen (26/04/12), og skete mens den endelige test af systemet blev udført. Her var projektgruppen ellers klar til at lave en samlet test af det udviklede system, men helikopteren styrtede inden der blev indsamlet noget brugeligt data. Dette har betydet, at det først var muligt at fortage en flyvning, med det udviklede system, to uger før afleveringsdatoen, da der skulle anskaffes en ny helikopter, og det

udviklede system skulle overføres. I rapporten kommer dette til udtryk i, at der ikke har været udført flyvninger efter testflyvningen. Det er dermed kun resultaterne fra de forsøg der er udført på jorden, som projektgruppen har haft at forholde sig til, inden testflyvningen blev foretaget. Ud over disse "praktiske" problemer, har projektgruppen også haft nogle "tekniske" problemer. De tekniske problemer bunder i den software der er anvendt ved databehandlingen. De programmer som blev anvendt i starten af projektperioden, viste sig senere at være mangelfulde, i forhold til det data der anvendes gennem projektet. I Appendix 2 er der en gennemgang af de anvendte programmer, og her kan det også ses, hvilke problemer der har været i de enkelt programmer. Det kan derfor være en svær opgave for læseren, at have et overordnet overblik over, hvornår de forskellige programmer er anvendt. Derfor er der udformet to figurer der illustrere dette. Den første viser hvilke programmer der er anvendt, til at fortage den fotogrammetriske databehandling gennem projektet, se figur 1 herunder:

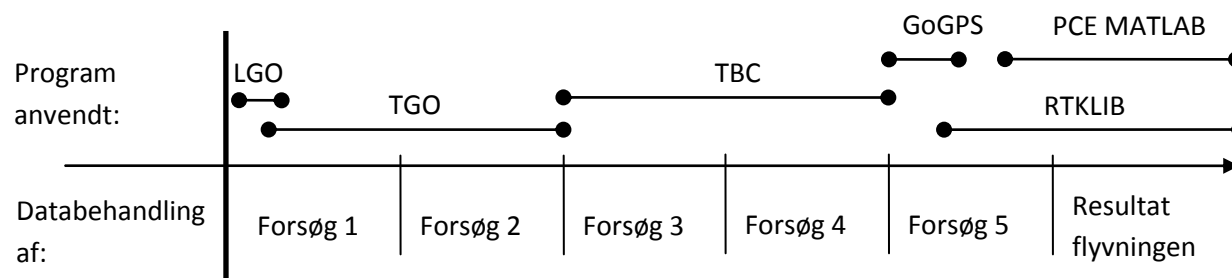


Figur 1: Tidslinjen viser hvilke programmer der har været anvendt gennem projektet til den fotogrammetriske databehandling.

Herunder følger en kort bemærkning til programmerne i figur 1:

- ImageStation: Gennem Aalborg Universitet har projektgruppen haft adgang til computere med denne software installeret. Dette program blev anvendt indtil det blev erfaret, at operationerne er meget tidskrævende og omstændige.
- PhotoModeler: Gennem LE34 har projektgruppen haft adgang til denne software. Efter et kort kursus, afholdt af LE34, erfarede projektgruppen at dette program var i stand til at løse mange af de opgaver som var forbundet med projektet.

Figur 2 herunder, viser hvilke programnavene der gennem projektperioden har været anvendt til at behandle GNSS data:



Figur 2: Tidslinjen viser hvilke programmer der gennem projektet har været anvendt til post-processing af GPS data fra u-blox modtagere.

I figur 2 er programmerne forkortet. Herunder er det fulde navn angivet, samt en kort bemærkning til programmet.

- LGO (Leica Geo Office): Projektgruppen gik hurtigt væk fra at anvende dette program, da det ikke var muligt at få importeret RINEX-filer. Grunden til dette ikke var muligt, var manglende licens.
- TGO (Trimble Geomatics Office): Dette program blev forsøgt anvendt i starten af projektet, men det viste sig hurtigt at programmet var forældet og ikke længere i stand til at post-processere. Se mere om dette i afsnit 10, Forsøg 4.
- TBC (Trimble Business Center): Dette program blev anvendt som alternativ til TGO. Gennem Trimbles danske forhandler, GeoTeam, skaffede projektgruppen en licens til dette program. I slutningen af forsøg 4, viste det sig at TBC ikke var i stand til at behandle data, fra den anvendte GPS korrekt.
- GoGPS: I et forsøg på at finde et program der kunne behandle data fra den anvendte GPS, blev dette program afprøvet uden succes.
- RTKLIB: Dette program er ligeledes blevet undersøgt, i et forsøg på at finde et program der kunne behandle GPS-data. Dette er et stykke freeware software, og det har vist sig at være det bedst egnede program, som projektgruppen fandt. Der er dog stadig mange fejl i den anvendte data, som programmet ikke har kunnet tage hånd om.
- PCE MATLAB: Dette er et stykke internt software, som er under løbende udvikling af projektgruppens vejleder, Peter Cederholm. Når data er blevet behandlet i dette software, er data blevet sendt til Peter Cederholm, som så har foretaget databehandlingen. Det er gennem denne software at nogle af de bedste resultater er opnået i forhold til behandling af data fra testflyvningen.

Desuden er programmet MATLAB anvendt gennem hele projektperioden, til at udviklingen af beregningsrutiner.

3 Indledning

Udviklingen inden for ubemandede helikoptere har i løbet af de seneste år for alvor taget fart. Udviklingen indenfor pris, egenskaber, stabilitet og tilgængelighed, åbner op for nye anvendelsesmuligheder. Som udgangspunkt er ubemandede helikoptere udviklet af militæret, med henblik på at udføre militære opgaver. Det er dog udviklingen indenfor civile formål, der har været med til at muliggøre dette projekt. Som eksempler på disse opgaver kan nævnes; livredning (Simonsen, 2012) og minerydning (Nielsen, 2012). Ved eksempelvis at montere et kamera under helikopteren, kan der indsamles billeddata, der kan anvendes til forskellige formål. Dette kan være alt fra direkte tv-transmission eller indsamling af reklamemateriale, til mere alvorlige formål såsom politiovervågning, eller overvågning af byggeprojekter (Draganfly Innovations Inc., 2012). Helikopterne kan fås i mange udformninger og prislejer. I og med at nye områder løbende får øjnene op for anvendeligheden af ubemandede fly og helikoptere, vil der fortsat være stor udvikling inden for dette felt over de kommende år.

LE34 Tele (LE34's teleafdeling) har gennem det sidste års tid anvendt ubemandede helikoptere, til placering af nye telemaster. Måden hvorpå dette gøres er ved at montere et kameraophæng på helikopteren. Helikopteren kan således anvendes til at flyve op i den højde, hvor senderen skal være. Her tages billeder, og disse sættes efterfølgende sammen til et panorama billede som sikrer at senderen har frit udsyn, samt at der kan ses andre telemaster fra positionen. LE34 har en interesse i at undersøge anvendelsesmulighederne for denne helikopter, og dette ligger til grund for projektet. Som landinspektørstuderende er det oplagt at anvende helikopteren til at tage billeder, og efterfølgende anvende disse i fotogrammetriske sammenhænge.

Dette projekt kommer til at munde ud i et GNSS- og tidsstempelssystem til orientering af billeder. På selve helikopteren påmonteres en billig énfrekvent fasemodtager som logger observationer gennem flyveperioden. Dette data bliver løbende transmitteret gennem et radiolink til en computer. Når helikopteren tager et billede, med det monterede spejlreflekskamera, bliver der, gennem kameraets blitzsko, sendt en besked til GPS-chippen. Når denne besked ankommer til GPS-chippen, registreres tiden. Det er på baggrund af disse GPS-observationer og tidsstempler at billederne bliver orienteret. Den relative orienteringen af billederne sker gennem en strålebundsudjævning, hvorefter de interpolerede kamerastationer, som er fundet ud fra tidsstemplerne, anvendes til at give billederne den absolutte orientering.

4 Problemstilling

Fotogrammetri er en effektiv måde, hvorpå større områder kan kortlægges. Det faktum at der skal anvendes fly til opmålingen, medfører at det er en relativ dyr målemetode, der oftest kun er rentabel at anvende ved større dataindsamlinger. Udviklingen inden for ubemandede fly og helikoptere har gjort at anvendelsesområdet for fotogrammetri kan ændres. Denne anvendelse kan være med til at give nye muligheder, således at opgaver af mindre omfang, også kan drage fordel af fotogrammetri. Det er stadig et nyt felt og derfor er der et stort behov for at undersøge og udvikle metoder, således at fotogrammetri fra mindre ubemandede helikoptere kan blive et anvendeligt værktøj i forbindelse med opmåling.

Den helikopter som anvendes i dette projekt var, inden projektets opstart, udstyret udelukkende med en simpel GNSS modtager, der kun måler på L1 kode observationer. Dette er tilstrækkelig i forbindelse med navigation. Desuden er der monteret et kamera samt et ophæng til dette på helikopteren. Det kunne i midlertidig være favorabelt hvis position til kameraet, kunne bestemme mere præcist end den installerede GNSS muliggør. Før dette kan lade sig gøre, er det nødvendigt at installere en fase-GNSS modtager, samt anvende differentiell måling. Med et sådant setup vil der kunne opnås en markant forbedret nøjagtighed. Netop det at kunne orientere billederne, udelukkende ud fra data fra selve helikopteren, er hvad der vil arbejdes med i dette projekt. Følgende områder blive behandlet; udvælgelse af GNSS og kamera, sammenkobling samt synkronisering af disse, beregning af leverarm, post-processing af fase observationer, orientering af fotos taget fra helikopteren, samt en kontrol af den opnåede præcision.

4.1 Problemformulering

Orientering af billeder fra helikopter er i dag en tidskrævende proces, der kræver anvendelse af paspunkter. Hvordan udvikles et billigt system der muliggør luftbåren fotogrammetri, udelukkende ved brug af data, fra den anvendte helikopter? Hvordan udvikles databehandlingen og hvilken nøjagtighed er det muligt at opnå?

5 Indledende undersøgelser

Dette afsnit indeholder en beskrivelse af de undersøgelser og overvejelser, som er foretaget i den indledende fase af projektet. Undersøgelserne og overvejelserne bygger primært på hvordan eksisterende systemer til orientering af luftfoto fungerer, samt hvordan det, med baggrund i disse eksisterende systemer, er muligt at udvikle et orienteringssystem til helikopteren.

Udgangspunktet vil derfor være at se på hvad der i forvejen findes af systemer. Her efter ses der på hvilke komponenter der indgår i de eksisterende systemer, samt hvilke komponenter der bør indgå. Komponenterne vil blive vurderet i forhold til de begrænsninger, som der er i forbindelse med dette projekt. Slutteligt vil afsnittet beskrive den løsningsmodel som projektgruppen har valgt, samt se på hvilke konsekvenser denne model har.

I første omgang bør det undersøges om der allerede findes systemer på markedet, der løser projektgruppens problemstilling. Det kan konstateres at der er flere eksempler på andre, der har arbejdet med problemstillingen. Et eksempel på dette kan ses i artiklen "HIGH-PRECISION POSITIONING AND REAL-TIME DATA PROCESSING OF UAV-SYSTEMS" (Rieke, et al., 2011). Dette system anvender både GNSS samt IMU. Det står beskrevet i artiklen at de anvender en GNSS modtager fra NovAtel, som både kan modtage GLONASS og GPS, samt på flere frekvenser. Én chip som er i stand til dette koster omkring 50.000 kroner, se Bilag 4. Et billede af dette system installeret på en helikopter kan ses på figur 3.



Figur 3: Den helikopter der er anvendt i forbindelse med den omtalte artikel. På denne helikopter, er der både installeret RTK-GNSS samt IMU (Rieke, et al., 2011).

Indkøb af komponenter til over 50.000 kr. er mange penge i forbindelse med et pilotprojekt som dette. Derudover så er de 50.000 kr. udelukkende prisen for selve GNSS delen, og brugeren skal dermed selv løse problemstillingen med at sammensætte komponenterne. Det vælges derfor at finde en billigere GNSS modtager til dette projekt. Håbet er at der alligevel kan opnås gode resultater.

Det er også undersøgt om der findes komplette løsninger til orientering. Bl.a. er der firmaer der producerer løsninger, direkte med henblik på ubemandede helikoptere (IA Tech, 2012). Her kan det konstateres, at dette er dyre, og for projektgruppens vedkomne, også for tunge løsninger. Da der ikke er nogle af disse systemer eller komponenter, der er direkte anvendelige på den helikopter som LE34 har, mener projektgruppen at der er et grundlag, for at arbejde videre med at udvikle et billigt system, der kan anvendes på den helikopter som er stillet til rådighed. Udgangspunktet for udviklingen af dette system, vil være de komponenter som indgår i eksisterende kommercielle systemer beregnet til fly. Principperne for dette vil i det efterfølgende blive gennemgået.

5.1 Eksisterende systemer til orientering af flyfoto

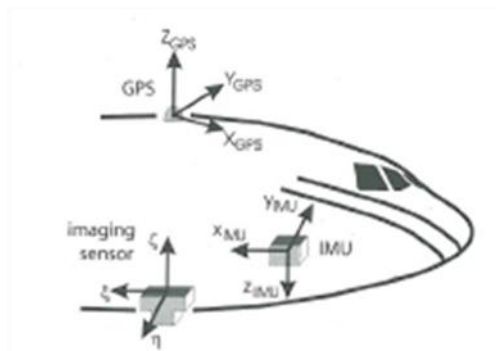
Inden for luftfotografering er der i dag udviklet systemer, der kan registrere de ydre parametre til billedernes orientering. Systemet er udviklet og installeret på fly der kun har til formål at lave

fotogrammetriske flyvninger. Dette system består i grove træk typisk af et kamera, GNSS samt en IMU (se figur 4). Derudover skal der være en anordning der muliggør lagring af den indsamlede data.

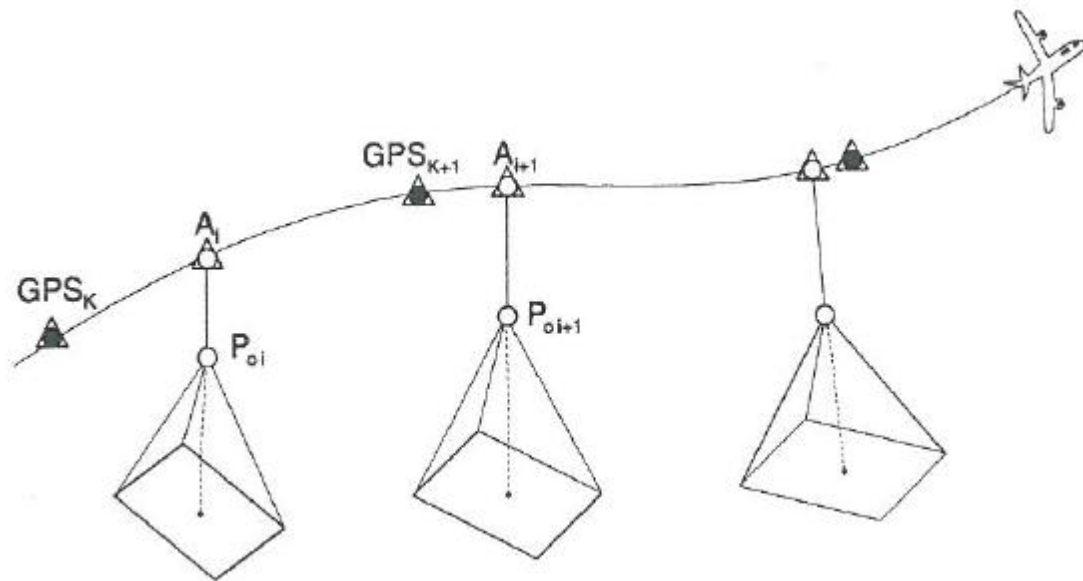
Der findes flere forskellige kameratyper der anvendes i forbindelse med flyfotografering, men fælles for disse er at de består af flere billedsensorer der simultaneeksponeres. Disse kameraer er optimeret til fotografering ved høje hastigheder og højder. Kameraet er typisk installeret på en gyrostabiliseret platform, der sikre at billedet bliver taget tilnærmelsesvis i lod. Den GNSS modtager som anvendes i forbindelse med orientering af billederne, anvender som oftest fase-måling på begge bærebølger, samt der laves differentiell måling. Da det ikke er muligt at placere antennen i projektionscenteret, anvendes en leverarm til at korrigerer GNSS positionerne. Tidligere observerede GNSS-modtagere i disse systemer med en frekvens på 1 Hz, men udviklingen går mod langt højere frekvens som f.eks. NovAtel's OEM628 med 20 Hz (NovAtel, 2011).

Den sidste komponent som indgår i de fleste systemer er en IMU. En IMU registrerer gennem accelerometre og gyroskoper acceleration langs og omkring de tre akser. En IMU registrer accelerationer, og for at disse kan omsættes til positionsændringer, skal der integreres, mht. tiden. Dermed bliver ukorrigerede systematiske fejl afhængige af tiden. Kombineres IMU data med GNSS data, kan denne drift dog så godt som elimineres, hvis der er kort imellem GNSS observationerne.

Ud over disse tre komponenter, kræves der en form for lagringsenhed således at de indsamlede data kan gemmes. Når data fra de tre komponenter er indsamlet, er det muligt at bestemme de ydre orienteringsparametre til hvert enkelt billede. En metode at gøre dette på er, ved at lokalisere billedernes placering mellem to GNSS observationer. Dette er meget simpelt eksemplificeret på figur 5 herunder.



Figur 4: Komponenterne der indgår i det system der anvendes til at bestemme ydre orientering til flyfotos (Kraus, 2007 s. 157)



Figur 5: Illustration der viser hvordan GNSS-observationer kan anvendes til at orientere billeder taget fra, eksempelvis, en flyver (Kraus, 2007 s. 149).

Figuren viser hvorledes GNSS-positionerne løbende bliver registreret langs med flyvelinjen. Ind imellem ligger eksponeringstidspunkterne for billederne. For at finde den præcise position af billedet, interpoleres der mellem GNSS positionerne. Det der interpoleres til, er tidspunktet (eksempelvis i GPS tid) for hvornår billedet blev eksponeret, i forhold til de to GPS-positioner. Da flyvelinjen mellem de to GNSS-positioner ikke er en ret linje, benyttes IMU-data i beregningerne. For at forbedre nøjagtigheden af den ydre orientering til billederne, bliver billederne, nogle gange over 100, behandlet i en efterfølgende udjævning. Dette sker ofte sammen med signalerede paspunkter (Kraus, 2007).

De komponenter som er beskrevet i det foregående, indgår typisk i de systemer som idag anvendes i forbindelse med fotoflyvning, samt orientering af de optagede billeder. I det efterfølgende vil der blive indsnævret til ubemandede helikoptere.

5.2 Optimale løsningsforslag

I det efterfølgende vil de tre komponenter, som findes i de eksisterende orienteringssystemer, blive nærmere gennemgået. Dette gøres for at se på hvad der findes af muligheder, samt hvad der ville være den optimale løsning. Under dette er der fokus på at der anvendes en ubemandet helikopter i stedet for et normalt fly.

5.2.1 Ubemandede helikoptere

De ubemandede helikoptere findes efterhånden i rigtig mange forskellige udgaver og prislejer. Nogle ligner flyvemaskiner i designet, mens andre i højere grad minder om helikoptere. Disse to typer maskiner har forskellige egenskaber i luften og er derfor velegnet til forskellige opgaver. Da projektgruppen er begrænset af den helikoptertype som LE34 har, er der ikke undersøgt alternativer. Det vides dog, at der er mange forskellige typer, der har forskellige egenskaber i forhold til bl.a. lastevne, flyvetid m.m.

5.2.2 Kamera

Der findes i dag ekstremt mange forskellige kameratyper, der er udviklet med forskellige formål for øje. Kameraerne kan deles op i to grupper; metriske- og ikke metriske kameraer. Typisk er metriske kameraer udviklet direkte med henblik på fotogrammetri (Kraus, 2007 s. 170). Et metrisk kamera kendes bl.a. ved at de indre orienteringsparametre forbliver kendte over lang tid. Disse kameraer er specialfremstillet og henvender sig primært til professionelle erhverv, eksempelvis fly fotogrammetriske opgaver. Den anden type, ikke-metriske kameraer, henvender sig til en langt bredere gruppe, og er dermed også langt mere udbredte. De indre orienteringsparametre er i disse kameraer ikke fastholdte eller kendte. Forudsat at kameraet er af en vis kvalitet, kan disse dog bestemmes gennem en kamerakalibrering.

Kameraet har ikke været det primære fokus for projektgruppen, og derfor benyttes det kamera som LE34 har valgt at investere i.

5.2.3 GNSS

GNSS er en effektiv måde hvorpå eksponeringspositionen til luftfotos kan findes, og anvendes derfor i stort set alle kommercielle systemer til orientering af luftfotos. Ved GNSS anvendes signaler fra satellitter til at beregne positionen til en modtagerenhed. GNSS-positionering kommer dog i mange afskygninger, og måden hvorpå det anvendes og implementeres har stor betydning for den nøjagtighed som opnås. Det der anvendes i de fleste traditionelle højpræcisionssystemer er differentiel fase GNSS, men precise point positioning (PPP) er ved at vinde indpas (Yuana, et al., 2009).

Fase

Begrebet fase-GNSS dækker over at modtageren er i stand til at registrere fasen, på det modtagne signal der kommer fra satellitten. Antallet af hele bølgelænder fra modtageren til de enkelte satellitter skal beregnes gennem en initialisering, og herefter kan disse fase-observationer omsættes til meget præcise pseudoafstande. Disse pseudoafstande kan herefter anvendes til at beregne positionen til modtageren.

Differentiel GNSS

Med differentiel GNSS-positionering skal der anvendes to modtagerenheder. Disse modtagere kaldes for rover og master. Roveren er den modtager hvor positionen ønskes bestemt, og masteren er den modtager der står i et kendt punkt. Observationerne fra masterstationen fratrækkes observationerne fra roveren, og dermed elimineres en lang række af de systematiske fejl som er ens, eller næsten ens, for modtagerne. Dette vil blive nærmere gennemgået i afsnit 7, Teori, under "Differentiel fase GPS". Gennem kombinationen af disse to modtagerenheder genereres det som kaldes en baseline. Denne baseline er en vektor der går fra masteren til roveren. Derfor er det vigtigt at kende de absolutte koordinater til masterstationen, da disse anvendes til at beregne koordinaterne til roveren. Jo længere baseline jo mere dekorrelere er de systematiske fejl, og dermed opnås der en mindre fejlelimination.

Ved anvendelse af differentiel GNSS skal der derfor være opsat referencestationer i det område hvor flyvningen skal foregå. I Danmark er der flere landsdækkende referencenet, bl.a. SmartNet, GPSnet og TOPnet+, som kan anvendes. Hvis disse stationer anvendes, kan brugeren af en rover undlade at sætte en master op, og der kan derfor spares tid. I dette projekt er der hovedsageligt

anvendt egen master, da den anvendte GNSS-modtager ikke er tofrekvent. Projektgruppen har også haft mulighed for at benytte data fra GPSnet.

GNSS systemer

Der findes på nuværende tidspunkt to operationelle GNSS-systemer; GPS og GLONASS (Dueholm, et al., 2005). Hver satellit i begge systemer sender på flere frekvenser, og derfor kan nogle modtagerenheder opfange et antal signaler svarende til dette. Jo flere signaler, og jo flere satellitter der modtages signal fra, des bedre position opnås, og jo bedre er muligheden for at få beregnet en rigtig initialisering.

Der er forskel på fase-modtagere. To forhold gør sig gældende her; hvilke frekvenser kan modtageren måle til (L1, L2 evt. L5), samt hvilke satellitsystemer modtageren kan modtage signal fra (eks. GPS, GLONASS, Galileo). Forskellige modtagere har forskellige kombinationer af disse. Fordelen ved både at modtage på L1 og L2 er at ionosfære fejlen kan estimeres. At kunne måle på begge frekvenser giver dermed store fordele i forbindelse med beregningen af antallet af hele bølgelængder. Fordelen ved at have både GPS og GLONASS er hovedsageligt at der er flere synlige satellitter på et givent tidspunkt, og dermed vil det være nemmere at bibeholde en initialisering.

Databehandlingen kan ske enten on-the-run, og kaldes i disse tilfælde Real Time Kinematic (RTK). Ved RTK måling, sker dataindsamling og processeringen løbende, og dermed er det muligt at få positionerne under selve dataindsamlingen. Det er også muligt at udføre databehandlingen efterfølgende, som det der kaldes post-processing. Dette er i praksis nemmere at udføre, da trådløs overførsel af data fra masterstationen ikke er nødvendig, men samtidigt kan positionerne først ses efterfølgende. Dette betyder også at det ikke er muligt at navigere efter disse positioner. Det vælges i dette projekt at anvende post processing, da de tekniske udfordringer ved RTK anses for at være for store.

Sammenfatning

Den optimale GNSS-løsning for et helikopter-system er en differentiell fase modtager, som både kan måle på L1 og L2 bærebølgen, og som kan opfange GPS og GLONASS signaler.

5.2.4 IMU

GNSS-systemer bestemmer positionen i et fastlagt interval, som f.eks. 1 Hz, og eksponeringsøjeblikket for de optagne billeder stemmer ikke nødvendigvis overens med dette interval. Måden hvorpå dette problem løses, i luftbårne kommercielle systemer, er ved at medtage en IMU (Inertial Measurement Unit).

Accelerometer

Accelerationerne måles langs med tre akseretninger, og registreres diskret. Dette gøres ofte med ret høj frekvens, som f.eks. 100 Hz. Denne acceleration kan gennem integration, og dobbelt integration anvendes til at beregne hastighedsændringer, og derefter positionsændringer. Da der skal integreres to gange før positionsændringerne opnås, bliver ukorrigerede fejl tidsafhængige. Dermed kan selv relativt små systematiske fejl få stor indflydelse over tid. Et accelerometer måler accelerationer relativt til "free fall". Dette betyder at tyngdeaccelerationen indgår i de målinger der bliver observeret, og i de fleste tilfælde skal der korrigeres for dette.

Gyroskop

Ud over accelerationerne, er det også nødvendigt at kende rotationerne om de tre akser. Et gyroskop er i stand til at måle disse rotationer. Der findes flere forskellige måder hvorpå et gyroskop kan konstrueres, således at rotationerne kan bestemmes. I dag er det fiber optiske gyroskop det mest udbredte i forbindelse med fotogrammetri (Kraus, 2007 s. 150). Princippet er at lys med samme frekvens sendes hver sin vej om den akse, hvor om rotationen ønskes bestemt. Hvis der ingen rotation er, vil de to lysbølger mødes ved udsendelsespunktet, på samme tid, og der vil ikke være en faseforskel imellem dem. Hvis der derimod har været en rotation i den ene eller den anden retning, vil der forekomme en faseforskel mellem de to lysbølger. Ud fra denne faseforskel kan rotationen direkte beregnes (Kraus, 2007). Ligesom ved accelerometeret, stiger usikkerheden over tid for et gyroskop. Dog stiger fejlen markant hurtigere her, da der skal integreres 3 gange, i stedet for 2 gange.

Når tidspunktet for eksponeringen, GNSS-positionerne, samt IMU observationerne, kendes, samt en tidsmæssig synkronisering af disse er opnået, er det muligt at beregne positionerne til projektionscenteret af billedet. Dette kan evt. gøres gennem kalman filtrering.

5.3 Begrænsninger i forhold til helikopteren

Det foregående afsnit har beskrevet de komponenter, som normalt anvendes til fotogrammetri. Disse komponenter er ofte udviklet direkte til formålet. Det betyder ofte at de er meget dyre. Da dette projekt omhandler fotogrammetri fra en ubemandet helikopter og ikke fra et normalt fly,

er der visse begrænsninger, som der skal tages højde for. I det følgende vil der derfor blive set på de begrænsninger, som projektgruppen har taget højde for, i forbindelse med komponentudvælgelsen. Gennem projektet er der blevet fløjet med forskellige helikoptere, men de har alle været af samme type og med samme specifikationer. Helikopteren som er anvendt, er af typen MicroKopter, og modellen: XL Hexakopter, og er vist på figur 6. (MK Hexa XL) (Wiki, 2012).



Figur 6: På billedet ses Hexakopteren fra MicroKopter.

5.3.1 Vægt

Den primære begrænsning som projektgruppen har måtte tage højde for, har været den vægt som helikopteren kan klare at løfte. Ifølge specifikationerne er den maksimale vægt helikopteren kan løfte 1,5 kg (Wiki, 2012). Dette er det maksimale antal kilo der kan tilføres helikopteren, samtidigt med at den stadig kan flyve. Dertil kommer det at tiden for en enkelt flyvning bliver væsentligt afkortet, når denne last anvendes. På hjemmesiden står der, at der kan flyves i op mod 40 min, såfremt helikopteren kun har en lille lastevægt. Gennem flere flyvninger med helikopteren, er det projektgruppens erfaring, at når den maksimale lastevægt, eller tæt på denne, anvendes, vil helikopteren have en flyvetid på ca. 8 min inden det er nødvendigt at lande for at skifte batteri.

Ca. 830 g bliver brugt på det monterede kamera og objektiv. Det har betydet at projektgruppen har haft ca. 500 g til rådighed, i forhold til at finde komponenter. Dog er det vigtigt at holde for øje, at jo længere vægtmæssig afstand der lægges til den maksimale lastevægt, jo længere flyver helikopteren, og jo bedre flyveegenskaber kan opnås. Det er muligt at få helikoptere, af samme type, der kan bære mere, men disse har ikke været til rådighed for projektgruppen.

5.3.2 Pris

Det er et krav at det udviklede system skal have et fornuftigt prisleje. Dette er et relativt begreb, men tanken er at se hvor høj nøjagtighed der kan opnås vha. forholdsvis simple komponenter. Desuden er projektet et udviklingsprojekt, og alt afhængig af resultatet, kan eventuelle komponentopgraderinger efterfølgende overvejes. Projektet er et specialeprojekt, der udvikles i samarbejde med Landinspektørfirmaet LE34, og dette har udgjort de økonomiske rammer for projektet.

Der kan både fås GNSS og IMU komponenter, der er væsentligt bedre end de der er brugt ved dette projekt. Prisen er dog også i disse tilfælde markant højere, og den GNSS modtager som er anvendt i dette projekt kan fås for 1500 kr.

5.4 Udvalgelse af komponenterne

Komponenterne er udvalgt således at de giver billederne en position, med fornuftig nøjagtighed, der kan danne baggrund for fotogrammetri. Samtidig skal de leve op til de begrænsninger som er opstillet i foregående afsnit.

5.4.1 Helikopteren

Den helikopter som anvendes i store dele af dette projektet er, som tidligere nævnt, en Hexakopter. Da denne falder ned, og går i stykker senere i forløbet skiftes der dog til en Oktokopter. Valget af denne helikopter har fuldstændig været styret af, at det er den type LE34 har valgt at investere i. Helikopteren er indkøbt med henblik på at lave panoramafotos for teleafdelingen. Hexakopteren er meget velegnet til netop dette formål, da den er i stand til at stå stille i luften. Desuden er det en helikopter der ift. specifikationerne er billig.

Erfaringer fra LE34 antyder, som det måske kunne forventes, at prisen på denne type helikopter er i frit fald. Prisen på den specifikke helikoptertype er faldet 50 % på omkring ½ år. Det er svært at forudsige i hvilken grad denne tendens vil fortsætte, men priserne kommer til at falde betydelige over de næste år. Netop det faktum at ubemandede helikoptere bliver billigere, gør at det er interessant, og muligt, at undersøge deres anvendelsesmuligheder.

Der findes andre helikoptere, som ville være mere velegnede til dette projekt, og her tænkes især på en højere lastevægt og lægnere flyvetid. Dette har dog ikke været et fokus for projektet. Specifikationerne for den anvendte helikopter kan ses på MikroKopters hjemmeside (Wiki, 2012).

5.4.2 Kamera

Kameraet der anvendes under projektet er et Canon 550D. Kameraet er et spejlreflekskamera hvor kameraet i sig selv vejer 530g (Canon 1, 2012). Objektivet som har været anvendt er et "EF-S 18-55mm f/3.5-5.6 IS II" objektiv. Objektivet har sin force i dets vægt, bare 200 g, men til gengæld går man en lidt på kompromis med billedkvaliteten (Canon 2, 2012). Kameraet er valgt

på baggrund af kombinationen af vægt og billedkvalitet. Der er som alternativt blevet afprøvet et mindre Nikon kamera, men det viste sig dog hurtigt at kvaliteten af billederne ikke var gode nok, og derfor blev dette fravalgt.

I forhold til valg af GNSS og IMU har projektgruppen haft stor indflydelse, og tildeles valgfrihed. I første omgang blev det undersøgt, om der på markedet allerede fandtes en samlet løsning hvori der indgik både GNSS og IMU. Det viste sig at der fandtes flere forskellige produkter der kunne dette, men for det første var der ingen der kunne klare vægtkravet, og desuden var det meget dyre specialdesignede løsninger. Derfor blev denne kombinationsløsning valgt fra, og i stedet blev blikket rettet imod enkeltkomponenter. Dette med henblik på at sættes disse sammen efterfølgende.

5.4.3 GNSS

Den GNSS som skulle bruges til projektet, skulle leve op til flere forskellige krav. Disse krav var:

- Mulighed for lagring af rå fase observationer
- Mulighed for at tidsstemple eksterne begivenheder (præcist i GPS tid)
- Vægt mindre end 500g
- Fornuftigt prisleje

Projektgruppen blev gennem disse indledende undersøgelser klar over, at nogle GNSS'er var i stand til at markere eksterne inputs med et tidsstempel. Dette er en helt essentiel funktion for projektet, da det er dette der skal bruges for at identificere eksponeringsøjeblikket, for de billeder der tages og som senere skal orienteres. Tidsstemplingen markerer begivenheden i GPS tid, og dette betyder at nøjagtigheden af begivenheden kan fås meget nøjagtigt.

Er andet krav var at GNSS'en kunne måle faseobservationer, da den ønskede nøjagtighed ikke ville kunne opnås gennem kode observationer. Der findes en del produkter der lever op til dette krav. Det viste sig dog, at såfremt der var tale om en GNSS der kunne observere på både L1 og L2 frekvensen, ville prisen ende uden for budgettet, og disse produkter blev derfor fravalgt. Dette har som før beskrevet en række konsekvenser.

Valget faldt på u-blox EVK-6T (u-blox 2, 2011).

Dette produkt levede op til alle de fire ovennævnte krav. Modtageren kan kun observere GPS signaler, og derfor vil den fremover blive omtalt som en GPS-modtager frem for en GNSS-modtager. GPS-modtageren er erhvervet både i rå chip format, men også i et "Evaluation Kit" (EVK-6T) udgave. Den rå chip er tiltænkt installation direkte på helikopteren, en gang i fremtiden, mens evaluerings kittet er købt med henblik på forsøg og tests. Prisen for chippen var 195 € + told, mens prisen for EVK-6T var 340 € + told. EVK-6T er udformet således, at det via USB er



Figur 7: Delene som det anvendte evaluatuion-kit består af (u-blox 1, 2012).

muligt at tilkoble direkte til en computer, via det tilhørende software (u-center). I dette software (se Appendiks 2 for beskrivelse) er det muligt både at ændre indstillinger for chippen, samt lagre det observerede data.

u-blox modtageren er i stand til at observere rå faseobservationer med 5 Hz. EVK-6T vejer ca. 200g, men det har været muligt reducere denne vægt ved at fjerne noget af aluminiumsbeskyttelsen. Vægten for antennen, som også kan ses i ovenstående billede er 42 g. Dermed er den samlede vægt for GPS-systemet antageligt omkring 200 g.

En speciel egenskab ifm. u-blox modtagere er at de anvender squaring ved phase lock loop (Borio, 2011). Squaring blev anvendt ved nogle ældre modtagertyper. Denne meget specifikke tekniske funktionalitet har haft meget stor indflydelse på projektet, selvom det under selve udvælgelsen ikke havde fokus fra projektgruppen. Problemstillingen med "squaring" blev først synligt under databehandlingen, og på dette tidspunkt var det ikke muligt at revurdere modtagertypen. Yderligere beskrivelse af squaring kan ses under afsnit 7, Teori.

5.4.4 IMU

Det stod, efter en del søgen, klart for projektgruppen, at det ville blive en alt for stor udfordring at indoperere en IMU i orienteringssystemet. Der var flere produkter inden for IMU-systemer der kunne klare kravene, men det ville blive for stor en teknisk udfordring. Dette både i forhold til den elektroniske viden der er nødvendig for at installere en IMU, men også forhold til at få en IMU til at fungere sammen med GPS og tidsstemplingen. Derfor blev det valgt at undlade IMU-komponentet.

Dette valg betyder at positionen til billederne udelukkende bestemmes ud fra interpolation mellem to GPS positioner. Fravalget af IMU betyder at, såfremt linjen mellem de to punkter ikke er ret, vil den interpolerede position blive fejlbehæftet. En af de andre ting som mistes ved fravalg af IMU, er at rotationerne til kameraet i eksponeringsøjeblikket, ikke bliver indsamlet. Disse må derfor bestemmes gennem fotogrammetri.

5.4.5 Data lagring

Projektgruppen har overvejet flere forskellige muligheder i forhold til datalagring. De første overvejelser gik på at have en mindre computer (evt. PDA) eller anden form for lagrings enhed ombord på helikopteren under flyvningen. Dette vil dog være problematisk i forhold til både vægt, men også i forhold til det software der skal til for at styre GPS'en. Det er valgt at overføre data trådløst fra helikopteren og til en computer på jorden. Til dette er der anvendt et WI232 modem, se afsnit 6, Teknisk komponent beskrivelse, for flere detaljer.

5.4.6 Arbejdsgang ved dette system

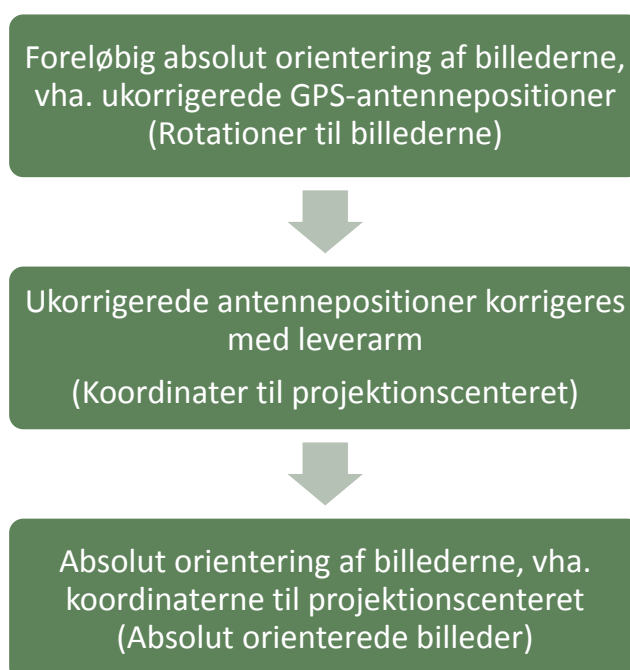
Det faktum at IMU fravælges, betyder at den arbejdsgang som er nødvendig, vil blive anderledes end normalt. Normalt vil GNSS og IMU data blive leverarmskorrigeret, hvorefter dette kan indgå i en samlet aerotriangulation af billederne (Kraus, 2007). I og med at IMU fravælges under dette projekt, vil arbejdsgangen nødvendigvis blive anderledes. Dette vælger projektgruppen at løse ved at indføres et ekstra beregningstrin. Dette trin består i en relativ orientering af blokken, og en efterfølgende foreløbig absolut orientering, vha. interpolerede GPS observationer. Gennem

denne er det muligt at bestemme de manglende rotationer til billederne. Det skal bemærkes at denne absolutte orientering ikke er korrekt, pga. den forskydning der er mellem kamera og GPS-antenne. Den fejl der er på rotationerne, anses dog for at være minimal, men projektgruppen har lavet en hurtig undersøgelse for at belyse dette. Til dette sammenholdes kamerastationer orienteret ved paspunkter (disse anses for at være korrekte), og kamerastationer orienteret gennem en foreløbig orientering. Datagrundlaget for denne undersøgelse er det som senere i rapporten bliver beregnet som testflyvningen.

Middel Δ ω	Middel Δ φ	Middel Δk
-0.055°	0.090°	-0.170°

Figur 8: Gennemsnitlig fejlbergrning af rotationerne i den foreløbige absolute orientering. Leverarmen, som skal omregne fra antenne positioner, til kamerastationer, bliver dermed roteret lidt forkert.

De ydre orienteringer som dette er beregnet på baggrund af kan ses i Bilag 5. Da en fejlrotation med 0,2° og en leverarm på ca. 0,3 m giver en fejl omkring 1 mm, så anses dette for at være en tilstrækkelig nøjagtighed. Den arbejdsgang som er nødvendig for at orientere billederne, taget med dette system, er vist på figur 9 herunder. Det der ønskes fundet med den enkelte arbejdsproces er angivet i parentes.



Figur 9: Viser den arbejdsgang som er nødvendig, for at kunne orientere billeder ud fra det data som indsamles af komponenterne i systemet. I parenteser er det ønskede output fra den enkelte proces angivet. Dette er en meget simplificeret model.

Selve databehandlingen kræver en del flere trin, men meget simplificeret kan det ovenstående godt ses som den arbejdsgang, der skal til for at kunne orientere billedere i forhold til det data som indsamles.

6 Teknisk komponentbeskrivelse

I det foregående afsnit blev de komponenter som skal indgå i systemet udvalgt. Dette afsnit vil se nærmere på de mere tekniske specifikationer, samt hvordan disse komponenter kan komme til at fungere sammen.

I projektet er der flere forskellige komponenter der skal fungere sammen, før det nødvendige data kan indsamles og efterfølgende behandles. En ting har været at finde og udvælge disse komponenter, men en anden ting har været, at få dem til at fungere sammen. Dette område ligger umiddelbart lidt uden for landinspektørens fagområde, men projektgruppen har alligevel måtte tilegne sig en del viden indenfor dette felt, for fuldt at forstå hvordan komponenterne fungerer sammen. En stor hjælp for at opnå denne forståelse, har været Johannes Kristensen fra SkyPilot.dk. Det er også Johannes, der har stået for det elektroniske arbejde, som er lavet i denne forbindelse. Dette afsnit vil kort beskrive de tekniske erfaringer som er blevet gjort i løbet af projektperioden.

6.1 u-blox EVK-6T

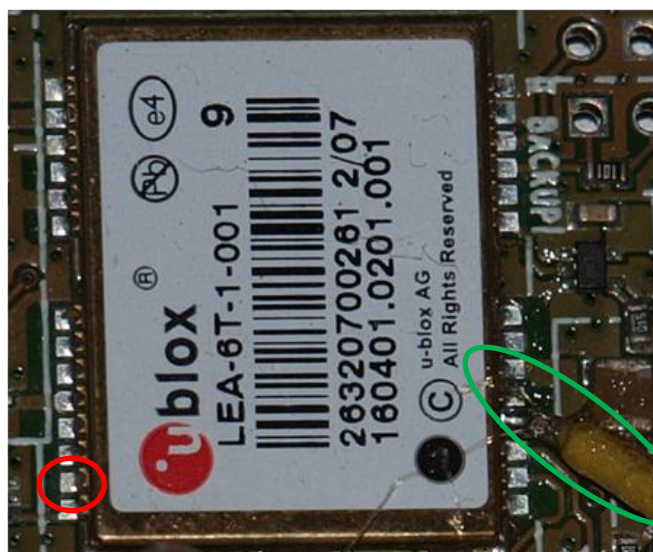
Under projektet er det kun evaluation kit udgaven af u-blox 6T modtageren som er blevet anvendt. Denne består, ud over selve GPS-chippen, af en printplade der styrer det elektroniske kredsløb mellem chippen og dataportene i modtageren, se figur 10. Ledningerne, der også kan ses på billedet, er en del af den modificering som projektgruppen har fået udført på EVK-6T.



Figur 10: Det benyttede evaluation kit fra u-blox. Modtageren er blevet modificeret så det er muligt at tidsstemple samt fortage trådløs dataoverførelse via et radiolink.

EVK-6T er udviklet således, at det er nemt og ligetil at gå igang med at anvende. Via enten USB eller en seriel port kan det forbindes til en computer, og dataindsamling kan foretages med det tilhørende software. EVK-6T har en funktion, der muliggør registrering af eksterne begivenheder, og denne funktion ønskes benyttet i projektet. Af produktets dataspecifikationer fremgår det, at denne funktion aktiveres gennem GPS-chippens pin 27 (u-blox 1, 2012). Figur 11 viser specifikationerne for chippens ben samt et billede af chippen i det benyttede EVK-6T.

LEA-6T Top View			
15	GND	GND	14
16	RF_IN	GND	13
17	GND	Reserved	12
18	VCC_RF	V_BCKP	11
19	V_ANT	RESET_N	10
20	AADET_N	TIMEPULSE2	9
21	NC	VCC_OUT	8
22	NC	GND	7
23	NC	VCC	6
24	VDDUSB	NC	5
25	USB_DM	RxD1	4
26	USB_DP	TxD1	3
27	EXTINT0	SCL2	2
28	TIMEPULSE	SDA2	1



Figur 11: Til venstre ses specifikationen for 6t-chippens ben. Til højre kan chippen ses. Den gule ledning er radioforbindelsen til dataoverførelse (RxD1). Den røde cirkel indikere det ben der anvendes til tidsstemplingen, og den grønne cirkel viser output til radiosignalet.

Som det ses, er ben 27 forbeholdt EXTINT0 og dette er det eksterne input i forhold til "Time Marking" (tidsstempling). Dette input skal være mellem 2,7 og 3,6 V for at kunne registreres. På billedet er benet markeret med en rød cirkel. Forbindelsen mellem chippen og det eksterne signal som skal registreres foregår gennem den printplade som chippen er installeret på. De ledninger der kommer fra venstre side på figur 10, er ledningerne der forbinder GPS og kamera. På figur 10 ses også den ledning der er loddet på ben 4 (RxD1). Dette ben muliggør radiokommunikation, og på figur 11 kan denne forbindelse ses som de ledninger der løber ud til højre.

6.2 Kameraets blitzsko

Kameraet der er anvendt under projektet, er som tidligere nævnt et Canon 550D. Kameraet er forsynet med en blitzsko der muliggør tilslutning af en eksterne blitz. Det er fra denne blitzsko, at signalet til u-blox modtageren skal sendes. På figur 12 kan blitzskoen ses.

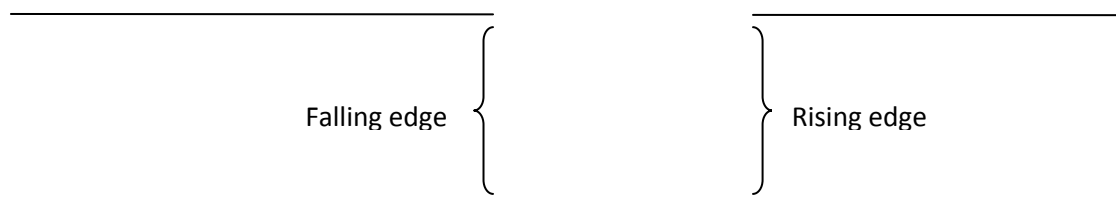
Måden hvorpå blitzskoen anvendes i dette projekt, er ved at kortslutte en strøm der kommer fra GPS-modtageren. Når en blitzfod sættes i blitzskoen, skabes der en forbindelse imellem GPS-modtageren og kameraet. Denne forbindelse er en konstant spænding, og i det øjeblik der tages et billede,



Figur 12: Markeret med rød cirkel, ses blitz-skoen som anvendes til at sende signal til u-blox modtageren.

kortslutter kameraet denne spænding. Denne kortslutning sker inde i kameraet vha. blitzens stel, samt benet i midten af blitzen, se figur 12. I Bilag 6 kan ses et diagram over det elektroniske kredsløb. Det skal understreges at projektgruppen ikke har den fulde indsigt i hvordan dette kredsløb fungerer, da dette ligger uden for vores fagområde.

Kortslutningen varer kun i et ganske kort øjeblik, hvorefter spændingen igen stiger. Det er denne kortslutning som i normale tilfælde anvendes til at udløse blitzen, men som i dette projekt vil blive benyttet til at tidsstemple eksponeringsøjeblikket. Det at strømmen bliver kortsluttet, for herefter at vende tilbage til normal, betyder at der vil forekomme to ændringer i spændingen. Dette er vist på figur 13 herunder.



Figur 13: Når strømmen kortsluttes vil der komme et fald i spændingen (Falling edge). Idet denne kortslutning er ovre, vil spændingen vende tilbage til det tidligere niveau (Rising edge).

Begge disse signaler kan registreres af u-blox chippen. Som figur 14 herunder viser, er forskellen mellem de to signaler på subsekund niveau. Data stammer fra et tidsstempel i en RINEX fil.

Falling edge	53,2255553 s
Rising edge	53,2397196 s
Difference	0,0141643 s

Figur 14: Et eksempel på det tidspunkt som er blevet tidsstempelt i en RINEX fil, samt hvor lang tid der er mellem de to signaler.

Af tidsstempelt kan det også ses, at det faldende signal bliver registreret før det stigende signal. Det har ikke været undersøgt nærmere præcist hvornår eksponeringsøjeblikket er i forhold til disse to signaler, men det er muligvis noget der kan undersøges gennem forsøg. I forhold til projektet, mener projektgruppen at forskellen på de to signaler er så lille, at det i ene signal blot kan vælges i forhold til at bestemme eksponeringsøjeblikket.

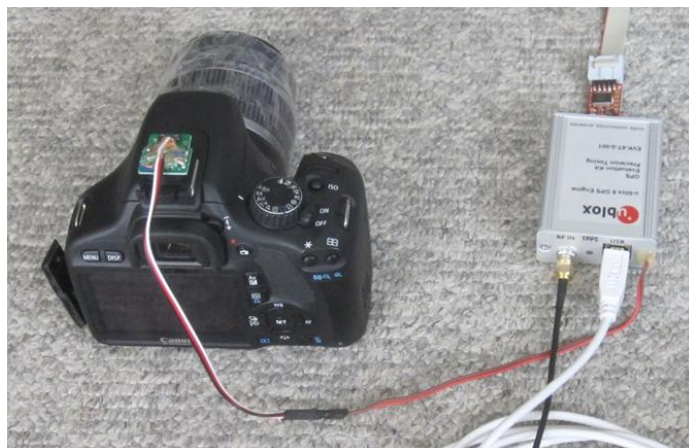
Et fornuft bud på en anvendt flyvehastighed kunne være omkring 2 m/s. Dette gæt er baseret på umiddelbare observationer af projektgruppen fra flyvninger, men hastigheden kan nemt afvige fra dette, hvis forholdene er til det. Det afhænger af flyvehøjde, overlapsønske, vindforhold mm. Hvis hastigheden er på 2 m/s, og tidsstempelt forskydes med 0,015 s, så bliver positionen forrykket med 3 cm. Denne forrykning vil dermed have betydning for resultatet, men er næppe den eneste tidsmæssige fejlkilde der er i opsætningen. Uden at det er undersøgt, kan der godt forventes andre forsinkelser fra både kamera og kabler.

6.3 Forbindelsen mellem kamera og GPS

For at forbinde kameraet med u-blox'en, anvendes den nederste del af en blitz (blitzfoden).

Projektgruppen har indkøbt en blitz af mærket Metz "mecablitz, electronic flash 24 AF-1". Denne er blevet skilt ad, således at det kun er bunden der er tilbage. Det blev forsøgt at genbruge en ældre blitz, men det viste sig at der var flere elementer der virkede ustabile, og derfor var det nødvendigt at købe en hel ny blitz.

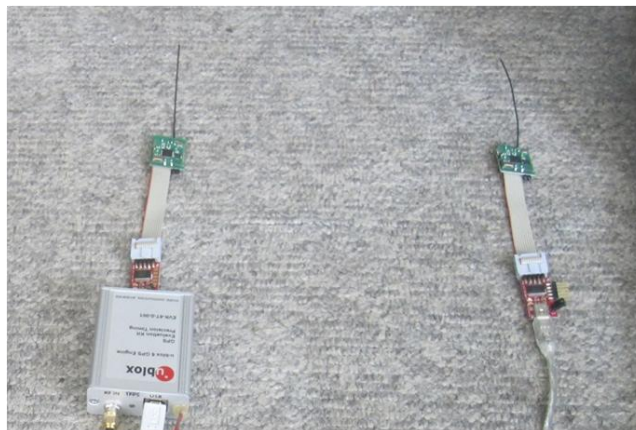
De to poler som kameraet kortslutter idet der eksponeres og blitzen skal udløses, er lokaliseret, og fra disse trækkes ledninger til u-blox chippen. Figur 15 viser dette.



Figur 15: Blitzfoden monteret i kameraets blitssko. Ledningen fra foden forbinder denne med u-blox chippen.

6.4 Radio link

Det er blevet besluttet at benytte en trådløs dataoverførelse mellem helikopteren og en computer, i stedet for at have en lagringsenhed ombord på helikopteren. Dette giver både mulighed for at overvåge dataindsamlingen løbende, og samtidigt spares der vægt på helikopteren. Denne transmission forgår via et Wi232 modem, og kan ses på figur 16.



Figur 16: På billedet ses den trådløse forbindelse der går fra u-blox modtageren og til en computer der lagre data.

På helikopteren er det trådløse modem forbundet med u-blox'en via ben 4 (RxD1) på chippen. Herfra sendes data løbende ned til radio-modtageren, der, via et almindeligt USB stik, er tilsluttet en computer, som muliggøre datalagringen.

Erfaringer fra projektperioden viser at der skal rettes opmærksomhed på hvilken frekvens der anvendes til denne dataoverførelse. Er der andre enheder i samme område der køre på samme frekvens, vil dette kunne påvirke forbindelsen, og i sidste ende kan dette betyde at der går data tabt. Inden flyvningen er det derfor en god idé at undersøge om der er periodiske udfald på dataoverførelsen.

6.5 Placering af antenne

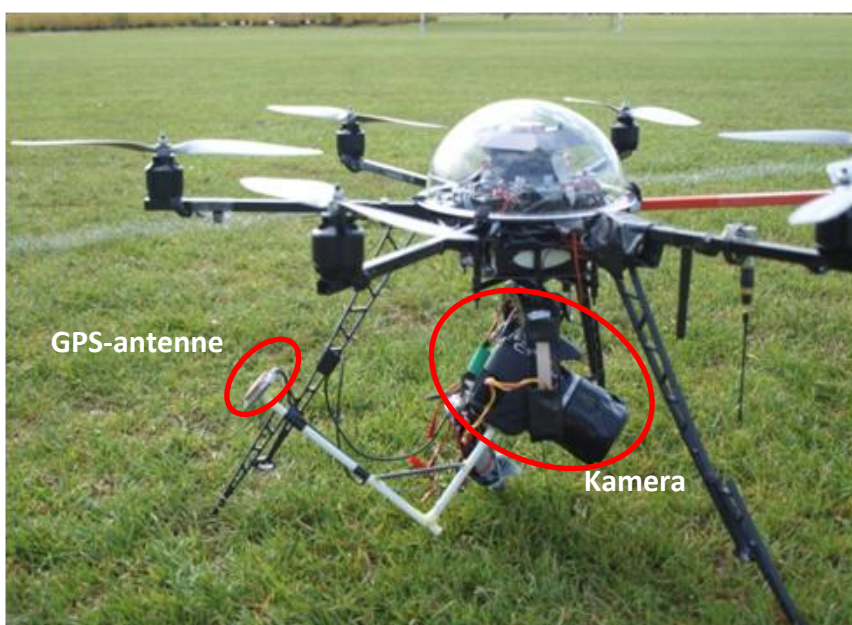
Den anvendte helikopter hælder ofte under flyvning. Dette sker specielt under accelerationer, og hvis det blæser. For at optimere optagelsen af billederne til fotogrammetri er

kameraophænget derfor blevet gyrostabiliseret. Formålet med denne stabilisering er at undgå, at billederne bliver optaget med stor vinkel ift. lod.

Hvis helikopteren ikke havde et gyrostabiliseret kameraophæng, kunne antennen umiddelbart monteres direkte på helikopteren, et mere eller mindre tilfældigt sted, hvor det mest optimale sted ville være på toppen, således at der ikke bliver skygget for signalet. Uden gyrostabilisering ville vektoren fra kameraet og til GPS antennen være konstant under disse forhold.

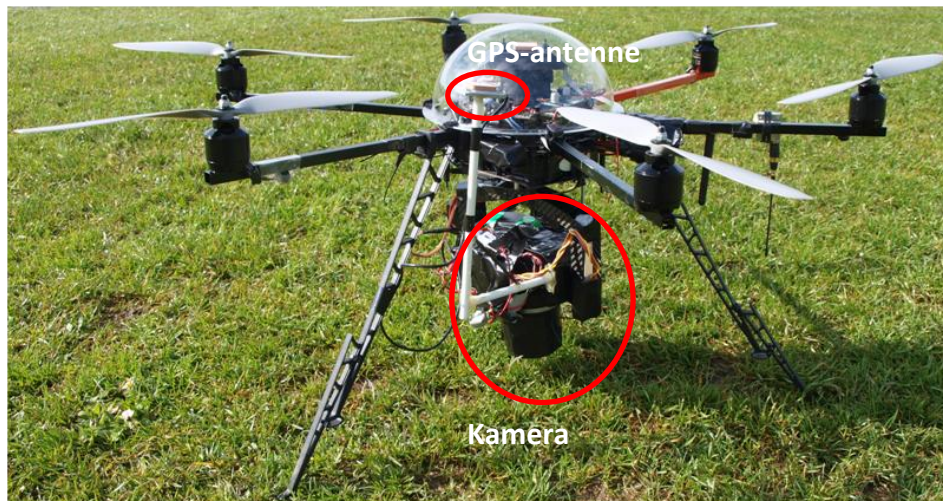
Ved gyrostabilisering af kameraet, er vektoren fra kameraet og til et ikke-stabiliseret sted på helikopteren ikke længere konstant, da kameraet justeres efter helikopternes hældning. For at omgå dette, monteres GPS-antennen på en "antenne-arm" som sættes direkte på kameramounten. Antennearmen kommer dermed til at følge kameraets bevægelser.

På billedet nedenunder kan antennearmens placering ses. Armen kan ses som et hvidt glasfiberrør, med knæk på midten. I den ene ende kan kameraet ses, og i den anden ende kan GPS-antennen ses, se figur 17 herunder.



Figur 17: GPS-antennen er placeret for enden af et glasfiberrør. På billedet kan glasfiberrøret ses som et hvidt rør der går fra kamera og til GPS-antenne.

Det er vigtigt at antennearmen er stabil, og følger kameraets bevægelser, og derfor må den ikke være letpåvirkelig overfor rystelser. På ovenstående billede er kameraet ikke i lod, og GPS-antennen har derfor ikke frit udsyn. Derimod får antennen bedre udsyn når kameraet peger i lod. Dette kan ses på figur 18:

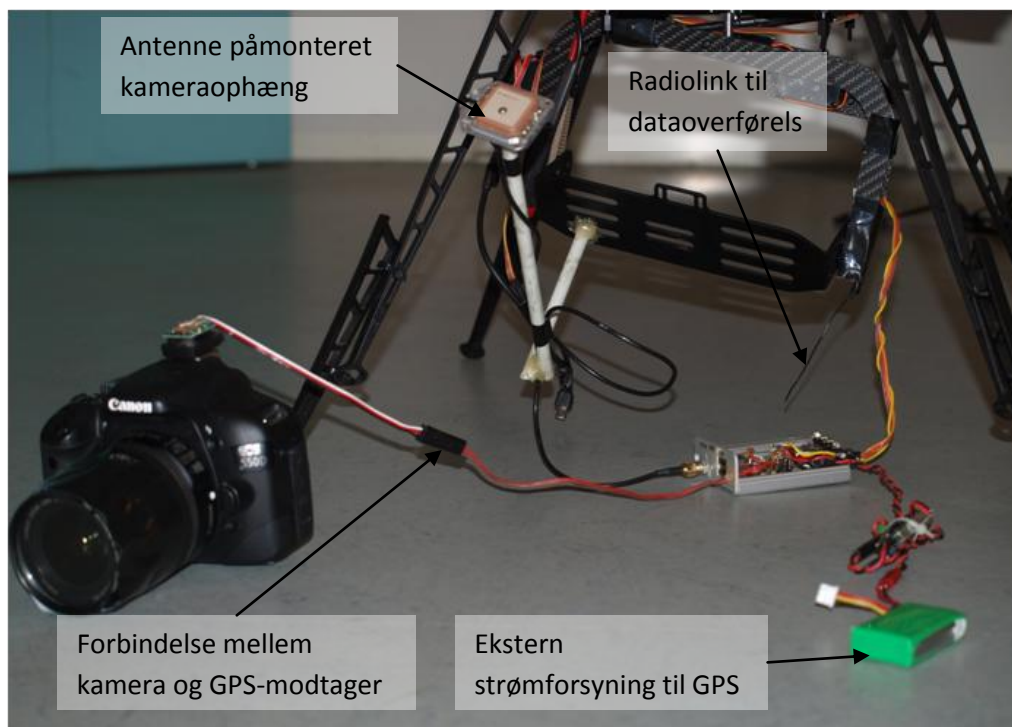


Figur 18: På dette billede er kameraet i lod, og det kan ses at antennen næsten har frit udsyn. Under accelerationer, vil helikopteren hælde, men kamera, antennearm og GPS-antenne vil pege ca. på samme måde som vist her.

På dette billede kan det ses hvordan GPS-antennen er placeret når kameraet er i lod, og umiddelbart er der fornuftig udsyn fra GPS-antennen. Dette er dog idealtilfældet, hvor helikopteren ikke accelererer. Ved accelerationer hælder helikopteren, men kameraet har samme vinkel ift. lod. Dermed kan der, antageligt, godt opstå situationer hvor signalet til antennen forstyrres.

6.6 Komponenter installeret på helikopteren

På figur 19 herunder, kan de enkelte komponenter, og sammenhængen mellem dem ses.



Figur 19: De enkelte komponenter og den sammenkobling der skal til for at systemet fungerer.

7 Teori

Dette afsnit har fokus på den teori som anvendes gennem projektet. Det vil primært omhandle teori som indgår i den databehandling som foretages. Da projektet spænder så bredt som det gør, ville en grundig gennemgang af alt den implicerede teori, blive en uoverkommelig opgave. Derfor beskriver dette afsnit kun de centrale elementer af teorien, som er benyttet. De elementer som anses for at være centrale i denne forbindelse, er følgende:

- Differentiel fase GPS
- Leverarms beregning og anvendelse
- Orientering af billeder

Under dataindsamlingen bliver der anvendt differentiel fase GPS. Dette data skal efterfølgende post-processeres. Gennem projektperioden har der været anvendt forskellige programmer til dette og det er blevet erfaret, at der er flere forhold man bør være opmærksom på i denne forbindelse. Teorien bag disse forhold bliver her gennemgået.

Leverarmen bliver anvendt til at omsætte antennepositioner til projektioncenterets koordinater. Denne beregning udføres af projektgruppen, og derfor gennemgås denne teori.

Inden koordinaterne til projektionscenteret er beregnet, vha. leverarmen og interpolation, er alle billederne blevet relativ orienteret. Efter koordinaterne er bestemt, bliver billederne absolut orienteret via disse. Disse orienteringer fortages af projektgruppen gennem PhotoModeler, men teorien for de parametre der skal bestemmes gennemgås i dette afsnit.

Dette teoriafsnit bør læses, i forhold til de beregninger som projektgruppen foretager i forbindelse med databehandlingen. Disse er beskrevet i afsnit 8, Præsentation af beregningsmetode. Ud over den ovenstående beskrivelse, vil der i dette afsnit være henvisninger til hvor i beregningsafsnittet den beskrevne teori benyttes.

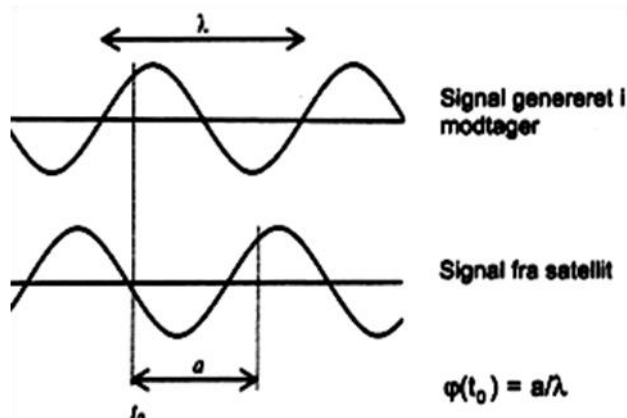
7.1 Differentiel fase GNSS

Det er i de indledende undersøgelser blevet besluttet at anvende differentiel fase GPS. Gennem den valgte GPS-chip er det muligt at observere og gemme rå L1 fase observationer. Disse observationer skal, sammen med tilsvarende observationer fra en master samt en navigationsfil omregnes til roverpositioner. Denne omregning sker gennem post-processering, og principperne bag dette vil i det følgende blive gennemgået.

Differentiel fase GPS bygger, som navnet antyder, på relativ positionering hvor faseobservationerne anvendes. Fordelen ved at anvende fase-observationer, modsat kode-observationer, er at pseudoafstandene bliver mere præcise, og den beregnede absolutte position bliver dermed ligeledes mere præcis. Usikkerheden på fase-observationer er omkring 1 % af længden på L1/L2 bærebølgen, hvilket er ca. 2 mm. Usikkerheden på kode-observationer er omkring 1 % af C/A bølglængden, hvilket er ca. 3 m (Dueholm, et al., 2005). Det er på baggrund af disse forhold, at præcisionen på fase-GNSS er langt højere end præcisionen på kode-GNSS. En faseobservation kan illustreres som vist på figur 20.

Fasen observeres oprindeligt som en værdi imellem 0 og 2π , men kan gennem kendskab til bølgelængden omregnes til en afstand. Før en præcis position kan beregnes er der to udfordringer som skal løses:

- Eliminering af systematiske fejl
- Beregning af antallet af hele bølgelængder udover ovenstående brøkdelen



Figur 20: Her ses den forskel der er på det modtagne signal fra satellitten, og det signal der genereres i modtageren (Dueholm, et al., 2005).

Eliminering af systematiske fejl bliver udført ved at lave det der kaldes dobbeltdifferencer imellem to satellitter og to modtagere.

For en nærmere beskrivelse af hvordan dobbeltdifferencer udregnes, henvises der til bogen; GPS (3. udgave), Keld Dueholm et al, 2005. Fordelen ved at beregne dobbeltdifference er at følgende fejl elimineres; urfejl i satellitterne, atmosfærefejl, banefejl, samt urfejl i modtagerne.

Disse systematiske fejl fjernes, fordi fejlene har samme størrelse. Der er dog nogle fejlkilder som ikke er systematiske, men derimod tilfældige. Disse fjernes ikke ved denne operation, men akkumuleres.

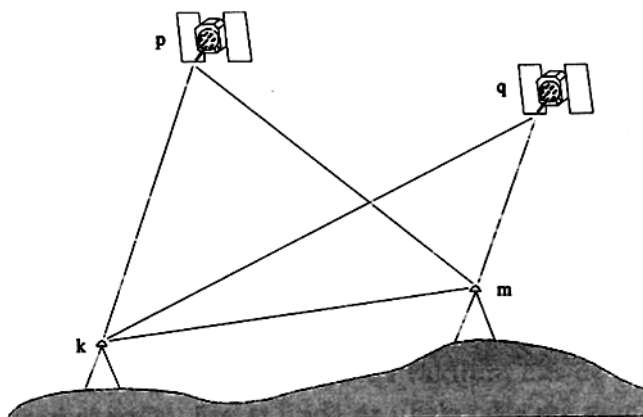
Når dobbeltdifferencerne er blevet beregnet, er næste skridt at beregne periodekonstanterne.

Dette gøres ved at indsamle data fra mange satellitter og fra mange epoker. Dermed kan der opstilles et overbestemt ligningssystem, hvor de ubekendte er periodekonstanterne samt differencerne mellem de to modtagere, nemlig baseline ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) (Dueholm, et al., 2005).

Løsningen på dette ligningssystem giver dermed et bud på periodekonstanterne, men ved denne beregning er de reelle tal. For at optimere løsningen anvendes informationen om at periodekonstanterne er heltal. Der er mange metoder hvorved denne heltalsløsning kan estimeres, men LAMBDA (Least-squares AMBIGUITY Decorrelation Adjustment) er den mest udbredte. Både RTKLIB (Takasu 1, 2011) og PCE, som anvendes i dette projekt, anvender LAMBDA, og det gør Trimble Business Center antageligt også.

Som tidligere beskrevet kan baseline bestemmes gennem løsning af ligningssystemet, og dette betyder også at positionerne til roveren kan bestemmes i forhold til masteren. Nøjagtigheden af denne baseline hænger tæt sammen med hvor godt periodekonstanterne bestemmes.

I grove træk, er dette er hvad post-processingen går ud på. Post-processing foretages i dette projekt gennem forskellig software. I afsnit 8, Præsentation af beregningsmetode, under trin 2 anvendes RTKLIB til at foretage post-processing af GPS-data.



Figur 21: Eksempel på hvordan der dannes dobbeltdifference mellem master, rover og de to satellitter der observeres til (Dueholm, et al., 2005)

7.1.1 Rinex

I dette projekt anvendes der et standardiseret filformat som hedder RINEX (Receiver INdependent EXchange format). RINEX er et format som anvendes til at udveksle GPS observationer, og et eksempel på hvordan en RINEX fil ser ud, kan ses nedenfor:

```

2.11          OBSERVATION DATA      M (MIXED)          RINEX VERSION / TYPE
rover
Measurement Science Aalborg University          OBSERVER / AGENCY
-Unknown-          ANTARIS 6 LEA-6T      -Unknown-      REC # / TYPE / VERS
-Unknown-          Ublox                                     ANT # / TYPE
 3427693.3850      602968.8140      5327041.2420      APPROX POSITION XYZ
 0.0000          0.0000          0.0000          ANTENNA: DELTA H/E/N
 1              0                                     WAVELENGTH FACT L1/2
 4      L1      C1      S1      D1          # / TYPES OF OBSERV
SNR is mapped to RINEX snr flag value [0-9]      COMMENT
 15                                                    LEAP SECONDS
2012          4      16      14      48      15.7990000      GPS      TIME OF FIRST OBS
                                                    END OF HEADER
12  4  16  14  48  15.7990000  0  13G08G09G15G17G18G26G27G28G05G19S26S20
                                G11
 1262118.790  7  22578990.971          45.000          -2534.092
-2097150.334  7  22680415.807          44.000          4025.211
-1016097.418  7  20664324.236          44.000          1828.623
-1840105.986  8  23688455.145          48.000          3513.014
-1079897.867  7  23059320.072          44.000          1947.507
 734207.113  8  20245270.763          48.000          -1601.010
-1249033.408  7  21326006.373          47.000          2338.854
 75431.329  7  20941532.907          44.000          -302.588
1069762.02034 24835128.742          27.000          -3285.379
 96660.078  6  24886654.567          41.000          -2000.245
-228899.40226 38479150.830          37.000          427.892
-249631.31627 38737871.082          42.000          470.670
-1159140.11031 25015700.122          11.000          2174.006
12  4  16  14  48  15.9990000  0  13G08G09G15G17G18G26G27G28G05G19S26S20
                                G11
 1262625.622  7  22579087.558          45.000          -2534.298

```

Figur 22: Eksempel på en RINEX fil. I dette udsnit er det muligt både at se "header" og lidt mere end én epoke.

I afsnit 8, Præsentation af beregningsmetode, under trin 1, kan det ses hvordan projektgruppen generere disse RINEX filer.

Første del af en RINEX fil består af det som kaldes for headeren. På ovenstående fil slutter headeren der hvor der står "END OF HEADER" (højre side), og efter dette kommer observationerne. Headeren indeholder generelle informationer, herunder bl.a. foreløbige stationskoordinater, wavelenght factor (se squaring længere nede i afsnittet), observationstyper samt antallet af "Leap Seconds".

Ved hver epoke er tidspunktet for epoken, det samlede antallet af satellitter, og angivelse af navnene på de enkelte satellitter, angivet. Efter dette kommer observationerne for hver satellit linjevis, hvor rækkefølgen af observationer i dette tilfælde er L1 (faseobservation på L1), C1 (kodeobservation på L1), S1 (signal to noise ratio for L1), D1 (dobblert frekvens).

Efter observationen tilhørende L1 (L1 faseobservationerne har 3 decimalpladser) kommer der et "bit flag". Dette felt kan have værdien 0-7 (0 angives som "blank"). For at tolke denne værdi skal den omsættes til det binære-talsystem, som består af enten 0- eller 1-taller. Her gælder det at; 1='001', 2='010' og 3='011' osv, dette er illustreret ved et eksempel på figur 23.

0	0	1
Bitset 2	Bitset 1	Bitset 0

Figur 23: Eksemplicere hvordan et binært 1-tal skal tolkes. Et 1-tal skal tolkes som at den pågældende "Bitset" er aktiv, mens et 0 betyder at det er deaktiveret.

Af RINEX specifikationerne fremgår følgende (Gurtner, 2007):

	Loss of lock indicator (LLI). Range: 0-7	
	0 or blank: OK or not known	
	Bit 0 set : Lost lock between previous and	
	current observation: cycle slip	
	possible	
	Bit 1 set : Opposite wavelength factor to the	
	one defined for the satellite by a	
	previous WAVELENGTH FACT L1/2 line	
	or opposite to the default.	
	Valid for the current epoch only.	
	Bit 2 set : Observation under Antispoofing	
	(may suffer from increased noise)	

Figur 24: Af tabellen kan det ses hvordan RINEX formatet indikere kvaliteten af det modtagne signal. Ud fra "bit flags" i RINEX filen kan der foretages en umiddelbar vurdering af kvaliteten af det indsamlede data (Gurtner, 2007).

Da alle "bit flags" i dette projekt har været i intervallet 0-3, kan det konstateres at der ikke har været antispoofing på signalet. Dette er ikke så underligt da dette kun kan påføres kode-observationerne.

Et 1-tal, eller '001', betyder at 'Bit 0 set' er aktiv. Dermed har der modtageren mistet "Phase Lock Loop" (se afsnit nedenunder). Dette giver en chance for cycle-slip.

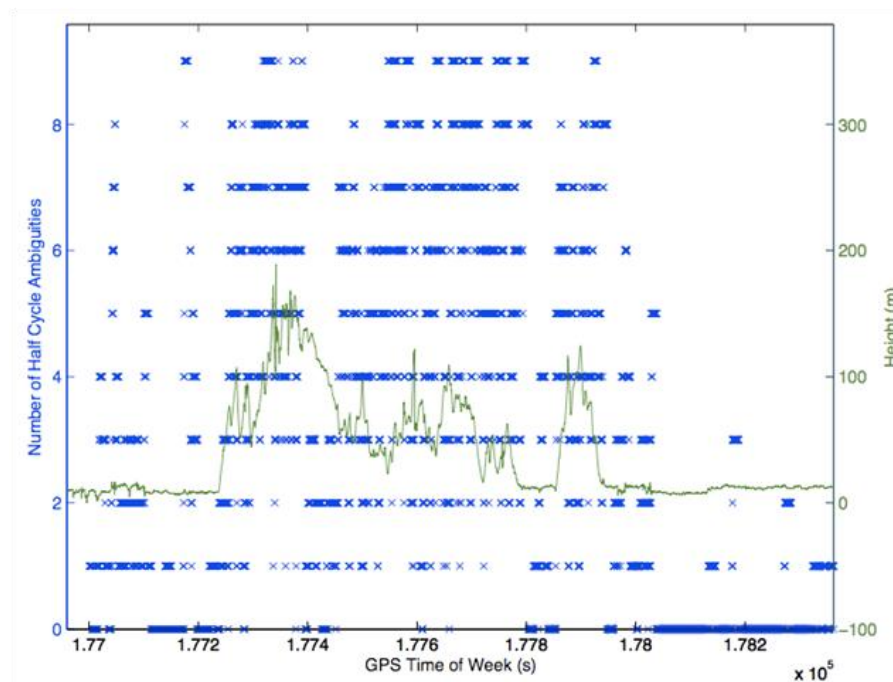
Et 2-tal, eller '010', betyder at 'Bit 0 set' ikke er aktiv, men at 'Bit 1 set' er aktiv. Dermed er der modsat wavelength factor, for denne satellit ved denne epoke, i forhold til den der er angivet i headeren.

Et 3-tal, eller '011' betyder at 'Bit 0 set' er aktiv, og at 'Bit 1 set' er aktiv. Dermed er der modsat wavelength factor, for denne satellit ved denne epoke, i forhold til det der er angivet i headeren, samt at der er en risiko for "cycle slip".

7.1.2 Squaring

Den anvendte modtager, EVK-6T, anvender som beskrevet i afsnit 5, Indlede undersøgelser, en proces som hedder "Squaring". Dette betyder at signalet bliver kvadreret inden faseobservationen beregnes gennem Phase Lock Loop (Borio, 2011). Ved "Squaring" bliver støjen på signalet kvadreret, frekvensen bliver fordoblet og dermed bliver bølgelængden halveret (Dedes, 2008). Bølgelængden vil altså være halvt så lang, når faser bestemmes igennem Phase Lock Loop, og efterfølgende omregnes der til hele bølgelængder. Problemet ved dette er at antallet af de resterende bølgelængder, også kaldet periodekonstanten, kan være både et heltal, eller et heltal +/- 1/2. Dette er anderledes fra GNSS-modtagere der ikke anvender "Squaring", hvor periodekonstanten kun kan være et heltal.

Denne effekt fra "Squaring" er dog ikke konstant, da modtageren, under de rigtige forhold, kan løse denne "half-cycle-ambiguity", og dermed sikre at periodekonstanterne er et heltal. Dette skifter løbende igennem en måleperiode, og et eksempel kan ses her:



Figur 25: Visualisering af hvor mange observationer baseret på halve-bølgelængder der er til hver epoke. De blå punkter viser hvor mange "Half-Cycle-Ambiguities" der er til hver epoke, og den grønne linje viser i hvilken højde den anvendte modtager befandt sig i. Observationerne er foretaget med en LEA-5 (Pinchin, 2011)

På ovenstående figur kan antallet af observationer med "half-cycle-ambiguities" ses. Det kan ses at antallet skifter løbende igennem perioden, og på enkelte tidspunkter er antallet oppe på 9 observationer pr. epoke der er påvirket af "half-cycle-ambiguities". Hvis der tages udgangspunkt i en enkelt epoke, fra data indsamlet under projektperioden, observationerne i RIENX format således ud:

12	4	16	14	50	27.3990000	0	13G08G09G15G17G18G26G27G28G05G19S26S20
G11							
1597484.765	7	22642808.528		44.000		-2559.596	
-2625148.790	7	22579943.769		45.000		4002.546	
-1252061.217	7	20619422.250		46.000		1761.021	
-2300194.138	7	23600902.961		47.000		3482.403	
-1331315.354	7	23011474.078		43.000		1876.513	
949904.371	7	20286315.157		46.000		-1673.421	
-1554143.782	8	21267947.569		48.000		2301.217	
119911.173	7	20949996.601		46.000		-370.388	
27829.983	3	24917404.554		27.000		-3280.477	
363956.486	2	24937466.301		33.000		-2057.899	
-285166.668	2	38468446.079		38.000		430.836	
-311494.892	2	38726097.977		41.000		472.957	
-1440946.819	3	24961972.296		19.000		2108.329	

Figur 26: RINEX epoke. Gul; half-cycle-ambiguities. Rød; chance for cycle slip samt half-cycle-ambiguity.

I den ovenstående figur er observationerne til én epoke vist. De observationer der er markeret med gult og rødt er "half cycle ambiguities". Dette betyder at modtageren ikke har været i stand til at finde en heltals løsning til denne observation. Det er vigtigt at den software som anvendes, i forbindelse med databehandlingen, både kontrollerer disse "bitflags" og anvender informationen.

I store dele af projektet (indtil forsøg 5) var der ikke fokus på problemstillingen omhandlende "Squaring". Delvis var projektgruppen ikke klar over effekten heraf, og delvis blev det antaget at Trimble Business Center kunne håndtere dette. Det viste sig senere i projektet at Trimble Business Center ikke håndterer "Squaring" korrekt. Dette har betydet at alternative programmer også har været anvendt til post-processing. Processen med at finde og teste disse programmer er noget der har besværliggjort denne databehandling.

7.2 Leverarm

Denne del af teoriafsnittet vil omhandle en kort gennemgang af de principper og den matematik der ligger bag leverarmsberegningerne. Som nævnt i afsnit 8, indledende undersøgelser, er en leverarm et udtryk der anvendes om vektoren mellem to komponenter i et orienteringssystem. Dette kunne eksempelvis være mellem GNSS'en og IMU'en (IGI mbH, 2008). Grunden til at leverarmsbegrebet indføres, er at det ikke er muligt at placere de to komponenter i samme punkt, og derfor er det nødvendigt at bestemme denne vektor.

Inden beregningerne vedrørende leverarmen gennemgås, er det vigtigt at være opmærksom på de to koordinatsystemer der er i spil. Det første koordinatsystem er det landsdækkende eller globale koordinatsystem, som bl.a. paspunkter, kontrolpunkter og GPS-positioner bliver refereret i.

Det andet koordinatsystem er det system hvori leverarmen skal bestemmes. Dette koordinatsystem har centrum i kameraets projektionscenter, og følger de rotationer og bevægelser som kameraet udfører. Hvis helikopteren, fra én flyvelinje til den næste, vender rundt og flyver den anden vej så følger koordinatsystemet disse rotationer og bevægelser. Da dette koordinatsystem følger kameraet, og dermed også GPS-antennen da denne er monteret fast herpå, vil leverarms-vektoren i dette system være konstant. Leverarmen i det landsdækkende koordinatsystem vil derimod vende og dreje, alt efter hvordan kameraet er roteret.

Det er derfor nødvendigt at bestemme leverarmen i kameraets koordinatsystem, men anvende den i det landsdækkende koordinatsystem. Leverarmen er altså en konstant (under én dataindsamling) vektor der skal korrigeres for, for at finde den korrekte position af det ene komponent i forhold til det andet. Da der ikke anvendes IMU i dette projekt vil leverarmen være en vektor, der angiver den flytning, som er nødvendig at foretage, for at komme fra antennens fasecenter til kameraets projektionscenter. I dette projekt bliver leverarmen i første omgang bestemt vha. tilbageskæring, og hvordan dette gøres kan ses i afsnit 8, Præsentation af beregningsmetode (trin 5). Herefter anvendes den beregnede leverarm til at korrigere GPS-positionerne, og disse beregninger kan ses i afsnit 8 Præsentation af beregningsmetode (trin 7).

Da leverarmen skal være konstant, er det en forudsætning at GNSS-antennen og kameraet installeres på en sådan måde, at disse følger hinanden under en flyvning. Selve installationen blev gennemgået i afsnit 6, Teknisk komponentbeskrivelse.

For at rotere leverarmen i forhold til de enkelte kameraorienteringer, anvendes ω , φ og κ rotationerne i de nedenstående figurer.

$$R_{\omega} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\omega) & \sin(\omega) \\ 0 & -\sin(\omega) & \cos(\omega) \end{bmatrix} R_{\varphi} = \begin{bmatrix} \cos(\varphi) & 0 & -\sin(\varphi) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\varphi) & 0 & \cos(\varphi) \end{bmatrix} R_{\kappa} = \begin{bmatrix} \cos(\kappa) & \sin(\kappa) & 0 \\ -\sin(\kappa) & \cos(\kappa) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Figur 27: Rotationsmatricerne i henholdsvis omega(ω), phi(φ) og kappa(κ) (Mikhail, et al., 2001)

Ved at multiplicere rotationsmatricerne med den fundne leverarm, kan denne orienteres. Dette skal naturligvis gøres for hvert enkelt billede, med de dertilhørende rotationer. Dermed bliver leverarmen roteret, således at den passer med billedets orientering.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_L * \begin{bmatrix} \cos \varphi \cos \kappa & \cos \omega \sin \kappa + \sin \omega \sin \varphi \cos \kappa & \sin \omega \sin \kappa - \cos \omega \sin \varphi \cos \kappa \\ -\cos \varphi \sin \kappa & \cos \varphi \cos \kappa - \sin \omega \sin \varphi \sin \kappa & \sin \omega \cos \kappa + \cos \omega \sin \varphi \sin \kappa \\ \sin \varphi & -\sin \omega \cos \varphi & \cos \varphi \cos \varphi \end{bmatrix}_{R_i} = \begin{bmatrix} E \\ N \\ H \end{bmatrix}_{L_i}$$

L = Vektoren der definerer leverarmen

R_i = Den totale rotationsmatricen for det enkelte billede

L_i = Leverarmen det enkelte billede skal korrigeres med

Figur 28: Formler til rotering af leverarm. Disse anvendes både til beregning af leverarmen, og til anvendelsen af leverarmen. Når leverarmen berøres, skal rotationsmatricen inverteres (Mikhail, et al., 2001)

Leverarmen for det enkelte billede er nu orienteret i samme koordinatsystem som GNSS positionen, og trækkes leverarmen fra denne, fås koordinaterne til kamerastationen for det pågældende billede.

$$\begin{bmatrix} E \\ N \\ H \end{bmatrix}_{GPS_i} - \begin{bmatrix} E \\ N \\ H \end{bmatrix}_{L_i} = \begin{bmatrix} E \\ N \\ H \end{bmatrix}_{Billede}$$

GPS_i = Koordinater til GPS antennen tilhørende det enkelte billede

L_i = Leverarmen det enkelte billede skal korrigeres med

$Billede$ = Koordinater til projektionscenteret for billedet

Figur 29: Formler til korrektion for leverarm. Disse anvendes når antennepositionen og den roterede leverarm kendes. Gennem dette kan projektionscenteret beregnes.

Det skal bemærkes at det ovenstående er skrevet med udgangspunkt i at der korrigeres for en allerede kendt leverarm. I dette projekt har det også været nødvendigt at beregne leverarmen, se afsnit 8, Præsentation af beregningsmetode, under trin 5. For at dette har kunne lade sig gøre, har projektgruppen anvendt den ovenstående teori "omvendt". Måden dette er gjort på er ved at bestemme parametrene (E, N, H, ω , φ og κ) til billederne. Dette kan gøres ved tilbageskæring, såfremt der findes koordinatsatte paspunkter i billederne. Når disse parametre kendes, kan der regnes baglæns og størrelsen af leverarmen kan bestemmes.

7.3 Fotogrammetri

En del af den databehandling der skal foretages i dette projekt, omhandler de billeder der bliver optaget under flyvningerne. Den fotogrammetriske databehandling er i dette projekt foretaget i PhotoModeler. Billederne skal orienteres relativt, samt i et landsdækkende referencesystem. For

at databehandlingen af billederne kan give et fornuftigt resultat, er det desuden nødvendigt at have bestemt den indre orientering til kameraet.

7.3.1 Indre orientering

Før billeder fra et kamera kan anvendes, bør den indre orientering af kameraet kendes. De indre orienteringsparametre til et simpelt hulkamera, ville bestå af kamerakonstanten samt hovedpunktets placering i billedet. På baggrund af disse, og billedkoordinater, vil afbildningen af et objekt kunne regnes i billedet. Dog har kameraer også en linse, og før linsefortegningen kan beregnes skal afstanden til hovedpunktet beregnes (Brande-Lavridsen, 1993):

$$r' = c * \tan \alpha$$

r' = Afstanden fra billedets hovedpunkt til objektets afbildning

c = Kamerakonstanten

α = Vinklen mellem optagerretningen og objektet i forhold til projektionscenteret

Figur 30: Formler til beregning af afstand til hovedpunktet

Linsen vil give en fejl på det objekt der bliver afbilledet. Den afstand som et objekt har fra centrum er bevirket af linsefortegningen. Et udtryk for dette ser således ud:

$$r' = c * \tan \alpha + dr'$$

dr' = Fortegningen som linsen giver

Figur 31: Effekt af linsefortegning.

Dette betyder at de indre orienteringsparametre der ønskes bestemt for det anvendte kamera er: Kamerakonstanten, hovedpunktetsforskydning samt linsefortegningen. I PhotoModeler kan disse parametre bestemmes ved at foretage en kamerakalibrering. I Bilag 2 kan det ses hvordan projektgruppen har bestemt disse parametre gennem projektet. Forudsat at kameraet er stabilt og at der ikke ændres på indstillingerne under en fotosession, vil denne kalibrering kunne anvendes på alle billeder taget med dette kamera.

7.3.2 Ydre orientering

Kendes den indre orientering af kameraet, kan den ydre orientering af de enkelte billeder ligeledes bestemmes. Hvor den indre orientering bestemmer et billedes strålebund i forhold til kameraet, skal den ydre orientering placere strålebundet i forhold til virkeligheden (Mikhail, et al., 2001). For at dette kan lade sig gøre, er der i alt seks parametre der skal bestemmes for billedets projektionscenter. Disse er; tre for positionen (X, Y, Z) samt tre for rotationerne (ω , φ og κ) (Brande-Lavridsen, 1993).

Den ydre orientering definerer orienteringen og positionen af billedet, og kendes de seks parametre, kan forhold mellem billedkoordinater og objektkoordinater udregnes ved følgende formel (Mikhail, et al., 2001):

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ -f \end{bmatrix} = k * \mathbf{M} * \begin{bmatrix} X - X_L \\ Y - Y_L \\ Z - Z_L \end{bmatrix}$$

$(x, y, -f)$ = koordinater i billedet, og kamerakonstant

k = skalafaktor

\mathbf{M} = rotationsmatricen

(X, Y, Z) = objektet

(X_L, Y_L, Z_L) = kamerastationen

Figur 32: Formler til omregning imellem billedkoordinater og objektkoordinater.

Ovenstående ligningssystem kan omskrives til de klassiske stråleligninger, og det er disse som anvendes til at beregne den ydre orientering til hvert billede. I PhotoModeler bliver der automatisk udført en stor mængde billedmålinger, gennem det som kaldes SmartPoints (PhotoModelers funktion). Dette er billedmålinger til forskellige objekter som, af PhotoModeler, kan genfindes i flere billeder. Hermed fremkommer der en hel masse billedobservationer, som kan anvendes i stråleligningerne.

Hermed er det muligt at lave en samtidig relativ orientering af alle billederne i PhotoModeler. Dette er dog ikke nok, da en absolut orientering af billederne er nødvendig. For at tilføje en absolut orientering kan der anvendes enten paspunkter (som i afsnit 8, Præsentation af beregningsmetode, under trin 5), eller koordinater til kamerastationerne (som i afsnit 8, Præsentation af beregningsmetode, under trin 8). Begge dele bliver anvendt i dette projekt. Koordinater til kamerastationer bliver anvendt når blokken skal orienteres ud fra GPS positioner, og koordinater til paspunkter bliver anvendt når blokken skal orienteres ud fra disse. Det er dog ikke muligt i PhotoModeler at lade observationerne fra paspunkterne eller kamerastationerne indgå i den samlede udjævning. Det som PhotoModeler gør, baseret på erfaring, er at lave en transformation af den fotogrammetriske blok efterfølgende. Denne transformation er en 7 parameter transformation, med 3 flytninger, 3 rotationer og én skala (Mikhail, et al., 2001).

Det optimale ville være hvis disse absolutte koordinater indgik i én samlet udjævning. Dette vil, specielt hvis GPS observationerne har en god nøjagtighed, kunne rette den fotogrammetriske blok op. Dog vil den udførte transformation, fra PhotoModeler, tildele absolutte koordinater, og rotationer, til alle billederne. Den ydre orientering er central mange steder i dette projekt, og består af: X, Y, Z, ω, φ og κ .

7.3.3 Foreløbig absolut orientering

Der bliver under ét trin i den udviklede beregningsmetode, anvendt det som projektgruppen har valgt at kalde en foreløbig absolut orientering (i afsnit 8, Præsentation af beregningsmetode, under trin 6). Formålet med denne foreløbige orientering er at beregne rotationerne til hvert billede, således at leverarmen kan roteres i overensstemmelse med dette, og GPS antennepositionen efterfølgende kan omregnes til projektionscenterkoordinater. Disse rotationer skal ikke nødvendigvis beregnes meget præcist, men skal være så gode at den roterede leverarm bliver bestemt tilnærmelsesvis rigtigt. Til at lave denne foreløbige orientering anvendes antennepositioner til at orientere den fotogrammetriske blok. Der bliver dermed introduceret en mindre fejl, som baseret på afstanden imellem projektionscenteret og

kameraet, måske kan blive op til 10cm. Med en blok på 100x100 meter, og en forkert vipning på 10cm, bliver rotationerne tilført en fejl på $2\pi \cdot \frac{0,1m}{100m} \cdot \frac{360^\circ}{2\pi} = 0,36^\circ$. Når dette sammenholdes med at længden på leverarmen er omkring 30cm, så er har projektgruppen vurderet at denne foreløbige orientering giver en tilstrækkelig bestemmelse af leverarmen. Alternativt kunne denne operation gentages et antal gange, hvor forbedrede koordinater til projektionscenteret blev anvendt hver gang, men dette giver en minimal forbedring.

8 Præsentation af beregningsmetode

Det foregående afsnit har omhandlet den teori som er benyttet ved projektet. Dette afsnit vil beskrive de trin som projektgruppen foretager under behandlingen af det data der indsamles i løbet af en flyvning med helikopteren. Desuden vil det også blive beskrevet hvordan den beskrevne teori indgår i trinene. Denne data består som udgangspunkt af; billeder fra kameraet, GPS observationer samt tidsstempler til eksponeringsøjeblikket for billederne. Desuden er der også anvendt nogle RTK-målte paspunkter. Disse anvender projektgruppen til at kunne beregne leverarmen. Afsnittet handler primært om hvordan den tidligere beskrevne teori, anvendes til at behandle de forskellige typer af data.

Fra at systemet har registreret data, til at de optagne billeder er orienteret, er der flere beregningstrin som skal udføres. Til flere af disse trin har projektgruppen selv udarbejdet beregningsrutiner. Flere af dem er udviklet gennem programmet MATLAB, men der indgår også trin hvor programmerne TEQC (Translation, Editing, and Quality Check), Trimble Business Center/RTKLIB og PhotoModeler anvendes. En nærmere gennemgang af hvorledes de udviklede MATLAB scripts spiller sammen, kan ses i Appendiks 1, mens en beskrivelse af de anvendte programmer kan ses i Appendiks 2.

Det rådata som anvendes i de følgende beregningsmetoder er:

- Billeder fra digitalkamera. Disse skal inkludere EXIF-data der indeholder optagelsestidspunkt (dette kan kun fås i hele sekunder)
- Binær ubx fil fra GNSS-modtageren som bl.a. indeholder faseobservationer og tidsstempler (tidsstemplerne svarer til billedernes eksponering)
- Reference data fra egen masterstation (der kan også anvendes data fra kommercielle referencenet)
- Navigationsfil for satellitterne til opmålingstidspunktet
- RTK-målte koordinater til paspunkter

Det skal bemærkes at de indsamlede billeder kan opdeles i to grupper. Den ene gruppe anvendes til at beregne leverarmen. Billederne fra denne gruppe skal bruges i trin 1-5 i beregningsmetoden. Den anden gruppe er de billeder, der er optaget i det område, som ønskes opmålt. Disse billeder anvendes i alle trinene, med undtagelse af trin 5. Såfremt der er indsamlet data med en systemopsætning hvor leverarmen allerede er bestemt, er det deraf kun nødvendigt at tage billeder, over de område som ønske opmålt. Se evt. afsnit 10, Forsøg 4, for en nærmere beskrivelse af de to forskellige områder som billederne indeles efter.

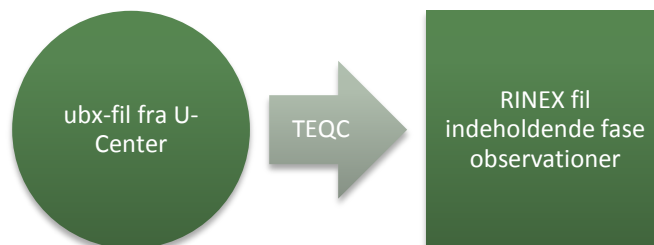
Målet er, gennem dette data, at beregne den absolutte orientering (X , Y , Z , ω , φ og κ) til hvert af de optagne billeder. For at nå frem til dette mål, skal følgende trin gennemgås. Programmet der er anvendt står i parentes.

1. Konvertering af ubx fil til RINEX-fil (TEQC)
2. Post processing af fase observationer (TBC, RTKLIB eller lignende program)
3. Bestemmelse af antenne-positioner til eksponeringsøjeblik, gøres vha. interpolation (MATLAB)
4. Matchning af interpolerede positioner til tilhørende billeder (MATLAB)

5. Beregning af leverarm, gøres vha. tilbageskæring samt koordinatsammenligning (Photomodeler og MATLAB)
6. Foreløbig absolut orientering af billederne for at bestemme rotationerne (PhotoModeler)
7. Anvendelse af leverarm på de interpolerede positioner. Herved opnås positionen til projektionscenteret (MATLAB)
8. Endelig absolut orientering af billederne (PhotoModeler)

Disse punkter vil i det efterfølgende blive gennemgået én for én, og det vil blive uddybet hvad projektgruppen har fortaget sig af beregninger. Figurene ved hvert trin illustrere det anvendte data (cirklen), programmet der anvendes (pilen) og det output data (firkanten) som databehandlingen benytter. Det skal bemærkes at trin 5 kan undlades såfremt leverarmen er kendt fra tidligere beregninger.

8.1 Trin 1 - konvertering af ubx fil



Efter dataopsamling med en u-blox modtager, er det registrerede data lagret i en binær fil, der har formatet ubx. Da ubx ikke er et udbredt format indenfor GPS data, skal data konverteres til RINEX, som er det foretrukne udvekslingsformat indenfor GNSS data, se afsnit 7, Teori "Differential fase GPS". Da der gennem projektet benyttes både en rover og en master GPS til dataindsamlingen, er der dermed også to ubx filer som skal konverteres under databehandlingen.

Denne konvertering udføres med programmet TEQC, som er et konverterings værktøj til GNSS data. TEQC er et konsol baseret program, og det kald der skal anvendes for at konvertere en u-blox ubx fil, er følgende:

```
-ublox ubx rover.ubx > rover.obs
```

Hvor

- -ublox ubx angiver hvilken filtype der skal konverteres
- rover.ubx er navnet på den fil som skal konverteres
- rover.obs er navnet på den fil som resultatet skal skrives til

Ud over denne basiskommando er der en række ekstrakommandoer som kan anvendes. Disse er:

- +event: 'tidsstempler skrive i RINEX-fil'
- -O.px: 'wgs84 kartetiske stationskoordinater'
- -O.mo: 'navn på station'

- -O.at: 'antenne type'
- -O.rt: 'modtager type'

RINEX filer med tidsstempel funktionaliteten inkluderet, understøttes af Trimble Business Center og programmet er automatisk i stand til at interpolere koordinaterne til disse. RTKLIB kan derimod ikke interpolere koordinater til disse positioner. Derfor er +event kommandoen kun anvendeligt såfremt data skal behandles i Trimble Business Center. Det viser sig senere i projektet at Trimble Business Center ikke er anvendeligt i forbindelse med den anvendte GPS-modtager. Derfor bruges +event ikke i den endelige databehandling. Efter konverteringen er det muligt at post-processere data.

8.2 Trin 2 - post-processering



Ved post-processering skal der ud fra fase observationerne, til henholdsvis master og rover modtager, beregnes præcise positioner til roveren. Disse observationer er blevet målt i et fast interval (f.eks. 5 Hz). Når positionerne til roveren er bestemt, er det efterfølgende muligt for projektgruppen at interpolere mellem disse, for at bestemme positionen til de tidsstempler der repræsenterer et eksponeringsøjeblik for et billede.

For at udføre differentiell fase post-processering, i hvilket som helst software, skal der anvendes disse elementer:

- RINEX fil fra rover
- RINEX fil fra master (indeholdende stationskoordinater)
- Navigationsfil til satellitterne

Igennem projektet er der blevet anvendt flere forskellige software til post-processering, med varierende resultater. Af læsevejledningen fremgår det hvilke programmer der benyttes hvornår. Se Appendiks 2 ang. forklaring omhandlende anvendelse af TBC og RTKLIB. Desuden kan en kort gennemgang af den bagvedliggende teori ses i afsnit 7, Teori "Differentiell fase GPS". Resultatet fra denne processering skal, for at den kan anvendes videre i forløbet, indeholde fire informationer (X, Y, Z og tid) til hver epoke. Et eksempel på dette kunne se således ud:

```
3518305.6220, 771650.9892, 5246142.1861, 2012/05/01 13:46:20.400
3518305.6306, 771651.1915, 5246142.1536, 2012/05/01 13:46:20.600
3518305.6446, 771651.3983, 5246142.1147, 2012/05/01 13:46:20.800
3518305.6500, 771651.6102, 5246142.0840, 2012/05/01 13:46:21.000
```

Disse data er udgangspunktet for den interpolering som bestemmer positionen til antennen ved eksponeringstidspunktet.

8.3 Trin 3 - interpolation



GNSS modtagere observerer i fastlagte intervaller. I dette projekt er data generelt enten 1Hz eller 5Hz. Tidsstemplingen sker til gengæld på vilkårlige tidspunkter, alt efter kameraeksponeringen. Udfordringen i dette trin er derfor, at bestemme GPS-antenne positionerne til de tidspunkter hvor tidsstemplerne definerer en kameraeksponering. For at finde denne position benyttes de to epoke positionerne som tidsstemplet ligger mellem. Dette gøres i MATLAB.

Interpolering kan teoretisk set gøres på flere måder, herunder:

- Lineær
- Cubic spline
- Modellering af hastighed og acceleration ved kalman filter

I dette projekt er der anvendt en simpel lineær interpolation. Grunden til at denne interpoleringstype vælges, er at det antages, at GPS-positionerne indsamles med så tæt et interval, at linjen mellem disse tilnærmelsesvis kan siges at være lineær. En nærmere undersøgelse af dette ville være interessant. Dette bliver også vendt i afsnit 14, Perspektivering. Selve databehandlingen bliver udført gennem MATLAB funktionen "caminterp.m". Denne funktion er udviklet af projektgruppen og er vedlagt i Bilag 8. I funktionen foregår selve interpoleringen dog vha. en indbygget MATLABfunktion. Input til denne funktion er følgende:

```
camxyzt=caminterp(ubx, xyzt, UTC, method, save)
```

Hvor

ubx	Navn på binær ubx fil (tidsstemplerne)
xyzt	Navn på ASCII-fil fra post-processering (GPS-positionerne)
UTC	lokal UTC tid ('vintertid'=1 og 'sommertid'=2)
method	Interpolationsmetode; her anvendes "linear"
save	Skal der gemmes en resultatfil? "0"=nej "1"=ja

Resultatet af dette trin er de interpolerede antenne positioner til eksponeringøjeblikket for billederne. Næsten trin er at bestemme hvilke billeder de enkelte tidsstempler, og deres tilhørende positioner, hører til.

8.4 Trin 4 - matchning af positioner og billednavne



Dette trin går ud på at finde det rigtige billede, til den kamera eksponering som i foregående trin blev fundet vha. interpolation. Hvis der efter en flyvning altid var lige mange tidsstempler og billeder, ville det som udgangspunkt være en ligetil opgave, at finde ud af hvordan disse skulle matches. Erfaringer ved de udførte forsøg 1-4, viser dog at der er flere faktorer som bevirker at dette ikke er tilfældet:

- Tidsstempelsfunktionaliteten er løs på aftrækkeren (enkelte tidsstempler uden tilhørende billeder)
- Risiko for at der mangler tidsstempler til enkelte billeder midt i flyvningen
- Der er ofte taget billeder både før og efter GPS'en er tilsluttet kameraet

At matche billederne med de fundne positioner, ville derfor være en meget omfattende opgave, at skulle foretage manuelt. Derfor har projektgruppen udviklet en funktion der kan automatisere denne proces. Som udgangspunkt for denne matchning anvendes det EXIF-data, som tilhøre de enkelte billeder. I dette data kan det ses, til hvilken tid billedet er optaget. Der er dog flere problemstillinger der skal tages højde for her. Det første er at denne tid kun er præcis ned til hele sekunder. Det vil sige at såfremt der er taget to billeder indenfor samme sekund, vil de få noteret samme tid, og alene ud fra EXIF-data vil det dermed ikke være muligt at afgøre rækkefølgen. Desuden er tidsstemplingen i EXIF-data lavet i forhold til kameraets interne ur. Dette kan indstilles til hvad det skal være, og derfor vil en løsning der, tager højde for dette, være favorabelt. Da det er helt afgørende at få matchet det rigtige billede med det tilhørende tidsstempel(inklusiv den interpolerede position til dette), skal disse problemer løses. For at løse problemstillingen er der udviklet en MATLAB funktion der hedder "timematch.m". Denne funktion kan ses i Bilag 9. Hovedprincipperne i funktionen er følgende:

- Udlæsning af optagelsestidspunktet fra EXIF-data til de enkelte billeder (hele sekunder)
- Subsekund adskillelse såfremt der er flere billeder inden for samme sekund. Gøres ved at benytte den fortløbende navngivning af billedefilerne som kameraet benytter
- Anvendelse af RANSAC til at bestemme tidsforskellen imellem kameraets interne ur (billederne) og GNSS-tid (tidsstemplerne)
- Hvert billede tildeles herefter en interpoleret koordinat ud fra tiden fra EXIF-data, tiden fra tidsstempellet og den fundne forskel. Dette gøres gennem en iterativ proces hvor det billede og det tidsstempel med mindst tidsmæssig forskel sættes sammen

Matchningen er temmelig omfattende og ud over disse trin, er der en lang række mindre trin. Disse er uddybet i det før omtale Bilag 9 samt i Appendiks 1. Et kald af denne funktion kunne se således ud:

```
pairs=timematch(imagedirectory,camxyzt,draw,savefile)
```

Hvor

imagedirectory	sti til placeringen af billederne
camxyzt	output fra caminterp
draw	Hvis resultatet skal plottes
savefile	Skal der gemmes en resultatfil? "0"=nej "1"=ja

Et eksempel på hvordan resultatfilen er opbygget, kan ses her:

E, N, H, billednavn
712767.733,6181293.545,36.599,IMG_3906.JPG
712769.903,6181291.994,36.541,IMG_3907.JPG
712770.965,6181293.776,36.480,IMG_3908.JPG
712770.712,6181293.831,36.486,IMG_3909.JPG

Når dette er udført, har hvert billede et koordinatsæt tilknyttet. Det skal dog bemærkes at denne koordinat ikke er billedets koordinat til eksponeringstidspunktet, men derimod GPS-antennens koordinat til eksponeringstidspunktet. Forskellen mellem disse bliver i de efterfølgende trin beregnet og korrigeret.

8.5 Trin 5 - beregning af leverarm



For at kunne korrigere de interpolerede antenne-positionen, skal forskellen mellem disse og kameraet projektionscenter først beregnes. Dette er leverarmen og den teori der ligger bag, kan ses i afsnit 7, Teori "Leverarm". Det er kun billederne fra leverarmsområdet der indgår i dette beregningstrin.

Der er tre trin i denne del af processen, og de er som følger:

- Beregning af den ydre orientering til billederne i PhotoModeler
- Anvendelse af de interpolerede antennepositionerne (udregnet i trin 3)
- Beregning af leverarm i MATLAB

Først absolut orienteres billederne i PhotoModeler. Dette gøres ved at anvende et Smartpoint projekt, til at relativt orientere blokken af billeder. Her efter indmåles de koordinatsatte paspunkterne i billederne og herved bliver blokken absolut orienteret. Dette betyder at den "sande" (nøjagtigheden af paspunkterne, samt den relative orientering af billederne, afgøre nøjagtigheden) absolutte orientering til billederne kendes.

Herefter kan orienteringerne eksporteres og det er muligt at sammenholde disse med de interpolerede antennepositioner.

Når leverarmen anvendes, er ønsket at de interpolerede antennepositioner, skal svare overens med de "sande" koordinater til kamerastationerne. Når leverarmen bestemmes, skal det "modsatte" beregnes. Altså, hvordan skal de "sande" koordinater flyttes, for at svare overens med de interpolerede antennepositioner. Denne beregning har projektgruppen foretaget i MATLAB.

Beregningen i MATLAB foregår igennem scriptet "calc_leverarm.m" (Bilag 10), og det som udføres er følgende:

- Beregning af vektor fra projektionscenter til antenne
- Opstilling af rotationsmatrix ud fra den "sande" orientering fra PhotoModeler
- Inverteret rotationsmatrix multipliceres på vektor fra kamera til antenne
- Der beregnes et gennemsnit af alle leverarme

Inputtet til dette er 2 filer; én fra PhotoModeler og én fra den før omtalte funktion "timematch.m" (trin 4). Et typisk kald kunne se således ud:

```
leverarm = calc_leverarm('fil fra timematch', 'photomodeler fil')
```

Resultatet herfra er dermed den leverarm, som senere skal anvendes til at korrigere positionerne fra GNSS-antenne.

8.6 Trin 6 - foreløbig absolut orientering



For at kunne anvende den fundne leverarm, er det nødvendigt at kunne opstille rotationsmatricen, se afsnit 7, Teori "Leverarm", og til dette skal billedets rotation kendes. For at finde disse, laves der en foreløbig absolut orientering, og denne findes i dette trin vha.

PhotoModeler. De billeder der her refereres til, er de billeder som dække det område der ønske opmålt.

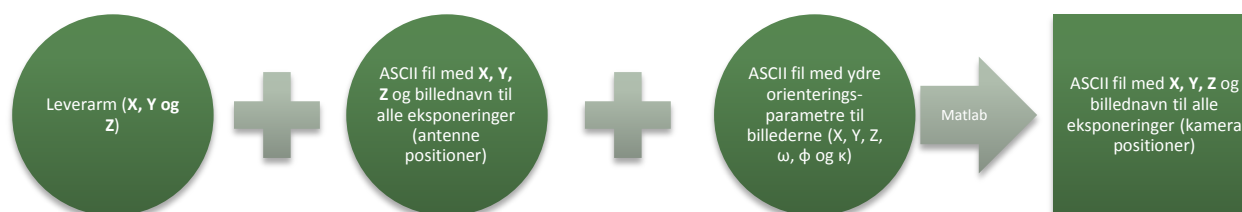
Den foreløbige orientering foretages ved at indlæse og orientere billederne relativt vha.

SmartPoints. Herefter indlæses de interpolerede antennepositioner, og de relativt orienteret kamerastationer, absolut orienteres nu efter disse. Denne orientering vil ikke være korrekt, da

antennepositionerne anvendes som projektionscentre, men den vil være tilstrækkelig til at beregne orienteringen af hvert enkelt billede med henblik på de tre rotationer. Teoretisk set er det nok med tre GPS positioner for at blokken kan orienteres, men det tilstræbes at anvende omkring fem eller derover. Det er dog ikke alle kamerastationer der gives koordinater, da disse skal manuel refereres og da der ofte er anvendt over 200 billeder, er det, for at spare tid, valgt kun at referere nogle af disse.

Afslutningsvis eksporteres de ydre orienteringer til alle billederne i en ASCII-fil. Formålet med dette er at anvende denne fil direkte i MATLAB til at lave leverarmskorrektionen, se næste trin.

8.7 Trin 7 - anvendelse af leverarm



Når der er blevet eksporteret ydre orienteringer fra PhotoModeler, og selve leverarmen er blevet beregnet, er det muligt at korrigere hvert enkelt antennekoordinat for den dertilhørende leverarm. Dette gøres med udgangspunkt i disse tre elementer:

- Post-processerede GPS antenne positioner
- Leverarm beregnet på baggrund af tilbageskæring
- Orienteringer til hver enkelt billede beregnet i PhotoModeler

Måden hvorpå dette foregår, rent praktisk, er ved at tage én antenneposition og fratække leverarmen, efter at leverarmen er blevet roteret, jf. de rotationer som er beregnet i PhotoModeler til billedet. Dette gøres for alle antennepositionerne. Afsnit 7, Teori "Leverarm" beskriver den anvendte teori.

Da denne operation er blevet udført mange gange i løbet af projektet, er der udarbejdet en MATLAB funktion, "use_leverarm.m", se Bilag 11, som har til formål at gøre dette. Et typisk kald kunne se således ud:

```
cam_pos=use_leverarm(leverarm,'fil fra PhotoModeler','fil fra timematch',savefile)
```

Hvor

leverarm	3x1 vektor indeholdende leverarmen
fil fra PhotoModeler	PhotoModeler-fil indeholdende; "X, Y, Z, ω, φ, κ, billednavn"
fil fra timematch	Fil fra timematch indeholdende; "X, Y, Z, billednavn"
savefile	Skal der gemmes en resultatfil? "0"=nej "1"=ja

Når denne operation er udført, er alle de absolutte koordinater til billederne beregnet. Næste skridt er herefter at anvende disse koordinater i en endelig absolut orientering. Dette gøres i trin 8. Et eksempel på den fil der ligger til grund for denne afsluttende absolutte orientering kan ses her:

Billede, N, E, H
img_4084 712764.337 6181302.869 35.630
img_4085 712764.292 6181302.596 35.660
img_4086 712764.234 6181302.354 35.672
img_4087 712764.202 6181302.065 35.676

8.8 Trin 8 - endelig absolut orientering



Skridtene i den endelige absolutte orientering, minder i høj grad om de skridt som blev udført tidligere i "foreløbig absolut orientering" (trin 6). Dog er det nu de leverarms korrigerede GPS-koordinaterne der anvendes til at absolut orientere blokken. Rent arbejdsgangsmæssigt er det muligt at genanvende den relative orientering, og blot give kamerastationerne de nye absolutte koordinater. Ved denne endelige absolutte orientering, koordinatgives alle kamerastationerne i blokken. PhotoModeler laver herefter en transformation således at blokken bliver placeret bedst muligt i forhold til de givne kamerastationskoordinater.

Der kan argumenteres for, at den foreløbige orientering som laves i trin 6 er ukorrekt, og at dette vil have indflydelse på den endelige absolutte orientering, der bliver beregnet. Da det kun er rotationerne der benyttes fra denne foreløbige orientering er det dog minimalt hvor meget dette betyder. Rotationer er desuden bestemt på baggrund af de mange Smartpoints, som binder modellen sammen, og forudsat at denne sammenknytning er gået godt, vil rotationerne ikke kunne ændre sig meget. Der kunne dog indføres en iterativ proces hvor den endelige absolutte orientering (trin 8), benyttes til at beregne nye foreløbige værdier (trin 6), som herefter blev leverarms korrigeret (trin 7) og som herefter igen blev anvendt i en ny udjævning (trin 8).

Når dette er udført, er alle billederne tildelt en ydre orientering, og det er herefter muligt direkte i PhotoModeler, at koordinatgive objekter, fremstille fotogrammetriske produkter, eller eksportere orienteringer til anvendelse i andre programmer.

9 Forsøgsafsnit

Det foregående afsnit har beskrevet hvordan databehandlingen af dataen bør udføres. Denne metode er til dels udviklet på baggrund af de forsøg som er udført gennem projektet. Det følgende afsnit indeholder dokumentation for disse fem forsøg. Forsøgene er udført for at teste, samt få noget erfaring med nogle af de dele som indgår i det udviklede system. Forsøgene er udført fortløbende gennem hele projektperioden. I og med at det krævede en del teknisk arbejde at få installeret komponenterne, har det ikke været muligt at udføre forsøg med helikopteren, før sidst i projektet. Her skal det bemærkes at da helikopteren var klar til flyvning, og første testflyvning blev udført, styrtede den ned og blev totaltskadet under forsøget. For at bruge tiden så fornuftigt som muligt, valgt projektgruppen at gennemføre forsøgene i dette afsnit, uden brug af helikopter. Det vil sige at alle forsøgene er udført på jorden. Forsøgene har givet forskellige erfaringer og viden som projektgruppen har anvendt, til at udvikle det samlede system og den tilhørende beregningsmetode.

I de fleste af forsøgene er der anvendt en række kontrolpunkter. I alle forsøgende er disse etableret vha. almindelige søm, der efterfølgende er indmålt med totalstation. På baggrund af kontrolpunkterne, har projektgruppen kunnet kontrollere resultatet af de enkelte forsøg. Denne kontrol kunne også være udført ved at generere højdemodeller eller ortofoto, men da det tager en del tid at generere disse, har det været mere praktisk at udføre kontrollen vha. kontrolpunkter.

Det er valgt vedlægge de tre første forsøg som bilag til rapporten. Dette gøres da disse forsøg blev fortaget i den indledende fase af projektet, og de erfaringer som projektgruppen gjorde sig her, er efterfølgende implementeret i det fjerde forsøg. Herunder er en kort oversigt af forsøgene, hvad de omhandler og hvor de kan findes:

- Forsøg 1 "Stationært forsøg 1": En form for pilotforsøg der gav nogle erfaringer i forhold til hvordan leverarmen skulle beregnes, samt programanvendelse (Bilag 1)
 - o Billederne tages statisk
 - o Ingen anvendelse af tidsstempel
 - o GPS data overføres ikke-trådløst (med ledning)Erfaringer fra forsøg 1: Da der ikke var udført en ordentlig kamerakalibrering af det anvendte kamera, kunne der ikke konkluderes ret meget ud fra det opnåede resultat. På trods af dette, viste forsøget at den metode blev anvendt til at beregne leverarmen virkede efter hensigten. Desuden fik projektgruppen en del erfaring med den behandling som er nødvendig at foretage af den indsamlede data.
- Forsøg 2 "Kamerakalibrering": Et forsøg der gav projektgruppen en række erfaringer i forhold til at foretage kamerakalibrering i PhotoModeler (Bilag 2)
Erfaringer fra forsøg 2: Projektgruppen fik gennem dette forsøg en god forståelse for hvordan billeder til en kamerakalibrering bør tages, samt hvordan de efterfølgende skal behandles, for at en korrekt kamerakalibrering kan bestemmes.
- Forsøg 3 "Stationært forsøg 2": Dette forsøg blev udført for at forbedre resultatet af forsøg 1 (Bilag 3)
 - o Billederne tages statisk
 - o Ingen anvendelse af tidsstempel
 - o GPS data overføres ikke-trådløst (med ledning)

Erfaringer fra forsøg 3: Forsøget gav et overraskende godt resultat. Kontrolpunkterne kunne bestemmes med en spredning omkring 1 cm. Det viste sig dog, at der var flere favorable forhold der muliggjorde dette resultat. Under et mere virkelighedstro forsøg, kan det, som udgangspunkt, ikke forventes at opnå samme gode resultat.

- Forsøg 4: Et forsøg der skulle teste det samlede system. Da helikopteren på daværende tidspunkt ikke var klar, blev forsøget i stedet foretaget vha. et rullebord
 - o Billederne tages kinematisk
 - o Anvendelse af tidsstempel
 - o GPS data overføres ikke-trådløst (med ledning)
- Forsøg 5: Et forsøg der skulle undersøge forskellige problematiske forhold omkring GPS'en

Efter disse forsøg så udføres der en testflyvning, hvor erfaringerne fra disse forsøg anvendes. I denne test-flyvning anvendes følgende:

- Billederne tages kinematisk
- Anvendelse af tidsstempel
- GPS data overføres trådløst

10 Forsøg 4: Kinematisk forsøg

I de foregående forsøg er enkeltkomponenterne til det samlede orienteringssystem blevet testet. Dette forsøg går ud på at teste det samlede system. Systemet skal anvendes til at indsamle data fra henholdsvis GPS og kamera, således at disse data kan behandles og anvendes til fotogrammetrisk opgaver. Forsøget går ud på at teste systemet i sin helhed, for at se hvordan enkeltdelene spiller sammen, samt at se på hvilken nøjagtighed der kan opnås. Det system der testes minder, i så høj grad som muligt, om det der i sidste ende skal påmonteres helikopteren. Dette skulle gerne medføre at, den data der indsamles under forsøget, tilnærmelsesvis er identisk med det data der vil blive indsamlet under en flyvning.

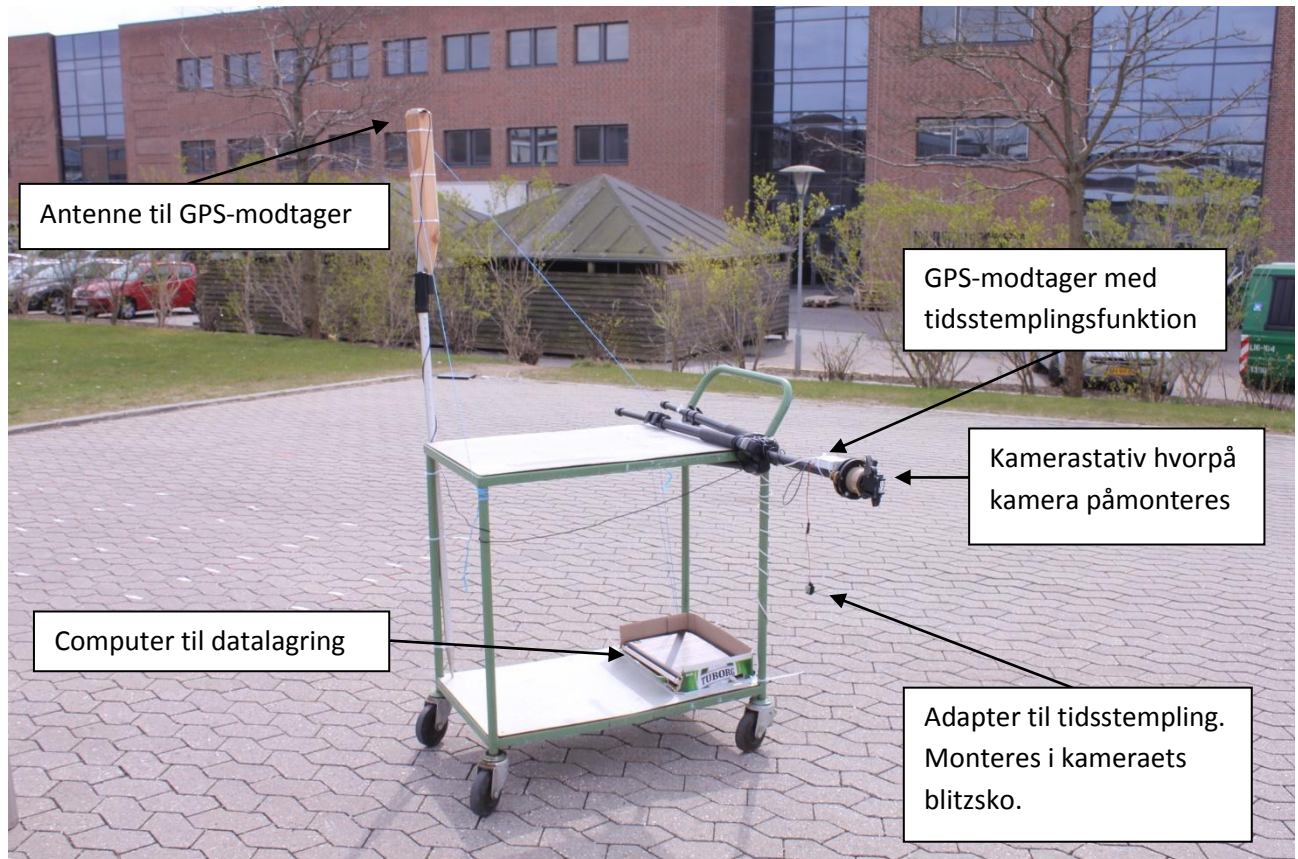
Det system der testes består af en GPS-modtager (med tidsstemplings funktion), et kamera og en computer der kan registrere og lagre GPS-positionerne løbende, samt lagre de tidsstempler som kameraet genererer hver gang der tages et billede.

10.1 Forsøgsopstilling

Til at udføre forsøget er følgende anvendt:

- Canon 550D kamera.
- u-blox EVK-6T GPS Evaluation kit.
- Hotshue adapter til tidsstempling af eksponeringstidspunkt via GPS.
- Øvelsesbane bestående af 7 linjer med 57 billeder i hver, samt 30 indmålte og koordinatsatte paspunkter (søm).

Til udførelse af dette forsøg, har projektgruppen valgt at montere komponenterne, der udgøre det samlede systemet, på et rullebord, se figur 33 herunder.



Figur 33: Rullebordet påmonteret GPS-modtager, kamerastativ samt computer til datalagring.

På bordet er kamerastativet monteret således at kameraet hænger ud over siden i ca. én meters højde. Antennen til GPS'en er monteret på en høj stok, således at denne under hele forsøget har frit udsyn. Vektoren mellem kamera og GPS-modtager er ved dette forsøg større end den vil være på helikopteren. Længden af denne vektor er ikke så afgørende, da selve vektoren bliver bestemt gennem leverarms beregningerne. Til opsamling af data anvendes en computer, der via USB-kabel har forbindelse til GPS-modtageren. Gennem EVK-6T registreres både GPS-positionerne, samt tidsstempler fra kameraet.

Den øvelsesbane der er konstrueret til forsøget består af 7 linjer. Langs med disse linjer skal der tages billeder således af der opnås minimum 60 % længdeoverlap mellem billederne. Linjerne er desuden placeret så der minimum opnås 20 % sideoverlap i billederne. Under forsøget var kameraet placeret ca. 1 meter over jorden. Dette betyder at der vil komme mange billeder med kort afstand mellem, forudsat at der holdes en lav hastighed ved udførelsen.

På øvelsesbanen er der placeret 30 søm som skal fungere som kontrolpunkter. Disse er målt med totalstation og koordinatsat efter RTK-målte fixpunkter. Øvelsesbanen er relativ stor og består af 7x57billeder, hvilket betyder at der i alt kommer til at indgå 399 billeder i forsøget. Det er bevidst valg at lave en øvelsesbane der vil give mange billeder til den efterfølgende databehandling, således at dette kan sammenlignes med en "rigtig flyvning".

10.2 Metode

For at sikre at den efterfølgende databehandling forløber korrekt, laves der som det første en kamerakalibrering. Inden der tages billeder til kalibrering, indstilles zoom og fokus således at billedet er skarpt. Da afstanden mellem terræn og kamera under forsøget vil være omkring 1 meter, er det også denne afstand som kameraet indstilles og kalibreres efter. Ved at sætte tape på objektivet så zoom og fokus er fastholdt, sikres det at indstillingerne forbliver konstante under hele forsøget, og den udførte kalibrering kan anvendes til databehandlingen.

Kalibreringen udføres på samme måde som i forsøg 2 (Bilag 2).

Inden billederne til selve forsøget tages, skal der tages billeder til at beregne leverarmen. Principperne for udregningen er de samme som i forsøg 3 (Bilag 3), dog med den markante undtagelse at der anvendes tidsstempler til at identificere positionen af billedet, frem for statistisk måling. Desuden er det valgt at begrænse antallet af billeder, der anvendes til denne beregning, til seks stk., da dette gør den efterfølgende databehandling mindre tung. Billederne bliver taget således at kameraet drejes ca. 90 grader mellem hvert billede. Dette gøres for at have en bedre mulighed for at opdage en eventuel systematisk fejl i udregningerne.

Inden billederne til forsøget optages, opsættes en GPS-modtager der skal fungere som master i den senere databehandling. Master modtageren placeres et sted hvor der så vidt muligt er frit udsyn til himlen og ingen forstyrrende elementer. Herefter startes datalagring for både master og rover modtager. De holdes begge stationært i 15 minutter for at sikre at der er data nok til at kunne initialisere.

Ved den efterfølgende databehandling viste det sig at de beregnede antennepositioner til de seks leverarms billeder var fejlbehæftet. Derfor er leverarmen ikke udregnet på baggrund af disse, men derimod på baggrund af nogle af de billeder som er taget til selve forsøget.

Efter der er indsamlet data til initialisering kan forsøget påbegyndes. De seks billeder til leverarmen tages på øvelsesbanen som blev anvendt ved forsøg 3, og efter disse er taget, køres rullebordet over til den øvelsesbane som er anlagt til Forsøg 4. Selve forsøget udføres ved at bordet rulles langs med de markerede linjer således at kameraet er centreret over linjen. Mens bordet rulles langs linjen, tages der løbende billeder. Det er forsøgt at holde et stabilt tempo under udførelsen og billederne er taget således at der er rigeligt med overlap. Der er ca. taget et billede i sekundet og dette svarer til at der er taget et billede pr. 20 cm. Det data som bliver lagret under forsøget er; fase observationer, tidsstempler til eksponeringstidspunktet samt billederne. Efter data er indsamlet skal denne behandles, således at det slutteligt er muligt at måle kontrolpunkterne i den fotogrammetriske blok. Denne databehandling har mange trin, og er meget tidskrævende de første gange den udføres. Afsnittet herunder gennemgår denne databehandling.

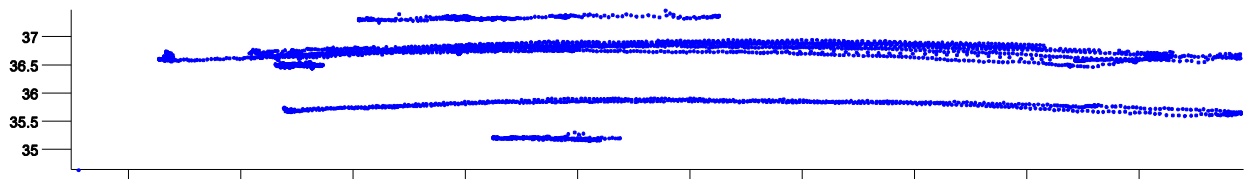
10.3 Databehandling

Under databehandlingen har der været problemer med de anvendte programmer.

Databehandlingen i sig selv, er omfattende, og de programmæssige udfordringer, har betydet at databehandling har været meget tidskrævende. I det følgende vil nogle af de ting som har givet problemer blive gennemgået, og efterfølgende vil der være en gennemgang af databehandlingen, i den form som blev anvendt i forhold til det opnåede resultat.

Forsøget er blevet udført to gange. Dette skyldes at det efter post-processering (ved første udførsel af forsøget) var muligt at se på de beregnede positioner, at der var noget galt. På dette

tidspunkt var årsagen til dette ikke afklaret, og derfor valgte projektgruppen at gentage forsøget. Umiddelbart så X- og Y-koordinaterne rigtige ud, men Z-værdien var tydeligvis påvirket af en form for fejl, se figur 34.



Figur 34: Flyvelinjerne set langs langs med Easting-aksen. Det data som kan ses på figuren er epokepositioner under hele forsøget. Der er her anvendt en EVK-4T som master, med 5 Hz. Det kan ses at der er ca. 2 m imellem flyvelinjerne, selvom testområdet er fladt.

Der blev i første omgang anvendt data fra den opstillede u-blox master. Da dette gav nogle store afvigelser, blev der i stedet benyttet data fra GPSnet. Dette blev gjort i et forsøg på at klarlægge, om fejlen kunne skyldes en fejl i det data, der var indsamlet af master modtageren. Denne var under det første forsøg placeret på jorden nær øvelsesbanen og kunne muligvis være blevet påvirket af forstyrrende elementer. Resultatet var en anelses bedre, men der var stadig tydelige fejl i data. Ud over fejlen i koten, var der flere steder hvor der var huller i det indsamlede data.

Projektgruppen valgte derfor at udføre forsøget endnu engang. Denne gang var der stor fokus på at GPS-modtagerne havde frit udsyn til satellitter under hele forsøget. Under anden gennemførelse af forsøget, blev master modtageren derfor placeret på taget af en højere bygning.

Under databehandlingen af dette forsøg, opdagede projektgruppen, at det program der anvendes til at post-processere GPS-data med, havde en fejl. Det program der i starten af projektet blev anvendt var Trimble Geomatics Office (TGO). En fejl i "WAVE baseline processing" funktionen, gjorde at denne type data behandling ikke kunne lade sig gøre.

" On September 14th, 2011, it was discovered that the WAVE baseline processor in Trimble Geomatics Office (TGO) and GPSurvey could not process GPS observations collected on or after that date. The failure in the WAVE processor was not anticipated due to the fact that both products had been discontinued (TGO was discontinued on 31 December 2010). The exact cause of the failure is unknown. The problem is limited to the WAVE baseline processor and does not affect TGO's ability to import and process other data such as RTK vectors and optical measurements." (Trimble 1, 2012)

Det er netop denne funktion som projektgruppen bruger, og da der ikke er lavet nogle løsninger på problemet, må et alternativt program findes. Her faldt valget på Trimbles alternativ til TGO, hvilket er Trimble Business Center (TBC). TBC kan umiddelbart post-processere GPS-data, dog skal man være opmærksom på problemstillingen omkring de halve bølgelængder, som er nævnt i afsnit 7, Teori.

Grunden til at disse programmer er valgt, skyldes i høj grad projektgruppens samarbejde med GEOteam, som er de danske forhandlere af Trimble udstyr i Danmark. Dette samarbejde har banet vejen for at projektgruppen har kunne få de nødvendige licenser til programmerne. Under databehandlingen af det data der blev indsamlet under anden gennemførelse af forsøget,

viste der sig også problemer. Igen var der en tydelig fejl i Z-koordinaten, til de observerede punkter. Fejlen var dog ikke så markant, som ved første gang forsøget blev udført, og var hovedsageligt begrænset til det område hvor leverarmen skulle beregnes.

For at løse dette problem, er det valgt at beregne leverarmen, i forhold til de tre første linjer på selve øvelsesbanen. Dette betyder at det kun er data fra de fire sidste linjer, som anvendes til at beregne resultatet af forsøg 4.

Den sidste problemstilling som projektgruppen har oplevet under databehandlingen er, at programmet PhotoModeler, som anvendes til den fotogrammetriske del af databehandlingen, har haft svært ved at håndtere det store antal billeder. Løsning har været at dele denne behandling op i to, således at der først behandles billeder fra de første tre linjer, og herefter fra de fire sidste.

De ovennævnte udfordringer har betydet at databehandlingen af dette forsøg, har været meget tidskrævende og at det flere gange har været nødvendigt at lave beregningerne om. I det følgende vil den databehandling, som er fortaget, blive gennemgået.

Herunder er de trin som er udført i forbindelse med databehandlingen af forsøg 4 opstillet. I parentes er navnet på det program som er anvendt til at udføre handlingen:

- Kamerakalibrering (PhotoModeler)
- Konvertering af ubx til RINEX (TEQC)
- Post processing (Trimble Business Center)
- Interpolation for at finde billedpositionerne (MATLAB)
- Sammenkobling af billedepositioner og billeder (MATLAB)
- Leverarmsberegning (PhotoModeler og MATLAB)
- Relativ orientering af billeder vha. SmartPoints (PhotoModeler)
- Absolut orientering af forsøgsbillederne vha. enkelte positioner til GPS-antennen. *Ikke leverarms korrigeret* (PhotoModeler)
- Omega, Phi og Kappa eksporteres (PhotoModeler)
- Leverarms korrektion giver XYZ-koordinat til billedernes projektionscenter (MATLAB)
- Absolutte koordinater til kamerastationerne knyttes til billederne. *Leverarms korrigerede* (PhotoModeler)
- Kontrol punkter måles i billederne og koordinatliste eksporteres (PhotoModeler)
- Differencer mellem kontrolpunkter målt med totalstation og målt i billeder kontrolleres (MATLAB)
- Differencer mellem kamerastationer orienteret med hhv. GPS og paspunkter kontrolleres (MATLAB)

10.4 Resultater

Dette resultats afsnit vil være mærket af at post processingen ikke forløb optimalt. Den ønskede nøjagtighed blev derfor ikke opnået. Alligevel beskrives de opnåede resultater, for på den måde at analysere problemet, og videreføre erfaringerne til de efterfølgende forsøg. Der bliver i dette afsnit lavet 2 sammenligninger. Disse sammenligninger giver en indikation af størrelse på de fejl som overskyggede forsøget, samt en forklaring på hvad disse fejl kan skyldes.

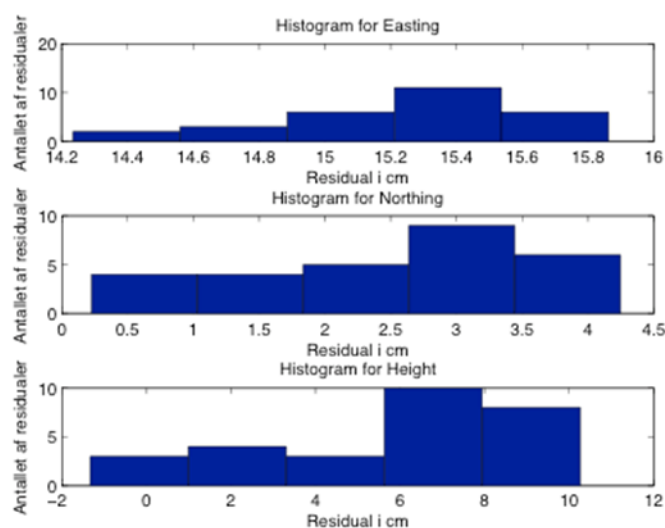
10.4.1 Del 1

Første del af denne evaluering går på at sammenligne kontrolpunkternes placering, henholdsvis i den fotogrammetriske model og i virkeligheden. Denne sammenligning vil kunne vurdere hvor godt det er lykkedes at absolut orientere den GPS-orienterede model. Da de totalstationsmålte kontrolpunkters koordinater, har en nøjagtighed inden for nogle centimeter, menes disse at kunne udgøre et godt sammenligningsgrundlag med de koordinater som måles i den fotogrammetriske model. Dette gøres ved at lave en sammenligning af følgende:

- Koordinater til kontrolpunkter (søm) målt i den fotogrammetrisk model, der er orienteret gennem GPS observationerne.
- Koordinater til kontrolpunkter (søm) målt af totalstation (totalstation er orienteret gennem RTK-GPS)

Der indgår i alt 28 kontrolpunkter i sammenligningen, og på figur 35 herunder, kan fordelingen af residualerne ses:

Observationer=28	Easting	Northing	Height
Gennemsnit	15,2 cm	2,5 cm	5,8 cm
Spredning	0,4 cm	1,2 cm	3,2 cm



Figur 35: Residualerne for de 28 kontrolpunkter. Der er lavet et histogram for Easting, Northing og Height.

Som det kan ses på histogrammet, er der en systematisk flytning på alle punkterne i E-retningen. Denne flytning ligger i gennemsnit omkring 15,2 cm. Flytningerne i de to andre retninger er knap så markante, men der er alligevel en tydelig tendens. Denne flytning kan som udgangspunkt, hvis menneskelige og metodiske fejl udelukkes, skyldes to åbenlyse fejl:

- leverarmen er blevet bestemt forkert, og derfor er GPS positionerne blevet korrigeret forkert
- der er en fejl på positioner som er blevet beregnet på baggrund af GPS observationerne og derfor ligger de forkert ift. de kontrolpunkter (målt med RTK) som der sammenlignes med.

For at kunne bestemme hvilken af disse årsagen det er der bevirker de fundne afvigelser, bliver leverarmskorrektionen undersøgt. Dette sker i følgende afsnit.

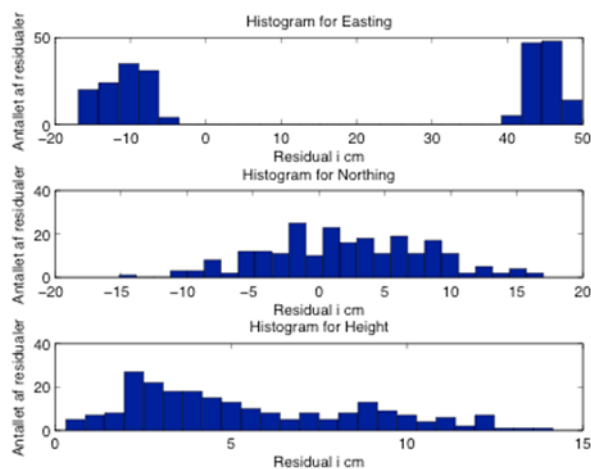
10.4.2 Del 2

Anden del af denne evaluering går på at undersøge om leverarmskorrigeringen af de interpolerede kamerastationer er forløbet godt. Dette gøres ved at lave en sammenligning af følgende:

- Koordinater til leverarmskorrigerede kamerastationer orienteret ud fra GPS-observationer
- Koordinater til kamerastationer orienteret ud fra kontrolpunkter målt med totalstation

Orienteres kamerastationerne ud fra de kontrolpunkter som er indmålt med totalstation, kan disse koordinaterne til disse kamerastationer betragtes som værende "sande". Sammenlignes disse koordinater med koordinaterne til de kamerastationer der er orienteret ud fra leverarmskorrigerede GPS-observationer, vil det være muligt at se de forskydninger, som der er mellem de enkelte kamerastationer. Residualerne af denne sammenligning kan ses i figur 36 herunder:

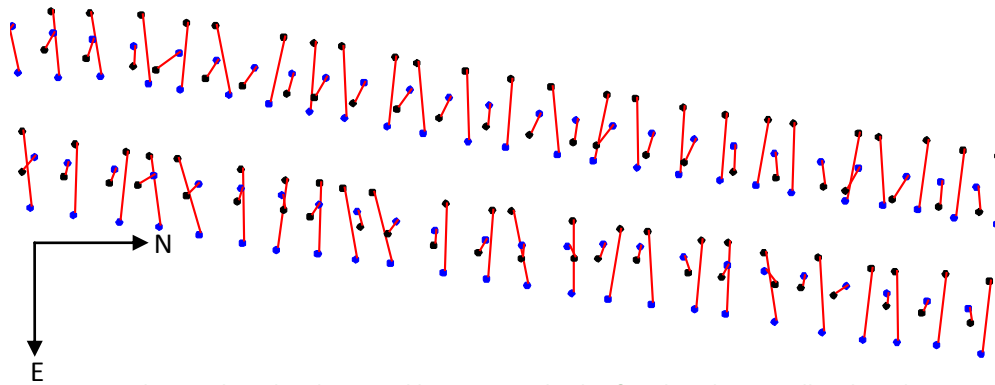
Observationer=228	Easting	Northing	Height
Gennemsnit	17,0cm	2,2cm	5,4cm
Spredning	28,0 cm	6,0cm	3,2cm



Figur 36: Residulaerne i henholdsvis E, N og H for kamerastationerne. I sammenligningen indgår alle kamerastationerne fra de fire flyvelinjer, hvilket er 228.

Det kan ses på ovenstående histogram at flytningerne i E er todelt. Halvdelen er flyttet 10 cm mod vest, og halvdelen er flyttet 45 cm mod øst. Northing er ikke så opdelt, men afvigelserne spænder alligevel imellem -15 cm og +15 cm. Afvigelserne i højden ligger kun i positiv retning, men antallet falder med størrelsen.

For at få et overblik over hvordan kamerastationerne afviger fra hinanden, er der lavet et plot, se figur 37 herunder:



Figur 37: Det kan ses hvordan der er en klar systematik i de afvigelser der er mellem koordinaterne til kamerastationerne. Disse er henholdsvis orienteret vha. GPS (de blå punkter) og vha. kontrolpunkter (det sorte punkt). Residualet (den røde vektor) mellem de to kamerastationer kan ligeledes ses. Være opmærksom på at figuren er roteret.

På ovenstående figur 37 kan residualerne ses i planet. Det er tydeligt at se at afvigelserne er meget systematiske. De sorte punkter kan anses som værende de "sande" positioner, mens den røde linje, er residualet hen til den tilhørende leverarmskorrigerede kamerastation, markeret med et blå punkt. Da der er fire linjer, og "flyveretningen" skifter ved hver anden linje, kan det umiddelbart konkluderes ud fra plottet, at flyveretningen har haft betydning for afvigelsens størrelse. En god forklaring på dette er at leverarmen ikke er bestemt korrekt. Når der "flyves" den ene vej, korrigeres der derfor for meget i easting retningen, og når der "flyves" den anden vej, korrigeres der for lidt i easting retningen ("for lidt" skal her forstås som at flytning i denne retning rykkes mod vest). Denne forkerte bestemmelse af leverarmen kan være en forklaring på det dårlige resultat i del 1.

Bestemmelsen af denne ikke-korrekte leverarm, er gjort på baggrund af en række GPS positioner der er målt på de tre første linjer af forsøgsbanen. Hvis der var en systematisk fejl på de udregnede GPS-positioner ved beregningen af leverarmen, så er leverarmen blevet bestemt tilsvarende forkert. Denne fejl bliver dermed overført til alle de "leverarms-korrigerede" positioner, men i modsat retning, afhængig af flyveretningen.

Foruden denne flyveretningsafhængige fejl, så er der umiddelbart stadig en fejl på GPS-positionerne. Dette kan ses på at residualerne ikke er entydige ens og modsatrettede.

På baggrund af det foregående kan fejlene på kontrolpunkterne fra del 1 forklares med:

1. GPS positionerne i leverarms beregningen var forskudt. Dermed blev leverarmen ikke beregnet korrekt. GPS positionerne bliver således korrigeret med en forkert leverarm, og flyveretningen har dermed indflydelse på fejlretningen
2. GPS positionerne i de fire flyvelinjer, anvendt til forsøget, er også forskudt. Denne forskydning er sammen med fejlen fra leverarmen tilsammen forklaringen på de residualer som ses i del 1.

10.5 Erfaring

Årsagen til flytningen af modellen, som blev vist i del 1, er at positionerne under selve forsøget var forskudt med følgende:

Easting	Northing	Height
15,2 cm	2,5 cm	5,8 cm

Grunden til at dette kan konkluderes, er at der under forsøget er fløjet to linjer i den ene retning, og to i den modsatte retning. Når disse fire linjer indgår i en udjævning i PhotoModeler, vil fejlen på leverarmen blive elimineret. Det skal bemærkes at dette kun gælder for den flytning som ses i X,Y-planet. Når fejlen fra leverarmen bliver korrigeret, er der kun fejlen på GPS-observationerne tilbage.

Resultaterne i dette afsnit er som udgangspunkt ret svære at tyde. Umiddelbart kan det konkluderes at målingerne fra GPS'en ikke har været af samme kvalitet som forventet, og derfor har der været nogle markante problemer.

Dette er meget overraskende for projektgruppen, og er et emne, og problemstilling, som der skal undersøges nærmere inden selve testflyvningen. Én problemstilling er hvis positionerne er forrykket under flyvningen, men hvis denne forrykning også kan skifte løbende, så bliver det problematisk. Der skal dermed laves et forsøg der undersøger dette.

Det har senere i projektet vis sig, at denne systematiske flytning skyldes, at der ikke bestemmes en korrekt initialisering ved databehandlingen af GPS-data. Dette kommer forsøg 5 nærmere ind på. Derudover så kan de spring som der blev set under forsøget skyldes at én eller flere af satellitterne skifter bitflag, således at der nu er en "half-cycle-ambiguity".

11 Forsøg 5: GPS undersøgelse

Formålet med dette forsøg er at bestemme hvor præcis en position det er muligt at opnå med EVK-6T, gennem post-processering i programmet Trimble Business Center. Tidligere forsøg har vist at der er nogle problemer, antageligt i forbindelse med databehandlingen, og det ville være interessant at kunne belyse disse gennem et mere kontrolleret forsøg. Dette forsøg vil vise hvor godt positionen bliver bestemt.

Det viser sig igennem dette forsøg at der er nogle problemer med Trimble Business Center. Derfor afprøves der andet software efterfølgende, med varierende resultater.

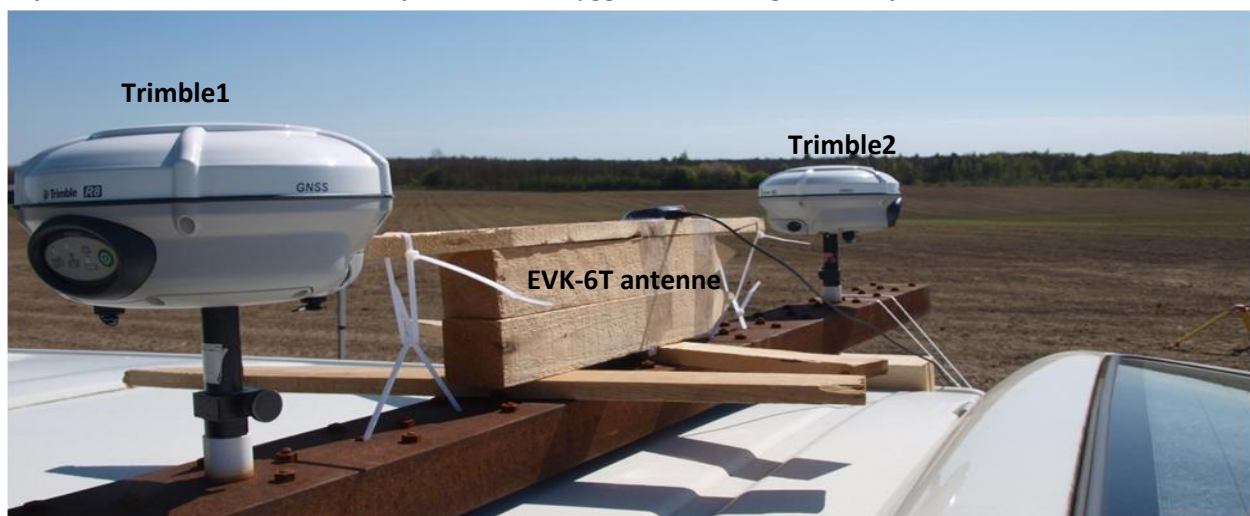
Da formålet med denne undersøgelse er at undersøge om det er muligt at få gode positioner gennem EVK-6T modtageren, er det forsøgt at gøre forholdene så gundstige som muligt. For at opnå dette er antennerne placeret på taget af en bil, og samtidigt afholdes forsøget på en markvej, uden skyggende objekter, således at GPS signalet er så godt som muligt.

11.1 Forsøgsopstilling

- 2 stk. Trimble GNSS-modtagere (placeret på hver side af rover)
- 1 stk. u-blox 6T GPS-modtager (anvendes som rover)
- 1 stk. u-blox 4T GPS-modtager (anvendes som master)
- Bjælke til montering af modtagere
- Stativ til at placere master på under forsøg

11.2 Metode

To Trimble modtagere sættes op på taget af en bil, og samtidigt sætte EVK-6T midt imellem disse. Gennemsnittet af Trimble modtagerne burde derfor ligge samme sted som EVK-6T. EVK-6T er sat så præcist i midten som det var muligt med en tommestok og tre semi-udefinerede antenne-centre. Den højdemæssige placering af fase-centeret i de to Trimble antenner er ikke undersøgt nærmere, og derfor antages det at de ligger tilnærmelsesvist "midt" i. På grund af denne tilnærmelse, kan der godt opstå mindre forskydninger, både i planet og i højden, men det anses at disse fejl bliver overskygget af andre og større fejl.



Figur 38: Billede af de 3 GNSS-modtagere. Billedet er optaget på taget af en bil, hvor hele denne opsætning er placeret.

Der er anvendt to typer referencedata til forsøget. Både fra egen master og GPSnet. GPSnet anvendes til de to Trimblemodtagere som er navngivet som Trimble1 og Trimble2 på ovenstående billede. Som egen master anvendes en opstillet EVK-4T, se billedet nedenunder. Denne master skal efterfølgende anvendes til at korrigere EVK-6T observationerne.



Figur 39: På ovenstående billede kan masterstationen ses. Antennen sidder på et stativ, og ledningen fører ned til en EVK-4T modtager. Opsamlingen af data kører igennem den viste computer, hvorpå der er installeret u-center.

På ovenstående figur 39 kan masterstationen ses. Denne er placeret på et stativ, og dataopsamlingen foregår gennem en bærbart computer. Stativet blev placeret på en nærliggende mark, hvor der ikke var skyggende objekter.



Figur 40: På dette billede kan "forsøgsopstillingen" ses. To Trimble GPS-modtagere er monteret på toppen af en bil. Mellem disse er en EVK-6T placeret.

Når alle komponenterne er sat op, gøres følgende:

- Opstart af EVK-6T, EVK-4T og de to Trimble modtagere
- 15 minutters initialition
- Der bakes 150 m af en lige vej, hvor de samme 150 m køres tilbage i fremadrettet gear (i alt 10 min)
- Når startpositionen nås, stoppes dataindsamlingen fra roveren (Master samt Trimble modtagere fortsætter måling kontinueret gennem forsøget)
- Dette gentages tre gange

11.3 Databehandling

Databehandlingen minder meget om den behandling der er foretaget ved de andre forsøg i henhold til behandling af GPS-data. Følgende er foretaget:

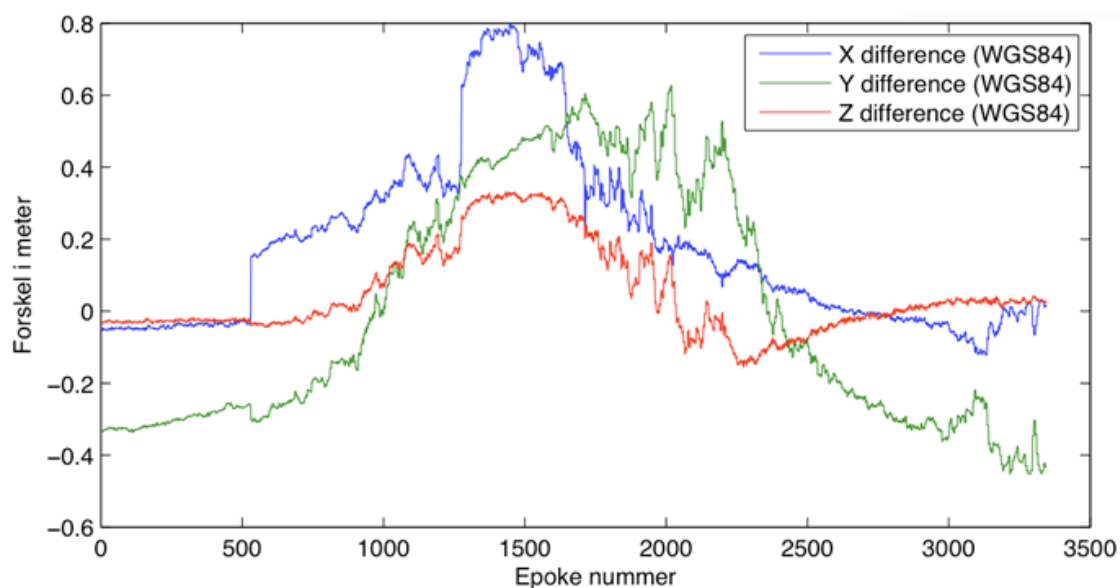
- Download af GPSnet data
- TBC behandling af Trimble (rover) data sammen med GPSnet (master)
- Beregning af den teoretiske position af u-blox modtageren
- Konvertering af ubx filer til RINEX filer
- TBC behandling af EVK-6T (rover) og EVK-4T (master) data
- Beregning af forskel imellem teoretisk rover positioner, og beregnede rover positioner.

11.4 Resultat

I dette afsnit beskrives resultatet af databehandlingen. Forskellen imellem den teoretiske rover positioner, og den faktiske position bliver vist. Den måde hvorpå forskellen imellem positionerne beregnes er ved at sammenholde epoker fra samme tidspunkt. De positioner der i første omgang sammenholdes er følgende:

- Gennemsnittet af positionerne til de to Trimble modtagere (Teoretiske position af EVK-6T)
- Positionen til den anvendte EVK-6T modtager

Data stammer fra tredje gentagelse af forsøget, og det er lagret med en frekvens på 5 Hz.



Figur 41: Afvigelse mellem imellem EVK-6T teoretiske position, og den beregnede position. Det kan ses at den samlede 3D afvigelse kommer op omkring 1 m, midt på strækningen.

Det som umiddelbart kan ses på ovenstående figur 41, er at mens roveren ikke bevæger sig (ca. til epoke 500), er afvigelsen mindst og ret stabil. På dette tidspunkt anvendes kinematisk beregning, på trods af at det reelt set er statisk. Efterfølgende (fra epoke 500) sker der først et ret stort spring i X, men også mindre spring i de to andre akse-retninger kan ses. Dette første store spring passer godt overens med det tidspunkt hvor bilen starter med at bevæge sig. Efter dette stiger fejlen, indtil den på et tidspunkt er oppe på 0,97 m (3D afstand), hvorefter den igen falder. Da bilen med modtagerne først bevæger sig væk fra initialiseringspunktet, og derefter tilbage igen, kunne det godt se ud som om der er en sammenhæng imellem afstanden til initialiseringspunktet, og fejlens størrelse.

Der kan beregnes en statisk position på baggrund af den periode hvor roveren initialiserer. Hvis denne sammenholdes med gennemsnittet af de to Trimble modtagere fås følgende afvigelse:

X difference (WGS84)	Y difference (WGS84)	Z difference (WGS84)
-0.024 m	0.009 m	0.005 m

Det kan ses at selve initialiseringen går godt, og denne stemmer fint overens med hvad de anvendte Trimble modtagere har beregnet. Noget af den samlede fejl på omkring 3cm kan godt skyldes at EVK-6T ikke ligger helt midt imellem de to Trimble modtagere, men generelt er der overensstemmelse imellem koordinaterne.

En anden ting der indikerer at selve dataindsamlingen er gået godt, er de "bit flags" der er i den RINEX-fil (Bilag 19) der genereres. Af figur 42 herunder kan det ses at der kun er en enkelt observation pr. epoke, hvortil det ikke har været muligt at bestemme et heltal. Det kan desuden ses, at "bit flags" ikke bliver påvirket af om bilen (GPS) bevæger sig eller holder stille.

<u>Inden igangsættelse, mens bilen holder stille og GPS'en initialiseres:</u>						
12	5	1	13	24	49.0000000	0 13G26G28G05G07G19G27S26G21G17G15G09G08
						G18
		-1773234.395	8	20233645.359	49.000	-617.719
		-5677045.047	8	21227072.845	48.000	620.969
		9115816.809	7	24298106.371	45.000	-3026.004
		9769851.944	5	25703981.671	35.000	-2874.122
		-50336.215	6	24711378.491	41.000	-1091.572
		-11790314.855	7	22269475.963	47.000	2933.486
		-2171522.178	27	38813629.092	42.000	617.136
		1714091.941	6	25568689.235	41.000	-1269.777
		-6836545.595	7	24876119.557	46.000	3922.602
		-11448281.418	7	21430731.474	46.000	2612.847
		-11722544.713	8	23965725.722	48.000	4406.213
		4989106.242	6	22240988.299	37.000	-2015.345
		-12133598.751	7	23919510.801	46.000	2816.712
<u>Efter igangsættelse, mens bilen køre:</u>						
12	5	1	13	35	51.8000000	0 13G26G28G05G11G19G27S26G21G17G15G09G08
						G18
		-1207419.364	8	20341315.656	48.000	-1066.689
		-5944015.995	7	21176269.068	47.000	206.589
		11162624.824	6	24687600.808	41.000	-3123.292
		-373727.319	35	25561274.394	31.000	2614.471
		815592.753	7	24876159.354	43.000	-1496.660
		-13653342.295	7	21914952.708	45.000	2706.087
		-2560563.778	27	38739604.267	42.000	576.512
		2649920.596	6	25746770.933	38.000	-1527.631
		-9389443.030	7	24390317.538	46.000	3792.988
		-13057586.301	7	21124489.586	46.000	2257.994
		-14595116.663	7	23419088.143	45.000	4277.631
		6403416.666	7	22510126.508	44.000	-2228.331
		-13874795.599	7	23588170.823	47.000	2452.518

Figur 42: De "Bit Flag" der er markeret med gul viser de observationer hvor der er bestemt "half-cycles-ambiguity". Det kan ses at der ikke umiddelbart er forskel på om GPS'en er i bevægelse, eller holder stille.

Hovedpointen der skal tages med herfra, er at der er en, til tider meget stor, fejl på de beregnede positioner. Denne fejl er ikke nødvendigvis konstant, selvom tidligere forsøg indikerede dette. Dermed kan det endeligt konkluderes at såfremt der skal opnås gode resultater med u-blox modtageren, skal der anvendes andet software, end det projektgruppen på nuværende tidspunkt har til rådighed.

Årsagen til at disse resultater fremkommer må skyldes at Trimble Business Center ikke undersøger "Squaring", som blev beskrevet tidligere i afsnit 7, Teori. Det blev først på dette tidspunkt åbentlyst for projektgruppen at "Squaring" kunne være problemet i databehandlingen. For at løse dette problem, angående manglende kompetent post-processerings software, blev alternativer undersøgt.

11.5 Afprøvelse af andre programmer

Dette er et stort problem, og for at afhjælpe det, er der blevet afprøvet en række forskellige andre programmer. Der er brugt lang tid på at finde, undersøge, og anvende de programmer som indgår i dette afsnit. Som før nævnt har det været en løbende proces under det meste af projektet at finde software som passede til opgaven. Både licensdelen, da software som anvendes til GPS processing ofte er dyrt, men også det faktum at det anvendte software skal kunne understøtte "half-cycle-wavelengths", har været en udfordring. Herunder bliver resultatet af følgende to softwarepakker undersøgt:

- RTKLIB (Takasu 2, 2010)
- Software udviklet af Peter Cederholm

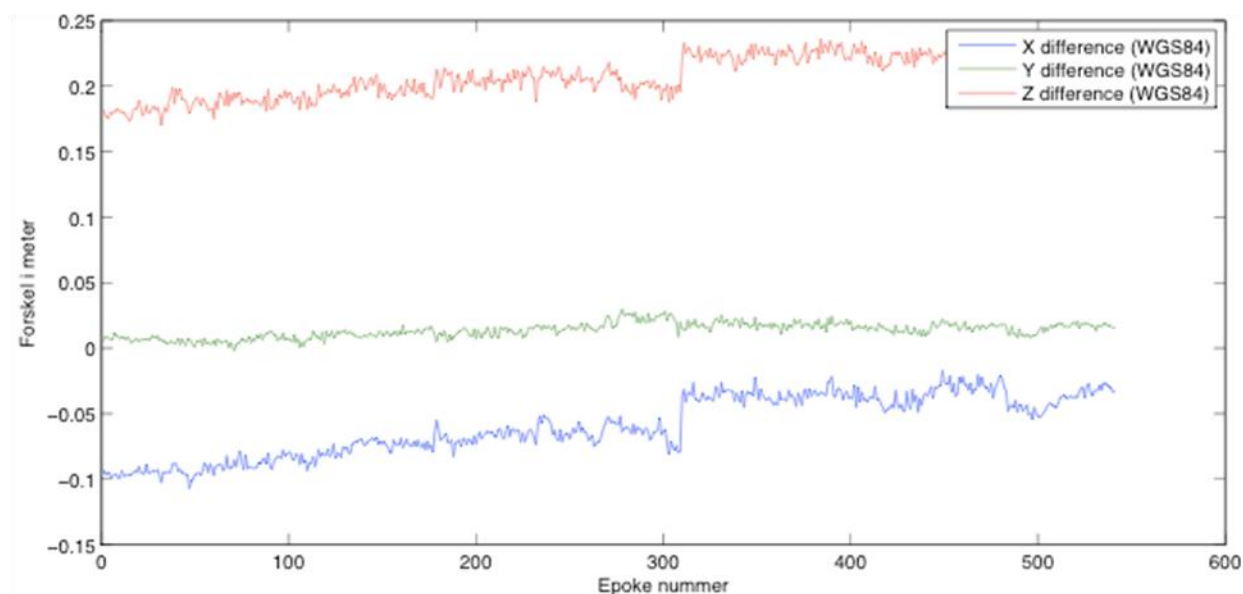
Ud over disse to stykker software, er et andet program kaldet GoGPS (goGPSproject, 2012), ligeledes blevet undersøgt. Dette stykke software fik projektgruppe dog aldrig til at virke efter hensigten.

11.5.1 Software fra Peter Cederholm

Da der var problemer med at få en tilstrækkelig nøjagtighed, tilbød projektgruppens vejleder, Peter Cederholm, at processere data med egenudviklet software. Da anvendelsen af dette software er svært for udenforstående, blev selve processeringen udført af Peter Cederholm. Denne "software pakke" vil fremover blive betegnet som PCE. Til denne processering blev anvendt følgende:

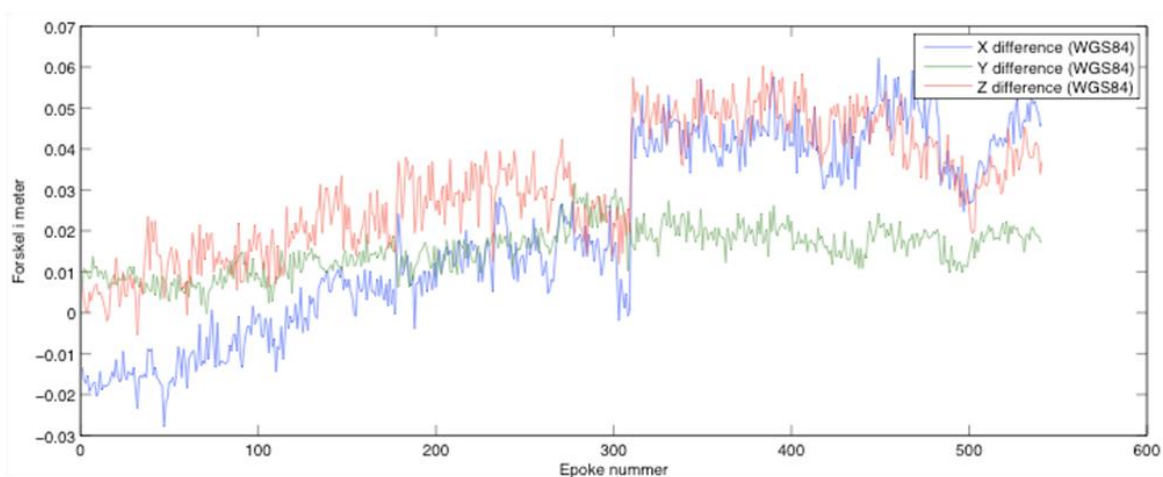
- RINEX fil fra rover (EVK-6T)
- Foreløbig koordinat til roverposition
- RINEX fil fra master (EVK-4T)
- Koordinat til master station
- Navigations fil

Herunder kan afvigelserne på positionerne, beregnet gennem PCE, ses. Afvigelserne stammer fra 10 minutters kinematisk og to minutters statisk dataindsamling. Data stammer her fra forsøgets tredje gentagelse.



Figur 43: Afvigelserne på EVK-6T positioner beregnet gennem PCE relativt til positioner beregnet ud fra to Trimble GNSS modtagere. Det skal desuden bemærkes at der ikke er fjernet cycle-slips i den kinematiske data.

Som udgangspunkt ser dette resultat markant bedre ud end det resultat som kom fra Trimble Business Center. Dog ser det ud til at initialiseringen er beregnet forkert, da der er en systematisk forrykning af positionerne. Derudover er der yderligere en "flydende" forrykning af forskydningen over perioden. Hvis der kompenseres for den forrykning som der er i starten, kommer resultatet til at se således ud:



Figur 44: Afvigelserne på EVK-6T positioner beregnet gennem PCE relativt til positioner beregnet ud fra to Trimble GNSS modtagere. Her er der dog korrigeret for den systematiske flytning som der er til at starte med.

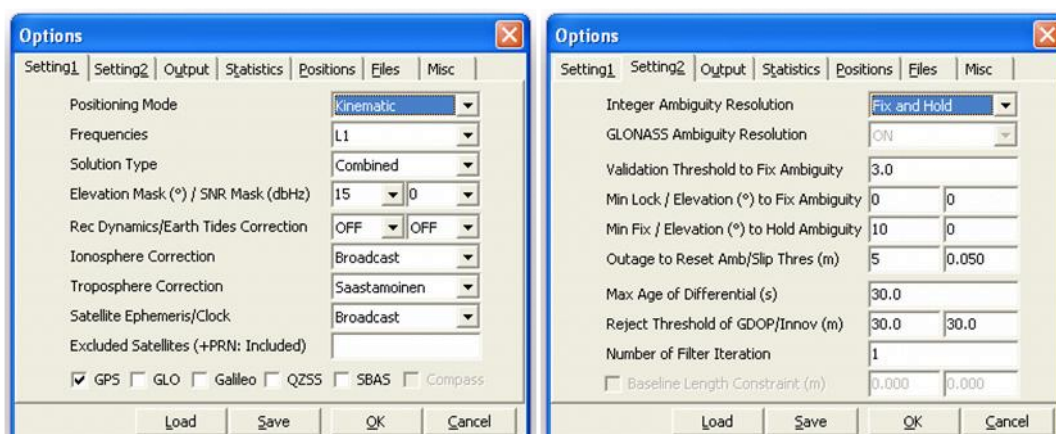
Dette resultat ville, hvis det blev opnået i en fotoflyvning, umiddelbart give tilstrækkeligt nøjagtighed, hvis det ville være muligt at korrigere for den initierende forskydning.

11.5.2 RTKLIB

Som et andet software alternativ er RTKLIB blevet afprøvet. Det er et freeware program og er udviklet af Tomoji Takasu og Akio Yasuda fra Laboratory of Satellite Navigation, Tokyo University of Marine Science and Technology.

I en artikel (Yasuda, et al., Ukendt årstal) beskriver Tomoji Takasu og Akio Yasuda de resultater som blev opnået med en EVK-4T og RTKLIB. De havde sat systemet op som RTK med en baseline på omkring 6km. Ved denne opsætning havde de igennem et forløb en initialiseringsprocent på 57 %. Deres beregningen blev foretaget kinematisk, selvom forsøget blev udført statisk. Håbet er at deres resultat kan overføres til dette projekt, selvom udførelsen her er kinematisk.

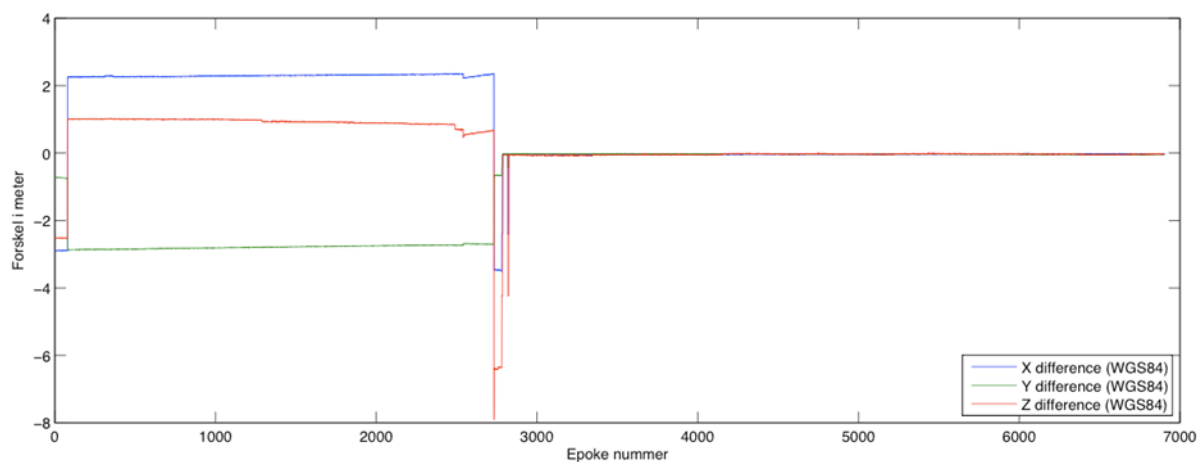
Der er blevet afprøvet en række forskellige indstillinger i RTKLIB, men det bedste resultat blev udført med følgende indstillinger:



Figur 45: Indstillinger i RTKLIB. Med disse indstillinger blev det bedste resultat opnået, hvor de vigtigste parametre var Positioning Mode: "Kinematic", Integer Ambiguity Resolution: "Fix and Hold" samt Validation Threshold to Fix Ambiguity: "3.0".

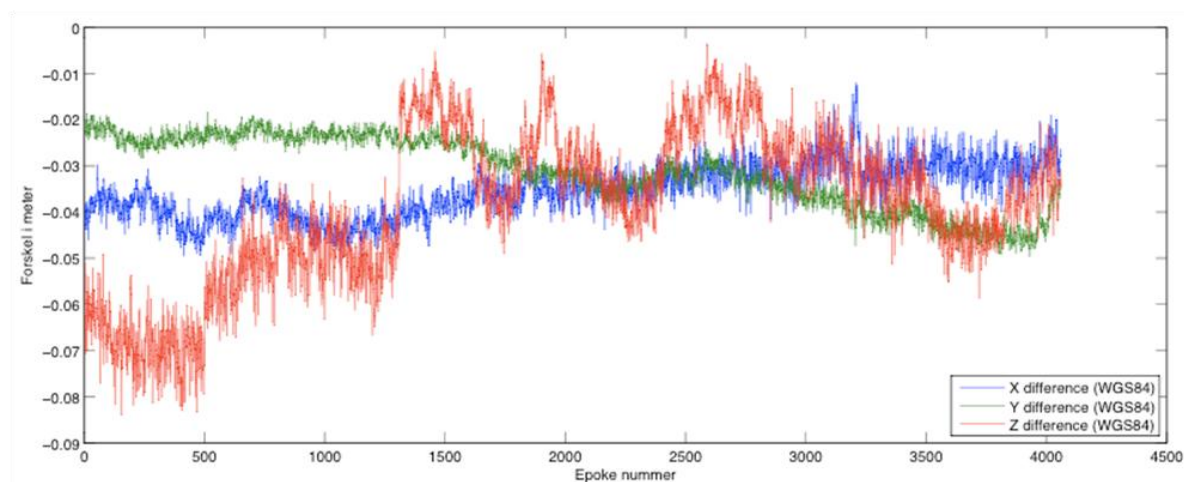
Gennem disse indstillinger var det muligt, dog kun ved et af de tre dataset, at opnå en

initialisering som passede godt overens med de anvendte Trimble modtagere. Den komplette dataperiode kan ses i nedenstående figur:



Figur 46: Afvigelsen på den beregnede position. Hele perioden er visualiseret, både starten hvor der var en ret stor afvigelse, og efter den korrekte initialisering blev opnået.

Denne periode strækker sig over ca. 7000 epoker ved 5Hz måling. Dette giver lidt over 23 minutter, hvoraf roveren står stille de første 15 minutter. Resten af perioden har roveren været i rolig og stabil bevægelse. Det som fremgår af figuren er afvigelsen fra den "sande position". Denne sande position er, ligesom tidligere, fundet ud fra de to Trimble modtagere. Det som kan ses er at den beregnede position de første ca. 2800 epoker afviger med flere meter fra den sande position, og én gang undervejs springer markant. Herefter er der omkring 4000 epoker som ligger rigtig godt. Hvis disse epoker tages ud, ser afvigelserne således ud:



Figur 47: Afvigelsen på den beregnede position. Kun den gode periode er visualiseret. Det kan ses at afvigelserne i de tre akseretninger alle er under 8cm, og for X og Y er de under 4 cm.

Det er tydeligt at der er en opnået en god position i dette tidsinterval. Positionerne ligger inden for et relativt smalt interval:

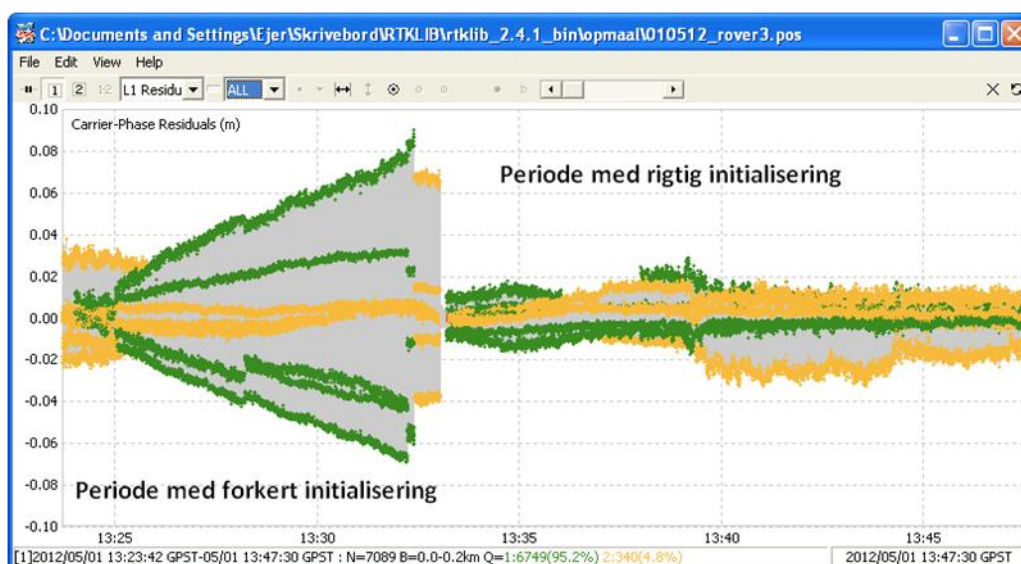
	X difference	Y difference	Z difference	3D difference
middel	-0,035 m	-0,031 m	-0,039 m	0,061 m
spredning	0,006 m	0,008 m	0,017 m	0,019 m

Figur 48: Middelfvigelse og spredningen på afvigelse. Det kan ses at middelfvigelsen er på 6,1 cm og at spredningen omkring denne værdi er på 1,9 cm.

Denne afvigelse er en kombination af flere elementer;

- Antennen er ikke placeret lige imellem de to Trimble modtagere
- Masteren er målt ind med LeicaSmartNet, og Trimble modtagerne anvender GPSnet
- Centreringsspredning på placeringen og indmålingen af master stationen
- Usikkerhed på positionen bestemt af u-blox modtageren

En anden mulighed for at evaluere resultatet er ved at se på residualerne på fase observationerne. Størrelsen af disse residualer er under en "rigtig" initialisering er et udtryk for den støj der er på observationerne, og burde være størrelsesmæssige stabile.



Figur 49: Residualplot over fase-observationerne. Dette residualplot stammer fra samme periode som de sidste to figurer. Den første del af figuren er der hvor positionerne ikke passer, og den anden del af figuren er der hvor der er blevet opnået en rigtig initialisation.

Hvis initialiseringen er "forkert", altså der er blevet bestemt et forkert antal af hele bølgelængder, vil residualerne ændres som funktion af satellitkonstellationen. Ved at se på residualplottet vil det dermed være muligt at vurdere om de beregnede positioner er korrekte, og dermed, om de vil være et godt grundlag for billedorientering.

11.6 Erfaringer

Det som kan erfares på baggrund af forsøg 5 er, at det som udgangspunkt er meget besværligt at få det anvendte hardware (EVK-6T) og det anvendte software (TBC, RTKLIB, mm.), til at beregne kinematiske positioner på centimeterniveau. Der er flere faktorer der spiller ind på at dette er så besværligt. De to helt primære grunde menes at være; Et: at der kun anvendes én frekvens til

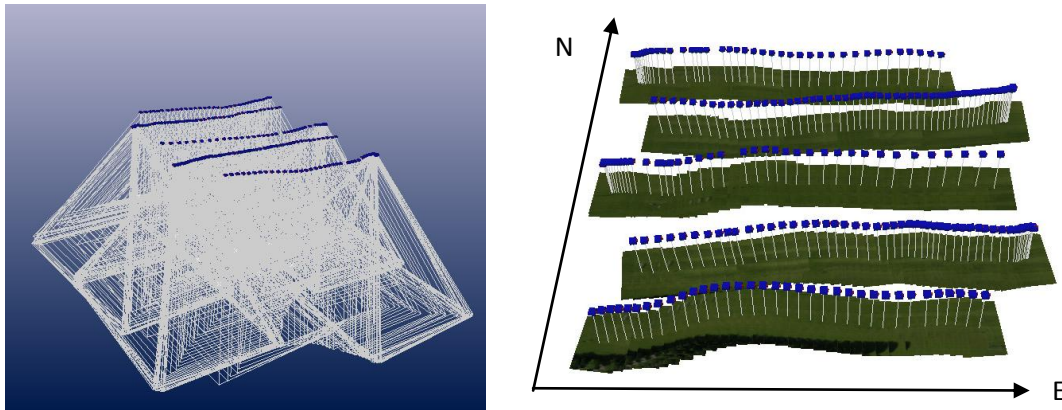
beregningerne (L1). To: at u-blox modtageren anvender squaring. Andre faktorer kan dog også have indflydelse.

På trods af at projektgruppen ikke rammer samme procentsats som producenterne, i forhold til initallisering med RTKLIB, vurderes dette program stadig som det mest brugbare. RTKLIB er det program der tilsyneladende bedst kan håndtere, at modtageren anvender squaring. Det faktum at producenterne af programmet har udført et forsøg med en u-blox-4T, indikerer at programmet er udviklet til at kunne håndtere "half-wavelength cycles", dog kan dette ikke vides med sikkerhed.

De resultater som er opnået er ikke overbevisende, men projektgruppen vil alligevel anvende dette program som det primære, i forhold til den resterende databehandling.

12 Testflyvning

Gennem forsøgene i de forrige afsnit, er der lavet forskellige undersøgelser af det system, som ønskes udviklet. Alle forsøg har været udført på jorden, med mere eller mindre fornuftige resultater. Det er yderst relevant også at teste systemet på en helikopter, da det er med dette formål for øje at systemet er udviklet. Dette afsnit omhandler en testflyvning, hvor systemet var monteret på helikopteren. Selve flyvningen blev udført præcis 14 dage inden afleveringen af projektet, og der har derfor ikke været mulighed for at forbedre resultatet, ud fra de erfaringer og resultater som denne flyvning bidrog med.



Figur 50: I alt er der anvendt 244 billeder i den viste flyvning. Den venstre figur giver en indikation af overlappet imellem billederne. Den højre figur viser roteringen af billeder, samt motiverne.

12.1 Forsøgsopstilling

Til at udføre testflyvningen, samt den dataindsamling som samtidig blev foretaget, blev følgende udstyr anvendt:

- Oktokopter
- Canon 550D
- u-blox EVK 6T
- Trimble R8, GPS
- Computer med u-center til datalagring

Forsøgsopstillingen minder i høj grad om den opstilling som er anvendt ved udførelse af forsøg 4. Denne testflyvningen er foretaget på en stor åben sportsplads. Til flyvningen er der etableret to områder. Ét område hvor der tages billeder til beregning af leverarmen, og ét område hvor der tages billeder til selve forsøget.

I området, der skal danne grundlag for beregning af leverarmen, er der udlagt fire A4 sider, hvorpå der er fem targets, se figur 51 herunder.



Figur 51: På det venstre billede ses de fire ark som skal anvendes ved beregning af leverarmen. På det højre billede ses ét af arkene. Her kan de fem targets ses samt de to søm som holder arket fast.

Den anden bane der er etableret, er til selve flyvningen. Denne består af 5 linjer med 4 targets i hver, hvor der er 15 m mellem de udlagte targets. Hensigten er at helikopteren skal følge disse linjer. De targets der er udlagt på denne bane fylder et helt A4-ark. Alle targets, både på bane til leverarmsberegning og til flyvningen, er indmålt og koordinat sat via RTK-GPS. Mellem disse to baner opstilles en Trimble R8 GPS på et stativ. Denne skal fungere som master.

12.2 Metode

Med den lille forskel at der her anvendes en helikopter i stedet for et rullebord, minder den metode, som er benyttet under flyvningen, om den der blev benyttet under forsøg 4. Der blev således både taget billeder til beregning af leverarmen samt billeder over et område med indmålte kontrolpunkter. Projektgruppen besluttede at udvide metoden, for flyvningen, en anelse i forhold til forsøg 4, for at forbedre chancerne for succes. Det betød at måden flyvningen blev foretaget på var som følger:

- Initialiseringsperiode (15 min): Både helikopteren og master forbliver stationære i denne periode
- Overflyvning af leverarmsområde (ca. 40-60 billeder): Billeder tages i 15 meters højde
- Overflyvning af testområde (ca. 250 billeder): Billederne tages i 30 meters højde
- Overflyvning af leverarmsområde (ca. 40-60 billeder): Billeder tages i 15 meters højde
- Initialiseringsperiode (15 min): Både helikopteren og master forbliver stationære i denne periode

Ved at have en initialiseringsperiode både før og efter flyvningen, håber projektgruppen på at have dobbelt så stor chance for at kunne initialisere GPS'en korrekt, ved den efterfølgende post-processering af data. Ligeledes laves overflyvningen af leverarmsområdet to gange, da dette forbedre chancerne for at indsamle noget data der kan beregne leverarmen. Da både initialisering og bestemmelse af leverarmen er helt essentielle for at opnå et godt resultat, er det valgt at udføre flyvningen på denne måde. Der er desuden anvendt en Trimble R8 GPS som master under forsøget. Denne anvendes for at have en stabil master station tæt på testområdet. Herved bliver baseline mellem master og rover meget lille. Både master og rover har indsamlet

data med en frekvens på 5 Hz under flyvningen. For yderligere at forbedre chancerne for at indsamle noget brugeligt data, blev forsøget gentaget én gang.

12.3 Databehandling

Da det var første gang systemet blev brugt på helikopteren, og dermed første gang det var muligt at kontrollere datakvaliteten under flyvningen, blev den rå data i første omgang inspicerede. Tanken var at der kunne være huller i den trådløse dataoverførsel eller forringet datakvalitet. Først blev den rå data konverteret fra ubx til RINEX. På figur 52 herunder kan et udsnit fra RINEX-filen ses, hvor to epoker, både under initialiseringsperioden, og under selve flyvning vises:

Inden "take off", mens helikopteren står på jorden og initialiseres:									
12	5	24	14	54	1.8000000	0	12G09G12G27G17S24G14G15G25G22G01S20G04		
					172156.107	8	20003615.209	49.000	-928.891
					-422120.130	8	20766582.651	48.000	1857.619
					301757.537	7	21470434.828	47.000	-1505.962
					389562.229	7	22958803.999	46.000	-1930.787
					-79494.238	26	38243440.835	39.000	310.137
					-620204.473	6	23080163.057	40.000	2786.831
					719422.304	7	23861024.423	43.000	-3434.748
					-803982.660	6	23807855.843	39.000	3673.962
					349765.179	7	24532808.177	42.000	-1737.649
					349583.349	7	25332622.801	45.000	-1745.481
					-59261.521	26	39216571.929	38.000	216.539
					-713656.269	7	24703946.773	42.000	3258.264
Efter "take off", mens helikopteren flyver:									
12	5	24	15	9	52.2000000	0	14G09G12G27G17S24G14G15G25G22G01G02G32S20G04		
					1340884.166	37	20226014.233	43.000	-1494.184
					-1953233.862	37	20475217.774	44.000	1393.112
					1902416.293	36	21775025.738	40.000	-1826.365
					2448469.688	26	23350594.835	39.000	-2355.242
					-354357.770	26	38191132.058	37.000	306.270
					-3042609.948	7	22619194.959	42.000	2340.735
					47874.927	27	24496179.380	42.000	-3534.034
					-4201127.157	36	23161396.695	39.000	3512.499
					2190196.003	26	24883029.436	36.000	-2075.630
					51865.816	35	25691941.224	33.000	-2176.890
					-525212.950	35	25756419.866	30.000	3405.109
					-214161.442	35	25782219.053	32.000	2035.817
					-256757.652	26	39178990.036	37.000	241.507

Figur 52: Udsnit af RINEX-fil. Der er ca. 15 minutter imellem de viste epoker, som har tiden 14:54:01.8 og 15:09:52.2 i GPS-tid. Den øverste af de to epoker er mens helikopteren står stille på jorden, og den anden epoke er mens helikopteren er i luften. Det som fremhæves er at kvaliteten af fase-observationerne bliver forringet under flyvningen. Her henvises til teori afsnittet for "Sqaring" og de fremhævede bitflags.

Som det kan ses i ovenstående udsnit fra en RINEX-fil, bliver kvaliteten af fase-observationer forringet betydeligt når helikopteren er i luften. I forsøg 5 kan det, af RINEX-filen, ses at der umiddelbart ikke er en sammenhæng mellem antallet af "Bit flags" når EVK-6T er i bevægelse eller når den står stille. Testflyvningen viser dog det modsatte. Årsagen til dette er ikke endeligt bestemt, men de to mest åbenlyse årsager til denne forringelse kan være:

- Antennen har ikke helt frit udsyn til himlen under selve flyvningen. Propellerne sidder relativt tæt på antennen og antennen ikke er hævet over resten af helikopteren. Når helikopteren accelererer, hælder den lidt til siden og dette kan måske også bevirke at der bliver skygget for antennen
- Det er fra LE34s side, blevet påpeget, at de elektriske motorer og de omkringliggende ledninger, kan forstyrre antennen

(se Bilag 20 for *video* af hvordan leverarmen bevæger sig når helikopteren accelererer)

Det er ikke muligt at løse dette problem inden projektets afslutning, så derfor anvendes data videre, for derigennem at se hvor godt et resultat der kan opnås. Udover dette problem, har der også været nogle mindre udfald i den trådløse datatransmission. I dette forsøg har det betydet at der er ca. 300 steder i RINEX-filen fra helikopteren hvor der mangler én eller flere epoker. Tidligere, i forsøg 5, har der været opnået gode resultater med RTKLIB. Derfor blev dette program anvendt igen, og håbet var at det ville være muligt at opnå en præcision svarende til forsøg 5. Gennem databehandlingen viste det sig dog, at RTKLIB ikke var i stand til at beregne en god initialisering, eller med andre ord, beregne det hele antal bølgelængder. Derfor valgte projektgruppen at beregne en float-løsning, i RTKLIB, da dette var den næstbedste løsning. Dette betyder at periodekonstanterne ikke afrundes til et heltal. Resten af databehandlingen blev udført ligesom i de tidligere forsøg, eller som det fremgår af Afsnit 8, Præsentation af beregningsmetode. Alt dette på samme måde som ved forsøg 4. Der må dog forventes en dårligere nøjagtighed ved denne float-løsning, end hvis der var opnået en god heltals-løsning.



Figur 53: Eksempler på billeder optaget i forbindelse med forsøget. Første billede er optaget i ca. 15m højde, og anvendes til leverarmsberegningerne. Andet og tredje billede er optaget i 30m højde, og er fra flyvningen over testområdet.

Efter databehandlingen var det i den fotogrammetriske blok muligt, at beregne koordinater til de targets som blev lagt ud i området. Disse targets kan ses i nedenstående billede:



Figur 54: Udsnit af et billede optaget 30 meter over jorden. På billedet til venstre kan der ses 6 targets. Billedkvaliteten af punkterne fremgår gennem zoom-boksene. Midt i hvert target er der én sort plet, og det er denne som er koordinatgivet. Dette er illustreret på billedet til højre. Krydset markere den billedmåling der er lavet til den sort plet.

På billedet til højre kan det ses hvilken billedkvaliteten der er, i det zoomniveau hvori kontrolpunktet er indmålt.

12.4 Post-processing gennem RTKLIB

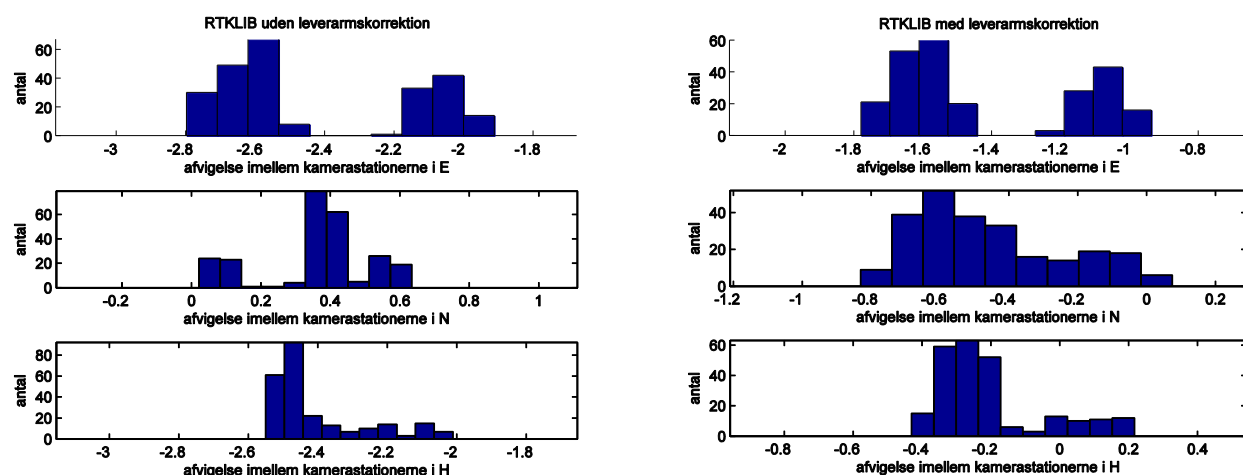
I alt blev 20 targets lagt ud i området, målt med RTK-GPS og målt i den absolut orienterede fotogrammetriske blok. I databehandlingen gik to af koordinatsættene dog tabt, så kontrollen udføres på baggrund af 18 targets. Forskellen imellem RTK-målingerne og koordinaterne fundet i den fotogrammetriske blok kan ses her. Det skal holdes for øje at løsningen er beregnet på baggrund af en float løsning:

Pkt.	E-difference	N-difference	H-difference
1	1,624 m	0,318 m	-0,007 m
2	1,636 m	0,255 m	0,007 m
3	1,648 m	0,195 m	0,026 m
4	1,513 m	0,389 m	0,018 m
5	1,546 m	0,323 m	0,063 m
6	1,570 m	0,256 m	0,095 m
7	1,571 m	0,181 m	0,116 m
8	1,448 m	0,352 m	0,099 m
9	1,490 m	0,287 m	0,128 m
10	1,512 m	0,232 m	0,169 m
11	1,519 m	0,186 m	0,240 m
12	1,373 m	0,323 m	0,177 m
13	1,404 m	0,273 m	0,214 m
14	1,437 m	0,220 m	0,267 m
15	1,458 m	0,160 m	0,293 m
16	1,389 m	0,294 m	0,183 m
17	1,385 m	0,184 m	0,298 m

Figur 55: Forskelle imellem RTK-målte kontrolpunkter, og punkter koordinatgivet i den fotogrammetriske blok.

Dette resultat skal ses i sammenhæng med at beregningen er foretaget som *float*, og at datakvaliteten er forringet. Derfor kommer det ikke umiddelbart som en overraskelse, at der er "store" afvigelser på kontrolpunkterne. Afvigelseerne er dog alligevel ret markante, og det kunne være interessant at undersøge hvor disse afvigelser kommer fra. Er det fordi at alle positionerne beregnet i RTKLIB er forskudt med næsten samme afstand, eller er forskydningen fra én kamerastation til en anden kamerastation slet ikke ens? En muliggørelse at besvare disse spørgsmål, er ved at undersøge den relative nøjagtighed, og dette gøres i det følgende.

Måden hvorpå dette gøres, er ved at orientere den fotogrammetriske blok ud fra kontrolpunkterne, hvorefter disse kamerastationskoordinater sammenlignes med de kamerastationskoordinater som er beregnet ud fra helikopterens EVK-6T GPS.



Figur 56: Den venstre figur viser hvor godt kamerastationerne passer inden leverarmsflytningen, og den højre del viser hvor godt kamerastationerne passer efter leverarmsflytningen. Det kan ses at kamerastationerne beregnet gennem GPS ikke passer særligt godt, og afviger med flere meter.

Inden leverarms-korrektionen (venstre figur), er der, hovedsageligt i E og H, meget store forskelle imellem de to beregnede positioner. Middelforskellen ligger omkring -2,4 m i både E og H. 3D-afstanden imellem antennen og kameraet er omkring 0,3 m.

Når der korrigeres for leverarmen (som er beregnet på baggrund af tvivlsomme GPS-positioner, og dermed ligeledes er bestemt inden for et par meter), fjernes en del af den systematiske flytning, men ikke det hele.

Det kan ses, specielt i E-retningen, at positionerne er to-delt. Dette kan ses både før og efter leverarms-korrektionen. Denne to-delning stammer højst sandsyneligt fra et ikke-repareret cycleslip. Dermed kan det konkluderes at RTKLIB ikke har været i stand til at behandle data optimalt. Dog skal det bemærkes at data har mange bitflags med 3-taller, hvilket indikerer at der kan være mange cycle slips. Se evt. afsnit 7, Teori.

Kamerastationerne orienteret gennem GPS afviger markant fra "de sande kamerastationer" som er orienteret gennem kontrolpunkterne. Der er efterhånden mange faktorer som kan have haft indflydelse på dette resultat, men hovedpointen er at det ikke har været muligt at få post-processeret de indsamlede fase-observationer optimalt. Denne suboptimale post-processing har bevirket at leverarmen er blevet bestemt inden for et par meter (i stedet for et par centimeter). Effekten heraf kan ses i forsøg 4. Ligeledes er de interpolerede antennekoordinater, inden leverarmskorrektionen også blevet bestemt inden for et par meter, hver især. Dette har bevirket at punkterne på jorden fik en middelflytning på (1,50 m 0,25 m 0,15 m).

Den relative nøjagtighed beregnet på baggrund af ovenstående histogram, hvor der ikke har været udført leverarms korrektion. Værdierne i histogrammet reduceres til middel, og herefter beregnes spredningen af disse, som vist i figur 57 herunder:

Spredning på E	Spredning på N	Spredning på H	3D spredning
0,282 m	0,159 m	0,139 m	0,352 m

Figur 57: Den relative nøjagtighed på kamerastationer beregnet gennem GPS. Denne spredning er så stor at det kan antages at der har været ukorrigerede cycleslips.

Denne spredning er større end hvad der kan forventes ved fase måling, og dette kan tyde på at der har været ét eller flere ikke-reparerede cycle slips, hvilket også kan ses i histogrammet ovenfor.

12.4.1 Opsamling på RTKLIB

Årsagen til at de indsamlede fase-observationer ikke blev processeret korrekt, kan skyldes flere elementer, hvoraf alle er blevet beskrevet tidligere i rapporten. I forsøg 5 blev det undersøgt om RTKLIB var egnet til at behandle det data som bliver indsamlet i dette projekt. I én ud af tre dataindsamlinger var det, i forsøg 5, muligt at behandle data korrekt, og derigennem få positioner med nogle centimeters nøjagtighed. Håbet var at dette kunne gentages i den endelige flyvning med systemet.

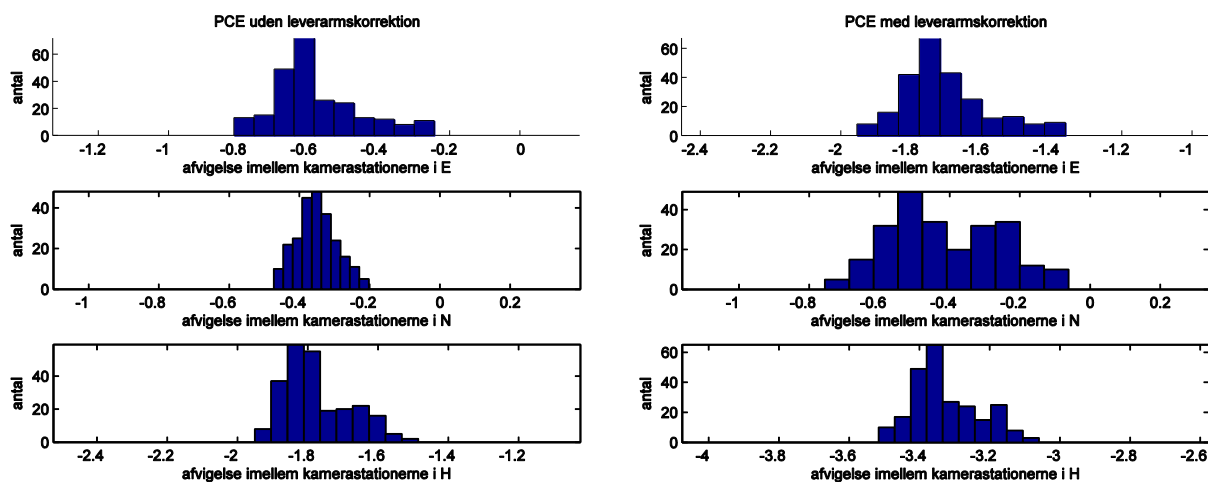
Dette var dog ikke tilfældet. Det kan skyldes at RTKLIB, som antydtes i forsøg 5, ikke er i stand til at producere stabile resultater med de komponenter som anvendes "Squaring". En anden årsag til at resultatet blev som det gjorde kunne være at den indsamlede data var af forringet kvalitet relativt til de tidligere forsøg. Enten fordi der blev "skygget" for antennen, eller fordi antennen blev forstyrret af elektronikken.

Det skal dog bemærkes at forsøget ikke har været helt forgæves. Det blev vist at selve metoden, og enkeltkomponenterne, fungerede som håbet. Det har været muligt at tidsstemple billederne, anvende disse tidsstempler til at interpolere positioner. Det har også været muligt at udvikle en metode til at beregne leverarmen, og efterfølgende omregne antennepositionerne til kamerapositioner. Det har været muligt at anvende disse kamerapositioner i en fotogrammetrisk blok, således at alle de optagede billeder får tildelt en ydre orientering.

At post-processeringen ikke er forløbet helt som håbet, er derfor måske det eneste som mangler at blive løst før det udviklede system kan anvendes til at løse kortlægnings og landmålingsopgaver fremover. Måske vil dette kræve en anden GNSS-modtager, men måske er det nok at løse problemet med den forringede datakvalitet, og samtidigt undersøge mulighederne for anden software.

12.5 Post-processering ved PCE

Resultatet, beregnet i RTKLIB, fra sidste afsnit, var ikke så godt som håbet. Derfor afprøves programmet PCE igen, ligesom ved forsøg 5, til post-processering. Dette giver dermed nye positioner til epokerne, men alt andet databehandling udføres ligesom da positionerne fra RTKLIB blev anvendt. Dermed fås der nye positioner til antennen (før leverarms korrektion) og nye positioner til projektiionscenteret (efter leverarms korrektion). For at vurdere kvaliteten af disse positioner holdes de, ligesom i sidste afsnit, op imod de beregnede kamerastationer fra PhotoModeler. Dermed kan følgende to histogramset beregnes:



Figur 58: Til venstre ses forskellen før leverarms-korrektionen, og til højre ses forskellen efter leverarms-korrektionen. Forskellen er beregnet imellem kamerastationer beregnet gennem GPS, og kamerastationer beregnet i PhotoModeler, gennem paspunkter.

Ligesom ved anvendelsen af RTKLIB, er der også en systematisk flytning ved denne databehandling. Denne flytning bliver større efter leverarmskorrektion, hvilket tyder på at leverarmen er bestemt forkert.

Én anden interessant observation der kan foretages, kan ses på den øverste figur til venstre, altså på Easting uden leverarmskorrektion. Hvis dette histogram sammenlignes med Northing (også til venstre), kan det umiddelbart vurderes at spredningen er højest i Easting. På figur 58, kan det ses at E-retningen er sammenfaldende med flyveretningen. Da der er fløjet skiftevis øst, vest, øst, vest og øst i de 5 flyvelinjer vil en interpolationsfejl, grundet tidsstempelforsinkelse, foresage at residualerne i E-retningen ville være større end residualerne i N-retningen. Årsagen til at residualerne i H-retningen også er større end i N-retningen kan skyldes en vipning af den fotogrammetriske blok.

Som beskrevet tidligere var mange af observationerne under selve flyvningen markeret med bitflag "2" eller "3". Dette betyder, ligeledes som tidligere beskrevet, at modtageren ikke har været i stand til at bestemme et heltal, for den pågældende observation.

Selvom at den absolutte nøjagtighed ikke er særlig god, og forkert med flere meter, så kan den relative nøjagtighed godt samtidigt være god. Hvis det er lykkedes at reparere alle cycle-slips, burde den relative nøjagtighed være god. Vurderingen af den relative nøjagtighed udføres ved at finde spredningen på værdierne i histogrammerne ovenfor. Der tages udgangspunkt i afvigelse uden korrektion for leverarm, da dette ellers ville tilføje en ekstra fejlkilder. Spredningen på disse værdier (i forholdt til deres middelværdi) giver dermed et udtryk for den relative nøjagtighed. Den relative nøjagtighed er beregnet til:

Spredning på E	Spredning på N	Spredning på H	3D spredning
0,123 m	0,057 m	0,094 m	0,165 m

Figur 59: Relativ nøjagtighed på de interpolerede positioner udregnet gennem PCE. Det kan i dette skema ses at den relative nøjagtighed er markant højere end den absolutte nøjagtighed beregnet tidligere.

12.5.1 Opsamling på PCE

Spredning beregnet ovenfor er høj hvis der sammenlignes med normal fase-GNSS, men hvis alle de fejlkilder som bidrager til dette resultat opstilles, kan dette resultat forklares med følgende:

- Tidsstempel med mulig forsinkelse, og efterfølgende linær interpolering
- Sammenligningen er fortaget uden korrekt leverarmskorrektion. Helikopteren pegede næsten samme vej under hele forsøget, men der har nok alligevel været et lille fejlbidrag herfra alligevel
- Der sammenlignes med kamerastationer beregnet i PhotoModeler. Hvis den fotogrammetriske blok har en forkert skala, eller er blevet roteret om én eller flere af akserne, vil det også give udslag i den relative nøjagtighed.

Ingen af disse fejlkilder er dog blevet kvantificeret, men de kan godt bidrage med flere centimeter. Den reelle relative nøjagtighed på de post-processerede positioner er derfor bedre end det som er beregnet i skemaet ovenfor. På baggrund af dette kan det derfor konkluderes at alle cycle-slips har været repareret. Selvom data var af forringet kvalitet, som skrevet tidligt i dette afsnit, har det været muligt at holde samme initialisation gennem hele flyveperioden. Den konstante forskydning, som kan ses i histogrammerne, er derfor et udtryk for at den statiske position, som blev beregnet i initialiseringen, har været forskudt. Hvis det er muligt at fjerne alle systematiske fejl i systemet, samt gøre dataindsamlingen og databehandlingen pålidelig, således at der kun er tilfælde fejl tilbage på de interpolerede kamerastationer, vil dette system kunne anvendes istedet for paspunkter. Én måde at sikre at der ikke kommer en systematisk flytning kunne være at bestemme helikopterens antenneposition absolut med en RTK GPS istedet for at lave en initialisering. Dermed kan periodekonstanterne bestemmes til denne position. Forudsat at alle efterfølgende cycle-slips bliver repareret, vil nøjagtigheden af den absolutte position blive sikret.

En alternativ måde at forbedre resultatet på, er ved anvendelse af et enkelt paspunkt. Dette forudsætter ligeledes at den data der anvendes, er fri for cycle-slips. Hvis dette er tilfældet, kan de fundne positioner transformeres på plads via dette punkt.

13 Konklusion

Gennem projektet er det blevet undersøgt, hvorledes et system kan udvikles, således at det er muligt at orientere billeder taget fra helikopteren. Det er blevet undersøgt hvilke komponenter der bør indgå, hvorledes de kan anvendes i sammenhæng, hvordan det indsamlede data bør behandles og hvilken nøjagtighed der kan opnås. Hensigten er at systemet skal kunne orientere billederne, således at de kan anvendes til fotogrammetriske opgaver, uden at der anvendes paspunkter.

Med udgangspunkt i allerede udviklede systemer, der kan anvendes ved luftbåren fotogrammetri, er det blevet undersøgt, hvilke komponenter der skal til for at et fungerende system kan udvikles. Med baggrund i disse, besluttes det at systemet skal bestå af følgende komponenter; kamera, GPS-modtager der har tidsstemplings funktion, samt et radiolink der muliggøre datatransmission fra helikopteren. Ved at forbinde kameraets blitzsko med den anvendte GPS-modtager, er det muligt at tidsstemple eksponeringsøjeblikket, for det enkelte billedet, meget nøjagtigt. Ved hjælp af de indsamlede GPS-observationer, er det efterfølgende muligt at bestemme positionen til billederne. Komponenterne er udvalgt med baggrund i to primære begrænsninger. Ét; den samlede vægt af komponenterne må ikke overstige helikopterens maksimale bæreevne. To; prisen på komponenterne skal være i et forholdsvis billigt prisleje.

Den databehandling der skal foretages for at beregne positionerne til billederne, er ganske omfattende og indeholder flere trin. Først og fremmest skal den indsamlede GPS-data behandles. Systemet er baseret på at der indsamles fase-observationer under flyvningen, og gennem post-processering kan positionerne til GPS-antennen bestemmes. Efterfølgende kan der, via interpolation, bestemmes koordinater til de tidsstempler som er indsamlet til billederne. Da GPS-antenne og kameras projektiionscenter ikke er ét og samme sted, skal de interpolerede koordinater korrigeres for denne forskel. Korrektionen foretages ved at anvende en leverarm, hvilket er en vektor der definerer den nødvendig flytning i hver af de tre akseretninger. I projektet bliver leverarmen bestemt gennem beregning. Det er nødvendigt at bestemme leverarmen hver gang der flyttes på enten kamera eller GPS-antenne.

I løbet af projektet er der udført en række forsøg, der løbende har givet projektgruppen erfaringer. Hele systemet har derved været gennemtestet inden det blev påmonteret helikopteren. Igennem disse forsøg er projektgruppen bl.a. blevet opmærksom på at det software som er brugt til post-processering, har haft meget svært ved, at bestemme en fixed heltalsløsning. Der er i projektet anvendt en GPS-modtager der anvender teknikken "squaring". Dette formodes at være hovedårsagen til mange af de problemer der har været i forhold til post-processeringen. Projektgruppen var således opmærksom på at dette kunne gå hen og blive et overskyggende problem under den testflyvning, der blev foretaget med systemet.

Resultatet af testflyvningen viser, at der er store problemer i forhold til at bestemme de korrekte GPS-positioner, specielt i RTKLIB, hvor afvigelsen er på flere meter. Dette kan delvist tilskrives softwaren, men også at den indsamlede data havde mange cycle-slips som ikke var blevet behandlet rigtigt .

Da dette resultat ikke opfyldte forhåbningerne til nøjagtigheden, blev software udviklet af projektgruppens vejleder, Peter Cederholm, også afprøvet til post-processering. Her var der også

her var en systematisk flytning på flere meter. Den relative nøjagtighed var dog markant bedre. De interpolerede kamerastationer i forholdt til kamerastationer beregnet gennem paspunkter, havde en 3D spredning på 16,5 cm. Når dette holdes op imod alle de mulige fejlkilder som bidrager til denne spredning, kan det konkluderes at det har været muligt at holde den samme initialisering gennem hele perioden. Hvis den systematiske flytning kan fjernes, eventuelt ved at indmålt antenne positionen på helikopteren inden flyvningen, kan dette måske fjerne den systematiske flytning.

14 Perspektivering

En hurtig informationssøgning på nettet, eller bare generel medieovervågning, vil undersøgte påstanden om at anvendelsen af ubemandede helikoptere er under voldsom udvikling. Denne udvikling vil både drive priserne ned, egenskaberne op og sammen med integrerede løsninger muligvis forbedre brugervenligheden samt generel anvendelighed. Som tidligere nævnt er der andre der har udviklet lignende orienteringssystemer, som det der gennem dette projekt er blevet udviklet, men disse er ikke umiddelbart tilgængelige, indenfor et fornuftigt prisleje. Da dette var tilfældet har det været nødvendigt selv at sammensætte komponenter, og derefter undersøge og teste systemet.

Denne opgave, både de indledende overvejelser, komponentudvælgelsen, sammensætningen af komponenterne og databehandlingen viste sig at være en meget omfattende opgave, hvis primære begrænsning har været de tidsmæssige ressourcer. Grundet denne tidsmæssige begrænsning, har der været flere elementer under projektforløbet som er blevet fravalgt løbende, men som alligevel har så stor relevans at efterfølgende overvejelser og undersøgelser kan være nødvendige. Her tænkes specifikt på LE34 videre udvikling af systemet. Disse vil der, i det følgende, blive perspektiveret lidt over.

Som nævnt tidligere i rapporten, tidsstempler den anvendte EVK-6T to gange for hvert billede. Dermed kommer der først en falling edge og efterfølgende en rising edge, hvor en hurtig undersøgelse viste at tidsforskellen imellem disse var omkring 15ms. Foruden denne tvetydighed vil der også være en tidsmæssig forskydning i elektronikken, hvor størrelsen ikke er kendt. En nærmere undersøgelse omkring sammenhængen imellem eksponeringstidspunkt, eksponeringsperiode og tidsstempling, samt en endelig bestemmelse af den tidsmæssige forskydning, kan være med til at forbedre nøjagtigheden af systemet. Dette kunne eventuelt beregnes ud fra et forsøg opsat på samme måde som testflyvningen, ved skiftevis flyveretning, men det kræver at alle andre fejlkilder minimeres inden.

Det blev tidligt valgt at anvende lineær interpolering. Dette skyldes at lineær interpolation var simplest og nemmest at forsvare uden yderligere undersøgelser. Der er dog flere elementer der taler for andre interpoleringsmetoder, hvor helikopterens dynamik i højere grad medtages. Ved anvendelse af naturlige splines, vil helikopterens acceleration også indgå i interpoleringen. Det giver dermed god mening at anvende splines, men først når positionerne fra GNSS-modtageren er tilpas pålidelige.

Alle de udførte forsøg, og den afsluttende flyvning, inkluderede seancer hvor leverarmen skulle bestemmes, hvilket besværliggjorde processen. Bestemmelsen var nødvendigt da leverarmen blev ændret, roteret og flyttet relativt til kameraet. Ændring af leverarmen blev udført fordi komponentet løbende blev ændret. Når leverarmen og kameraets indbyrdes placering kommer til at ligge fast, vil det være tilstrækkeligt at udføre bestemmelse én enkelt gang, og derefter anvende denne leverarm fremover. Her vil en præcisionsmåling af leverarmen med totalstation, eller måske et andet instrument, kunne overvejes. Dette vil lette arbejdsgangen betydeligt i forbindelse med arbejdsopgaver.

Den anvendte GPS, EVK-6T, er en billig og relativ brugervenlig enhed, men der har vist sig at være nogle problematiske forhold, i forbindelse med anvendelsen af observationerne fra den. Grunden til at den er billig er blandt andet at den udelukkende anvender faseobservationer fra L1 bærebølgen. Derudover anvender denne modtager en teknik der kaldes "squaring", hvilket medfører at antallet af "hele bølgelængder" nogle gange ikke er et heltal, men et heltal +/- ½. Det

er langt fra alle kommercielle softwarepakker som understøtter denne teknik, og LE34 overvejer derfor at opgradere GPS-modtageren. Der er både modtagere uden squaring samt to-frekvente modtagere inde i overvejelserne. Dette vil dog forsøge prisen på systemet betydeligt (Bilag 4). Den dyreste af de komponenter som er inde i overvejelserne er OEM615-D2S-B0G-TT0, og denne har L1, L2, GPS, GLONASS og 20 Hz raw data output. Derudover anvender den ikke squaring. Prisen er dog markant højere end den som er anvendt i projektet, \$8500. Herudover koster software til datalogging \$6500.

En afsluttende kommentar kunne gå på at den designede leverarm måske ikke placerer antennen langt nok over de omkringliggende propeller, således at signalet til tider bliver forstyrret. Dette skal der tages hånd om. I løbet af projektperioden fik projektgruppen kun en enkelt chance for at teste systemet på helikopteren. I og med at der er megen forskellig elektronik der skal fungere samtidig, er flere test hvor systemet er påmonteret helikopteren også noget der bør foretages.

Der er betydelige perspektiver i at udvikle et system til orientering af billeder, uden anvendelse af paspunkter, og et system som dette vil kunne optimere arbejdsgangen.

Anvendelsesmulighederne spænder meget bredt, både i sammenhænge hvor det ikke er muligt at anvende paspunkter, og i sammenhænge hvor placering af paspunkter vil være tidskrævende. Dermed er der motivationen for at udvikle dette system både for at optimere allerede mulige arbejdsopgaver, og muliggøre nye arbejdsopgaver. Under de arbejdsopgaver som dette system kan være med til at løse kan nævnes 3D objekt digitalisering, højdemodelsgenerering og ortofotoproduktion. Dette er meget brede arbejdsområder, som kan løse mange landmåling- og kortlægningsopgaver, hvor anvendelsen hovedsageligt bliver begrænset af den nøjagtighed som kan opnås.

Hvis det lykkes at udvikle et pålideligt, og ikke alt for dyrt, system vil det være muligt at løse forskellige kortlægnings og landmålingsopgaver hurtigere. Desuden vil dette også åbne op for opgaver som ellers ikke ville blive løst. Der kan argumenteres for at det er meget besværligt selv at udvikle sådanne systemer, men der kan være et stort økonomisk incitament for at "komme først". Dette forspring, både teknisk såvel som erfaringsmæssigt, vil måske kunne bibeholdes i mange år fremover.

15 Litteraturliste

- Borio, D. 2011.** Squaring and cross-correlation codeless tracking: analysis and generalisation. *IET Radar, Sonar and Navigation*. 2011. På cd.
- Brande-Lavridsen, O. 1993.** *Fotogrammetri, 9. Udgave*. s.l. : Aalborg Universitetscenter, 1993.
- Canon 1. 2012.** Canon U.S.A. [Online] 2012. [Cited: April 25, 2012.] På cd.
<http://www.mercateo.com/pdf/DCI/P325739.PDF>.
- Canon 2. 2012.** Canon U.S.A. [Online] Canon, 2012. [Cited: April 24, 2012.]
http://www.usa.canon.com/cusa/professional/products/lenses/ef_lens_lineup/lens_standard_poro/ef_s_18_55mm_f_3_5_5_6_is_ii#Specifications.
- Dedes, George. 2008.** GPS World. *www.GPS World.com*. [Online] Marts 2008. [Cited: Maj 16, 2012.] <http://www.gpsworld.com/tech-talk-blog/what-causes-half-cycle-ambiguities-11290>.
- Draganfly Innovations Inc. 2012.** *www.draganfly.com*. [Online] draganfly, 2012.
<http://www.draganfly.com/uav-helicopter/draganflyer-x6/applications/industrial.php>.
- Dueholm, Keld, Laurentzius, Mikkel and Jensen, Anna B.O. 2005.** *GPS, 3. Udgave*. s.l. : Ny Teknisk Forlag, 2005.
- Eos Systems Inc. 2012.** *PhotoModeler Help File*. s.l. : Eos Systems Inc., 2012. Internt Programdokument.
- goGPSproject. 2012.** *www.gogps-project.org*. [Online] goGPSproject, 2012. <http://www.gogps-project.org/>.
- Gurtner, Werner. 2007.** *RINEX The Receiver Independent Exchange Format Version 3.00*. s.l. : University of Bern, 2007. På cd.
- IATech. 2012.** IATech. [Online] 2012. [Cited: maj 6, 2012.] <http://www.iat-llc.com>.
- IGI mbH. 2008.** *AERO office Manual V5.1c*. s.l. : IGI mbH, 2008. På cd.
- Kraus, Karl. 2007.** *Photogrammetry, Geometry from Images and Laser Scans, 2nd edition*. s.l. : de Gruyter, 2007.
- Mikhail, Edward M., Bethel, James S. and McGlone, J. Chris. 2001.** *Introduction to Modern Photogrammetry*. s.l. : John Wiley & Sons, Inc, 2001.
- Nielsen, Jens. 2012.** *comon.dk. comon.dk*. [Online] Marts 5, 2012. [Cited: Maj 2012, 25.]
<http://www.comon.dk/art/214518/dansk-kinect-drone-skal-redde-dig-fra-druknedoeden>.
- NovAtel. 2011.** *www.novatel.com*. [Online] September 2011. [Cited: April 17, 2012.] På cd.
<http://www.novatel.com/assets/Documents/Papers/OEM628.pdf>.
- Pinchin, James T. 2011.** *GNSS Based Attitude Determination for Small Unmanned Aerial Vehicles*. 2011. På cd.
- Rieke, M., et al. 2011.** HIGH-PRECISION POSITIONING AND REAL-TIME DATA PROCESSING OF UAV-SYSTEMS. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII-1/C22*. 2011.
- RTKLIB. 2012.** *RTKLIB readme.txt*. 2012. Internt Programdokument.
- Simonsen, Torben R. 2012.** *elektronikbranchen.dk. elektronikbranchen.dk*. [Online] Marts 5, 2012. [Cited: Maj 25, 2012.] http://elektronikbranchen.dk/nyhed/dansk-opfinder-bag-redningsdrone-styret-med-wii-teknologi?utm_medium=email&utm_source=nyhedsbrev&utm_campaign=elektronik.
- Takasu 1, T. 2011.** *RTKLIB ver. 2.4.1 Manual*. 2011. På cd.
- Takasu 2, T. 2010.** *www.rtklib.com*. [Online] RTKLIB, 2010.
http://www.rtklib.com/rtklib_reference.htm.

- Trimble 1. 2012.** www.Trimble.com. *Trimble*. [Online] 2012.
http://www.trimble.com/support_trl.asp?Nav=Collection3651&pt=Trimble%20Geomatics%20Office%E2%84%A2.
- Trimble 2. 2012.** www.Trimble.com. [Online] Trimble, 2012.
<http://www.trimble.com/survey/trimble-business-center.aspx>.
- u-blox 1. 2012.** www.u-blox.com. [Online] 2012. På cd. http://www.u-blox.com/images/downloads/Product_Docs/EVK-6_ProductSummary_%28GPS.G6-EK-10031%29.pdf.
- u-blox 2. 2011.** www.u-blox.com. [Online] 2011. På cd. http://www.u-blox.com/images/downloads/Product_Docs/LEA-6_DataSheet_%28GPS.G6-HW-09004%29.pdf.
- u-blox 3. 2011.** www.u-blox.com. [Online] 2011. På cd. http://www.u-blox.com/images/downloads/Product_Docs/ublox6_ReceiverDescriptionProtocolSpec_%28GPS.G6-SW-10018%29.pdf.
- u-blox 4. 2012.** www.u-blox.com. [Online] u-blox, 2012. <http://www.u-blox.com/en/evaluation-tools-a-software/u-center/u-center.html>.
- u-blox 5. 2011.** *u-center user guide*. s.l. : u-blox, 2011. Internt programdokument.
- UNAVCO. 2012.** www.unavco.org. [Online] UNAVCO, 2012.
<http://facility.unavco.org/software/teqc/teqc.html>.
- Wiki. 2012.** Wiki: MikroKopter.de. *MikroKopter*. [Online] Maj 6, 2012. [Cited: Maj 20, 2012.]
<http://www.mikrokoetter.de/ucwiki/en/HexaKopter>.
- Yasuda, Akio and Takasu, T. Ukendt årstal.** *Development of the low-cost RTK-GPS receiver with an open source program package RTKLIB*. s.l. : Tokyo University of Marine Science and Technology, Ukendt årstal. På cd.
- Yuana, Xiuxiao, et al. 2009.** The application of GPS precise point positioning technology in aerial triangulation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. ISPRS, 2009, 64. På cd.

16 Appendiks- og bilagsliste

Sammen med denne rapport er der vedlagt en appendiks- og bilagsmappe. Heri er to udarbejdede appendiks, og udvalgte bilag vedlagt, og det anbefales at læseren anvender disse som supplement til rapporten, samt til uddybning af relevante emner.

Vedlagt på CD

Vedlagt på CD samt i Appendiks- og bilagsmappe

16.1 Appendiks

1. Forklaring af sammenspil imellem MATLAB funktioner, samt uddybning af beregninger
2. Uddybning af programanvendelse og instillingermuligheder

16.2 Bilag

1. Forsøg 1
2. Forsøg 2
3. Forsøg 3
4. NovAtel prisliste
5. PhotoModeler filer med ydre orienteringer
6. Diagram over elektronisk kredsløb for systemet
7. MATLAB; script til anvendelse af udarbejdede programpakke
8. MATLAB; funktion til interpolering af kamerapositioner
9. MATLAB; funktion til sammensætning af billeder og koordinater
10. MATLAB; funktion til beregning af leverarm
11. MATLAB; funktion til anvendelse af leverarm
12. MATLAB; funktion til interpolering
13. MATLAB; funktion til udlæsning af tidsstempler fra ubx-fil
14. MATLAB; funktion til udlæsning af EXIF-data
15. MATLAB; funktion til indlæsning af ASCII-fil
16. MATLAB; funktion til dannelse af 1. rotationsmatrix
17. MATLAB; funktion til dannelse af 2. rotationsmatrix
18. MATLAB; funktion til dannelse af 3. Rotationsmatrix
19. RINEX-fil fra forsøg 5, rover
20. Video der viser hvordan leverarmen bevæger sig ift. helikopteren
21. RINEX-fil fra GPSnet, master
22. MATLAB; samlet mappe med programpakke og testdata
23. MATLAB; funktion anvendt under forsøg 1 og forsøg 3
24. Kamerakalibreringsfiler
25. ubx-fil, eksempel på rådata

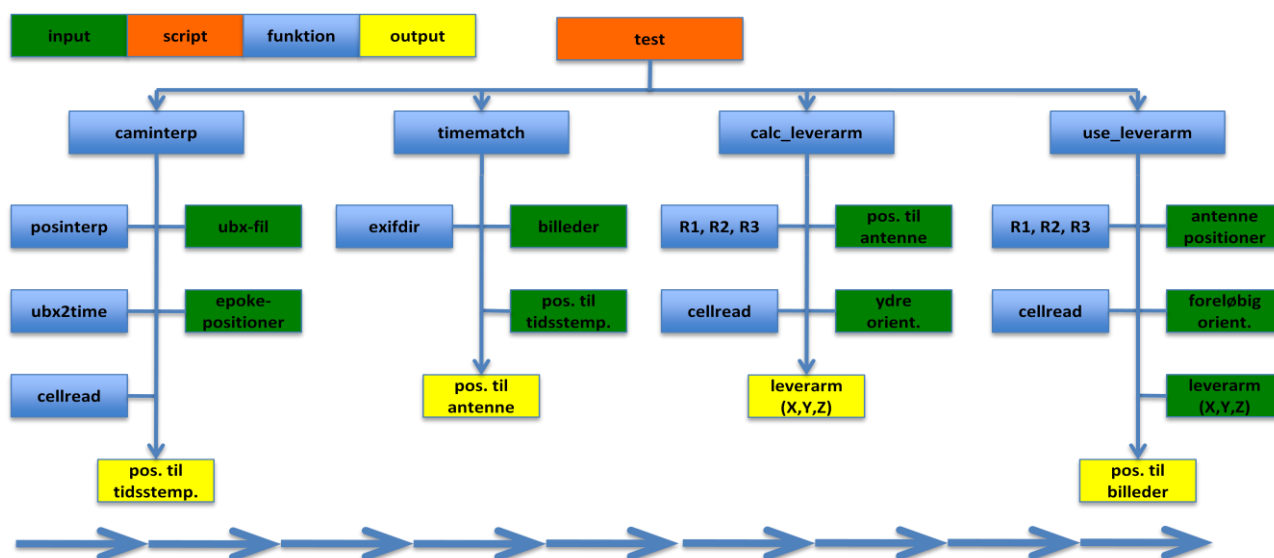
1 Indholdsfortegnelse

2	Appendiks 1	2
2.1	ubx2time.m	4
2.2	timematch.m	6
3	Appendiks 2	10
3.1	U-Center	10
3.2	TEQC	15
3.3	Trimble Business Center(TBC)	16
3.4	RTKLIB	21
3.5	PhotoModeler	26
4	Bilag 1: Forsøg 1 - stationært forsøg 1	32
4.1	Forsøgsopstilling	32
4.2	Metode	33
4.3	Databehandling	34
4.4	Resultater	35
4.5	Erfaringer	40
5	Bilag 2: Forsøg 2 - kamerakalibrering	42
5.1	Forsøgsopstilling	42
5.2	Metode	42
5.3	Databehandling	43
5.4	Resultat	43
5.5	Erfaring	44
6	Bilag 3: Forsøg 3 - stationært forsøg 2	46
6.1	Forsøgsopstilling	46
6.2	Metode	46
6.3	Databehandling	46
6.4	Resultat	47
6.5	Erfaring	48
7	Bilag 7 - bilag 14	50

2 Appendiks 1

I løbet af projektperioden er der blevet udviklet en række MATLAB funktioner, som bliver anvendt til databehandlingen. Databehandlingen indebærer alt det der sker fra billeder, GPS-observationer og tidsstempler er indsamlet, og indtil alle billederne har fået tildelt en ydre orientering. Som beskrevet i rapporten er dette en omfattende proces, hvori der indgår flere forskellige programmer, herunder MATLAB. Dette appendiks søger at beskrive og forklare sammenhængen imellem de udarbejdede MATLAB funktioner. Det er selvsagt en stor fordel hvis læseren af dette har erfaring og indsigt i MATLAB (eller alternativt anden programmering), men det er forsøgt at gøre forklaringerne så forståelige som muligt. I Bilag 22 er der en stribe testdata og MATLABfunktionerne, som med fordel kan anvendes, sideløbende med at dette afsnit læses. Der er i Bilag 22 vedlagt 11 funktioner; caminterp.m, posinterp.m, ubx2time.m, cellread.m, timematch.m, exifdir.m, calc_leverarm.m, use_leverarm.m, R1.m, R2.m, R3.m samt et script (test.m) som anvender disse. I alle de udviklede MATLAB funktioner er indledningsvis en samlet beskrivelse af scriptet, og derefter løbende forklaringer, som i MATLAB står med grønt. Derudover er der vedlagt forskellige filer (ASCII, jpg, ubx) som bliver anvendt i funktionerne, således at det er muligt teste funktionalliteten. For at afprøve det vedlagte skal brugeren åbne test.m i MATLAB og trykke RUN. Derefter bliver alle funktionerne anvendt i den ønskede rækkefølge, sammen med det vedlagte data.

Som nævnt ovenfor er der vedlagt et script, som kalder de udarbejdede funktioner. Gennem dette bliver data fra et af forsøgene i projektet anvendt. Opbygningen af beregningerne kan ses i nedenstående diagram:



Figur 1: I denne figur vises hvordan MATLAB bliver anvendt til databehandlingen. Øverst i figuren er det testdata script der kalder de anvendte funktioner. Figuren bør læses fra venstre mod højre.

Den orange kasse er et script, og bliver for nemheds skyld kaldt "test.m", da den udelukkende er medtaget således at læseren nemt kan teste de vedlagte funktioner, med det vedlagte data. De blå kasser er funktioner udarbejdet af projektgruppen. "test.m" kalder dermed 4 funktioner, og derigennem bliver der indirekte kaldt en række andre funktioner. De grønne kasser er input-data, og de gule kasser er output-data. Foruden ubx filen og selve billederne, er alt input-

/output-data i ASCII-format, og dette kan dermed læses i en teksteditor. Hver af de 4 hovedfunktioner laver en fil (output) som bliver anvendt i den efterfølgende funktion. Flere af funktionerne fylder mere end én side. En oversigt over rækkefølgen af disse funktioner er som følger:

- test.m (Bilag 7)
- caminterp.m (Bilag 8)
- timematch.m (Bilag 9)
- calc_leverarm.m (Bilag 10)
- use_leverarm.m (Bilag 11)
- posinterp.m (Bilag 12)
- ubx2time.m (Bilag 13)
- exifdir.m (Bilag 14)
- cellread.m (Bilag 15)
- R1.m (Bilag 16)
- R2.m (Bilag 17)
- R3.m (Bilag 18)

De fleste af disse funktioner anvender relativ simpel og veldokumenteret matematik, og kræver derfor ikke yderligere kommentarer end hvad der står i rapporten, og i selve funktionerne. Der er dog to af disse funktioner som afviger så meget fra det landinspektørfaglige område, at projektgruppen har valgt at komme med en yderligere uddybning i dette afsnit. Dette er følgende to funktioner:

- ubx2time.m
- timematch. m

Hvor; "ubx2time.m" udtrækker tidsstemplerne fra ubx filerne, og "timematch.m" finder ud af hvilke billeder der tilhører de interpolerede positioner. På de følgende sider kan en yderligere forklaring, end den der findes i scriptet, læses.

2.1 ubx2time.m

U-Center skal sættes op således at "time mark", eller mere præcist TM2, bliver registreret og logget i ubx filen. Når dette er gjort, og komponenterne ellers sidder rigtigt sammen, bliver tidsstempelt skrevet til filen, hver gang kameraet tager et billede. At udlæse dette data, således at tidspunkterne kan anvendes videre, har været en opgavetype som projektgruppen ikke har arbejdet med før. Derfor har tidsforbruget på at løse opgave sikkert været markant større end hvis en programmør skulle løse opgaven.

Det er muligt at få et overblik over det data som kan være i en ubx fil ved at læse "u-blox 6 Receiver Description" (u-blox 3, 2011). Her bliver både produktet og det indsamlede data beskrevet. Det relevante i denne sammenhæng kan læses på side 187-188, og et skema fra disse sider kan ses her:

37.2.1 Time mark data

Message	TIM-TM2				
Description	Time mark data				
Firmware	Supported on u-blox 6 from firmware version 6.00 up to version 7.01.				
Type	Periodic/Polled				
Comment	This message contains information for high precision time stamping / pulse counting. The delay figures and timebase given in CFG-TP are also applied to the time results output in this message.				
Message Structure	Header	ID	Length (Bytes)	Payload	Checksum
	0xB5 0x62	0x0D 0x03	28	see below	CK_A CK_B
Payload Contents:					
Byte Offset	Number Format	Scaling	Name	Unit	Description
0	U1	-	ch	time	marker channel 0 or 1
1	X1	-	flags	-	Bitmask (see graphic below)
2	U2	-	count	-	rising edge counter.
4	U2	-	wnR	-	week number of last rising edge
6	U2	-	wnF	-	week number of last falling edge
8	U4	-	towMsR	ms	tow of rising edge
12	U4	-	towSubMsR	ns	millisecond fraction of tow of rising edge in nanoseconds
16	U4	-	towMsF	ms	tow of falling edge
20	U4	-	towSubMsF	ns	millisecond fraction of tow of falling edge in nanoseconds
24	U4	-	accEst	ns	Accuracy estimate

Figur 2: Tabel til oversættelse af "TIM-TM2 message". Denne besked er 28 bytes lang, og indeholder 10 værdier, herunder; tidsstempel-tæller, GPS uge nummer, tid for rising edge og falling edge og et estimat for præcisionen (u-blox 3, 2011).

Ud fra dette skema er det muligt at se hvordan et tidsstempel ser ud, og hvordan det er opbygget. Selve beskeden (Message) er 28 bytes, og starter med værdierne (hvis data omsættes til hexadecimal) B5620D03. Dette kan ses ud fra "Header" og "ID" i ovenstående skema. Efter header og ID, kommer de værdier som beskeden indeholder.

Der er 10 værdier i skemaet ovenfor, med forskellig "Byte Offset". De elementer som bliver anvendt i dette projekt er "towMsR" (tow of rising edge) og "towSubMsR" (millisecond fraction of tow of rising edge in nanoseconds). Ugenummeret anvendes ikke, da det anslås at der ikke vil blive anvendt data som spænder over flere uger.

"Time of Week" (tow) i sekunder beregnes ved følgende:

$$\text{tow} = \text{towMsR} \cdot 10^{-3} + \text{towSubMsR} \cdot 10^{-9}$$

Da projektgruppen ikke har erfaring med anden programmering end MATLAB, anvendes dette program til at udføre konverteringen. Selve programmeringen er ikke specielt beregningseffektiv, men virker til formålet.

Da filen indeholder mange forskellige beskeder, anvendes header + ID til at identificere den besked der indeholder TM2. Derefter anvendes informationen "Byte Offset" til at finde de enkelte elementer i beskeden. Dette gøres ved at omsætte hele filen til hexadecimal, og derefter søge i denne. Når der findes et sted i filen hvor header og ID passer på denne besked så anvendes "Byte Offset" til at hive de korrekte værdier ud af filen.

2.2 timematch.m

I dette afsnit vil det blive forsøgt at beskrive hvordan timematch overordnet fungerer, ud fra et geometrisk perspektiv. Det er ikke alle mellemregninger der tages med i dette afsnit. Hvis læseren ønsker at forstå de faktiske beregninger, så henvises der til selve scriptet.

Formålet med timematch er at løse et specifikt problem. Dette problem er at koble følgende to data-sæt sammen:

- interpolerede koordinater (interpoleret ud fra tidsstempler)
- billednavne (til de billeder som er optaget under dataindsamlingen)

Det er nødvendigt at vide hvilke billeder som de interpolerede koordinater hører til, før de kan anvendes i PhotoModeler.

Gennem udlæsningen af tidspunkterne fra ubx filen kan der opsættes en 1-dimensionel tidslinje. Et eksempel på en sådan tidslinje ser således ud:



Figur 3: Eksempel på tidspunkter der ligger langs en tidslinje. Dette kunne være tidspunkter fra tidsstemplerne i ubx filen, eller det kunne være tidspunkter fra EXIF-data.

Hvert "+" er et tidspunkt. Disse tidspunkter har en meget høj absolut nøjagtighed, og en endnu højere relativ nøjagtighed. Der er muligvis en mindre forsinkelse, fra kameraet til elektronikken som laver tidsstemplerne, med ud over dette er nøjagtigheden af disse tidspunkter ekstremt god.

Ligeledes kan der også opstilles en tidslinje ud fra tiderne i EXIF-data til de optagne billeder. Da tiderne fra EXIF-data ikke har decimaler, kendes disse tidspunkter kun inden for ét halvt sekund. Dette ville ikke være et problem, hvis der kun blev taget ét billede hvert andet sekund, men dette er desværre ikke tilfældet. Nogle gange, i starten af en flyvelinje når kameraets buffer ikke er fyldt, kan der tages næsten fire billeder pr. sekund. Efter dette falder antallet af billeder pr. sekund til lige under tre. Derfor er der som udgangspunkt flere billeder til samme tidspunkt (inden for et sekund). For at ordne dette, deles tidspunkterne ud således at alle de billeder der er taget inden for samme sekund, får forskellige decimaler. F.eks. hvis fire billeder er taget kl. 14:27:30, så laves dette om til 14:27:29.6 (-0,40s), 14:27:29.85 (-0,15s), 14:27:30.15 (+0,15s) og 14:27:30.4 (+0.40s), hvor rækkefølgen kommer fra billednavnet.

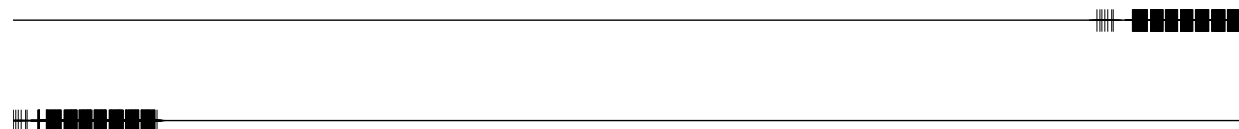
Denne tidslinje er som udgangspunkt forskudt med omkring to timer, da kameraet kører lokal tid. Men kameraet er dog ikke nødvendigvis indstillet korrekt. Dette betyder at den interne tid godt kan være flere timer forkert. Derfor er den absolutte nøjagtighed meget tvivlsom. Den relative nøjagtighed er dog markant bedre, og det er dette som udnyttes.

Hvis begge tidslinjer sættes op over hinanden kunne det se ud som vist på figur 4. Figuren dækker kun et seks minutters interval, af skalamæssige hensyn:



Figur 4: To ens tidslinjer med seks minutters forskel. Der er ingen grove fejl i dette data, og de to linjer ser dermed ens ud, bare med en forskydning.

Det data som ses ovenfor er uden fejl, hvilket i denne sammenhæng betyder at begge tidslinjer indeholder lige mange punkter. Hvis dette altid var tilfældet, ville denne opgave være markant nemmere. Her er de samme to linjer, hvor der er omkring to timers forskel:



Figur 5: To ens tidslinjer med ca. to timers forskel. Der er ingen grove fejl i dette data, og de to linjer ser dermed ens ud, bare med en forskydning.

Det kan ses at der er ret langt imellem tidspunkterne, og dette skyldes at tidsstemplerne er i GPS-tid, og kameraetiden er i lokal tid.

Hvis der korrigeres for denne tidsforskel, kommer tidspunkterne tættere på hinanden. I det følgende indføres der samtidigt nogle fejl (manglende tider på begge linjer), således at effekten af denne funktion illustreres. Der er indført flere fejl end der kommer ved en normal dataindsamling:



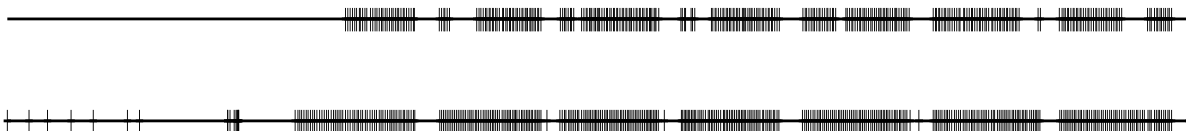
Figur 6: To tidslinjer med grove fejl, hvor der er en forskydning pga. kameraets interne tid ikke er synkroniseret med UTC.

Det kan ses at kameraets tid er forkert. Et umiddelbart gæt ud fra tidsforbruget under dette forsøg, kan anslå forskellen til omkring ti minutter.

For at lave en så robust metode som muligt til at beregne denne tidsforskel så anvendes RANSAC (RANdom SAMple Consensus). Dermed kan der være en helt arbitrær tidsforskel imellem de to tidslinjer. Ét tilfældigt tidspunkt fra den øverste linje, og ét tilfældigt tidspunkt fra den nederste linje udvælges. På baggrund af tidsforskellen imellem disse, rykkes alle punkterne fra den ene linje "på plads". Dette vil meget ofte give et forkert resultat, da der for hvert tidspunkt i den ene linje, kun er én "rigtig" fra den anden linje (nogle gange er der ingen rigtig fra den anden linje, pga. manglende data). Derfor gentages dette mange gange (se scriptet for nærmere definition af "mange gange") indtil et rigtigt sæt bliver udvalgt. Et eksempel på en forkert og en rigtig flytning kan ses her:



Figur 7: To tidslinjer der er blevet flyttet forkert. Tiden i kameraet er blevet "stillet" efter et tilfældigt punkt, men dette punkt var ikke det rigtige.



Figur 8: To tidslinjer der er blevet flyttet rigtigt. Tiden i kameraet er blevet "stillet" efter et tilfældigt punkt, og dette punkt var det rigtige. Selvom der mangler ret mange billeder i den øverste linje, så kan det godt vurderes på grupperne af krydser, at dette er sådan ca. rigtigt.

Den øverste figur viser et eksempel på en rykning som ikke var rigtigt, og den nederste viser et eksempel på en rykning som var rigtig. Dette er umiddelbart nemt at vurdere visuelt, selvom der er en hel del grove fejl. Måden hvorpå dette vurderes beregningsmæssigt er ved at undersøge hvor mange punkter fra den ene linje, hvor der fra den anden linje, er et punkt ca. samme sted. Den rykning der giver flest "par" antages at være den rigtige. Dette har vist sig at være en meget robust metode. Der har også været afprøvet andre metoder, såsom mindste kvadrater, eller mindste sum af residualer. Begge metoder har dog vist sig, ikke at nedvægte de grove fejl nok. Efter dette fjernes alle de tidspunkter som ikke har en makker:

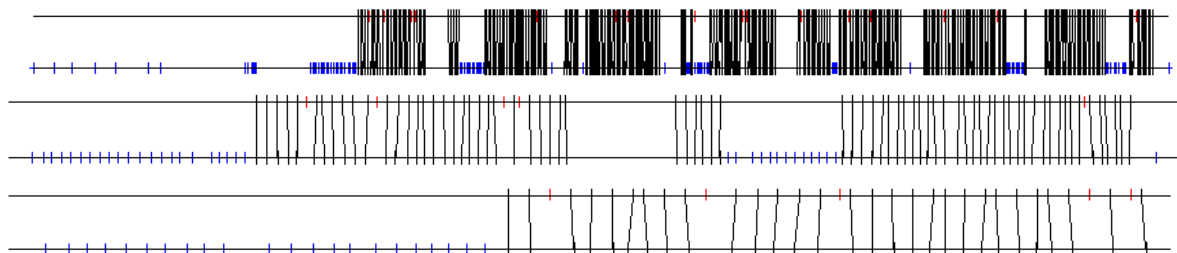


Figur 9: To tidslinjer der er blevet flyttet rigtigt indbyrdes, og hvor alle tidspunkter der ikke havde en "makker" er blevet fjernet.

Nu hvor den rigtige flytning er fundet, udføres der efterfølgende en sub-sekund justering. På baggrund af den flytning som blev fundet ovenfor, bliver tidsforskellen imellem kameraets interne tid og GPS-tid fundet. Dette gøres dog kun inden for ca. ½ sekund, da EXIF data ikke indeholder decimaler. Derfor skal der justeres yderligere inden for -0.5/+0.5 sekunder. Den rigtige flytning vurderes ud fra summen af residualerne. Det er muligt at anvende dette til at vurdere den bedste placering, da der ikke er flere grove fejl. Visuelt giver dette ca. samme billede som figuren vist ovenfor.

Nu er det muligt at forbinde de tidspunkter som hører sammen. Dette gøres ved iterativt at tage det makkerpar som ligger tættest. Dette gentages, uden tilbagelægning, indtil en tidsmæssig forskel opnås. Denne er sat til 0.75 sekunder (0.5 sekunder var ikke nok, da kameraets interne tid ikke var så stabilt).

Et eksempel på hvordan det ser ud når de sammenhørende tidspunkter forbindes kan ses på figur 10 herunder. Der hvor der mangler et billede er der sat en blå streg, og der hvor der mangler et tidsstempel er der sat en rød streg:



Figur 10: Sammenknytning af billeder. Alle de steder hvor to tider er blevet knyttet sammen, så er der en lodret sort linje. De grove fejl som tidligere er blevet frasorteret er her vist. Tidsstempel uden billede et blå, og billede uden tidsstempel er rødt.

Den øverste af figurerne er den samlede periode, men det kan være svært at se hvad der sker i dette "zoom niveau". Derfor er en del af figuren valgt ud, og udsnittet kan ses på figuren i midten. På den midterste figur der er 5 billeder som mangler et tidsstempl, og disse billeder er markeret med rødt. På samme figur er der 34 billeder tidsstempler som mangler et billede, og disse tidsstempler er markeret med blå. De steder hvor der er en lodret sort streg, så bliver "billednavnet tilhørende et EXIF-tidspunkt", og "koordinatsættet interpoleret ud fra et tidsstempel" knyttet sammen. Den nederste figur er et yderligere zoom, hvor det kan ses hvordan tiderne knyttes sammen.

Denne øvelse muliggør dermed at knytte billednavne (tilhørende EXIF-tiderne) og interpolerede koordinater (tilhørende tidsstempler) sammen. Ud fra sammenknyttede navne og koordinater er det dermed umiddelbart muligt at knytte koordinater på de billeder som indlæses i PhotoModeler. I PhotoModeler kan billednavnet ses på alle de indlæste billeder, og gennem den ASCII-fil som "timematch.m" generere så kan der knyttes koordinater til disse billeder.

3 Appendiks 2

Dette Appendiks indeholder en gennemgang af de mange forskellige programmer som har været anvendt i løbet af projektet. De forskellige funktioner og indstillinger som har været benyttet, vil blive gennemgået. Også andre programmer har været forsøgt anvendt, men har, af forskellige årsager, vist sig ikke at være anvendelige til dette projekt. Appendikset indeholder primært kun de programmer som har været anvendt med succes.

3.1 U-Center

U-center er det stykke software som skal anvendes i forbindelse med brug af U-blox modtagere (u-blox 4, 2012) U-center muliggøre kommunikation og overvågning af modtagere på en brugervenlig måde.

Gennem programmet er det muligt at definere, hvilke informationer der ønskes lagret når der observeres til satellitterne.

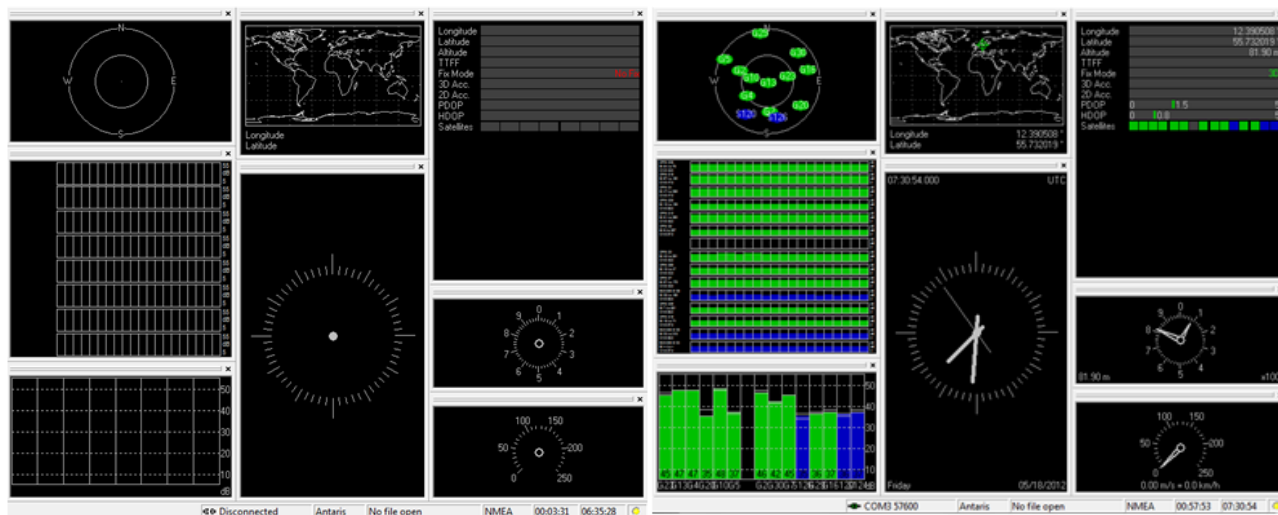
U-center lagrer observationerne i et binært filformat der har endelsen ubx. En sådan fil kan ses i Bilag 25.

Afhængig af hvilken type u-blox modtager der anvendes, er det muligt at lave forskellige justeringer. U-center indeholder rigtig mange indstillingsmuligheder, og det er langt fra alle, som projektgruppen har været omkring. Dette afsnit vil omhandle de indstillinger som projektgruppen kontrollerer og konfigurerer inden der foretages en opmåling med tidsstempeler. Det første der skal gøres når u-center åbnes, er at oprette forbindelse til den modtager som der ønskes anvendt til data indsamlingen. Dette gøres ved at vælge den port på computeren, som modtageren er tilsluttet. Porten kan enten vælges gennem "Receiver"-">"Port", eller ved at benytte genvejsknappen som kan ses af figur 11.

U-center registrerer automatisk hvilken USB-port på computeren der får et signal fra modtageren. Porten kan da vælges og ved at se på informationsvinduerne, kan det ses om modtageren er forbundet og virker korrekt. Informationsvinduerne indeholder forskellige informationer om de satellitter, som den forbundne modtager kan se. Dette er illustreret på figur 12 herunder.









Figur 11: Genvejsknappen til at forbinde u-center med den port som modtageren anvender. I dette tilfælde kan det ses at u-center har registreret en modtager på computerens USB-port 3.



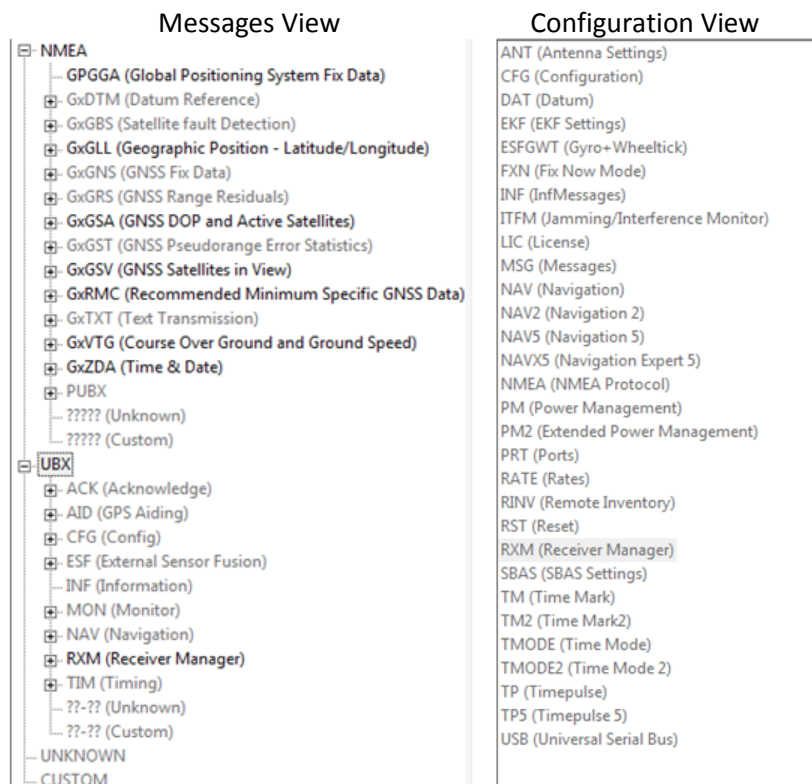
Figur 12: Til venstre kan informationsvinduerne ses når der ikke er forbindelse til en modtager og på det højre kan de ses efter at der er oprettet forbindelse.

Af det højre billede i figur 12 herover, fremgår det yderligere hvor godt den pågældende u-blox modtager, modtager signal fra de enkelte satellitter, som denne kan observere til. På nedenstående figur 13, kan det ses hvad de forskellige farver betyder.

Disse informationsvinduer er meget anvendelige i forhold til at overvåge de satellitter som der observeres til under en dataindsamlingen, samt indikerer om forbindelsen mellem modtageren og computeren fungerer som ønsket. Efter der er oprettet forbindelse til modtageren og det er kontrolleret om kommunikationen mellem denne og satellitterne fungerer, kan dataindsamlingen reelt påbegyndes. Der er dog flere indstillinger som bør overvejes og indstilles inden. Der er to steder hvor der er muligheder for at foretage indstillinger. Det ene er "Messages View" og det andet er "Configuration View". De indstillingsmuligheder der er i disse to, kan ses på figur 14 herunder.

Color	Meaning
 Green	Satellite used in navigation (with Ephemeris)
 Olive	Satellite used in navigation (with Ephemeris and PPP)
 Dark Green	Satellite used in navigation (with aiding data: AssistNow Autonomous, AssistNow Online/Offline)
 Cyan	Satellite signal available, available for use in navigation
 Blue	Satellite signal available, not available for use in navigation
 Red	Satellite signal not available

Figur 13: Af skemaet kan det ses hvilke farveskala u-center anvender i forhold til at kategorisere det signal som modtageren får fra de enkelte satellitter (u-blox 5, 2011)

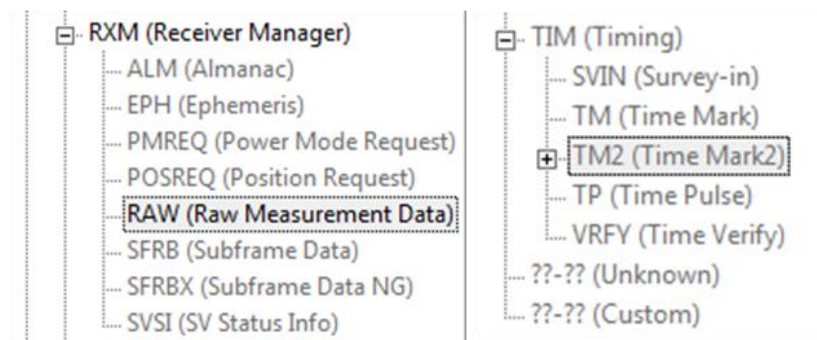


Figur 14: Til venstre ses de indstillingsmuligheder som findes under "Messages View", og til højre ses de muligheder som findes under " Configuration View ".

"Messages View" anvendes til at kommunikere med den anvendte modtager. Her kan man overvåge de outputs som modtageren sender samt sende inputs til modtageren (u-blox 5, 2011). Inputs kan eksempelvis stamme fra de indstillinger som foretages i "Configuration View". I "Messages View" bliver de beskeder som u-center modtager fra u-blox modtageren vist. Beskederne indeholder bl.a. information der anvendes i forhold til selve u-center(informations vinduerne). Disse beskeder kan ses under "NMEA"-beskederne. Den anden type beskeder der kan ses, omhandler de data der bliver lagret i ubx filen. Det er disse ubx beskeder der har været vigtige at indstille for projektgruppen. Under dette projekt er der primært to beskeder som er blevet indstillet før dataindsamling er påbegyndt. Disse to er "Raw Measurement Data" og "Time Mark2" beskeder. De to beskedvinduer er vist på figur 15 herunder.

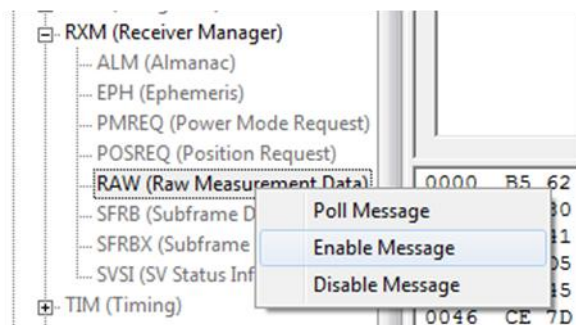
"Raw Measurement Data" betyder at u-blox modtageren måler rå faseobservationer fra satellitterne. "Time Mark 2" fortæller u-blox modtageren at den skal registrere eksterne events.

For at disse beskeder bliver lagret i ubx filen,



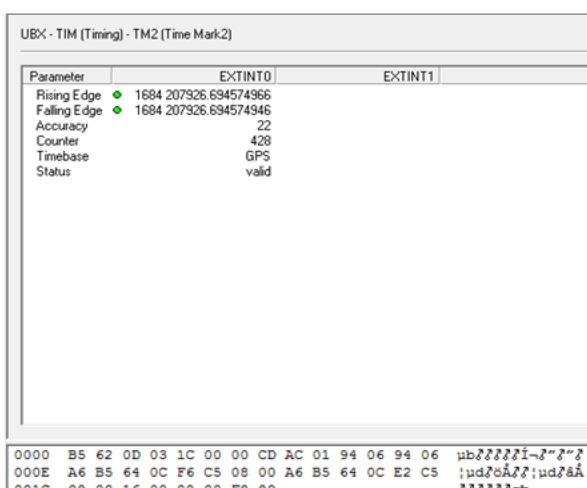
Figur 15: Til venstre ses den besked der skal indstilles for at der observeres rå faseobservationer, og til højre den besked der muliggøre tidsstemping.

skal modtageren have et input om at disse beskeder ønskes lagret. Dette gøres ved at højreklikke på beskeden hvor efter "Enable Message" vælges, se figur 16 .



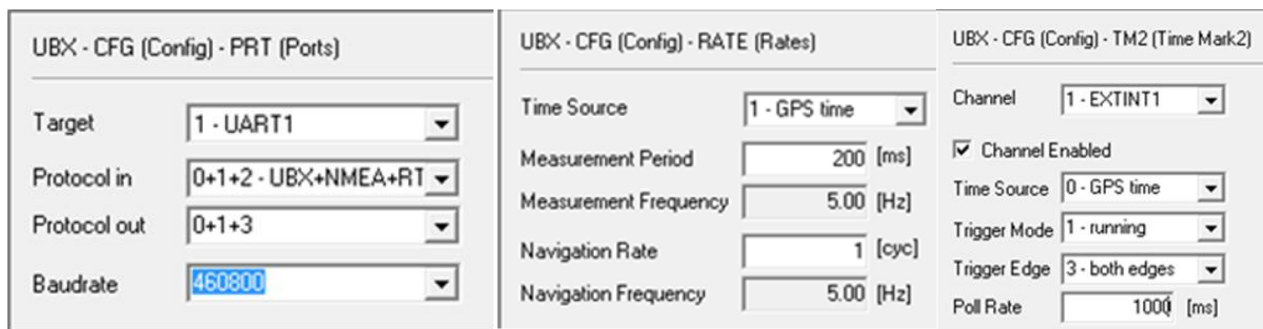
Figur 16: Ved at vælge "Enable Message", lagre u-center denne type data, fra de observerede satellitter, i ubx filen.

Når beskeden er aktiveret, kan der i "Messages View" ses hvilke information beskeden indeholder, samt hvordan den ser ud, både i Hexadecimal-, samt ASCII-format. Dette kan ses på figur 17.



Figur 17: "Messages View" for tidsstempelt. Øverst ses de informationer som lagres i et "læseligt" format. Nederst er beskeden vis i kode form.

"Configuration View" er en undersektion til "Message View" (u-blox 5, 2011). Disse indstillinger indeholder de beskeder hvor det er muligt at ændre på konfigurationerne for beskederne som u-center lagrer. Her, kan man bl.a. styre hvilken frekvens signalet fra satellitterne skal observeres med, hvordan modtagerne skal kommunikere med antennen (Antenna Settings), hvilken port modtagerne benytter og til hvad (Ports) samt meget andet. Før en opmåling session til dette projekt er startet, har projektgruppen primært sikret sig at følgende tre indstillinger var indstillet korrekt: Port konfigurationen, Frekvensen konfigurationen samt tidsstempel konfigurationen. Figur 18 herunder viser hvorledes disse tre indstillinger har været konfigureret, når projektgruppen har lavet dataindsamling.



Figur 18: Her kan indstillingerne for henholdsvis port, frekvens og tidsstempel ses. Indstillingerne er som de har været under de udførte forsøg.

Måde hvorpå projektgruppen har valgt at konfigurere port-indstillingerne, er primært med baggrund i oplysninger, som Johannes Kristensen, SkyPilot.dk, har givet, i forhold til de tekniske installationer som er på helikopteren. Han har en stor teknisk indsigt, og netop disse konfiguration, menes at fungere bedst i forhold til den opsætning der anvendes. "Baudrate" har projektgruppe dog selv valgt, og denne er valgt på baggrund af, at dette er den højeste frekvens hvor modtager og u-center kan kommunikere, uden der opstår periodiske "huller" i data overførslen. Frekvensen for hvor ofte der skal lagres data, sættes til 5 Hz, da dette er den højeste frekvens som EVK-6T-modtageren kan lagre med. Konfigurationerne af tidsstemplet kan ligeledes ses af figur 18 herover. Kanalen der køres på er ben 27 på EVK-6T-chippen (se afsnit 6, Teknisk komponent beskrivelse). Tidsstemplet ønskes gemt i GPS-tid. Under "Trigger Mode" har projektgruppen erfaret er det er "running" der giver bedste resultat i forhold til om tidsstemplet bliver registreret af modtageren og under "Trigger Edge" vælger projektgruppen at registrere begge kanter(både "falling" og "rising").

Efter det er sikret at disse indstillinger er korrekte, kan en dataindsamling påbegyndes. Dette kan nemt gøres ved at klikke på "Record" genvejen som ligger i værktøjslinjen, se figur 19 herunder.



Figur 19: ved at klikke på "Record"-knappen, begynder u-center at lagre de ønskede data i en ubx fil.

Når det gøres, vil u-center spørge om en placering og et navn til den ubx fil som løbende lagres. Efter dette er anvist, starter dataindsamlingen.

Når målingen er startet, kan det for en sikkerheds skyld, være en godt idé at åbne "Statistic View". I dette vindue kan man få overblik over de data, som modtageren observerer fra de enkelte satellitter, se figur 20.

Title	Count	Age	Current	Minimum	Maximum	Average	Deviation	Unit	Description
SV G6 Used	7229	0	No						SV G6 Mode Used
SV G6 El	0					0.0		°	SV G6 Elevation
SV G6 Az	0					0.0		°	SV G6 Azimuth
SV G6 C/N0	0					0.0		dBHz	SV G6 C/N0
SV G6 Ch	0								SV G6 Channel
SV G6 Doppler	0					0.00		Hz	SV G6 Doppler
SV G6 Residual	0					0.00		m	SV G6 Residual
SV G6 Range	0					0.00		m	SV G6 Range
SV G6 Carrier	0					0.00		L1 cycles	SV G6 Carrier
SV G7 Mode	7229	0	Tracking						SV G7 Mode Status
SV G7 Used	7229	0	Yes						SV G7 Mode Used
SV G7 El	7229	0	67.0	13.0	67.0	40.2	16.0	°	SV G7 Elevation
SV G7 Az	7229	0	151.0	151.0	178.0	171.1	6.8	°	SV G7 Azimuth
SV G7 C/N0	7229	0	47.0	33.0	50.0	44.1	4.0	dBHz	SV G7 C/N0
SV G7 Ch	0								SV G7 Channel
SV G7 Doppler	7229	0	4379.61	4379.29	6974.92	5975.41	805.69	Hz	SV G7 Doppler
SV G7 Residual	0					0.00		m	SV G7 Residual
SV G7 Range	7229	0	19515995.24	19515995.24	24737028.88	21737524.29	1345757.05	m	SV G7 Range
SV G7 Carrier	7229	0	86803105.46	0.00	128955298.57	105923576.73	12470097.76	L1 cycles	SV G7 Carrier
SV G8 Mode	7229	0	Tracking						SV G8 Mode Status
SV G8 Used	7229	0	Yes						SV G8 Mode Used
SV G8 El	1280	0	35.0	25.0	35.0	29.6	2.8	°	SV G8 Elevation
SV G8 Az	1280	0	194.0	193.0	194.0	193.4	0.5	°	SV G8 Azimuth
SV G8 C/N0	1280	0	45.0	40.0	46.0	44.4	1.3	dBHz	SV G8 C/N0
SV G8 Ch	0								SV G8 Channel
SV G8 Doppler	1280	0	6585.93	6585.18	6786.86	6669.29	56.43	Hz	SV G8 Doppler
SV G8 Residual	0					0.00		m	SV G8 Residual
SV G8 Range	1280	0	21574035.62	21574035.62	23197239.05	22381738.80	468860.69	m	SV G8 Range
SV G8 Carrier	1280	0	113372263.52	113372263.52	121902313.12	117616768.42	2463878.03	L1 cycles	SV G8 Carrier
SV G9 Mode	7229	0	No Signal						SV G9 Mode Status
SV G9 Used	7229	0	No						SV G9 Mode Used
SV G9 El	0					0.0		°	SV G9 Elevation
SV G9 Az	0					0.0		°	SV G9 Azimuth
SV G9 C/N0	0					0.0		dBHz	SV G9 C/N0
SV G9 Ch	0								SV G9 Channel

Figur 20.: "Statistic View" som det ser ud under en dataindsamlings-session. Her kan de oplysninger, som modtageren registrerer fra den enkelte satellit, ses.

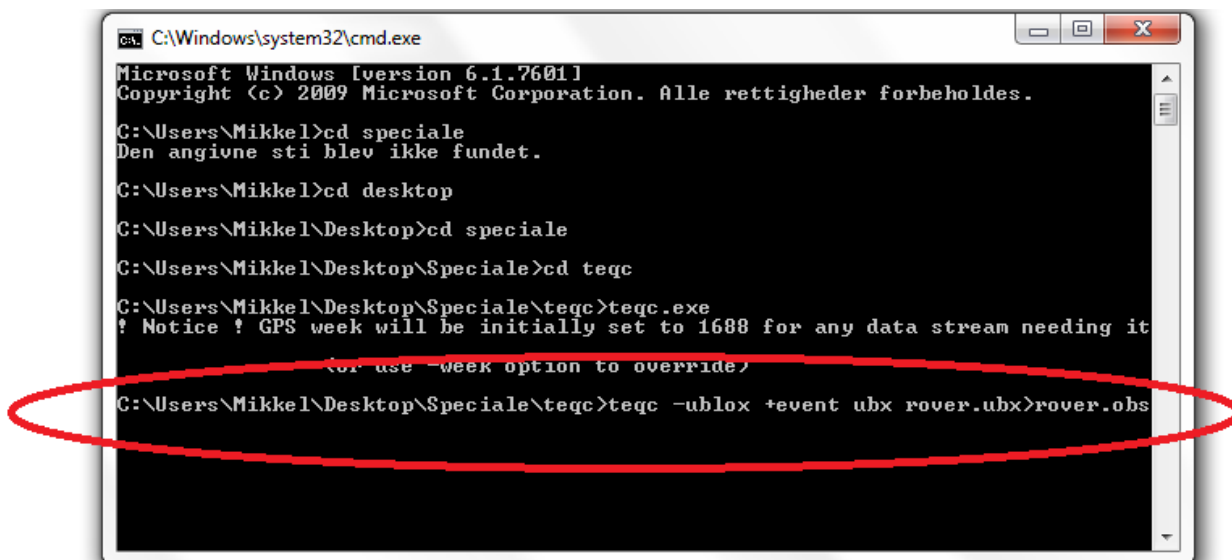
Her er det muligt at overvåge om modtageren registrerer de rigtige data. Især har projektgruppen været opmærksomme på om der har været data i "Carrier"-feltet for de satellitter der blev observeret til. Dette er de rå faseobservationer, som senere skal post-processeres. I "Statistic View" kan det også ses hvilke satellitter modtageren kan se og hvilken data der er tilgængelige for disse.

Når dataindsamlingen ønskes afsluttet, anvender man blot "Stop"-knappen på værktøjslinjen. Dette afslutter dataindsamlingen og ubx filen afsluttes.

Såfremt det ønskes, kan en ubx fil til hver en tid genafspilles i u-center. Dette gøres blot ved at åbne filen og herefter trykke på "Play"-knappen.

3.2 TEQC

TEQC står for "Translation, Editing, and Quality Check" og er et program der kan anvendes til at behandle forskellig GNSS data. Programmet er udarbejdet af UNAVCO, som er et non-profit universitets konsortium (UNAVCO, 2012). TEQC kan bl.a. anvendes til at konvertere det binære filformat(.ubx), som U-center lagre GPS-observationerne i, til RINEX formatet og det er netop denne funktion, som projektgruppen har anvendt i projektet. Af figur 21 herunder kan det ses hvilken kommando der skal anvendes for at konvertere en ubx fil til RINEX format. Kommandoen i figuren indeholder også oplysninger om at tidsstempler(+event) skal skrives til den genererede RINEX fil.



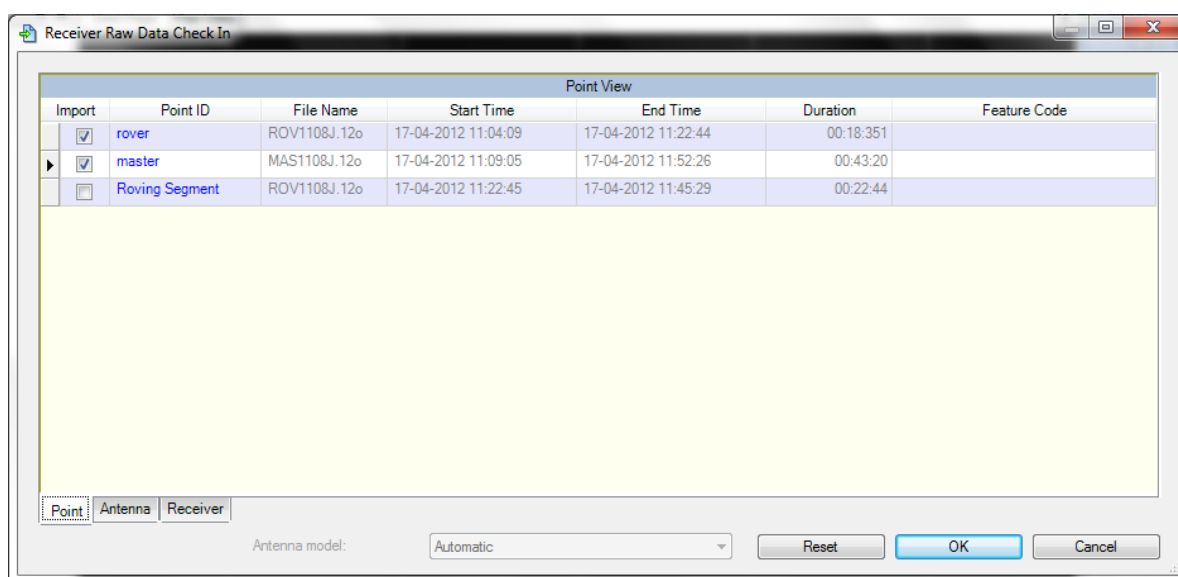
Figur 21: På billedet kan den kommando, som anvendes til at konvertere fra .ubx til RINEX, ses i den røde cirkel. Dette forudsat at programmet køres gennem Windows cmd.

Programmet er et terminal baseret program, men det er også muligt at kalde programmet gennem MATLAB.

3.3 Trimble Business Center(TBC)

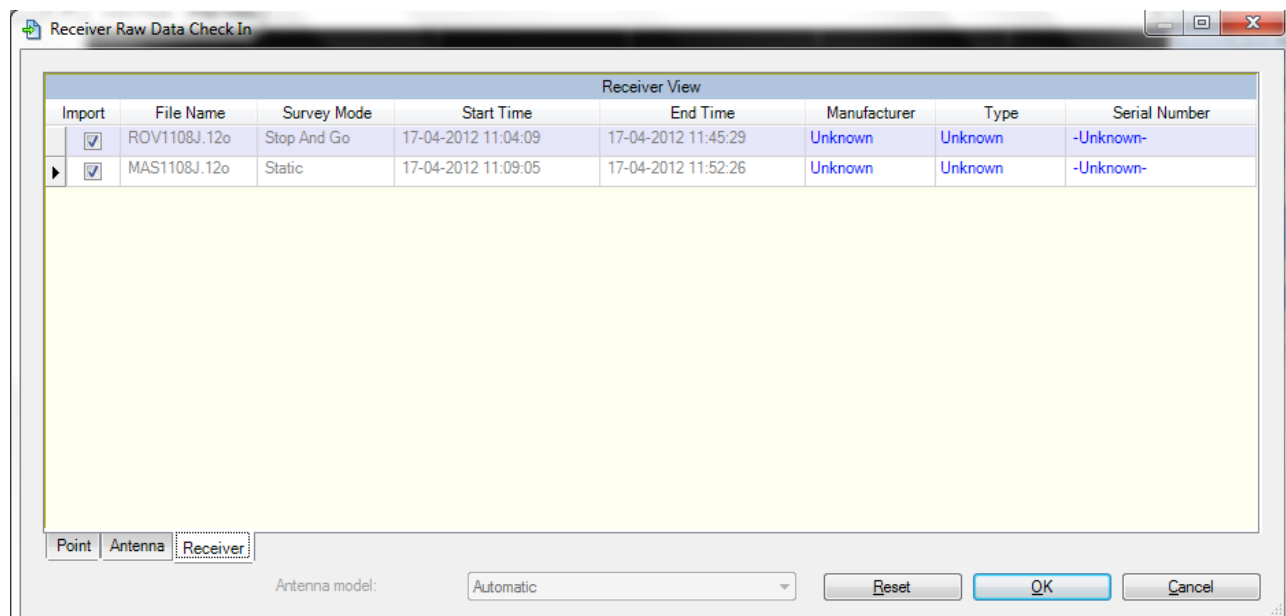
Trimble Business Center(TBC) er et program der kan anvendes til at behandle forskellige former for opmålingsdata (Trimble 2, 2012). Bl.a. kan det anvendes til at post-processere GNSS data og det er i denne forbindelse at projektgruppen har anvendt programmet.

Det er meget ligetil at indlæse de filer som ønskes behandlet i TBC. Da programmet er udviklet med henblik på behandling af data, indsamlet med Trimble udstyr, forstår programmet de fleste rådata-filer fra disse produkter. Men programmet kan også forstå mere almen udbredte filformater som bl.a. RINEX format. Når de data der ønskes behandlet indlæses, fremkommer et vindue der viser forskellige oplysninger om de enkelte filer, se figur 22 herunder:



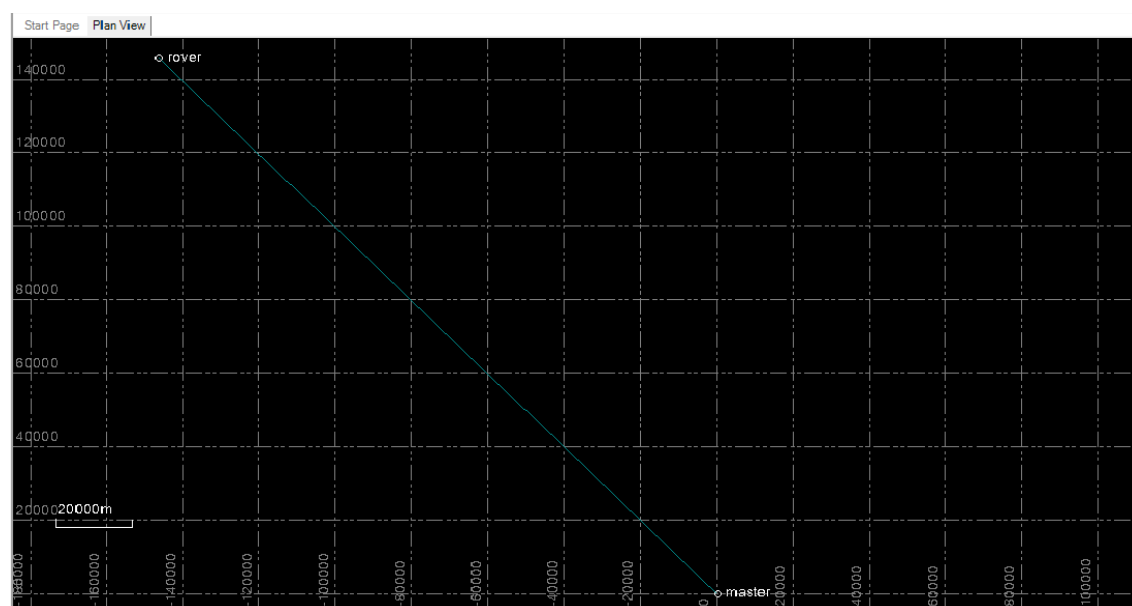
Figur 22: Vinduet der fremkommer efter data indlæses. Her kan filnavn, dato for dataindsamlingen samt varigheden, ses.

Dette vindue indeholder oplysninger om hvilke filer der er indlæst, samt oplysninger om start og slut tid. Såfremt en fil indeholder både statiske og kinematiske data, og dette er angivet i filen, opdeler programmet denne fil. Dette kan ses på figur 22, hvor "Roving Segment" er den kinematiske del af RINEX filen, mens "rover" er den statiske del, der stammer fra initialiseringsperioden. I fanebladet "Antenna", kan forskellige oplysninger om den anvendte antenne oplyses. I det sidste faneblad "Receiver" kan man ses oplysninger om den modtagertype som er anvendt, samt hvilken opmålingsteknik der er anvendt ved dataindsamlingen. Dette kan ses på figur 23, herunder.



Figur 23: I dette faneblad kan forskellige oplysninger om modtageren, anvendt til indsamling af de pågældende filer, ses. Den anvendte opmålingsmetode kan ligeledes ses.

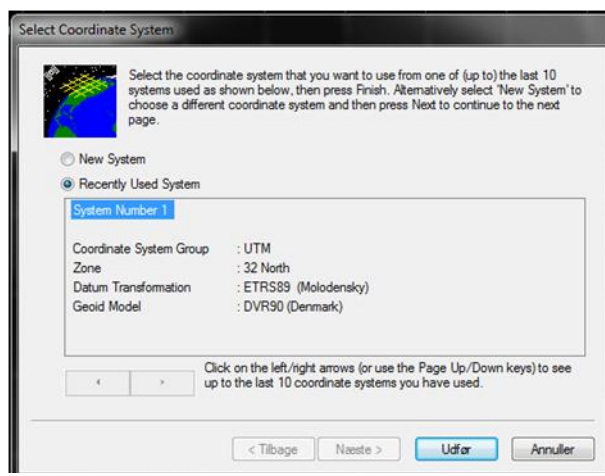
Efter indlæsning af data, kan master- og rovers start placering ses. Disse er forbundet med en vektor, se figur 24.



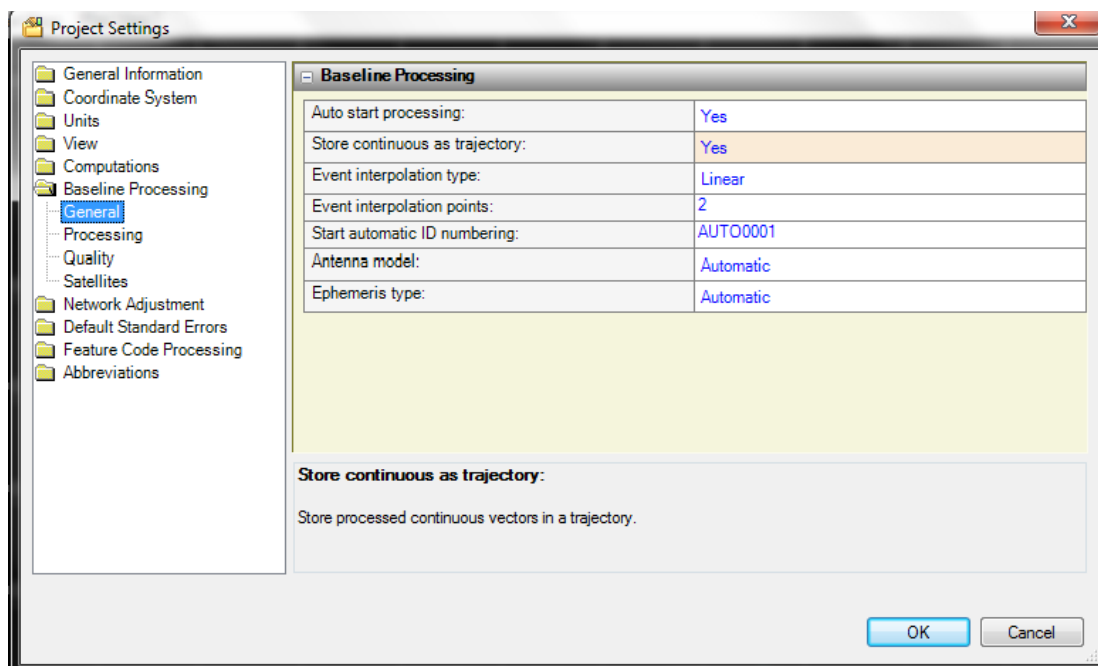
Figur 24: Master- og roverplacering visualiseres i planet. Vektoren mellem de to er også vist.

Det koordinatsystem som ønskes anvendt til projektet, kan indstilles under "Project" indstillingerne. Af figur 25 herunder, fremgår den projektion som primært har været anvendt til dette projekt.

Inden selve post-processeringen af data påbegyndes, er der forskellige indstillingsmuligheder for denne behandlingsprocessen som skal overvejes. Dette forgår under "Project" -> "Project Settings" -> "Baseline Processing". Her kan der indstilles flere forskellige parametre for hvordan post-processeringen skal foretages. Til dette projekt er det primært indstillinger under "General" og "Processing", se figur 26 og figur 28 herunder, der har været anvendt. Ud over disse indstillinger kan der foretages indstillinger af grænseværdier og satellitter der indgår i behandlingen.

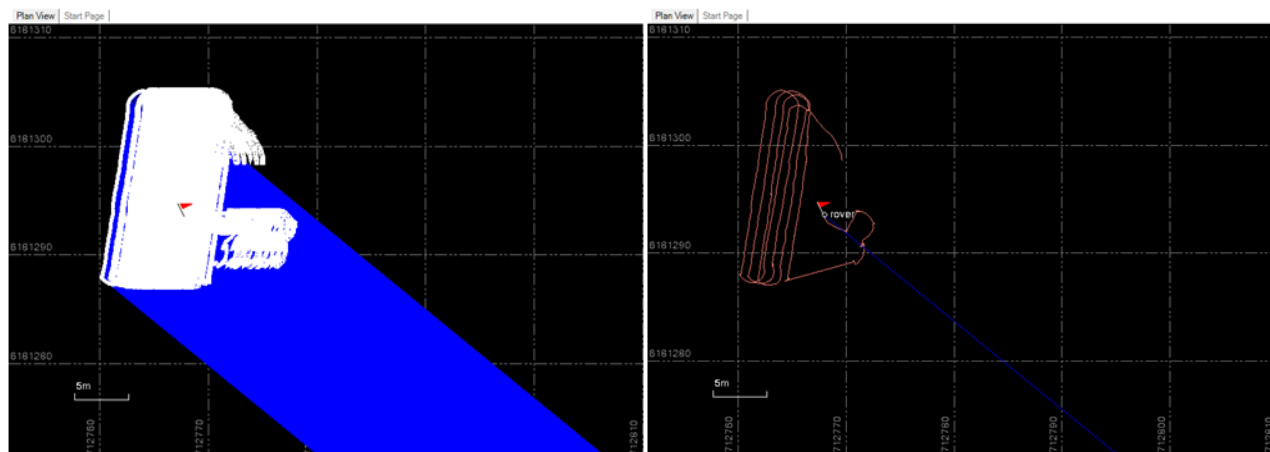


Figur 25: Vinduet hvor forskellige koordinatsystemer kan vælges. Ved at anvende "New System" kan et koordinatsystem defineres.



Figur 26: I dette vindue kan de generelle indstillinger for at post-processere data indstilles. I dette projekt, er især indstillingerne i forhold til "Trajectory" og "Event interpolation type" blevet overvejet.

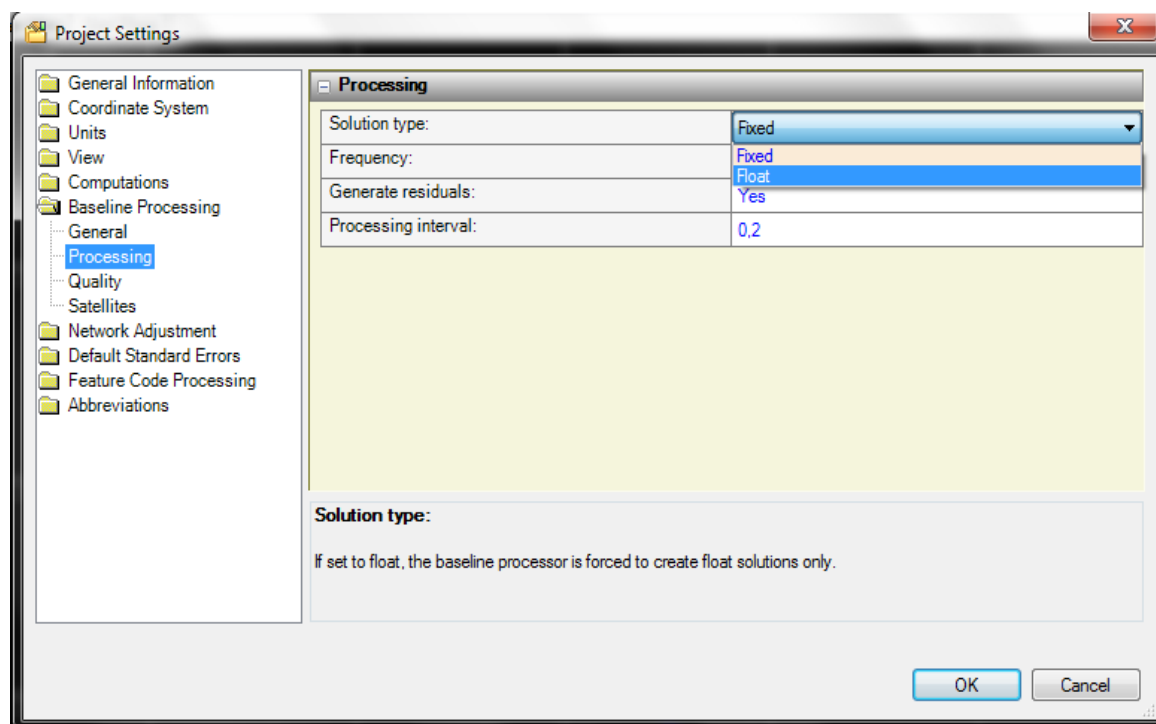
Under de generelle indstillinger har projektgruppen især skullet overveje hvorvidt indstillingen for "trajectory" skulle være slået til eller fra. Forskellen på dette er om de vektorer, som er resultatet af post-processeringen, lagres i én lang "figur", eller om hver enkel vektor lagres. Forskellen kan ses på figur 27 herunder.



Figur 27: Til venstre ses resultatet af en processering hvor der ikke er anvendt trajectory (det blå er enkelte vektore mellem master og en GNSS observation). Til højre ses resultatet af en processering hvor trajectory er anvendt.

Såfremt TBC ønskes anvendt til at interpolere de tidsstempler som angiver eksponeringspositionen for et billede, skal trajectory funktionen anvendes. Desuden skal det overvejes hvilken interpolerings type der ønskes anvendt.

Den anden indstilling som har været meget benyttet under projektet, har været hvilken løsningstype, TBC har skulle benytte under processeringen. Som figur 28 herunder viser, kan der som udgangspunkt benyttes "Fixed" eller "Float" løsninger.



Figur 28: Under processeringsindstillingerne kan det indstilles hvilken løsnings model, der som udgangspunkt ønskes anvendt til at løse processeringen.

Denne indstilling er kan dog kun tages som et udgangspunkt for hvordan TBC skal løse processeringen. Ønskes der f.eks. en fixed løsning af data der er fejlbehæftet, vil programmet automatisk forsøge en float løsning på de observationer der er fejlbehæftede.

Når filerne er indlæst og indstillingerne indstillet, kan post-processeringen af data foretages. Dette gøres under "Survey" -> "Process Baselines". Når denne funktion startes udregnes alle rover observationerne i forhold til masteren. Såfremt der anvendes trajectory, vil der som resultat fremkomme én vektor. Hvis dette derimod er slået fra, vil hvert punkt blive vist som resultat. I det fremkomne vindue kan de enkelte vektorer samt deres nøjagtighed ses. Figur 29 herunder viser dette.

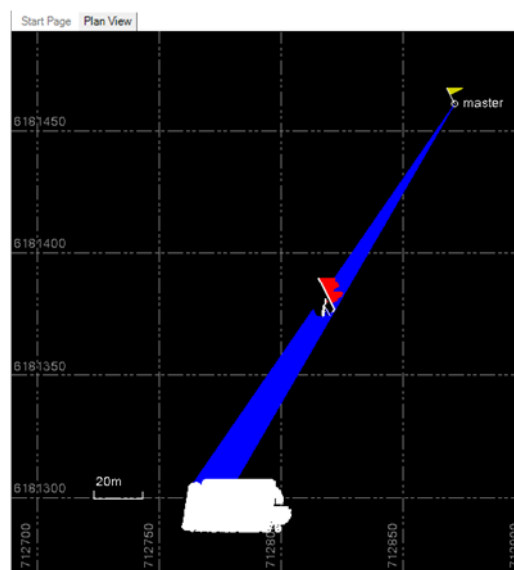
Save	Observation	Solution	Horiz. Precision (m)	Vert. Precision (m)	RMS	Length (m)
<input type="checkbox"/>	master --- AUTO0001	Float	0,485	0,362	?	197,209
<input type="checkbox"/>	master --- AUTO0002	Float	0,485	0,362	?	197,207
<input type="checkbox"/>	master --- AUTO0003	Float	0,485	0,362	?	197,209
<input type="checkbox"/>	master --- AUTO0004	Float	0,485	0,362	?	197,207
<input type="checkbox"/>	master --- AUTO0005	Float	0,486	0,364	?	197,206
<input type="checkbox"/>	master --- AUTO0006	Float	0,485	0,363	?	197,203
<input type="checkbox"/>	master --- AUTO0007	Float	0,485	0,363	?	197,202
<input type="checkbox"/>	master --- AUTO0008	Float	0,485	0,363	?	197,202
<input type="checkbox"/>	master --- AUTO0009	Float	0,485	0,363	?	197,202
<input type="checkbox"/>	master --- AUTO0010	Float	0,486	0,365	?	197,199
<input type="checkbox"/>	master --- AUTO0011	Float	0,491	0,365	?	197,203
<input type="checkbox"/>	master --- AUTO0012	Float	0,491	0,365	?	197,201
<input type="checkbox"/>	master --- AUTO0013	Float	0,491	0,365	?	197,200
<input type="checkbox"/>	master --- AUTO0014	Float	0,491	0,365	?	197,200
<input type="checkbox"/>	master --- AUTO0015	Float	0,493	0,369	?	197,205
<input type="checkbox"/>	master --- AUTO0016	Float	0,497	0,369	?	197,211

Figur 29: Dette vindue viser resultatet af den processering der er foretaget af den pågældende data. Her kan løsningstype samt residualerne for den enkelte løsning ses.

Af figur 29, fremgår det problem som projektgruppen har haft i forhold til at post-processere den indsamlede data i TBC. Ofte har de fundne løsninger haft meget dårlig nøjagtighed, da løsningen kun kunne blive float. Dette skyldes formentlig at TBC ikke er i stand til at behandle GNSS data der er indsamlet med halve bølgelængder.

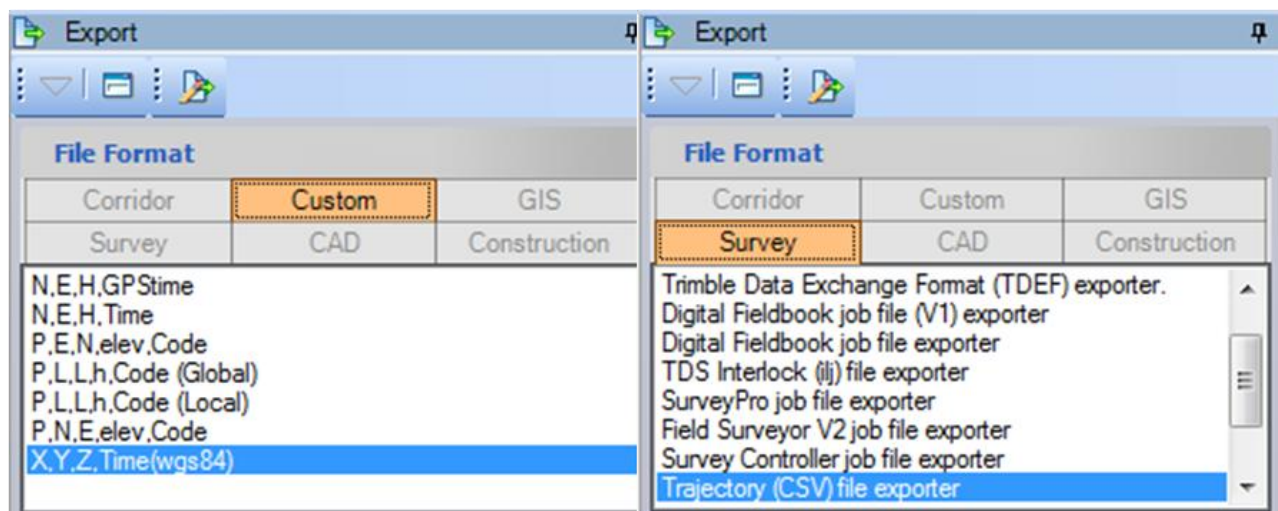
De fundne løsninger kan, for så vidt de lever op til det ønskede, gemmes. Herefter vil de blive visualiserede i "Plan View". Dette kan ses på figur 30.

Det udregnede resultat kan efterfølgende eksporteres. Eksport funktionen i TBC er opdelt i seks kategorier, der muliggøre eksport til forskellige filformater. Disse seks kategorier er opdelt alt efter



Figur 30: Plan View'et visualiserer de udregnede vektorer der forbinder en roverkoordinat med masteren.

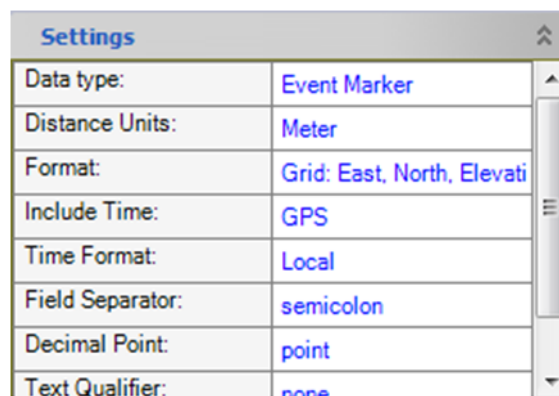
hvad den eksporterede data efterfølgende ønskes anvendt til. De to kategorier som projektgruppen har anvendt under projektet er "Custom" og "Survey", og kan ses på figur 31 herunder.



Figur 31: Til venstre ses de filtyper der findes under Custom kategorien, mens det højre billede viser et udsnit af filtyperne der findes under Survey kategorien.

Under "Custom" kategorien er det muligt at definere en filtype der indeholder de oplysninger som brugeren ønsker. Til dette projekt har projektgruppen oprette en filtype der indeholder oplysninger om E, N, H og tiden i UTM, samt en filtype der indeholder X, Y, Z og tiden i WGS84. Benyttes TBC til at interpolere tidsstemplerne, skal "Trajectory" formatet benyttes. I indstillingerne for denne type eksport, skal den type data der ønskes eksporteret være sat til "Event Marker", se figur 32 herunder.

Gøres dette, eksporteres der en fil der indeholder koordinaterne samt tiden til de interpolerede punkter. Det store problem for projektgruppen, har været at dette program ikke har været i stand til at lave en fixed løsning for de indsamlede GPS-data. Dette skyldes højst sandsynligt at U-blox modtageren anvender "squaring" når denne modtager signal fra satellitterne. TBC er ikke i stand til at post-processere data af denne type.

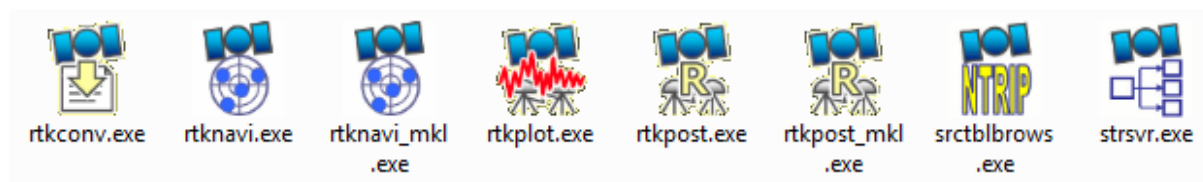


Figur 32: Indstillingsmulighederne for eksport af trajectory data. Det primære her at at indstille den data type der ønskes eksporteret til "Event Marker".

3.4 RTKLIB

I stil med TBC, kan programmet RTKLIB også anvendes til at behandle GNSS-data. Modsat TBC, som er et kommercielt landmålingsprogram med mange forskellige muligheder, er RTKLIB et "open source" program. Programmet er udviklet af T.Takasu, N.Kubo, A.Yasuda (Takasu 2, 2010), med henblik på positionering af standard og præcisions GNSS-data (RTKLIB, 2012). Programmet

består i virkeligheden af flere forskellige enkeltstående programmer, som har forskellige funktioner, alt efter hvilken databehandling der ønskes foretaget, se figur 33 herunder.



Figur 33: De forskellige programmer som RTKLIB består af. Gennem disse er det muligt at foretage forskellig behandling af GNSS data.

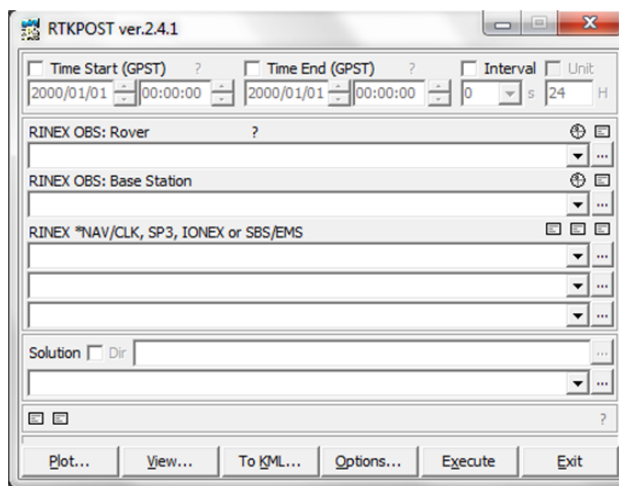
I figur 34 herunder kan det ses hvad de enkelte programmer kan anvendes til.

Rtkconv.exe	Konvertere rådata-filer
Rtknavi.exe	Kan anvendes til RTK måling
Rtknavi_mkl.exe	Kan anvendes til RTK måling(hurtigere version)
Rtkplot.exe	Plotter løsnings eller observations data
Rtkpost.exe	Kan anvendes til at post-processesere
Rtkpost_mkl.exe	Kan anvendes til at post-processesere(hurtigere version)
Srctblbrows.exe	Kan søge i tabeller
Strsvr.exe	Forbinder til server

Figur 34: Oversigt over hvilket program der kan anvendes, alt efter hvilken databehandling der ønskes foretaget.

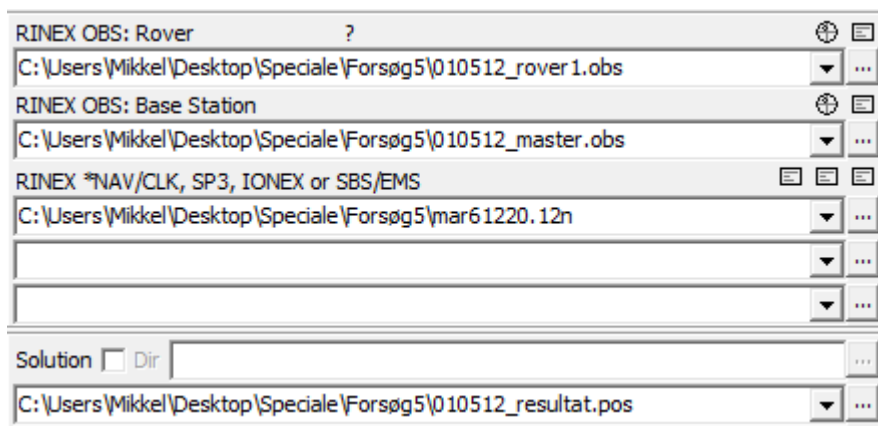
Til dette projekt er der dog kun "rtkpost_mkl" programmet der er blevet anvendt. Programmet kan post-processesere GNSS-data fra flere forskellige modtagere, heriblandt u-blox EVK-6T.

Når "rtkpost_mkl" startes fremkommer der et simpelt vindue, der giver mulighed for at indlæse de filer der skal anvendes til processeringen. Desuden indeholder vinduet også nogle enkelte knapper der bl.a. tillader at plote resultatdata, se resultatdata, yderligere indstillingsmuligheder samt starte en databehandling, se figur 35.



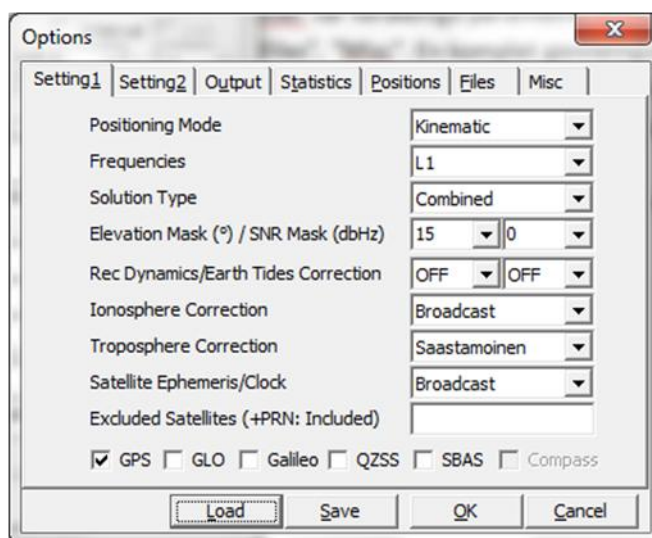
Figur 35: Startvinduet for programmet "rtkpost_mkl", der muliggøre post-processering af GNSS-data.

Før programmet kan post-processere, skal der udpeges fire stier; placering af rover-observationsfil(RINEX), placering af master-observationsfil(RINEX), placering af navigationsdata-fil samt en placering og navn til resultat-filen(.txt). Dette er eksemplificeret på figur 36 herunder.



Figur 36: Her udpeges stjerne for de filer der skal anvendes til databehandlingen, samt for den resultatfile der fremkommer efter processeringen. Figuren viser eksempler på disse stier og filer.

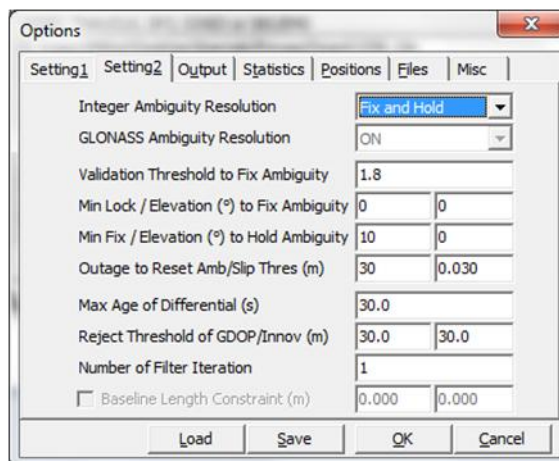
Inden databehandlingen eksekveres, bør indstillingerne ("Options...") konfigureres. I indstillingerne er der 7 faneblade med forskellige konfigureringsmuligheder for forskellige parametre, disse er; "Settings1", "Settings2", "Output", "Statistics", "Positions", "Files", "Misc". En komplet gennemgang af hvilke indstillingsmuligheder der er, findes i RTKLIB manualen (Takasu 1, 2011). De indstillinger der bliver gennemgået i det følgende, er de indstillinger som projektgruppen har konfigureret til projektet. De første indstillinger der skal konfigureres er under "Settings1". Figur 37 viser hvordan konfigurationerne har været under denne indstilling.



Figur 37: Konfigurationerne for "Settings1"-indstillingerne som de typisk har set ud ved behandling af data til dette projekt.

Under "Settings1"-indstillingerne, er der valgt at anvende kinematisk data under "Positioning Mode". Dette gøres da rover data er indsamlet kinematisk. Frekvensen u-blox modtageren har målt på er L1 bølgebølgen. Under "Solution Type" er der anvendt "Combined". Denne løsningstype gør at databehandlingen bliver foretaget både "forlæns" og "baglæns". Denne løsningstype giver et mere udjævnet resultat, da begge løsninger indgår i det samlede resultat. Afskæringsgrænsen ("Elevation Mask") for hvilke satellitter der anvendes i databehandlingen er sat til 15. Normalt ville man formentligt sætte denne til ca. 10, men den lidt højre grænse betyder, at de GPS-signaler der anvendes, er en anelse bedre bestemt af modtageren. Modtageren måler desuden kun til satellitter i GPS-systemet, så derfor er de andre fravalgt.

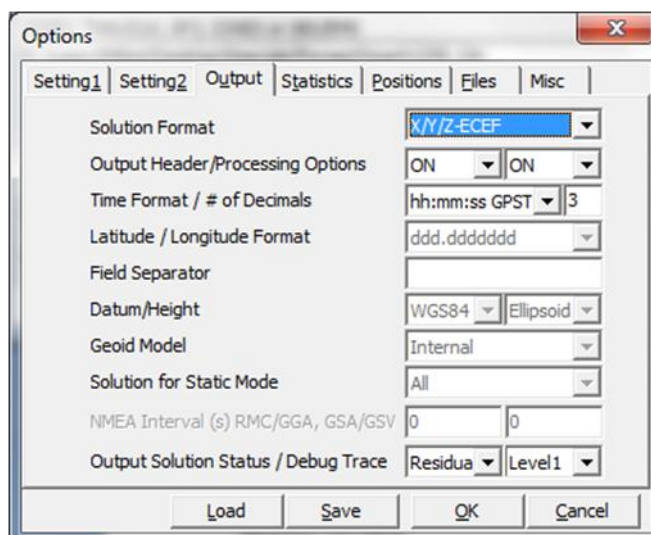
De næste indstillinger der skal konfigureres er under "Settings2". De konfigurationsmuligheder der er her, vil i højre grad kunne varieres fra datasæt til datasæt, end under de forrige indstillinger. Ændringer af konfigurationerne under "Settings2", vil kunne forbedre chancerne for at få et resultat af en processering der er mislykkedes, eller forbedre resultat af den vellykket. På figur 38 kan et eksempel på en anvendt konfiguration ses.



Figur 38: Et eksempel på hvordan "Settings2"-indstillingerne kan indstilles for en given processering af GNSS-data.

Det første der her skal indstilles er hvordan periodekonstanterne skal bestemmes under databehandlingen. Her har projektgruppen som udgangspunkt valgt "Fix and Hold". Da projektgruppens dataindsamling har tilgodeset en initialiseringsperiode, bør denne metode vælges. Ved denne metode, bliver periodekonstanterne forsøgt bestemt på baggrund statistisk data. Hvis en løsning findes, bliver denne initialisering styrende for resten af beregningerne. "Validation Threshold to Fix Ambiguity" er en grænseværdi der kan opstilles for, hvornår en heltalsløsning er signifikant nok til at den ønskes anvendt som en fixed løsning. Hvis den beregnede værdi er under denne grænse, så anvendes en float løsning automatisk af programmet. En lavere værdi i denne konfiguration, vil øge chancen for at der beregnes en initialisering, men omvendt vil sandsynligheden for at denne initialisering er korrekt, blive forringet. Standard værdien er 3.0 (Takasu 1, 2011).

Under "Output"-indstillinger, er der forskellige muligheder i forhold til at konfigurere den resultatfil der bliver oprettet efter der er post-processeret. På figur 39 herunder kan det ses hvilke konfigurationer der er anvendt under projektet.

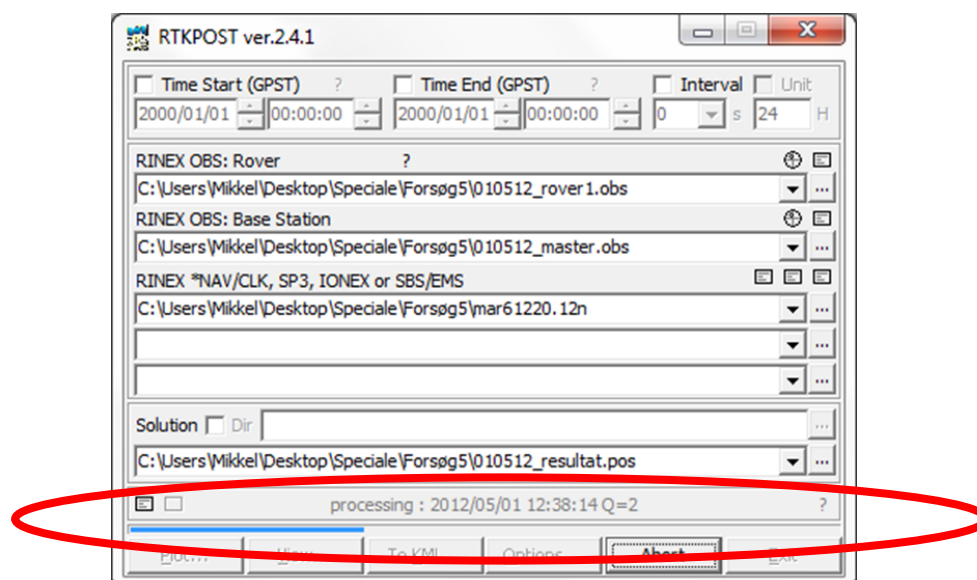


Figur 39: Under "Output"-indstillingerne kan der ændres på hvilket formatet, de resultater som bliver skrevet til resultatfilen efter end databehandling, har.

Under "Solution Format" er det valgt at få resultatet som X-, Y-, Z-koordinater i WGS84. Tiden er valgt til GPS-tid med 3 decimalers nøjagtighed. Resultatfilen fra RTKLIB indeholder ud over disse oplysninger, også en række oplysninger der siger noget om kvaliteten af resultaterne. Ved at konfigurere "Output Solution Status/Debug Trace" kan der justeres på mængden af data der skrives til en "Debug Trace"-fil der oprettes. Dette har bl.a. indflydelse på hvad der efterfølgende kan vises i "plot"-funktionen i RTKLIB.

Under "Statistics" kan det bl.a. konfigureres hvor store spredningerne skal være, på de elementer der indgår i beregningerne. Under denne indstilling er standartværdierne anvendt. I "Positions" er det muligt at lave konfiguration for antenne typen, samt angive positioner for henholdsvis master eller rover, såfremt disse har været stationære. Også her er standartindstillingerne anvendt. Under "Files" kan det vælges at indlæse forskellige filer der indeholder informationer om bl.a. satellitter, modtageren eller geoide data. I projektet er der ikke indlæst yderligere data her. Den sidste indstillings mulighed "Misc", er heller ikke blevet anvendt ved dette projekt. Her er det bl.a. konfigureres hvis flere uafhængige opmålinger automatisk skal behandles efter hinanden.

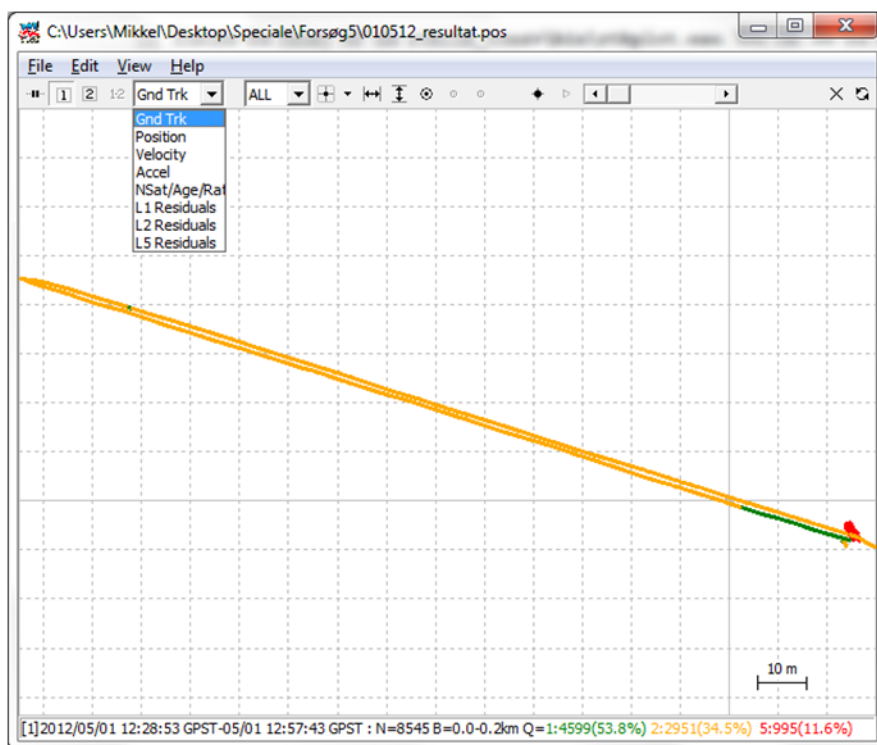
Efter disse indstillinger er gennemgået, er man klar til at starte post-processeringen af det indsamlede data. Dette gøres ganske simpelt med at trykke på "Execute"-knappen i startvinduet. Der kan løbende følges med i hvor god en løsning der bliver udregnet under databehandlingen. Dette er vist på figur 40 herunder.



Figur 40: I den røde oval, kan kvaliteten af den udregnede epoke ses. I eksemplet er kvaliteten af epoken til tiden 12.38.14. en Q=2.

Til hver epoke kan man løbende følge med i hvilken løsning der bliver beregnet. "Q=1" betyder at den fundne løsning er fixed, mens "Q=2" indikere at den fundne løsning til epoken er en float løsning (Takasu 1, 2011).

Efter endt post-processering er det muligt at plote resultatet. Dette gøres ved at benytte "Plot"-knappen i startvinduet. Alt afhængig af hvilken data der er udregnet under databehandlingen, er der forskellige ting der kan plottes. På figur 41 herunder kan plotvinduet ses.

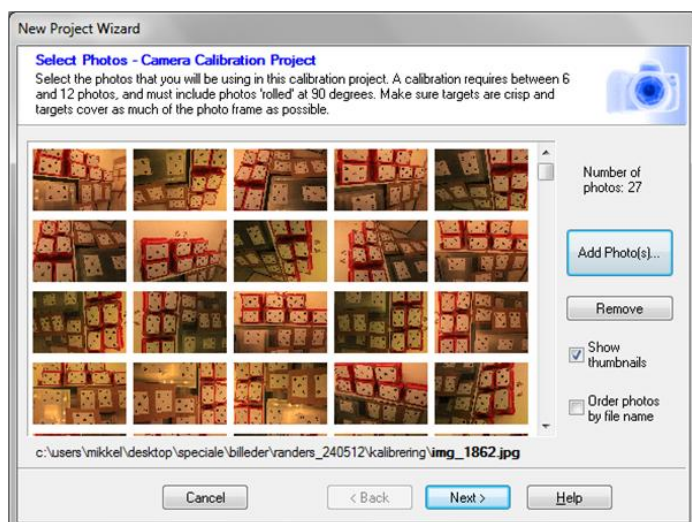


Figur 41: Plot-programmet i RTKLIB. På figuren ses en dataindsamling som projektgruppen har foretaget. I rullegardins-menuen kan det desuden ses hvilke andre muligheder der er for at plotte.

I menuen i plot-funktionen er det muligt at vælge forskellig data der kan plottes. Det kan bl.a. være residualerne på bærebølgerne, XYZ-kordinaten til modtageren under dataindsamlingen eller forskellig informationer om de signaler der observeres fra satellitterne (Takasu 1, 2011).

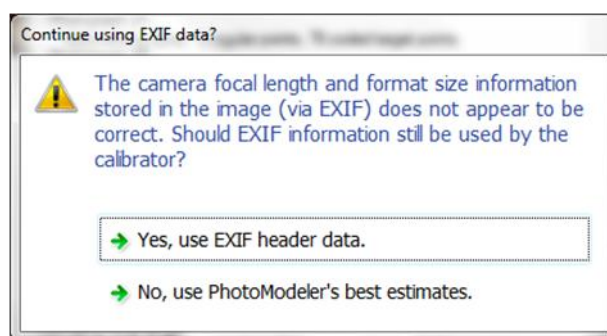
3.5 PhotoModeler

PhotoModeler er det program som projektgruppen primært har anvendt til det fotogrammetriske arbejde. Den udgave som er anvendt under dette projekt hedder Photomodeler Scanner. Programmet er udviklet af Eos Systems Inc, og er anvendelig i forbindelse med forskellige fotogrammetriske operationer i billeder (Eos Systems Inc., 2012). Det første der bør gøres inden det fotogrammetriske arbejde påbegyndes, er at bestemme parametrene til det kamera der benyttes. Dette gøres gennem en kamerakalibrering og dette er PhotoModeler i stand til at lave. I hovedmenuen, der fremkommer ved opstart af programmet, vælges "Camera Calibration Project". Herefter skal de billeder som ønskes anvendt i kalibreringen vælges. Det skal her bemærkes, at der i de anvendte billeder, skal være targets som PhotoModeler automatisk genkender. Figur 43 herunder viser hvorledes dette ser ud.



Figur 43: kamerakalibrerings vinduet der fremkommer når et sådanne projekt vælges. Ved at trykke på "Add Photo(s)" kan de billeder der skal indgå i kalibreringen vælges.

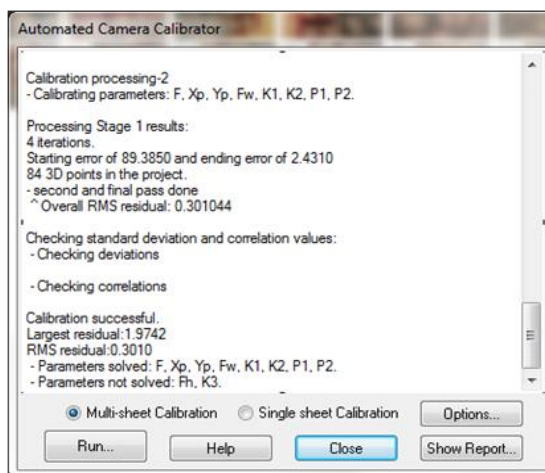
Nå billederne er valgt, kan kalibreringen startes. Herefter finder og markerer programmet alle de targets som findes i billederne. På baggrund af disse beregnes parametrene til kameraet. Det er vigtigt at man svare ja til om EXIF data skal indgå i kalibreringen når programmet spørger, se figur 42.



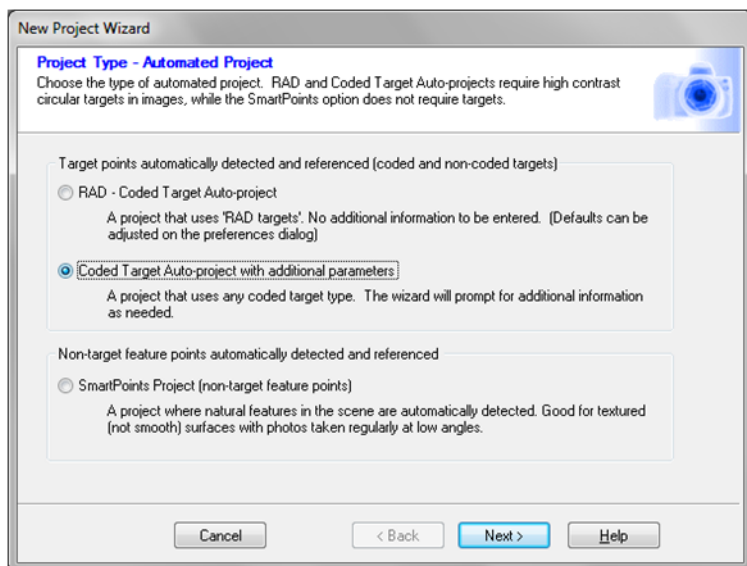
Figur 42: PhotoModeler spørger om der fortsat skal bruges EXIF data i kalibreringen. Til dette bør der svares ja.

Når kalibreringen er overstået, vil der fremkomme et vindue der fortæller om der er fundet en brugelig løsning, se figur 44.

Er kalibreringen forløbet med succes, kan der gemmes et kamera med de fundne parametre. Dette kamera kan så anvendes i andre projekter som laves i programmet. Den anden funktion i programmet som har været anvendt af projektgruppen, er under "Automated Project" i hovedmenuen. Når denne vælges, fremkommer der et vindue, hvor der kan vælges forskellige typer af projekter, se figur 45 herunder.



Figur 44: I vinduet kan resultatet af den foretagne kalibrering ses. Her kan det bl.a. ses hvilke parametre der er løst.



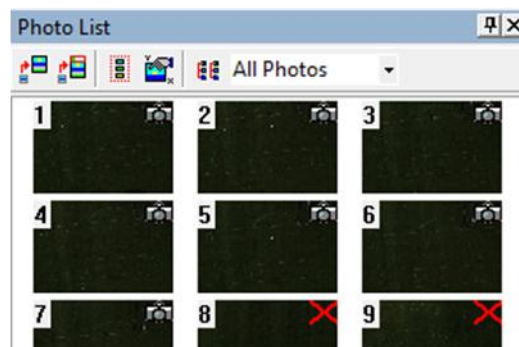
Figur 45: De forskellige typer af automatiserede projekter som kan laves i programmet. Disse er delt op i om programmet skal finde targets i billederne eller ej.

Her er det udelukkende "SmartPoint Project", som er blevet benyttet. Når dette projekt vælges, skal billederne som ønskes anvendt vælges, i samme stil som ved kalibreringen. Herefter startes projektet, og programmet går i gang med at orientere billederne. Måden programmet laver denne orientering på, er ved at finde naturlige punkter, med god kontrast, i de enkelte billeder, hvorefter disse punkter søges matches billederne i mellem (Eos Systems Inc., 2012). Figur 46 herunder er et eksempel på et billede hvor i, der er fundet SmartPoints.



Figur 46: Et eksempel på antallet af SmartPoints som er programmet har identificeret i et enkelt billede. Efterfølgende søges disse matched med SmartPoints fra andre billeder.

På baggrund af disse SmartPoints kan programmet bestemme orienteringen, af de billeder der indgår i projektet. Orienteringen er blot en relativ orientering af billederne i forhold til hinanden. Når programmet er færdig med denne proces, fremkommer der et vindue der viser alle billederne. Såfremt det er lykkedes programmet at anvende billedet, fremkommer der et lille kamera i det højre øverste hjørne. Hvis der er billeder som programmet ikke har kunne placere i forhold til de andre, vil der i stedet fremkomme et rødt kryds. Figur 47 viser dette.

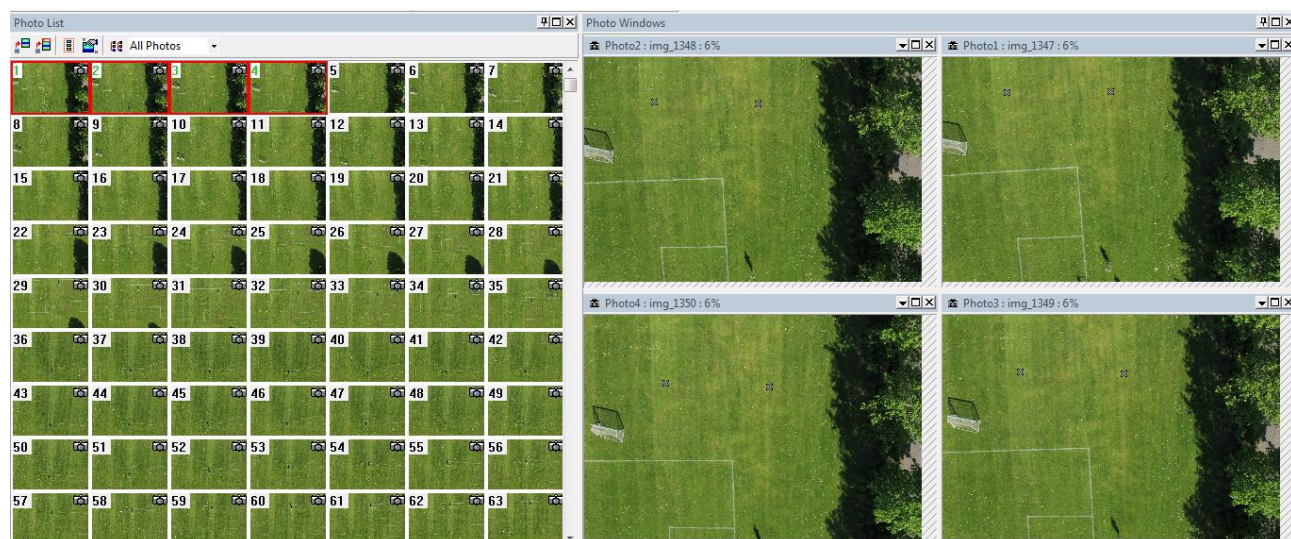


Figur 47: Af vinduet der fremkommer efter programmet er færdig med orienteringen, viser hvilke billeder der er blevet orienteret og hvilke der ikke er.

Lykkedes det ikke at orientere billederne automatisk vha. SmartPoints, kan det forsøges at anvende et mindre antal billeder. Dette kan i nogle tilfælde muliggøre at orienteringen alligevel er mulig. Som alternativ kan billederne sammenknyttes gennem manuel måling af fællespunkter i billederne.

I PhotoModelers værktøjslinje er det muligt at vælge forskellige værktøjer. Gennem disse kan data vises eller bearbejdes. Gennem dette projekt er der primært anvendt følgende 5 værktøjsvinduer; "Photo List", "Photo Windows", "External Geometry Explore", "3D View Windows" og "Table Windows".

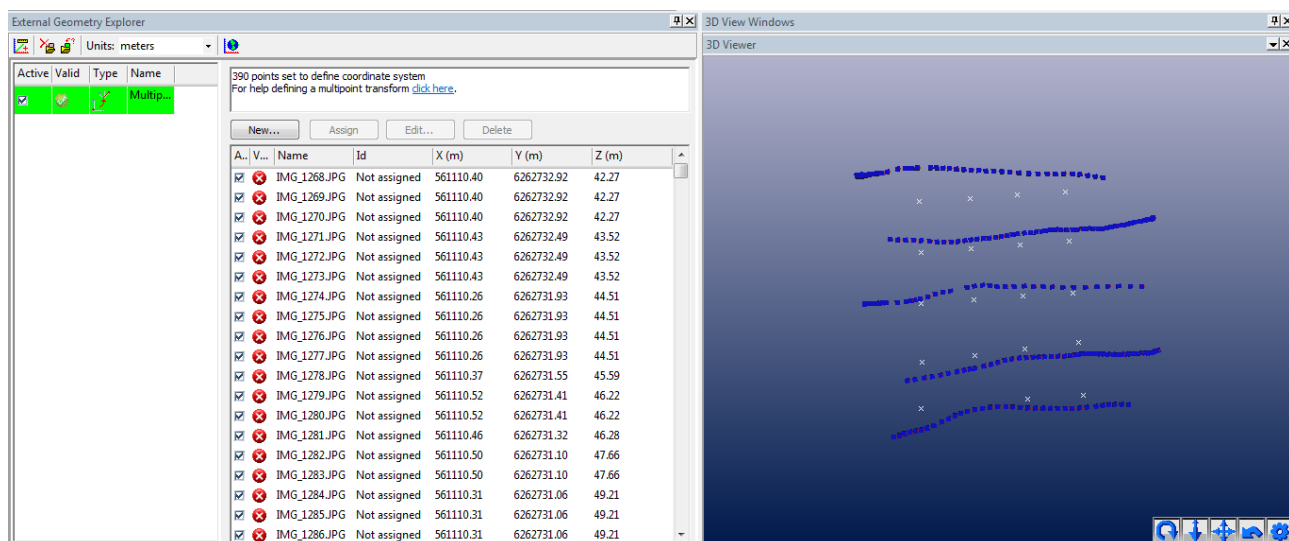
I "Photo List" kan alle billederne der indgår i projektet ses. Som tidligere nævnt, er det også her det kan ses om det enkelte billede er blevet orienteret. I denne liste er det muligt at vælge ét eller flere billeder. Herefter er det muligt at fortage ændringer af bl.a. indstillingerne for billederne. Det kan også vælges at åbne de valgte billeder. Gøres dette fremkommer det andet vindue "Photo Windows". Figur 48 herunder viser dette.



Figur 48: Til venstre ses "Photo List", indeholdende alle billederne i projektet. Til højre ses "Photo Windows", der muliggøre at der kan arbejdes i de enkelte billeder.

Når et billede åbnes i "Photo Windows", muliggøre dette at der kan arbejdes med billedet. Det er bl.a. muligt at navigere rundt i billedet, men det er også her der er mulighed for at måle punkter, slette målte punkter, manuel referere punkter osv..

I " External Geometry Explore" er det muligt at definere geometrien for det pågældende projekt. Der er flere forskellige måder at gøre dette på, men en af måder er ved at indlæse en paspunktsliste. Forudsat paspunkterne er indmålt i flere billeder og sammenknyttet, kan koordinaterne fra listen tilknyttes punktet. Dette kan med fordel gøres i samspil med "3D View Window". I dette værktøj er det muligt at få en 3D visualisering af punkter, kamerastationer m.m. der indgår i projektet. Figur 49 herunder viser dette.



Figur 49: Til venstre ses værktøjet "External Geometry Explorer", der giver mulighed for at definere geometrien i projektet. Til højre ses "3D View Windows" der muliggøre 3D visualisering af data.

Det sidste værktøj der i stor grad er benyttet gennem projektet er "Table Windows". Her kan forskellige tabeller genereres. Der kan bl.a. fås oplysninger om punkter, billeder, kamerastationer og andet data der indgår i projektet. Se figur 50 herunder.

Table Windows																				
Photo table - Cameras																				
Photo #	Camera	Image Width (pixels)	Image Height (pixels)	Focal Length (mm)	Format Width (mm)	Format Height (mm)	Princi... Point X (mm)	Princi... Point Y (mm)	K1	K2	K3	P1	P2	Inverse Focal Length	Inverse Point	Inverse Aspect	Camera's Exif Focal Length	Photo's Exif Focal Length	Point Cover...	DSM Mask name
1	Canon...	5184	3456	18.735...	22.669...	15.113...	11.531...	7.579935	5.4307...	-1.323...	0.000000	-8.443...	7.3176...	no	no	no	18.000...	18.000...	69,702...	
2	Canon...	5184	3456	18.735...	22.669...	15.113...	11.531...	7.579935	5.4307...	-1.323...	0.000000	-8.443...	7.3176...	no	no	no	18.000...	18.000...	71,881...	
3	Canon...	5184	3456	18.735...	22.669...	15.113...	11.531...	7.579935	5.4307...	-1.323...	0.000000	-8.443...	7.3176...	no	no	no	18.000...	18.000...	72,714...	
4	Canon...	5184	3456	18.735...	22.669...	15.113...	11.531...	7.579935	5.4307...	-1.323...	0.000000	-8.443...	7.3176...	no	no	no	18.000...	18.000...	73,107...	
5	Canon...	5184	3456	18.735...	22.669...	15.113...	11.531...	7.579935	5.4307...	-1.323...	0.000000	-8.443...	7.3176...	no	no	no	18.000...	18.000...	75,509...	
6	Canon...	5184	3456	18.735...	22.669...	15.113...	11.531...	7.579935	5.4307...	-1.323...	0.000000	-8.443...	7.3176...	no	no	no	18.000...	18.000...	73,924...	
7	Canon...	5184	3456	18.735...	22.669...	15.113...	11.531...	7.579935	5.4307...	-1.323...	0.000000	-8.443...	7.3176...	no	no	no	18.000...	18.000...	70,801...	
8	Canon...	5184	3456	18.735...	22.669...	15.113...	11.531...	7.579935	5.4307...	-1.323...	0.000000	-8.443...	7.3176...	no	no	no	18.000...	18.000...	70,935...	
9	Canon...	5184	3456	18.735...	22.669...	15.113...	11.531...	7.579935	5.4307...	-1.323...	0.000000	-8.443...	7.3176...	no	no	no	18.000...	18.000...	78,245...	
10	Canon...	5184	3456	18.735...	22.669...	15.113...	11.531...	7.579935	5.4307...	-1.323...	0.000000	-8.443...	7.3176...	no	no	no	18.000...	18.000...	75,804...	
11	Canon...	5184	3456	18.735...	22.669...	15.113...	11.531...	7.579935	5.4307...	-1.323...	0.000000	-8.443...	7.3176...	no	no	no	18.000...	18.000...	76,090...	
12	Canon...	5184	3456	18.735...	22.669...	15.113...	11.531...	7.579935	5.4307...	-1.323...	0.000000	-8.443...	7.3176...	no	no	no	18.000...	18.000...	82,161...	
13	Canon...	5184	3456	18.735...	22.669...	15.113...	11.531...	7.579935	5.4307...	-1.323...	0.000000	-8.443...	7.3176...	no	no	no	18.000...	18.000...	81,666...	
14	Canon...	5184	3456	18.735...	22.669...	15.113...	11.531...	7.579935	5.4307...	-1.323...	0.000000	-8.443...	7.3176...	no	no	no	18.000...	18.000...	82,228...	
15	Canon...	5184	3456	18.735...	22.669...	15.113...	11.531...	7.579935	5.4307...	-1.323...	0.000000	-8.443...	7.3176...	no	no	no	18.000...	18.000...	82,057...	
16	Canon...	5184	3456	18.735...	22.669...	15.113...	11.531...	7.579935	5.4307...	-1.323...	0.000000	-8.443...	7.3176...	no	no	no	18.000...	18.000...	84,671...	
17	Canon...	5184	3456	18.735...	22.669...	15.113...	11.531...	7.579935	5.4307...	-1.323...	0.000000	-8.443...	7.3176...	no	no	no	18.000...	18.000...	89,221...	
18	Canon...	5184	3456	18.735...	22.669...	15.113...	11.531...	7.579935	5.4307...	-1.323...	0.000000	-8.443...	7.3176...	no	no	no	18.000...	18.000...	88,286...	
19	Canon...	5184	3456	18.735...	22.669...	15.113...	11.531...	7.579935	5.4307...	-1.323...	0.000000	-8.443...	7.3176...	no	no	no	18.000...	18.000...	81,197...	
20	Canon...	5184	3456	18.735...	22.669...	15.113...	11.531...	7.579935	5.4307...	-1.323...	0.000000	-8.443...	7.3176...	no	no	no	18.000...	18.000...	82,837...	
21	Canon...	5184	3456	18.735...	22.669...	15.113...	11.531...	7.579935	5.4307...	-1.323...	0.000000	-8.443...	7.3176...	no	no	no	18.000...	18.000...	79,666...	

Figur 50: Et eksempel på en af de tabeller der kan genereres i "Tabel Windows". Denne tabel indeholder oplysninger der knytter sig til de kameraer der indgår i projektet.

Det er relativt nemt at eksportere disse tabeller som eksempelvis et tekstdokument, der således kan anvendes i andre programmer.

PhotoModeler er et program der muliggøre mange forskellige fotogrammetriske handlinger. Fra tid til anden kan det dog knibe en smule med gennemsigtigheden af den proces som programmet anvender for at opnå et resultat. Dette er eksempelvis tilfældet med processen hvorpå de SmartPoints bliver matched.

4 Bilag 1: Forsøg 1 - stationært forsøg 1

Dette forsøg har til formål at beregne den leverarm, som skal bruges for at korrigere GPS-målingerne. Da det ikke er muligt at placere GPS-antennen i kameraets projektionscenteret, skal der i stedet udregnes en afstand mellem disse. Det offset der er mellem GPS-modtageren og kameraets projektionscenter kaldes for leverarmen. Ud over at bestemme dimensionerne til leverarmen, udføres forsøget for at gøre projektgruppen fortrolig med den arbejdsproces som skal til for at bestemme den ydre orientering til billederne. Under forsøget er der anvendt differentiell GPS, og udover det ovennævnte skal forsøget også give projektgruppen noget erfaring i forhold til at post-processere differentiell GPS-data.

Forsøget er udført således, at de data der indsamles, tilnærmelsesvis, minder om det data der ville blive indsamlet under en flyvning med en helikopter. Dvs. der tages lodbilleder og der er en konstant afstand mellem projektionscenteret og GPS antennen. Kamerastativet, der benyttes under dette forsøg, flyttes som hvis der var fløjet fem flystriber med fem billeder i hver linje.

4.1 Forsøgsopstilling

Ved udførelse af forsøget er følgende udstyr anvendt:

- Canon 550D kamera
- Justerbart kamerastativ
- 2 u-blox EVK-4T GPS Evaluation kit
- Øvelsesbane med 42 paspunkter(søm). Målt med totalstation og givet absolutte koordinater ud fra 4 GNSS indmålte fixpunkter.

På det anvendte kamerastativ, var det muligt at påmontere kameraet på undersiden af stativet. På toppen af stativet, monteres den ene af GPS-antennen. Denne GPS vil være den mobile modtager og dermed fungere som rover i den efterfølgende databehandling. Det vil sige at kameraet, og dermed projektionscenteret for de enkelte billeder, og GPS'en er placeret med en konstant afstand i mellem sig. Det er denne afstand som ønskes bestemt.

Den anden GPS modtager placeres under forsøget i et af de opmålte fixpunkter. Denne modtager vil under hele forsøget forblive stationær og derfor vil denne fungere som master i den efterfølgende data behandling.

Til forsøget blev der anvendt en øvelsesbane. Banen bestod af et område der svarede til det areal som 5x5 billeder. Disse, taget med det givne kamera, i den givne højde og med det anvendte zoom, samt det anvendte overlap, fyldte på jorden, ca. 2x4 meter. Hvert billedes omrids blev optegnet på jorden med kridt. Dette blev gjort for at overlappene mellem billederne kunne lokaliseres. I disse overlap placerede projektgruppen paspunkter, samt nummererede disse, se figur 51 herunder. Der er anvendt søm til at etablere paspunkterne.



Figur 51: På billedet til venstre ses hele øvelsesbanen mens billedet til højre viser et mindre udsnit.

4.2 Metode

Selve forsøget er, som tidligere nævnt, udført på den dertil anlagte øvelsesbane. Øvelsesbanen er anlagt således at der er 60% længdeoverlap mellem billederne i hver strip, og 20% sideoverlap mellem hosliggende strips. I overlappende er der placeret paspunkter, således at der er mulighed for at orientere billederne efter disse, eller anvende dem som kontrolpunkter. Ved forsøgets start, er de to u-blox GPS'er blevet tilkoblet hver deres bærbare computer. På computerne er programmet u-center installeret. U-center anvendes til at logge data fra u-blox modtagerne. Stativet blev placeret i det øverste venstre hjørne af øvelsesbanen. Stativet blev placeret således, at det område der blev affotograferet passede med det område der var afmærket til første billede (se figur 52).



Figur 52: Det første billede taget i forsøg 1.

Inden selve forsøget stod begge GPS-modtagere stille i 15 min, således at der efterfølgende kan beregnes en initialisering. Herefter skal modtagerne måle kontinueret gennem hele forsøget. Data logges med en frekvens på 1Hz.

Forsøget blev udført ved at stativet blev placeret der hvor billedet skulle tages. Før billedet blev taget, stod stativet urørt i ét minut. Det vil sige at der blev indsamlet GPS-data i et minut på det sted hvor billedet efterfølgende blev taget. Herefter blev stativet rykket 24 cm (hvilket svarer til 60% længde overlap), og herefter blev der igen indsamlet GPS-observationer i ét minut, inden næste billedede blev taget.

Det data som ønskes indsamlet under forsøget, er et billede med sammenhørende GPS-position. Da GPS-positionerne kontinueret bliver lagret hvert sekund, er det nødvendigt at forsøget bliver udført på en sådan måde, at det efterfølgende er muligt at identificere de positioner der hører til et billede. Ved at indsamle observationer i ét minut opnås en stor samling af GPS-positioner netop der hvor billedet er taget, og dermed kan disse positioner identificeres.

I forbindelse med øvelsesbanen, etablerede projektgruppen fire fix-punkter (små jernrør der

blev hamret i jorden), og disse fire punkters koordinater blev bestemt vha. RTK-GNSS måling. Desuden blev der på selve øvelsesbanen etableret 42 paspunkter (jernsøm). Disse, samt de fire fix-punkter, blev målt op med totalstation.

4.3 Databehandling

Databehandlingen til dette forsøg har været temmelig omfattende, og involveret flere forskellige programmer. Her under ses en overordnet oversigt over flowet i databehandlingen, og efterfølgende er der en nærmere beskrivelse af de enkelte trin. Erfaringer fra denne første databehandling har være med til at danne grundlag for den databehandling som er udarbejdet til systemet, afsnit 8, Præsentation af beregningsmetode i rapporten.

- Behandling af målinger fra totalstation og RTK-GNSS.
- Behandling af GPS-data
 - formatering af data
 - korrektion af GPS-observationer
 - udtynding af data
- Behandling af Billed-data
 - absolut orientering af kamerastationerne vha. paspunkter
 - bestemmelse af leverarm
 - absolut orientering af kamerastationerne vha. GPS-obs. korrigeret med leverarm
- Sammenligning af paspunkts-koordinater

Behandling af målinger fra totalstation og RTK-GNSS: Data fra totalstation samt GNSS-data blev udlæst, og vha. de RTK-GNSS bestemte koordinaterne til de fire fix-punkter, blev de 42 paspunkters absolutte koordinater bestemt. Alle koordinater blev bestemt i UTM 32 og WGS 84 DVR90.

Behandling af GPS-data: Det var ved forsøgets udførelse tiltænkt at den ene u-blox modtager skulle anvendes som master, og at observationerne fra denne skulle anvendes til at korrigere observationerne fra den anden u-blox modtager (rover). I perioden efter forsøgets udførelse fik projektgruppen adgang til referencedata fra GPSnet. Da LE34 i det daglig har et tæt samarbejde med netop GPSnet, og da der oftest anvendes referencene, valgte projektgruppen at anvende data herfra (se Bilag 21), frem for det data som var indsamlet af u-blox modtageren. En mindre ulempe ved dette var, at data kun kunne fås med et interval på 5 sekunder (0,2 Hz). Det betyder omvendt ikke det store for forsøget, da der blev observeret i minimum ét minut i de enkelte punkter.

Til post-processering anvendes Trimble Geomatics Office. Ud over de to RINEX filer fra henholdsvis rover og master modtager, skal programmet også have en navigationsfil. Det der i den endelige arbejdsproces ønskes eksporteret, er tiden, samt koordinaten til de enkelte observationer.

Da der under forsøget blev observeret i ca. et minut ved hver kamerastation, betyder det at der er mange GPS positioner til hver kamerastation. Da der kun skal være én GPS-observation pr. billede, blev filen indlæst i programmet MATLAB. Gennem et script (se Bilag 23) blev de positioner der hørte til de enkelte billeder identificeret. Et middel af disse blev udregnet og anvendes fremover som GPS positionerne til billederne.

Under behandlingen af GPS-data viste det sig hurtigt at der var en fejl i målingerne. De to første striber, ligger i en anden kote end de efterfølgende tre. Da øvelses banen er relativ plan, må der være sket en fejl i løbet af forsøget. Det kan muligvis skyldes tabt initialisering.

Projektgruppen har, ud fra højden på punkterne, undersøgt hvilke punkter der lå i korrekt kote. Det viser sig at de tre sidste linjer er dem med korrekt højde. Derfor vælges det at gennemføre forsøget, ved kun at anvende data til disse sidste tre linjer.

Behandling af Billed-data: Den første del af billedbehandlingen havde til formål at absolut orientere billederne vha. de opmålte paspunkter. Når disse er bestemt, kan leverarmen udregnes.

I ImageStation er koordinaterne til de enkelt paspunkter indlæst. Paspunkterne er herefter fundet og målt i billederne. Efter denne sammenknytning er fortaget, har ImageStation genereret yderligere sammenknytningspunkter og en samlet udjævning er lavet. Denne udjævning gav de ydre parametre til de enkelte billeder.

Ved at tage forskellen mellem disse ydre orienteringer og de GPS-positioner som er bestemt, kan projektgruppen bestemme den afstand som er mellem GPS'en og projektionscenteret. Denne afstand betegnes som leverarmen, og er et udtryk for hvor meget GPS positionen skal korrigeres, for at svare til projektionscenteret i billedet. Til at beregne leverarmen er der udarbejdet et script (se Bilag 10) i MATLAB. Gennem anvendelse af rotationsmatricerne flyttes de ydre orienteringer af billederne først fra UTM-systemet over i kameraets koordinatsystem. Derfra udregnes en leverarm til hvert enkelt billede. Da der ikke er overensstemmelse mellem disse, er der lavet et middel og denne er anvendt som leverarm i den sidste del af forsøget.

Den anden del af billedbehandlingen går ud på at bestemme billedernes ydre orientering, uden brug af paspunkterne. Det vil sige at den udregnede leverarm anvendes til at flytte GPS-positionen ned til projektionscenteret for det enkelte billede, og gennem en udjævning bestemmes den ydre orientering.

I ImageStation indlæses billederne samt de observerede GPS-positioner. I programmet findes en funktion, hvor en flytning af de indlæste GPS-positioner kan foretages. Det betyder at dimensionerne til leverarmen indtastes, hvorefter GPS-positionerne bliver flyttet til kamerastationernes projektionscenter. Herefter laves en absolut udjævning og de ydre parametre til billederne bestemmes. Disse ydre parametre er udelukkende bestemt på baggrund af GPS-positionerne der er korrigeret med leverarmen.

Sammenligning af paspunkts-koordinater: For at vurdere hvor godt det er lykkedes projektgruppen at bestemme leverarmen, er der lavet en sammenligning af de indmålte paspunkter. Der er bestemt koordinater til disse paspunkter gennem den totalstations måling som blev fortaget i starten af forsøget. For at kunne sammenholde paspunkts koordinaterne, skal disse ligeledes måles og koordinatsættes i de billeder der er orientere vha. GPS-positionerne. I ImageStation kan paspunkterne måles i billederne, og her ved kan koordinaterne bestemmes.

Da koordinaterne, bestemt via totalstation, er relativt nøjagtige, kan den difference der er mellem disse og de koordinater der stammer fra billederne ses som et udtryk for, hvor korrekt den fundne leverarm er, samt hvor godt det er lykkedes at orientere billederne.

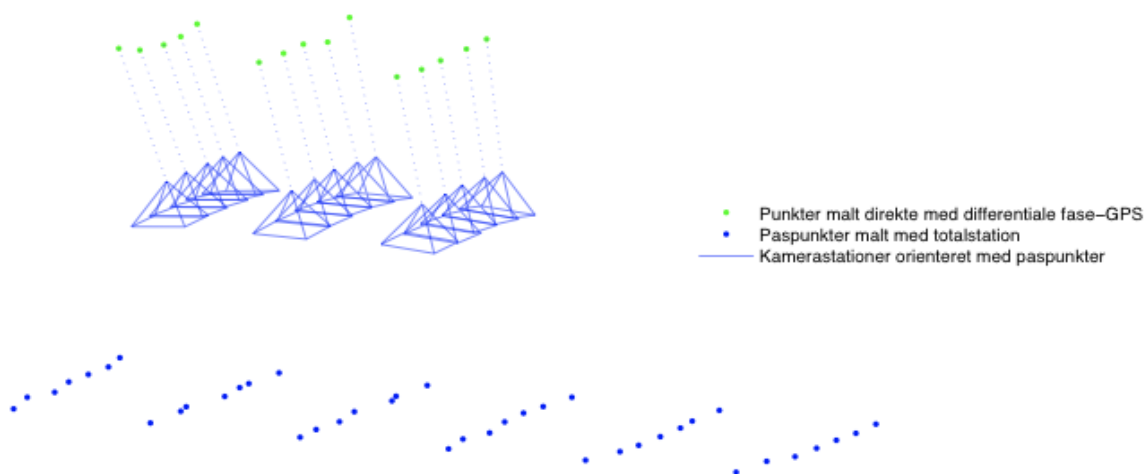
4.4 Resultater

I dette afsnit bliver resultaterne fra databehandlingen visualiseret og præsenteret. Disse trin viser hvordan forsøget er forløbet, og hvordan resultaterne bliver evalueret og kvalitetskontrolleret. Dette afsnit deles op i tre dele; del ét viser hvordan leverarmen beregnes, del to viser hvordan orienteringen udføres uden anvendelse af paspunkter og del tre evaluerer på afvigelserne mellem del et og del to.

4.4.1 Del 1 – beregning af leverarm

Som før beskrevet blev der på testbanen etableret paspunkter således at der i hvert billede kunne indmåles seks punkter. Disse paspunkter kan i figur 53 herunder ses som blå punkter. I ImageStation blev paspunkterne målt i billederne, og de absolutte koordinater til punkterne, målt med totalstation, blev ligeledes indlæst. Ud fra disse målinger, og en række automatisk genererede sammenknytningspunkter fra ImageStation, blev alle billederne tildelt en ydre orientering (X , Y , Z , ω , φ og κ) gennem en stråleudjævning.

Disse ydre orienteringer kan også ses i nedenstående billede. Projektionscenteret er toppen af ”pyramiden”, og roteringerne fremgår ligeledes af orienteringen af pyramiden. De grønne punkter over kamerastationerne er GNSS-positionerne målt med EVK-4T. Vektoren fra GPS-modtageren og til projektionscenteret er også indtegnet.



Figur 53: På denne figur ses paspunkter målt med totalstation (blå punkter), kamerastationer orienteret vha. paspunkter (blå pyramider) og GPS positioner (grønne punkter). Leverarmene fra GPS til kamera kan også ses som stiplede linier.

Et af de første trin i dette forsøg er at få bestemt leverarmen. Ved at sammenholde beregnede positioner til kamerastationer med GPS-positioner, fås forskellen imellem disse og dette er nødvendigvis leverarmene. Da leverarmen skal bestemmes i kameraets koordinatsystem, som ofte er roteret relativt til f.eks. UTM, skal disse roteres jf. de rotationer som bestemmes i ImageStation til billederne. Hver leverarm roteres dermed med den rotation som hører til det enkelte billede. Til sidst beregnes der et gennemsnit, og dette er den beregnede leverarm.

Før rotation	Billede	E / m	N / m	H / m	Efter rotation	Billede	X / m	Y / m	Z / m
	11	-0,10	-0,05	0,59		11	0,16	-0,01	0,59
	12	-0,11	-0,01	0,57		12	0,16	-0,02	0,57
	13	-0,10	0,01	0,57		13	0,15	-0,02	0,57
	14	-0,09	0,03	0,58		14	0,15	-0,01	0,58
	15	-0,09	0,05	0,60		15	0,14	0,00	0,60
	16	-0,15	0,02	0,58		16	0,16	-0,09	0,58
	17	-0,15	0,03	0,57		17	0,15	-0,07	0,57
	18	-0,15	0,03	0,57		18	0,16	-0,04	0,57
	19	-0,14	0,01	0,55		19	0,15	0,00	0,55
	20	-0,14	0,06	0,63		20	0,15	-0,02	0,63
	21	-0,22	-0,01	0,61		21	0,17	-0,05	0,61
	22	-0,21	-0,00	0,55		22	0,17	-0,03	0,55
	23	-0,20	0,02	0,53		23	0,17	-0,02	0,53
	24	-0,20	0,03	0,54		24	0,16	-0,02	0,54
	25	-0,21	0,05	0,57		25	0,16	-0,02	0,57
	gns,	-0,15	0,02	0,57		gns,	0,16	-0,03	0,57
sigma	0,05	0,03	0,03	sigma	0,01	0,03	0,02		

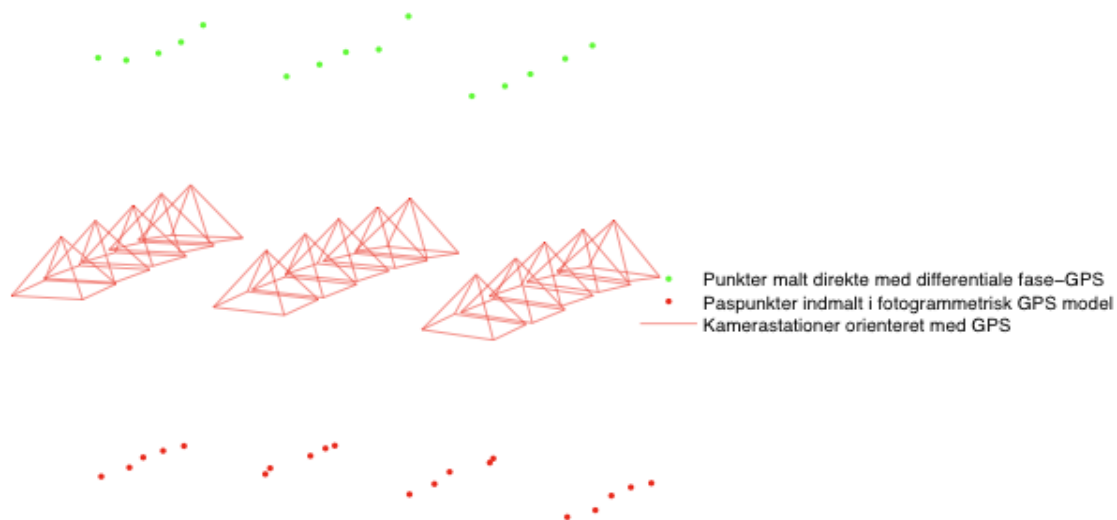
Figur 54: Denne tabel viser leverarmene imellem GPS-mottageren og de beregnede kamerastationer. Disse differencer er både opgivet før og efter roteringerne ud fra omega, phi og kappa. Nederst ses den gennemsnitlige leverarm, samt spredningen på denne.

I ovenstående skema kan leverarmene ses, både før og efter rotering jf. billedernes orientering. Det kan ses at spredningen på leverarmen bliver mindre efter rotering, hvilket som udgangspunkt er et godt tegn. Derudover kan det ses at X-kordinaten i leverarmen skifter fortegn. Dette skyldes at alle billeder har en Kappa-værdi svarende til ca. 180 grader. Det kan også ses at Z-værdien er uændret, og dette passer godt overens med at billederne blev taget næsten i lod. Den beregnede leverarm er dermed:

X / m	Y / m	Z / m
0,16	-0,03	0,57

4.4.2 Del 2 – orientering vha. GPS positioner

I denne del af forsøget anvendes den beregnede leverarm [0,16 -0,03 0,57] til at orientere billederne uden anvendelse af paspunkter. Dette gøres ved at fjerne paspunkterne fra beregningerne og i stedet indlæse GPS punkterne, samt den beregnede leverarm i ImageStation. ImageStation kan herefter beregne kamerastationerne og disse beregninger har givet kamerastationer svarende til de røde pyramider på figur 55 herunder. I den fotogrammetriske model som her beregnes, måles og koordinatgives også de paspunkter som tidligere er indmålt med totalstation. Disse punkter kan ses som røde punkter under figuren.

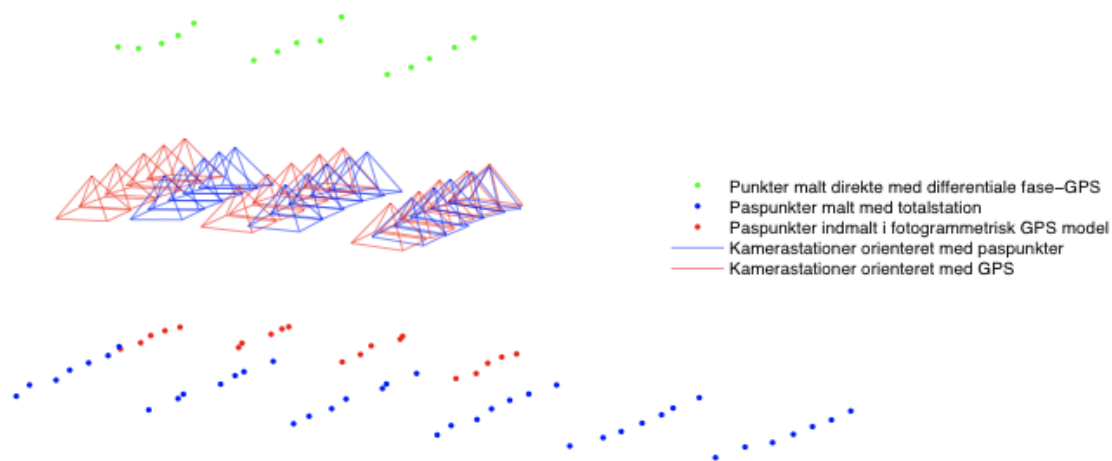


Figur 55: Denne figur viser GPS positionerne som grønne punkter, kamerastationer og deres orientering som røde pyramider og paspunkter tildelt koordinater gennem den fotogrammetriske model som røde punkter.

Ovenfor ses både kamerastationer og punkter på jorden, som alle er koordinatsat gennem GPS positionerne fra EVK-4T. Kamerastationerne og de koordinatgivne punkter skal i næste del af forsøget sammenholdes med de tidligere beregnede kamerastationer og paspunkter.

4.4.3 Del 3 – kvalitetskontrol og evaluering

På nedenstående billede kan uoverensstemmelserne imellem den GPS orienterede model og den paspunktorienterede model ses. Det fremgår at der er en forskydning imellem både kamerastationerne og punkterne på jorden.



Figur 55B: Af figuren kan afvigelsen mellem den GPS orienterede blok og den blok som er orienteret gennem totalstationsmålingen ses. Det kan ses at både kamerastationer og paspunkter ligger forkert.

Det er meget tydeligt at der er en forskel. Dette gælder både for kamerastationerne, men også for paspunkterne. I nedenstående skema kan forskellene imellem kamerastationerne ses. Både forskel i positionen, men også forskellen i orienteringen kan ses.

Billede	E / m	N / m	H / m	O / deg	P / deg	K / deg
11	0,053	0,182	-0,002	0,420	1,644	0,349
12	0,039	0,128	-0,005	0,340	1,627	0,440
13	0,032	0,072	-0,006	0,179	1,638	0,563
14	0,019	0,014	-0,006	0,052	1,624	0,681
15	0,011	-0,045	-0,004	0,007	1,609	0,772
16	0,183	0,137	-0,009	1,541	-0,325	0,836
17	0,167	0,088	-0,005	0,887	-0,379	0,744
18	0,157	0,039	-0,003	0,271	-0,284	0,759
19	0,144	-0,013	-0,003	-0,075	-0,148	0,815
20	0,134	-0,068	0,000	-0,258	-0,182	0,829
21	0,312	0,128	-0,006	-0,563	-2,195	1,318
22	0,298	0,074	-0,010	-0,640	-2,214	1,213
23	0,282	0,018	-0,013	-0,724	-2,249	1,082
24	0,273	-0,040	-0,014	-0,723	-2,277	0,978
25	0,264	-0,096	-0,013	-0,751	-2,286	0,863

Figur 56: Denne tabel viser afvigelserne imellem positionerne og orienteringerne af kamerastationer. Det kan ses at højden passer godt overens, men at der er afvigelser i XY planet. Omega, Phi og Kappa passer heller ikke helt overens.

I ovenstående skema kan afvigelserne mellem de beregnede ydre orienteringer ses. Det er tydeligt at noget er gået galt. Forskelle i planet på op imod næsten 30cm er ikke acceptable. Ligeledes kan det i nedenstående skema ses hvordan paspunkterne/kontrolpunkterne er flyttet. Ved disse punkter er der også flytning i højden.

Paspkt	E / m	N / m	H / m
116	-0,024	0,174	0,193
117	-0,041	0,141	0,194
118	-0,042	0,089	0,201
119	-0,050	0,046	0,196
120	-0,061	0,008	0,187
123	0,117	0,156	0,237
124	0,106	0,115	0,243
125	0,103	0,067	0,246
126	0,082	0,008	0,238
127	0,082	-0,017	0,234
130	0,260	0,108	0,237
131	0,258	0,081	0,241
132	0,234	0,025	0,245
133	0,229	-0,022	0,237
134	0,225	-0,045	0,232
137	0,413	0,075	0,177
138	0,391	0,044	0,189
139	0,389	-0,012	0,185
140	0,378	-0,055	0,180
141	0,369	-0,100	0,170
gns.	0,171	0,044	0,213

Figur 57: Denne tabel viser afvigelserne imellem paspunkter målt med totalstation og paspunkter bestemt gennem den fotogrammetriske model orienteret vha. GPS. Dete kan ses at der er ret store afvigelser.

Grunden til at det er gået galt, er muligvis at der ikke er udført en kamerakalibrering inden forsøgets udførelse. Dette kan forklare resultaterne på følgende måde:

- Billederne orienteres vha paspunkter, men kamerakonstanten er angivet for højt. Dette bevirker at blokken bliver skaleret og dermed blive kamerastationerne skubbet opad. Derigennem er leverarmen blevet beregnet for kort
- Når der efterfølgende regnes tilbage igen bliver GPS positionerne korrigeret med en for kort leverarm, og ligger dermed igen for højt.
- Når paspunkterne digitaliseres kommer de dermed til at bliver forskudt med op.

4.5 Erfaringer

Det er meget tydeligt at der er en fejlkilde i dette forsøg. Dette kan både konkluderes ud fra uoverensstemmelserne imellem kamerastationerne og paspunkterne, men det kunne også ses tidligere i forsøget. I de fotogrammetriske modeller ses området som værende "krumt", selvom

at der er et meget fladt område. Projektgruppen har gennem tidligere projekter erfaret at forkert linsefortegning kan være medvirkende til at modellen krummer. Derudover var projektgruppen klar over at kamerakonstanten var tvivlsom inden forsøget blev startet, da denne blev taget fra EXIF-billed data, og ikke fra en egentlig kamerakalibrering. Det kan dermed, selvom det ikke kommer som en overraskelse, konkluderes at der skal foretages en kamerakalibrering inden næste forsøg udføres. Dette forsøg blev hovedsagelig udført for at få erfaring med de anvendte programmer, samt at få udført nogle fotogrammetriske forsøg så hurtigt som muligt.

Den metode der anvendes til at bestemme leverarmen, har, på trods af det tvivlsomme resultat, vis sig at virke efter hensigten, og det antages at der med en korrekt kamerakalibrering, også vil kunne opnås et godt resultat på baggrund af denne metode til at bestemme leverarmen.

Ud over disse erfaringer har forsøgt givet en forståelse og et indblik i hvordan en lang række forskellige programmer fungerer, og hvordan data-flowet imellem disse kan opbygges. Denne erfaring vil bidrage til at databehandlingen og beregningerne til lignende forsøg og fremtidige fotoflyvninger vil gå betydeligt hurtigere.

5 Bilag 2: Forsøg 2 - kamerakalibrering

Forsøget omhandler kalibrering af det kamera der fremover anvendes til forsøgene. Forsøg 1 viste at en af de ting som var vigtig for resultatet, var at kameraets indre parametre var meget præcist bestemt. En upræcis kalibrering er også noget der vil kunne få stor indflydelse på det endelige resultat. Eftersom det er målet ikke at anvende paspunkter ved flyvningerne, er der heller ikke noget til at kontrollere om modellen bliver skaleret. Derfor er det meget vigtigt at kameraparametrene er bestemt korrekt. Dette kan gøres gennem en kamerakalibrering. Der er flere forskellige metoder til at kalibrerer et kamera på, og der er ligeledes flere forskellige måder hvorpå de fundne kalibreringsparametre bliver korrigeret i forskellige fotogrammetriske programmer. Derfor er det vigtigt at vælge en korrekt kalibreringsmetode i forhold til hvilke programmer der anvendes til billedbehandling.

Projektgruppen har valgt at foretage kamerakalibreringen i programmet PhotoModeler. Programmet har en indbygget funktion der automatisk kan beregne kalibreringsparametrene til et givet kamera, forudsat at man anvender nogle targets som programmet kan genkende. PhotoModeler vist sig at være anvendeligt i forhold til den billedbehandling som laves i dette projekt. Dette betyder også at kalibreringsmetoden spiller sammen med programmet, hvilket gør arbejdsgangen noget nemmere, samt eliminere eventuelle fejlkilder. Forsøget går derfor ud på at blive fortrolig med at anvende kalibreringsfunktionaliteten, samt at få lavet en kalibrering af kameraet der senere skal anvendes til forsøg.

5.1 Forsøgsopstilling

For at kunne kalibrere kameraet, skal der tages en række billeder af det samme område. I området hvor billederne tages skal der være placeret en række targets. Targets skal printes fra Photomodeler, da dette således kan autogenkende disse og anvende dem til at kalibrere kameraet efter. Ved placering af targets, er det tilstræbt at placere disse i forskellige niveauer, da dette vil forbedre kalibreringen. Desuden er det tilstræbt at have så mange targets som muligt i området, da dette også er med til at forbedre kalibreringen. Figur 58 viser et eksempel på et af de billeder der er taget i forbindelse med forsøget.



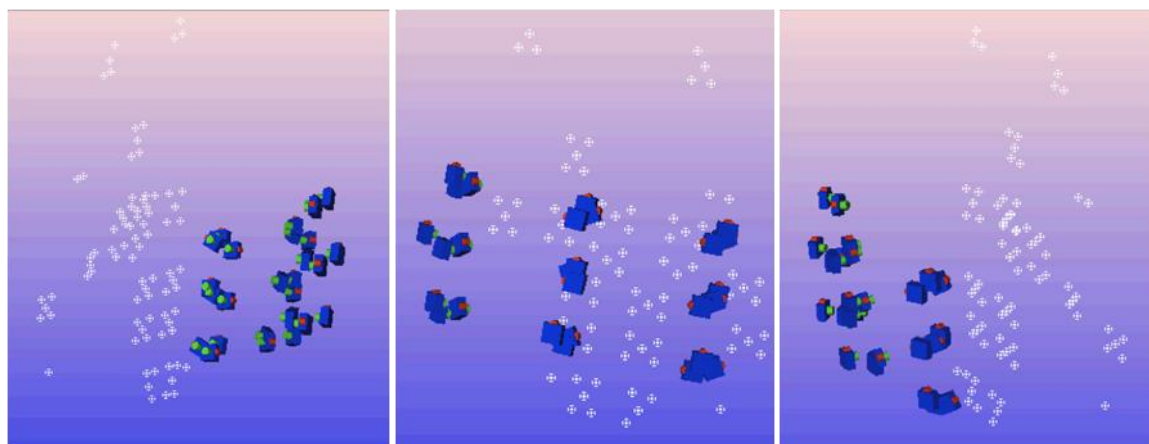
Figur 58: Placeringen af targets ved udførelse af kamerakalibreringen.

Under forsøget blev der anvendt et Canon 550D kamera der var påmonteret et stativ.

5.2 Metode

De parametre der ønskes bestemt ved denne kalibrering er kamerakonstant, hovedpunktsforskydning og linsefortegning til det anvendte kamera. Da billederne der skal tages ved Forsøg 3 skal tages i samme højde som ved Forsøg 1, tilstræbes det at kalibreringen laves i nogenlunde samme afstand. Det vil sige at kameraet indstiller zoom og fokus således at billedet er skarpt i ca. 1,5 meters afstand. Desuden indstilles forskellige billedindstillinger så som; ISO, blændeåbning og eksponeringstid, således at disse passer til forholdene. Herefter tages en række billeder som skal anvendes til kalibreringen. Ved udførelse af forsøget er der taget 27

billeder af kalibreringsområdet. Billederne skal tages fra forskellige vinkler og kameraet skal også roteres på forskellig vis, mellem hvert enkelt billede. Et eksempel på hvordan billederne er optaget kan ses på billederne herunder:



Figur 59: Screenshot af hvordan de 27 billeder er taget. De blå kasser er kameraerne, roteret ligesom ved forsøgsopstillingen. Det er muligt at se hvordan kameraerne er roteret på den røde plet på kameraet. De hvide punkter svarer til de targets som der kalibrer efter.

Det bedste resultat opnås såfremt der er targets jævnt fordelt i hele billedet, og især er det vigtigt at være opmærksom på at der targets i kanterne af billedet.

5.3 Databehandling

Selve databehandlingen af billederne, samt udregningen af de forskellige parametre, er i høj grad automatiseret i PhotoModeler. Ved at vælge projekttypen "Camera Calibration", åbnes den funktion i programmet der laver kalibreringen. Herefter vælges de billeder som skal anvendes i udregningen. PhotoModeler identificerer nu de targets som programmet kan genfinde i billederne og en kalibrering fortages. Efter endt udregning vil det være muligt at se de beregnede parametre, samt få en rapport over hvordan kalibreringen er forløbet. Her kan en overordnet RMS for kalibreringen også ses. Denne kan bruges til at vurdere hvor vellykket kalibreringen har været.

Inden kalibreringen accepteres, er det muligt at se residualet på hvert target i hvert enkelt billede. Her vil eventuelle grove fejl kunne identificeres manuelt. Ved at gennemgå disse, kan kalibreringen forbedres.

Efter at de værste fejl er frasorteret og et tilfredsstillende resultat er opnået, kan den fundne kalibrering gemmes. I senere projekter kan dette kamera således anvendes og den fundne kamerakonstant, hovedpunktsforskydning, samt linsefortegning vil blive anvendt.

For at finde ud af hvor pålidelig PhotoModelers kalibrering var, foretog projektgruppen tre kalibreringer, hvor indstillingerne for kameraet blev fastholdt. Der blev ved hver kalibrering taget 27 billeder fra forskellige placeringer i forhold til kalibreringsområdet. En sammenligning af disse tre kalibreringer skulle således gerne give nogenlunde samme værdier til henholdsvis kamerakonstant og linsefortegning.

5.4 Resultat

Under forsøget er der lavet tre kalibreringer. I hver af disse kalibreringer er der lavet en førsteberegning. Denne førsteberegning er herefter manuelt kigget igennem for at identificere

de punkter der havde store residualer. Disse er blevet fjernet og en anden gennemregning af kalibreringen er foretaget. De fulde dokumentationsfiler for gennemregningerne kan ses i bilag 24. I figur 60 herunder kan den overordnede RMS for de to beregninger ses, samt det højeste residual på et enkeltpunkt.

	1. beregning		2. beregning	
	Overordnet RMS	Enkelt punkt	Overordnet RMS	Enkelt punkt
Kalibrering 1	0,333 pixel	1,497 pixel	0,329 pixel	0,981 pixel
Kalibrering 2	0,203 pixel	0,883 pixel	0,199 pixel	0,818 pixel
Kalibrering 3	277,030 pixel	1887,730 pixel	0,249 pixel	1,277 pixel

Figur 60: Residulerne for de beregninger som er foretaget under kalibreringerne.

Umiddelbart ser kalibreringsforsøg 2 ud til at være den kalibrering der er forløbet bedst, men der er dog ikke den store forskel på de tre kalibreringer. I figur 61 herunder er de beregnede parametre fra den 2. beregning vist.

	Kalibrering 1	Kalibrering 2	Kalibrering 3
Kamera-konstant (mm)	19,3660	19,3598	19,3562
Hoved-punkt i x (mm)	11,404	11,419	11,405
Hoved-punkt i y (mm)	7,612	7,631	7,637
Linse-fortegning (K1)	$4,873 \times 10^{-4}$	$4,950 \times 10^{-4}$	$4,958 \times 10^{-4}$
Linse-fortegning (K2)	$-1,137 \times 10^{-6}$	$-1,176 \times 10^{-6}$	$-1,177 \times 10^{-6}$
Linse-fortegning (P1)	$-1,512 \times 10^{-5}$	$-1,992 \times 10^{-5}$	$-2,155 \times 10^{-5}$
Linse-fortegning (P2)	N/A	$3,066 \times 10^{-5}$	$2,085 \times 10^{-5}$

Figur 61: Resultatet af de beregninger som har fundet kamerakonstanten, hovedpunktet samt linsefortegningen i de tre kalibreringer.

Som det kan ses af tabellen er resultatet af de tre kalibreringer relativt tæt på hinanden. Afvigelse i kamerakonstanten er inden for 0,0098mm. I billedernes EXIF fil fremgår det at kamerakonstanten er på 18mm. De 19 mm som er fundet under kalibreringen antages derfor at være pålidelige. Forskellen stammer formentlig fra fokus eller lignende småjusteringer. En ændring af kamerakonstanten inden for den ovenstående forskel, fra f.eks. 19,00mm til 19,01mm, giver samme procentielle ændring i skalaen i den fotogrammetriske model. Dette betyder at hvis flyvehøjden er omkring 30m, som anses for at være et realistisk bud med en helikopter, så vil en genereret højdemodel ligge 0,015m lavere ($0,01\text{mm}/19\text{mm} \cdot 30\text{m}$). Da 1,5cm er inden for det acceptable, så er den metode som photomodeler anvender til at bestemme kamerakonstanten derfor fornuftig.

5.5 Erfaring

Forsøget har lært projektgruppen at fortage en kamerakalibrering i PhotoModeler. Det ser ud til at kalibreringen er lykkedes. Det vil fremover være nødvendigt at lave en ny kalibrering hver gang der ændres på zoom eller fokus på kameraet.

6 Bilag 3: Forsøg 3 - stationært forsøg 2

Gennem forsøg 1 blev det vist at det er muligt at orientere kamerastationer vha. GPS-positioner, omend der var en række fejlkilder i det udførte forsøg. Derfor udføres der endnu et forsøg, hvor disse fejl rettes. Derudover anvendes der er i dette forsøg et andet fotogrammetrisk software, PhotoModeler, da kamerakalibrering og anvendelse af denne kalibrering er hurtigt og effektivt her. Desuden har projektgruppen gjort sig en række erfaringer i forhold til PhotoModeler, der viser sig at være ganske velegnet til at løse de fotogrammetriske opgaver som dette projekt giver. Det betyder også at der laves kamerakalibrering og fotogrammetrisk arbejde i samme program, og dette eliminerer chancen for at lave fejl såfremt dette blev gjort i to forskellige programmer.

Formålet i dette forsøg er ligesom i forsøg 1 først at bestemme leverarmen. Derefter skal denne anvendes til at orientere billederne ud fra GPS observationer, og til sidst koordinatgives de paspunkter der ligger i området. Disse koordinater sammenholdes afslutningsvist med totalstationsopmålinger, og differencer findes.

Desuden anvendes der 1Hz referencedata fra GPSnet i stedet for at opsætte egen referencestation, da det vidste sig ved forsøg 1, at dette var en fornuftig løsning.

6.1 Forsøgsopstilling

Samme forsøgsopstilling som ved forsøg 1.

6.2 Metode

Samme Metode som ved forsøg 1.

6.3 Databehandling

- Behandling af målinger fra totalstation og RTK-GNSS.
- Behandling af GPS-data
 - o Konvertering af ubx data til RINEX-format
 - o Beregning af 1 Hz GPS positioner i TGO
 - o Beregning af gennemsnit af positioner til hver kamerastation
- Behandling af Billed-data (del 1)
 - o Relativ orientering gennem smartpoints (reference/kilde)
 - o Absolut orientering gennem paspunkter
 - o Beregning af leverarm (difference imellem GPS og kamerastation inkl. rotering)
- Behandling af billed-data (del 2)
 - o Relativ orientering gennem smartpoints
 - o Absolut orientering (foreløbig) gennem GPS positioner
 - o Anvendelse af omega, phi og kappa til korrektion af GPS positioner gennem leverarm
- Behandling af billed-data (del 3)
 - o Opdatering af absolutte GPS positioner, og udlæsning af absolutte koordinater til sømmene.
- Sammenligning af koordinaterne fra sømmene, sammenkntningpunkstkoordinater vs totalstationskoordinater.

6.4 Resultat

I dette afsnit bliver resultaterne fra forsøget præsenteret. Beregningerne i dette afsnit er tilsvarende med dem præsenteret i forsøg 1, og derfor gennemgås de hurtigere, og uden samme grad af visualiseringer, her.

6.4.1 Del 1 – beregning af leverarm

Billederne orienteres vha. paspunkter, hvorefter leverarmen imellem GPS-modtageren og projektionscenteret beregnes som følgende:

	Før rotation					Efter rotation			
	Billede	E / m	N / m	H / m		Billede	X / m	Y / m	Z / m
	1	-0,004	0,052	0,598		1	0,003	-0,103	0,591
	2	-0,004	0,057	0,601		2	0,001	-0,107	0,594
	3	-0,006	0,061	0,615		3	0,007	-0,114	0,607
	4	-0,005	0,054	0,605		4	0,008	-0,105	0,598
	5	-0,001	0,048	0,605		5	0,005	-0,098	0,599
	6	N/A	N/A	N/A		6	N/A	N/A	N/A
	7	-0,001	0,033	0,572		7	0,002	-0,084	0,567
	8	0,005	0,032	0,579		8	-0,005	-0,082	0,574
	9	0,009	0,037	0,571		9	-0,007	-0,084	0,566
	10	0,018	0,037	0,583		10	-0,018	-0,082	0,578
	11	0,011	0,042	0,594		11	-0,005	-0,094	0,588
	12	0,010	0,049	0,607		12	-0,009	-0,103	0,601
	13	0,011	0,058	0,610		13	-0,014	-0,111	0,603
	14	0,014	0,060	0,608		14	-0,013	-0,110	0,601
	15	0,020	0,061	0,607		15	-0,021	-0,107	0,600
	16	0,026	0,053	0,606		16	-0,018	-0,103	0,600
	17	0,027	0,046	0,590		17	-0,020	-0,096	0,584
	18	0,020	0,047	0,583		18	-0,009	-0,096	0,577
	19	0,006	0,050	0,588		19	0,004	-0,099	0,581
	20	0,008	0,053	0,574		20	-0,006	-0,097	0,569
	21	0,015	0,046	0,569		21	-0,007	-0,093	0,563
	22	0,021	0,039	0,577		22	-0,014	-0,084	0,572
	23	0,021	0,043	0,577		23	-0,015	-0,087	0,572
	24	0,023	0,042	0,586		24	-0,019	-0,086	0,581
	25	0,025	0,044	0,588		25	-0,023	-0,087	0,583
	gns,	0,011	0,048	0,591		gns,	-0,008	-0,096	0,585
	sigma	0,011	0,009	0,014		sigma	0,010	0,010	0,014

Leverarmen kan dermed bestemmes til at være:

X / m	Y / m	Z / m
-0,008	-0,096	0,585

6.4.2 Del 2

Efter at leverarmen er bestemt, anvendes denne ligesom i forsøg 1, til at orientere billederne ud fra GPS positionerne. Først orienteres billederne relativt gennem PhotoModelers SmartPoints, derefter laves der en foreløbig absolut orientering af kamerastationerne ved direkte anvendelse af GPS positionerne. Denne orientering giver de vinkler; Omega, Phi og Kappa, som skal anvendes i forbindelse med leverarms-korrektionen.

Fra hver GPS position fratrækkes den roterede leverarm, og disse koordinater anvendes til at orientere SmartPoints-modellen. I denne model måles afslutningsvis de kontrolpunkter som er målt med totalstation. De absolutte afvigelser imellem de målte koordinater kan ses i nedenstående skema:

Pkt nr	E / m	N / m	H / m
102	-0,004	0,003	0,017
103	-0,004	0,003	0,016
104	-0,005	0,001	0,017
105	-0,004	-0,000	0,017
...
135	0,012	-0,007	0,000
137	0,018	0,000	-0,008
138	0,017	-0,001	-0,007
139	0,018	-0,003	-0,007
140	0,016	-0,004	-0,005
141	0,017	-0,006	-0,006
gns.	0,006	-0,001	0,006
sigma	0,010	0,003	0,010

Som det kan ses i ovenstående skema så spredningen på de målte punkter i den fotogrammetriske model på omkring 1cm, hvilket er overraskende godt. Umiddelbart kan det konkluderes at den anvendte metode kan bruges til at orientere billeder på en fornuftig måde, og at de objekter som er beliggende i modellen bliver koordinatgivet fornuftigt.

6.5 Erfaring

De målte punkter i den fotogrammetriske model passer meget godt overens med de punkter som var målt med totalstation. Hvis totalstationsmålingerne antages at være fejlfrie, så har

punkterne i den fotogrammetriske model en spredning på omkring 1cm, i hver af de tre akse-retninger. Dette er en meget høj nøjagtighed.

Der er flere grunde til at denne høje nøjagtighed er blevet opnået, og flere af disse omstændigheder vil ikke nødvendigvis være til stede ved en rigtig fotoflyvning.

1. Bestemmelsen af leverarmen, og anvendelsen af denne er gjort på samme datagrundlag.
2. Alle billederne er optaget med ca. samme kappa-værdi.
3. Der indgår mange statiske GPS-målinger til hvert billede. Dette skal sættes op imod interpolering imellem to kinematiske epoker.
4. Meget grundigt og kontrolleret overlap.

I senere forsøg kunne det være interessant at gøre forholdene mere realistiske, med rigtige fotoflyvninger for øje. Det er dog bevist at der under næsten-optimale forhold kan opnås gode resultater. Fremtidige forsøg skal dermed, i videst muligt omfang, implementere følgende:

- Kinematisk udførelse af billedoptagning
- Interpolering af GPS positioner
- Bestemmelse af leverarm og anvendelse af leverarm skal være uafhængig

7 Bilag 4 samt bilag 7 - 14

På de efterfølgende sider kommer bilag 4, samt 7 til 14. Disse bilag består, ud over bilag 4, af MATLAB scripts som er blevet udviklet gennem projektet. Disse er printet som pdf'er gennem MATLAB's publiceringsværktøj, og efterfølgende merged til dette dokument.



Reference: RFB080512LE34

Date: 8th May 2012

Dear Claus,

Thank you for your enquiry into NovAtel GNSS products.

Both OEM615 and OEM628 can support Event Mark Input and PPS output.

Depending on the distance between a base station we can consider GPS L1, GPS + GLONASS L1. GPS L1/L2 and GPS + GLONASS L1/L2.

If raw data is output and logged at 5Hz or 20Hz it can be post processed using GRAFNAV SW, either with base station data for 2cms RMS or without base station data (i.e. Precise Point Positioning). PPP requires dual frequency (L1/L2) raw data and the Precise Ephemerides that are available the day after a survey. PPP kinematic RMS accuracy is 2 to 12 cms Horizontal and 5 to 15cms Vertical, please see page 2 of the attached technical paper.

NovAtel has a wide range of aviation antennas and a selection has been included in the attached quotation. Please review below the OEM615 prices for both 20Hz and 5Hz configurations (OEM628 is the same pricing):

Product	Description	US\$ Price
Dual Frequency		
OEM615 -D2S-B0G-TT0	L1L2 GPS+GLONASS, RTK Base, 20Hz, SBAS, DGPS, raw data	\$8,495
OEM615 -G2S-B0G-TT0	L1L2 GPS, RTK Base, 20Hz, SBAS, DGPS, raw data	\$7,495
OEM615 -D2S-B0G-550	L1L2 GPS+GLONASS, 5Hz, SBAS, DGPS, raw data	\$5,995
OEM615 -G2S-B0G-550	L1L2 GPS, RTK Base, 5Hz, SBAS, DGPS, raw data	\$4,995
Single Frequency		
OEM615 -D1S-B0G-TT0	L1 GPS+GLONASS, RTK-LITE Base, 20Hz, SBAS, DGPS, raw data	\$1,495
OEM615 -G1S-B0G-TT0	L1 GPS, 20Hz, SBAS, DGPS, raw data	\$995
OEM615 -D1S-B0G-550	L1 GPS+GLONASS, RTK-LITE Base, 5Hz, SBAS, DGPS, raw data	\$1,245
OEM615 -G1S-B0G-550	L1 GPS, 5Hz, SBAS, DGPS, raw data	\$745

Antennas		
702-GG-N Antenna	L1L2 GPS+GLONASS with N-Type connector	\$995
702-GG Antenna	L1L2 GPS+GLONASS with TNC connector	\$995
ANT-A72-GOLA-TW	L1L2 GPS+GLONASS	\$645
C-006	5m antenna cable TNC-TNC	\$82
Post Processing SW		
GRAFNAV SW		\$6,500

- Attached Standard Terms and Conditions of Sale apply.
- Quotation valid for 2012.
- All freight is collect FCA Origin, Calgary, Canada. Please note that this does not include Import Duty, National Taxes, and Shipping Costs.
- Please indicate preferred courier and account number.
- Payment terms initially 100% in advance. Please request Credit Application.
- Delivery 2 weeks after receipt of purchase order and payment.
- All figures in US Dollars.
- Please send your order to my contact details below.
- Please note that **orders are to be addressed to NovAtel Inc as the Supplier**, as per the attached Terms and Conditions of Sale. Shipping and invoicing will be from NovAtel Inc, 1120, 68th Avenue, Calgary, Alberta, T2E 8S5, Canada.

We welcome any questions and look forward to supporting our customers.

Best regards,



Rick Blighton

EMEA Senior Sales Manager: NovAtel Inc / Director: NovAtel Europe Limited
+44 1993 848 736 Direct Tel / +44 1234 252 036 Fax / +44 7785 360 587 Mobile
Rick.Blighton@NovAtel.com / www.NovAtel.com

Standard Terms and Conditions of Sales

NovAtel Inc. 1120 68th Avenue N.E., Calgary, Alberta, Canada T2E 8S5

1. PRICES: All prices are Firm Fixed Price, FCA 1120 - 68th Avenue N.E., Calgary, Alberta. All prices include standard commercial packing for domestic shipment. All transportation, insurance, special packing costs and expenses, and all Federal, provincial and local excise, duties, sales, and other similar taxes are the responsibility of the Purchaser.

2. PAYMENT: Terms are prepayment unless otherwise agreed in writing. Interest shall be charged on overdue accounts at the rate of 18% per annum (1.5% per month) from due date. To expedite payment by wire transfer to NovAtel Inc.: Bank – J.P.Morgan Chase Bank
N.A., Toronto Branch
CANADA
US Account # 4683000612
SWIFT: CHASCATTCTS

3. DELIVERY: Purchaser shall supply shipping instructions with each order. (Ship to and bill to address, NovAtel Quotation #, Preferred carrier and account #, Custom broker/freight forwarder including name and contact #) In the absence of specific instructions, NovAtel may select a carrier and insure Products in transit and charge Purchaser accordingly. NovAtel shall not be responsible for any failure to perform due to unforeseen circumstances or causes beyond its ability to reasonably control. Title shall pass to Purchaser when Purchaser has paid NovAtel all amounts due. Risk of loss, damage or destruction shall pass to Purchaser upon delivery to carrier. Goods are provided solely for incorporation into the Purchaser's end product and shall not be onward delivered except as incorporated in the Purchaser's end product.

Company Registration # 05604073.

4. COPYRIGHT AND CONFIDENTIALITY: Copyright in any specification, drawing, computer software, technical description and other document supplied by NovAtel under or in connection with the Order and all intellectual property rights in the design of any part of the Equipment or provision of services, whether such design be registered or not, shall vest in NovAtel absolutely. The Buyer shall keep confidential any information expressed or confirmed by NovAtel in writing to be confidential and shall not disclose it without NovAtel's prior consent in writing to any third party or use it other than for the operation and maintenance of any Equipment provided.

5. GENERAL PROVISIONS: All Purchase Orders are subject to approval and acceptance by NovAtel. Any Purchase Order or other form from the Purchaser, which purports to expand, alter or amend these terms and conditions, is expressly rejected and is and shall not become a part of any agreement between NovAtel and the Purchaser. This agreement shall be interpreted under the laws of the Province of Alberta.

6. LIMITED WARRANTY AND LIABILITY: Warranty Period: Products - 1 year; Accessories - 90 days (in each case from the date of invoice). NovAtel warrants that during the Warranty Period that (a) the Product will be free from defects in material and workmanship and conform to NovAtel specifications; and (b) the software will be free from error which materially affect performance. **THESE WARRANTIES ARE EXPRESSLY IN LIEU OF ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING, WITHOUT LIMITATION, ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. NOVATEL SHALL IN NO EVENT BE LIABLE FOR SPECIAL, INDIRECT, INCIDENTAL, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES OF ANY KIND OR NATURE DUE TO ANY CAUSE.**

Purchaser's exclusive remedy for a claim under this warranty shall be limited to the repair or replacement at NovAtel's option and at NovAtel's facility, of defective or nonconforming materials, parts or components or in the case of software, provision of a software revision for implementation by the Buyer. All material returned under warranty shall be returned to NovAtel prepaid by the Buyer and returned to the Buyer, prepaid by NovAtel. The foregoing warranties do not extend to (i) nonconformities, defects or errors in the Products due to accident, abuse, misuse or negligent use of the Products or use in other than a normal and customary manner, environmental conditions not conforming to NovAtel's specifications, or failure to follow prescribed installation, operating and maintenance procedures, (ii) defects, errors or nonconformities in the Products due to modifications, alterations, additions or changes not made in accordance with NovAtel's specifications or authorized by NovAtel, (iii) normal wear and tear, (iv) damage caused by force of nature or act of any third person, (v) shipping damage, (vi) service or repair of Product by the Purchaser without prior written consent from NovAtel, (vii) Products designated by NovAtel as beta site test samples, experimental, developmental, preproduction, sample, incomplete or out of specification Products, (viii) returned Products if the original identification marks have been removed or altered or (ix) Services or research activities.

7. EXCLUSION OF LIABILITY: If a Party would, but for this paragraph (7), have concurrent claims in contract and tort (including negligence) such claims in tort (including negligence) shall to the extent permitted by law be wholly barred, unenforceable and excluded.

NovAtel shall not be liable to the Buyer by way of indemnity or by reason of any breach of the Order or of statutory duty or by reason of tort (including but not limited to negligence) for any loss of profit, loss of use, loss of production, loss of contracts or for any financing costs or for any indirect or consequential damage whatsoever that may be suffered by the Buyer.

In the event and to the extent that NovAtel shall have any liability to Buyer pursuant to the terms of the Order, NovAtel shall be liable to Buyer only for those damages which have been foreseen or might have reasonably been foreseen on the date of effectivity of the Order and which are solely an immediate and direct result of any act or omission of NovAtel in performing the work or any portion thereof under the Order and which are not in the aggregate in excess of ten (10%) percent of the total Order price.

```
clear all
close all
clc

% interpolering af antennepositioner
caminterp('data_U-Center.ubx',...
          'data_PostProcesseret.txt',...
          2,...
          'linear',...
          1);

disp('interpoleringen af antennepositioner fuldført')

% matching af interpolerede positioner med billednavne
timematch([pwd '/Billeder'],...
          'caminterp.txt',...
          1,...
          1);

disp('matching af interpolerede positioner og billednavne fuldført')

% beregning af leverarm
calc_leverarm('timematch.txt',...
             'data_PaspunktsOrientering.txt',...
             1);

disp('beregningen af leverarmen fuldført')

% anvendelse af leverarm
use_leverarm('calc_leverarm.txt',...
            'data_ForeloebigOrientering.txt',...
            'timematch.txt',...
            1);

disp('anvendelsen af leverarmen fuldført')
```

Published with MATLAB® 7.9

```

function camxyzt=caminterp(ubx, xyzt, UTC, method, save)

% Denne funktion har som formål at finde koordinaterne til
% kamerapositionerne.

% Indput:

% ubx: binær ubx-fil stammende fra u-center. u-center skal logge
% time-mark2, samt raw-measurement data fra satelitterne.
%
% xyzt: trimble geomatrics office (eller andet program) export-fil.
% Trimble Geomatics Office skal sættes op således at
% både X-, Y- og Z-koordinater, samt tiden for hvert
% beregnet punkt/epoke eksporteres. Tiden skal eksporteres i UTC-tid, og
% derefter skal dette script have et input svarende til differencen
% imellem GPS tid og UTC tid, i hele timer.

% UTC timemæssig forskel imellem GPS tid og UTC tid.

% method: hvilken metode som skal anvendes til at interpolere
% koordinaterne. Metoden skal være overensstemmende med de metoder som
% anvendes i det matlab-indbyggede interp1.m script.

% save: "1" hvis der skal gemmes en fil indeholdende ouputdata (camxyz),
% og "0" hvis der ikke skal gemmes en fil.

% Forfatter: Measurement Science Ballerup; Mikkel og Jakob
% Forbindelse: Specialeprojekt, Landinspektørstudiet

% extraction of timestamps from ubx-file to each image
camtime=ubx2time(ubx); % !!!!!!!!!!!

% discarding of weeknumber
camtime=camtime(:,2:end);

% reading coordinates and time of the xyzt file
xyzt=cellread(xyzt,',',0,4);

% extraction of GPS time to each epoch
if nargin < 3; UTC=2; end
t=char(xyzt(:,4));
%t=[str2num(t(:,1:2)) str2num(t(:,4:5)) str2num(t(:,7:8))];
t=[str2num(t(:,12:13)) str2num(t(:,15:16)) str2num(t(:,18:19))];

gpstime=t-repmat([UTC 0 0],size(t,1),1);

% extraction of GPS positions to each epoch
gpsxyz= [str2num(char(xyzt(:,1)))...
         str2num(char(xyzt(:,2)))...
         str2num(char(xyzt(:,3)))];

% interpolation of positions to each image
if nargin < 4; method='linear'; end
camxyz=posinterp(gpsxyz, gpstime, camtime, method);
camxyzt=[camxyz camtime];
% save a file including the computed data
if nargin < 5; save=0; end
if save
    dlmwrite(strcat('caminterp','.txt'),...
            camxyzt,'delimiter',' ','precision','%3f');
end

```

Published with MATLAB® 7.9

```

function timematch(imagedirectory, camxyzt, draw, savefile)

% Formålet med denne function er at finde ud af hvilket billede der hører
% til de interpolerede positioner. Dette gøres ud fra EXIF data fra de
% implicerede billeder og koordinater samt tidspunkter til de interpolerede
% punkter.
%
% Input:
% imagedirectory: sti til der hvor billederne ligger
% camxyzt: X,Y,Z og tid til alle de interpolerede positioner
% draw: 0 hvis der ikke skal plottes, og 1 hvis der skal plottes
% savefile: 0 hvis der ikke skal gemmes en fil med data, og vice versa
%
% % Beregningmetode:
% Hver interpoleret koordinat har også et tidspunkt tilknyttet, da dette
% tidspunkt blev anvendt til selve interpolaitonen. Tidspunkterne til disse
% interpolerede koordinater er i GPS-tid, og med adskillige decimaler.
% Samtidigt med dette så har hvert billede, i dens EXIF-data, tilknyttet
% et tidspunkt i lokal tid, muligvis med adskillige minutters
% fejl-kalibrering, og kun i hele sekunder.
%
% Denne algoritme er udviklet til at løse et specifikt problem, og anvender
% foruden principperne fra RANSAC en form for L1-norm minimalisering.
% Trinene i denne algoritme kan deles op ifølgende:
%
% 1. Først så findes alle de .tif eller .jpg billeder der ligger i en mappe
% 2. Så udlæses "DateTimeOriginal" gennem den udviklede function
%    "exifdir.m", og tiden omsættes til sekunder.
% 3. Hvis der er flere billeder der er taget på samme tid, så adskilles
%    tidspunkterne ved hhv. at addere og subtrahere sub-sekunder til de
%    billeder der er inden for samme sekund.
% 4. Nogle gange så bliver der (af ikke undersøgte årsager) timestampet 2
%    gange på præcis samme tidspunkt. Alle dupletter fjernes fra de
%    interpolerede koordinater.
% 5. RANSAC:
%    a. Ét tilfældigt tidspunkt fra et billede og ét tilfældigt
%       tidspunkt fra én interpoleret koordinat udvælges. Tidsforskellen
%       beregnes og tillægges midlertidigt tidspunkterne fra billederne.
%    b. Et udtryk baseret på hvor mange billeder der bliver "matchet"
%       beregnes. Dette udtryk kan ligge i intervallet ]0;1], hvor 0
%       betyder at ingen er blevet matchet, og 1 betyder at alle er blevet
%       matchet
%    c. Denne lykke gennemkøres så mange gange at der er 95% sikkerhed for
%       at resultatet bliver rigtigt.
% 6. Fjernelse af grove fejl. Alle de tidspunkter der "står alene" fjernes.
%    Det betyder i praksis at de tidsstempler hvor der ikke blev taget et
%    faktisk billede, og de billeder hvor der ikke blev registreret et
%    tidspunkt fjernes
% 7. Sub-sekund justering af tiden. På baggrund af RANSAC blev approximativ
%    tidsforskel imellem kameraets interne tid og GPS-tid fundet. Denne
%    tidsforskel kan dog godt være forkert med op til 0.5 sekunder, da der
%    ikke er decimaler på tiderne i EXIF-data. Den beregnede tidsforskel
%    fra RANSAC justeres derfor indenfor -0.5/+0.5 sekunder, og den bedste
%    tidsforskel tages med videre
% 8. Endelig sammenkobling af billednavne med koordinater. Dette gøres ud
%    fra den beregnede tidsforskel i en iterativ proces. Ved hvert
%    gennemløb sættes det sæt sammen (tidsstempel og fra EXIF) der ligger
%    tættest. Disse tidspunkter fjernes fra "puljen", og der køres en
%    omgang mere. Dette bliver gentaget indtil at der ikke er flere
%    tidspunkter der ligger indenfor den føromtale grænseværdi. Hermed er
%    koordinaterne fra interpoleringen sat sammen med billednavne
%
% Forfatter: Measurement Science Ballerup; Mikkel og Jakob

```

```

% Forbindelse: Specialeprojekt, Landinspektørstudiet

if nargin<4; savefile=0; end % hvis der mangler indput, så gem ikke fil
if nargin<3; draw=0; end   % hvis der mangler input, så lav ikke et plot

threshold=0.75;           % grænseværdi i sekunder for hvornår et...
                           % billede ikke skal sættes sammen med en...
                           % koordinat

camxyzt=load(camxyzt);    % load ASCII-fil med interpolerede koordinater
                           % ...samt tidspunkter

images=exifdir(imagedirectory); % find billedenavne og tidspunkter for...
                                   % eksponering i den angivne sti

time_img=str2num(cell2mat(images(:,2))); % omsæt eksponeringstidspunkterne
                                         % ...til en matrix
time_gps=camxyzt(:,4:end)*[60^2 60 1]'; % omregn tidspunkterne fra GPS...
                                         % positionerne til sekunder

% Der er ofte taget flere billeder inden for samme sekund. Da exifdata til
% til de anvendte billeder ikke indeholder sub-sekund tidsangivelse, så har
% disse billeder som udgangspunkt samme eksponeringstidspunkt. For at undgå
% at de har samme tidspunkt, så adskilles tidspunkterne med "løs hånd".
% Hvis der er 2 billeder inden for samme sekund, så lægges der 0.25
% sekunder til det ene, og trækkes 0.25 fra det andet. Hvis der er 3
% billeder, så lægges der 0.33 til det første, og trækkes 0.33 til det
% sidste. Hvis der er fire billeder inden for samme sekund så lægges der
% 0.4 til det første, 0.15 til det andet, -0.15 til det tredje og -0.4 til
% det fjerde. Rækkefølgen sker efter billednavn. Kameraet kan ikke tage
% billeder hurtigere end ca. 3 billeder i sekundet.
for i=time_img(1):time_img(end) % for hvert sekund inden for perioden
    index=find(time_img==i); % find ud af hvilke billeder der er i sekundet
    if numel(index)==2 % hvis der er 2 billed på samme sekund
        time_img(index(1))=time_img(index(1))-0.25;
        time_img(index(2))=time_img(index(2))+0.25;
    end
    if numel(index)==3 % hvis der er 3 billed på samme sekund
        time_img(index(1))=time_img(index(1))-0.33;
        time_img(index(3))=time_img(index(3))+0.33;
    end
    if numel(index)==4 % hvis der er 4 billed på samme sekund
        time_img(index(1))=time_img(index(1))-0.40;
        time_img(index(2))=time_img(index(2))-0.15;
        time_img(index(3))=time_img(index(3))+0.15;
        time_img(index(4))=time_img(index(4))+0.40;
    end
end

% Der er nogle gange 2 tidsstempler (fra GPS) på præcis samme tid. Her skal
% overoverskydende fjernes
for i=size(time_gps,1):-1:2
    if time_gps(i)==time_gps(i-1); % for hvert tidsstempel
        time_gps(i)=[]; % hvis tiden er ens med foregående
        camxyzt(i,:)=[]; % fjern den
                           % og fjern den tilhørende position
    end
end

time_img_old=time_img; % gem de originale tidspunkter for billederne
time_gps_old=time_gps; % gem de originale tidspunkter for GPS'en

% RANSAC algortime; her udvælges ét tilfældigt tidspunkt fra begge datasæt
% (tider fra GPS, og tider fra EXIF). Tidspunkterne fra EXIF-dataen flyttes
% derefter på baggrund af forskellen imellem tidspunkterne. Chancen for at

```

```

% denne flytning er korrekt første gang er meget lille, men hvis der
% forsøges tilpas mange gange, så bliver der tilsidst flyttet korrekt. Den
% måde hvorpå der evalueres om flytningen er korrekt er ved at se hvor
% mange billeder der har et tidsstempel inden for de før opsatte
% grænseværdi(0.75). På baggrund af dette beregnes der en "error". Hvis
% error=1, så betyder det at ingen billeder har et tidsstempel tilknyttet,
% og hvis error=0, så betyder det at alle billeder har et tidsstempel
% tilknyttet. Når rutinen er kørt igennem tilpas mange gange, så vælges den
% tidsforskel med den mindste "error" som værende udgangspunkt for resten
% af scriptet.
error_best=100; loop=0; time_diff_best=[]; % startværdier
while 1
    rand_gps=time_gps(ceil(size(time_gps,1)*rand)); % udvælgelse af
    % tilfældig tidsstempel
    rand_img=time_img(ceil(size(time_img,1)*rand)); % udvælgelse af
    % tilfældig EXIF tid
    time_diff=rand_gps-rand_img; % beregning af tidsforskel
    temp_img=time_img+time_diff; % EXIF-tiderne tillægges denne forskel

    % Omfattende matrix beregning som beregner en vektor. I denne vektor er
    % alle de "tidsmæssige residualer" imellem hvert tidsstempel og det
    % tidspunkt fra EXIF-data der er tættest på. Hvis den tidsforskel der
    % blev fundet i dette loop var den "rigtige" forskel, så vil alle de
    % tidsstempler hvor der blev taget et billede have et residual på under
    % 0.5 sekunder. Hvis det ikke var den rigtige tidsforskel som blev
    % fundet, så vil der være "mange" residualer som har en høj værdi.
    errors=min(abs((repmat(temp_img',[size(time_gps,1) 1]))...
        -(repmat(time_gps,[1 size(temp_img,1)]))),[],2);

    errors(errors<threshold)=0; % residualer som er mindre end threshold
    % skal have værdien 0
    errors(errors>threshold)=1; % residualer som er større end threshold
    % skal have værdien 1

    error_total=sum(errors)/numel(errors); % beregning af samlet udtryk for
    % fejlen

    if error_total<error_best % hvis det er bedre end hidtidig bedste
        error_best=error_total; % gem værdien for den mindste fejl
        time_diff_best=time_diff; % gem den tidsforskel som passer hertil
    end

    % Statisk udtryk der beregner hvor mange gange lykken skal gennemkøres
    % før der er 95% chance for at der mindst én gang udtages et rigtigt
    % sæt af tidspunkter. Til at beregne dette skal de 95% (0.05 chance for
    % ikke at gå godt) anvendes sammen med antallet af tidsstempler fra
    % GPS'en. Ved 95% sikkerhed og f.eks. 400 tidsstempler så skal lykken
    % gennemkøres ca. 1200 gange.
    if loop > log(0.05)/(log(1-1/size(time_gps,1)))
        break
    end
    loop=loop+1; % optælling af antallet af loops
end

temp_img=time_img+time_diff_best; % addering af den beregnede tidsforskel
% til EXIF-data tiderne

% Her skal alle de "grove fejl" fjernes. Dette gøres på samme måde som i
% lyken inde i RANSAC, dog med en enkelt forskel; først tages der
% udgangspunkt i tidsstemplerne (fra GPS) og så findes residualerne til de
% EXIF-data tider der er tættest på. Derefter tages udgangspunkt i
% EXIF-data tiderne og så findes residualer til de tidsstempler (fra GPS)
% der er tættest på. Hvis et af disse residualer er over grænseværdien så
% fjernes "observationen", da det så kan anses som en grov fejl.

```

```

error=min(abs(( repmat([time_img+time_diff_best]',...
    [size(time_gps,1) 1]))-( repmat(time_gps,...
    [1 size([time_img+time_diff_best],1)]))),[],2);
time_gps=time_gps(error<threshold);
camxyzt=camxyzt(error<threshold,:);
error=min(abs(( repmat([time_img+time_diff_best]',...
    [size(time_gps,1) 1]))-( repmat(time_gps,...
    [1 size([time_img+time_diff_best],1)]))),[],1);
time_img=time_img(error<threshold);
images=images(error<threshold,:);

% Her bliver der lavet sub-sekund fin-justering. Dette gøres ved at ændre
% tiden for EXIF-data tidspunkterne inden for -0.5/+0.5 sekund.
% Residualerne beregnes på samme måde som før og den bedste tid anvendes
% fremover
cnt=1; error_best=100; % startværdier
for i=-.5:0.01:.5 % der justeres inden for -0.5/+0.5
    time_diff=time_diff_best+i; % beregning af ny tidsforskel
    temp_img=time_img+time_diff; % justering af tiden for EXIF-tiderne

    % Beregning tilsvarende dem der har været udført tidligere i funktionen
    error=min(abs(( repmat(temp_img',[size(time_gps,1) 1]))...
        -( repmat(time_gps,[1 size(temp_img,1)]))),[],2);

    error_total=sum(error)/numel(error); % beregning af samlet udtryk for
    % fejlen

    if error_total<error_best % hvis det er bedre end hidtidige bedste
        error_best=error_total; % gem værdien for den mindste fejl
        time_diff_best2=time_diff; % gem den bedste tidsforskel
    end
end

temp_img=time_img+time_diff_best2; % addering af den forbedrede tidsforskel
% til EXIF-data tiderne

% Her bliver tidspunkterne fra GPS tidsstemplerne endeligt koblet sammen
% med de enkelte billeder. Dette gøres i en lykke hvor der ved hvert
% gennemløb tages det par ud der er tættest på hinanden rent tidsmæssigt.
% Derefter fjernes disse to tidspunkter fra "puljen". Dette bliver gentaget
% indtil der ikke er nogen par tilbage som har en indbyrdes tidsforskel på
% under den tidligere opstillede grænseværdi (0.75 sekunder).
for i=1:size(temp_img,1) % for hvert billede

    % Beregning af de mindste residualer og hvilket index dette hører til.
    % Dette gøres ligesom tidligere både med udgangspunkt i tidsstemplerne
    % fra GPS'en, og med udgangspunkt i tidspunkterne fra EXIF-data.
    [error1,index1]=min(min(abs(( repmat(temp_img',[size(time_gps,1) 1]))...
        -( repmat(time_gps,[1 size(temp_img,1)]))),[],2));
    [error2,index2]=min(min(abs(( repmat(temp_img',[size(time_gps,1) 1]))...
        -( repmat(time_gps,[1 size(temp_img,1)]))),[],1));

    if min(error1) > threshold % hvis der ikke er flere tidspær indenfor...
        break % grænseværdien, så stop
    end

    pair(i,:)={camxyzt(index1,1) camxyzt(index1,2)... % gem koordinat
        camxyzt(index1,3) char(images(index2,1))}; % og billednavn

    if draw % hvis resultatet skal illustreres
        match(i,:)=[temp_img(index2,:) time_gps(index1)];
    end

    % Hver gang et tidspunkt har været anvendt, så skal det fjernes
    images(index2,:)=[]; % fjern billednavn

```

```

temp_img(index2,:)=[]; % fjern tidspunkt fra EXIF-data
time_gps(index1)=[]; % fjern tidspunkt fra tidsstempel
camxyzt(index1,:)=[]; % fjern koordinat
end

[~,j]=sort(pair(:,4)); % find rækkefølge
pair=pair(j,:); % sorter resultatet

% I det efterfølgende så bliver resultatet illustreret, hvis det ønskes.
% Gennem dette er det muligt at se om "matchingen" er godt godt. Der vil i
% illustrationen være to tidslinier med et vilkårligt offset i y-retningen.
% Disse tidslinjer vil være synkroniserede i x-retningen hvis algoritmen er
% gået godt. Erfaringer viser at det er nemt at lave en vurdering af
% resultatet på baggrund af dette plot. Denne funktionalitet er medtaget
% da nye datasæt, med nye fejltyper mm., muligvis kan have uforudsete
% resultater. For at muliggøre en hurtig undersøgelse af dette, aktiveres
% plotprocessen.
if draw
    hold on
    match=match(j,:);
    offset=min(min(match));
    match(:,1)=match(:,1);
    plot(time_img_old+time_diff_best2-offset,...
         ones(size(time_img_old,1),1),'r+','markersize',5);
    plot(time_gps_old-offset,...
         zeros(size(time_gps_old,1),1),'b+','markersize',5);

    for i=1:size(match,1)
        plot([match(i,1)-offset match(i,2)-offset],[1 0],'k+');
        plot([match(i,1)-offset match(i,2)-offset],[1 0],'k');
    end
    plot([min(min([time_img_old+time_diff_best2;...
                    time_gps_old]-offset))...
          max(max([time_img_old+time_diff_best2;...
                    time_gps_old]-offset))],[1 1],'k')
    plot([min(min([time_img_old+time_diff_best2;...
                    time_gps_old]-offset))...
          max(max([time_img_old+time_diff_best2;...
                    time_gps_old]-offset))],[0 0],'k')

    axis([min(min([time_img_old+time_diff_best2;...
                    time_gps_old]-offset)) max(max([time_img_old+time_diff_best2;...
                    time_gps_old]-offset)) -10 10])
    axis off
end

% Her bliver der skrevet en resultatfil med de tidligere interpolerede
% koordinater samt det billednavn som de er blevet "matchet" sammen med.
% Denne fil skal efterfølgende bruges i f.eks PhotoModeler
if savefile
    fid = fopen(strcat('timematch','.txt'),'wt');
    X=cell2mat(pair(:,1)); Y=cell2mat(pair(:,2));
    Z=cell2mat(pair(:,3)); IMG=cell2mat(pair(:,4));
    for i=1:size(pair,1)
        fprintf(fid,'%7.3f,%7.3f,%3.3f,%s\n',X(i,:),...
                Y(i,:),Z(i,:),IMG(i,:));
    end
    fclose(fid);
end

```

```

function mean_leverarm = calc_leverarm(gps, pm, savefile)

% Formålet med denne funktion er at beregne leverarmen.
% Til dette skal der anvendes en fil med "GPS-positioner" og en fil med
% "ydre orienteringer". Rækkefølgen af billederne i disse
% filer er ikke vigtig. De 2 indputs er:
%
% "gps"; en ASCII-fil opsat på følgende måde:
% 712767.728,6181293.546,36.600,IMG_3906.JPG
% 712769.895,6181291.998,36.542,IMG_3907.JPG
% 712770.961,6181293.779,36.482,IMG_3908.JPG
% osv...
%
% "pm"; en ASCII-fil opsat på følgende måde:
% 712763.544,6181288.090,35.667,3.029054,-0.903405,-0.067115,img_3913
% 712763.578,6181288.389,35.673,3.068801,-0.999798,-2.448790,img_3914
% 712763.590,6181288.649,35.670,2.678933,-1.383068,-5.348242,img_3915
% osv...
%
% savefile skal være 1 hvis der skal gemmes en fil med outputdata, og 0
% hvis der ikke skal gemmes en fil.
%
% Beregningsmetode:
%
% 1. Først bliver vektoren fra projektionscenteret til GNSS antennen
% beregnet. Dette gøres ved at anvende den GPS antenne-position som
% tidligere er blevet interpoleret og koordinaten til projektionscenteret
% som blev beregnet i PhotoModeler. Dette gøres for alle billeder
%
% 2. Denne vektor er dog ikke orienteret i kameraets koordinatsystem, men
% derimod i et globalt referencesystem. For at transformere over i
% kameraets koordinatsystem bliver denne vektor roteret ud fra det
% enkelte billedes orientering. På den måde bliver der taget højde for
% at dronen har vendt forskelligt ved hvert billede
%
% 3. Afslutningsvis bliver der taget et gennemsnit af de beregnede
% leverarme
%
if nargin < 3; savefile=0; end % hvis der mangler input, så gem ikke fil

gps=cellread(gps); % loading af ASCII-fil med X,Y,Z og billednavn
cam=cellread(pm); % loading af ASCII-fil med foreløbige orienteringer

gps_pos=[str2num(char(gps(:,1)))... % omsæt positionerne til
str2num(char(gps(:,2)))... % til en matrix
str2num(char(gps(:,3)))];

gps_img=cell2mat(gps(:,4)); % omsæt navne til en matrix med chars

cam_pos=[str2num(char(cam(:,1)))... % omsæt positionerne
str2num(char(cam(:,2)))... % til en matrix
str2num(char(cam(:,3)))];

cam_ori=[str2num(char(cam(:,4)))... % omsæt rotationerne
str2num(char(cam(:,5)))... % til en matrix
str2num(char(cam(:,6)))];

cam_img=cell2mat(cam(:,7)); % omsæt navne til en matrix med chars

leverarm=NaN(size(cam_pos,1),3); % preallocation af leverarms matrix
for i=1:size(cam_pos,1) % for hver foreløbig orientering fra PhotoM.

```

```

for j=1:size(gps_img,1) % for hver GPS-antenne position
    if strcmpi(cam_img(i,1:8),gps_img(j,1:8)) % hvis billednavn passer
        pos_diff=gps_pos(j,:)-cam_pos(i,:); % beregn forskel
        R=R1(cam_ori(i,1)/180*pi)*... % beregn rotationsmatrix
            R2(cam_ori(i,2)/180*pi)*...
            R3(cam_ori(i,3)/180*pi);
        leverarm(i,:)=(R^-1*pos_diff)'; % roter leverarm
        break
    end
end
end

mean_leverarm=mean(leverarm); % beregn gennemsnit af alle leverarms

if savefile % hvis der skal gemmes en fil
    dlmwrite(strcat('calc_leverarm','.txt'),...
        mean_leverarm,'delimiter',' ','precision','%.3f');
end

```

Published with MATLAB® 7.9

```

function cam_pos=use_leverarm(leverarm,PM,imagesxyz,savefile)
%
% Formålet med denne funktion er at anvende den beregnede "leverarm" sammen
% med "foreløbige billedorienteringer" samt "GPS positioner" for derigennem
% at beregne de endelige kamerapositioner, eller projektionscentre. De tre
% indputs til denne funktion er dermed:
%
% "leverarm"; en ASCII-fil indeholdende leverarmen (X,Y,Z), f.eks:
% 1.116 0.677 1.007
%
% "PM"; en ASCII-fil opsat på følgende måde, med '.' som decimal separator
% og ',' som column separator. Denne fil kan komme fra photomodeler:
% 712763.249,6181302.773,36.722,-1.799680,3.714802,165.959046,img_4084
% 712763.193,6181302.493,36.725,-2.008832,3.864727,164.183144,img_4085
% 712763.135,6181302.256,36.738,-2.389988,3.257308,167.580216,img_4086
% osv...
%
% imagesxyz er en fil med nx4 elementer, som kunne se således ud:
% 712767.733,6181293.545,36.599,IMG_3906.JPG
% 712769.903,6181291.994,36.541,IMG_3907.JPG
% 712770.965,6181293.776,36.480,IMG_3908.JPG
% osv...
%
% savefile skal være 1 hvis der skal gemmes en fil med outputdata, og 0
% hvis der ikke skal gemmes en fil
%
% Beregningsmetode:
%
% 1. Først bliver 3D rotationsmatricen der transformerer fra det
% globale referencesystem til kameraets referencesystem opstillet. Dette
% gøres ved at anvende de foreløbige ydre orienteringer bestemt i
% PhotoModeler. Dette gøres for alle billeder
%
% 2. Derefter bliver leverarmen, tilhørende hvert billede, roteret ud fra
% disse rotationsmatricer. Gennem dette trin så vil leverarmen blive
% orienteret i det globale referencesystem
%
% 3. Aflutningsvis fratrækkes den roterede leverarm fra hver GPS-position
% og dermed bliver projektionscentrene til hvert eksponeringstidspunkt
% beregnet
%
if nargin < 4; savefile=0; end % hvis der mangler indput, så gem ikke fil

leverarm=load(leverarm); % loading af leverarm (X,Y,Z)
imagesxyz=cellread(imagesxyz); % loading af fil med X,Y,Z og billednavn
cam=cellread(PM); % loading af fil med billedorienteringer

cam_pos=[str2num(char(cam(:,1)))... % omsæt positionerne
         str2num(char(cam(:,2)))... % til matrix indeholde double
         str2num(char(cam(:,3)))];

cam_ori=[str2num(char(cam(:,4)))... % omsæt rotationerne til
         str2num(char(cam(:,5)))... % matrix indholde double
         str2num(char(cam(:,6)))];

cam_img=cell2mat(cam(:,7)); % omsæt navnet til en matrix med chars

gps_pos=[str2num(char(imagesxyz(:,1)))... % omsæt positionerne
         str2num(char(imagesxyz(:,2)))... % til matrix indeholde double
         str2num(char(imagesxyz(:,3)))];

gps_img=char(imagesxyz(:,4)); % omsæt navnet til en matrix med chars

```

```

for i=1:size(cam_pos,1)      % for hvert projektionscenter
for j=1:size(gps_pos,1) % for hver GPS position
if strcmpi(cam_img(i,1:8),gps_img(j,1:8)) % hvis billednavn passer
R=R1(cam_ori(i,1)/180*pi)*... % beregn rotations matrix
R2(cam_ori(i,2)/180*pi)*...
R3(cam_ori(i,3)/180*pi);
leverarm_temp=R*leverarm; % roter leverarm
cam_pos(i,:)=gps_pos(j,:)-leverarm_temp'; % anvend leverarm
break
end
end
end

if savefile % hvis der skal gemmes én fil med resultatet
fid = fopen(strcat('use_leverarm','.txt'),'wt'); % lav en fil
X=cam_pos(:,1); Y=cam_pos(:,2); % X-, Y og Z-koordinat
Z=cam_pos(:,3); IMG=cam_img; % samt billednavn
for i=1:size(cam_pos,1) % for hvert billede
fprintf(fid,'%s %7.3f %7.3f %3.3f\n',IMG(i,:),X(i,:),... % gem data
Y(i,:),Z(i,:));
end
fclose(fid); % luk fil
end

```

Published with MATLAB® 7.9

```

function camxyz = posinterp(gpsxyz, gpstime, camtime, method)
%
% Denne funktion har som formål at udføre de praktiske interpolationer til
% eksponeringstidspunkterne. Dette script anvender interp1, i hver af de
% tre akse-retninger, samt anvender den metode som er angivet i "method".
%
% For hvert eksponeringstidspunkt beregnes den tidsmæssige afstand til
% hver epoke (i sekunder) og derefter interpoleres koordinaterne til hvert
% eksponeringstidspunkt enkeltvis gennem en for-lykke.
%
% Indput:
% gpsxyz - xyz to each gps epoch (output from cellread)
% gpstime - timestamp to each gps epoch (output from cellread)
% camtime - timestamp to each image
% method - 'spline', 'linear', ...
%
% Output:
% camxyz - xyz coordinates to each image
%
% Forfatter: Measurement Science Ballerup; Mikkel og Jakob
% Forbindelse: Specialeprojekt, Landinspektørstudiet

camxyz=NaN(size(camtime,1),3); % preallocation
for i=1:size(camtime,1) % for hvert tidsstempel
    camtime_temp = camtime(i,:); % tag den specifikke tid ud

    % Calculation of time difference between Camera and GPS times (in sec)
    time_diff=sum((gpstime-...
        repmat(camtime_temp,size(gpstime,1),1)).*...
        repmat([60^2 60^1 60^0]',1,size(gpstime,1))',2);

    % Her bliver selve interpolationen udført. Dette gøres ved at anvende
    % den MATLAB funktion som hedder interp1. Interpolationen bliver udført
    % enkeltvis i hver akse retning. Da interp1 ikke kan finde ud af at
    % interpolere én koordinat imellem to punkter der ligger samme sted, så
    % er der lavet en "catch", som fanger dette. I sådanne tilfælde så
    % udvælges der bare en af disse koordinater.
    try camxyz(i,1)=interp1(time_diff,... % X-koordinaten
        gpsxyz(:,1), 0, method);
    catch
        camxyz(i,1)=gpsxyz(find((abs(time_diff))==...
            min(abs(time_diff)),1),1);
    end
    try camxyz(i,2)=interp1(time_diff,... % Y-koordinaten
        gpsxyz(:,2), 0, method);
    catch
        camxyz(i,2)=gpsxyz(find((abs(time_diff))==...
            min(abs(time_diff)),1),2);
    end
    try camxyz(i,3)=interp1(time_diff,... % Z-koordinaten
        gpsxyz(:,3), 0, method);
    catch
        camxyz(i,3)=gpsxyz(find((abs(time_diff))==...
            min(abs(time_diff)),1),3);
    end
end
end

```

```

function UTCtime=ubx2time(file, savefile, leap)

% Denne funktion har til formål at udtrække TM2 (time-mark2) fra en ubx
% fil. UBX filen er i binært format, og for at muliggøre beregninger i
% matlab så udtrækkes data og oversættes til matlab-matrix format.

% Udlæsningen af data har været muligt ved anvendelse af den manual som
% tilhører LEA-6. I denne manual er der en lang række informationer som
% beskriver hvordan data er arrangeret og dermed hvordan den ønskede data
% kan findes.

% Manualens databeskrivelser er i hexadecimal, og derfor er dette script
% også baseret på dette. Det ville muligvis være muligt at optimere på
% dette, men projektgruppens fokus er at udarbejde en metode der virker
% rent praktisk, og ikke nødvendigvis at optimere databehandlingsprocessen.

% Følgende beskrivelser er jf. manualen og angiver hvor langt efter
% ID/HEADER de enkelte værdier er beliggende:

% (dette er hovedsageligt anvendeligt hvis scriptet skal modificeres)
% counter      = 17-18 19-20 // 19-20 17-18
% wnR          = 21-22 23-24 // 23-24 21-22
% wnF          = 25-26 27-28 // 27-28 25-26
% towMsR       = 29-30 31-32 33-34 35-36 // 35-36 33-34 31-32 29-30
% towSubMsR    = 37-38 39-40 41-42 43-44 // 43-44 41-42 39-40 37-38
% towMsF       = 45-46 47-48 49-50 51-52 // 51-52 49-50 47-48 45-46
% towSubMsF    = 53-54 55-56 57-58 59-60 // 59-60 57-58 55-56 53-54

% ID/HEADER til TM2 er 'B5620D03' og "time-stamp" godkendelse er '1C'
% (i HEX) og derfor bruges 'B5620D031C' som søgekriterie.

% Dette søgekriterie anvendes efter at filen er konverteret til HEX, og
% efterfølgende placeret i én lang tekst streng. Dette er ikke den
% mest effektive beregnings-/konverteringsmåde, men den muliggør at anvende
% den jargon som bruges i manualen sammen med de kendte

% Indput
% file:        "navn på filnavn"
% savefile:    "om der skal gemmes en fil"
% leap:        "hvor mange leap-sekunder som der er imellem GPS og UTC"

% Output
% UTCtid:      "tiden for TM2, eller eksponeringstidspunktet, i UTCtid.

% Forfatter: Measurement Science Ballerup; Mikkel og Jakob
% Forbindelse: Specialeprojekt, Landinspektørstudiet

if nargin < 3; leap=15; end    % hvis der mangler indput, så 15 leap sek
if nargin < 2; savefile=0; end % hvis der mangler indout, så gem ikke fil

ID='B5620D031C';    % dette er den ID som vores timestamp har jf. manualen
file=fopen(file);    % aabning af ubx fil
A=dec2hex(fread(file)); % konvertering til hexadecimal
A=reshape(A',[numel(A) 1]); % omformning af fil til én linje
index=strfind(A,ID); % find steder i filen hvor ID er
cnt=1; time=[];      % preallocation

for i=index
    counter= hex2dec([A(i+18:i+19) A(i+16:i+17)]); % stempel nummer
    wnR=     hex2dec([A(i+22:i+23) A(i+20:i+21)]); % uge nummer
    towMsR=  hex2dec([A(i+34:i+35) A(i+32:i+33)...
                    A(i+30:i+31) A(i+28:i+29)]); % time of week ms
    towSubMsR=hex2dec([A(i+42:i+43) A(i+40:i+41)]); %

```

```

                                A(i+38:i+39) A(i+36:i+37)]); % time of week ns
time(cnt,:)= [counter wnR towMsR/10^3+towSubMsR/10^9]; % gem data
cnt=cnt+1; % tæl én op
end

time(:,3)=time(:,3)-leap; % fjern skudsekunder
dayR=floor(time(:,3)/(60^2*24)); % omregning til dage
hourR=floor((time(:,3)-dayR*(60^2*24))/60^2); % omregning til timer
minR=floor((time(:,3)-dayR*60^2*24-hourR*60^2)/60); % omregning til min
secR=time(:,3)-dayR*60^2*24-hourR*60^2-minR*60; % omregning til sek

UTctime=[time(:,1) hourR minR secR]; % sammensætning til én matrix

if savefile % gem en ASCII fil med informationerne
    dlmwrite(strcat('ubxtime_',date,'.txt'),...
            UTctime,'delimiter',' ','precision','% .4f');
end

```

Published with MATLAB® 7.9

```

function images=exifdir(directory)

% Denne function har som formål at finde alle de billeder i en sti som
% enten har .tif eller .jpg som endelse. Derefter skal den udfra EXIF-data
% finde ud af hvornår billedet er blevet taget, og sammen med dette
% eksportere navnet på billedet. Inden eksporteringen skal data sorteres
% efter optagelsestidspunkt, således at de gamle billeder kommer først.
%
% Der sker derfor ikke nogle omfattende beregninger, men udelukkende
% administrative organiseringer
%
% Forfatter: Measurement Science Ballerup; Mikkel og Jakob
% Forbindelse: Specialeprojekt, Landinspektørstudiet
%

imgnames={'tif';      % endelsen på de billedtyper som indeholder EXIF-data
          'jpg'};

A = dir(directory); % finder navnene på alle filerne i den angivne sti

number_of_images=0; % startværdi til optælling af antallet af billeder
images=cell(size(A,1),2); % preallocation
for i=1:size(A) % for hver fil i stien
    date=0; % nulstil værdi som indikerer om filen er et billede
    name=A(i).name; % tag det første filnavn i stien
    ext=name(find(A(i).name=='.',1,'last')+1:end); % find extensionsnavnet
    if max(strcmpi(ext,imgnames))==1 % hvis det er en .jpg eller .tif
        try exif=exifread(strcat(directory,'/',name)); % prøv at læse EXIF
        end
        try date=exif.DateTimeOriginal; % prøv at læse tidspunktet herfra
        if date % hvis det lykkedes
            time=date(12:end);
            time=[str2num(time(1:2))...
                  str2num(time(4:5))...
                  str2num(time(7:8))];
            time=num2str(time*[60^2 60 1]'); % omsæt dette tidspunkt
            % til sekunder siden midnat

            number_of_images=number_of_images+1; % til op
            images(number_of_images,1)={name}; % gem navn
            images(number_of_images,2)={time}; % gem tidspunkt
        end
    end
end
end
end
images(number_of_images+1:end,:)=[]; % fjern overskydende felter
[NA,i]=sort(images(:,2)); images=images(i,:); % sorter rækkefølgen

```

Published with MATLAB® 7.9