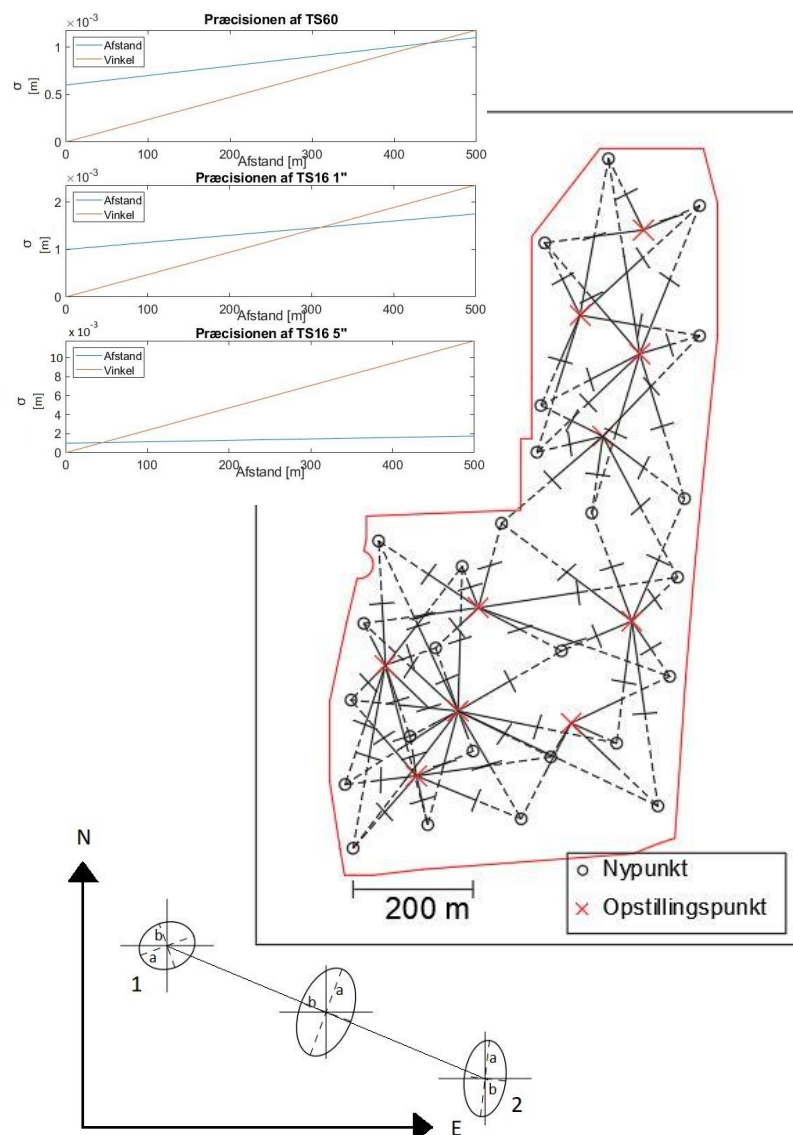

Etablering af Fikspunktsnet

SM4 Kandidatspeciale

Erik Schak
Mark Bødker Andersen



Aalborg Universitet
Surveying and Mapping
4. semester



AALBORG UNIVERSITET
STUDENTERRAPPORT

Landinspektørvidenskab

Aalborg Universitet

Det Tekniske Fakultet for IT og Design

Institut for Planlægning

<http://www.aau.dk>

Titel:

Etablering af Fikspunktsnet

Projekt:

Kandidatspeciale, 4. semester

Projektperiode:

Februar 2020 - Juni 2020

Projektgruppe:

SM4, Gruppe 2

Deltagere:

Erik Schak

Mark Bødker Andersen

Vejleder:

Peter Cederholm (hovedvejleder)

Jens Juhl (bivejleder)

Sidetal: 95

Appendiks: 5

Opslagstal: 5

Afsluttet 12-06-2020

Synopsis:

Dette projekt har haft til formål at undersøge, hvordan forskellige parametre påvirker præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet. Generelt hører parametrene enten ind under præcisionen af observationerne eller geometrien af nettet.

Undersøgelsen af disse parametre er foregået ved brug af testberegninger, hvor der er designet forskellige testnet, så en sammenligning mellem resultatet for disse afslører, hvad den enkelte parameter har af betydning for præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet.

Det kendskab, der er opnået om parametrene, er benyttet til at opstille retningslinjer, som kan anvendes ved etablering af et fikspunktsnet.

Afslutningsvis er det eksemplificeret, hvorledes retningslinjerne kan anvendes på en konkret case ved at konstruere et løsningsforslag til det overordnede fikspunktsnet til "*Projektet NAU - Nyt Aalborg Universitetshospital.*" I den forbindelse opstod nye perspektiver til videre undersøgelser.

Forord

Dette kandidatspeciale er udført som afslutningsprojekt for landinspektørvidenskab med speciale i *"Surveying and Mapping"* på Aalborg Universitet. Projektperioden har fundet sted på 4. semester fra d. 3. februar til d. 12. juni 2020.

En stor tak gives hermed til vores vejledere Peter Cederholm and Jens Juhl, der har bidraget med vejledning og anbefalinger under hele forløbet af kandidatspecialet. De har været behjælpelige med at stille litteratur og programmet GeoADJUST til rådighed, som har været til stor nytte.

Disclaimer fra Studieleder og Studienævnsmænd

Corona og dets konsekvens med nedlukning af universitetet siden 13. marts 2020 har selvsagt haft indflydelse på hvilke aktiviteter, det har været mulige at igangsætte og udføre som en del af projektarbejdet. Konkret har det ikke været muligt at udføre aktiviteter, der ikke har kunnet foregå online, dvs. følgende aktiviteter har ikke været mulige: værkstedsaktiviteter, opmålingsaktiviteter, on-site etnografiske studier eller inddragelsesaktiviteter on-site. Ved bedømmelse af projekter i forårssemestret 2020 bedes dette tages i betragtning.

Herefter tilføjes de studerendes egne refleksioner på hvilke udfordringer, Corona har haft for deres projekt, samt hvordan de har imødekommet dem.

Som følge af universitets retningslinjer for projektarbejde har vi holdt os til daglige samtaler online over tjenesten Microsoft Teams. Vi har ikke haft adgang til instrumentrummet på Aalborg Universitet, hvilket har medført, at emnet i dette kandidatspeciale kun er belyst ud fra en teoretisk tilgang. Alternativ kunne der have været suppleret med databehandling fra praktiske tests.

Læsevejledning

Som referencemetode i litteraturlisten er Chicago-metoden anvendt. Litteraturlisten kan findes i slutningen af kandidatspecialet, og den indeholder uddybende information om de benyttede kilder.

Bilag

De vigtigste bilag er inkluderet i rapporten efter litteraturlisten. De øvrige bilag kan findes i den vedhæftede ZIP-fil. En oversigt over indholdet af ZIP-filen kan ses i bilag A.

Erik Schak

Mark Bødker Andersen

Summary

This Master's Thesis has examined the parameters that affect the precision and reliability of a geometric network. It has been discovered that the precision and reliability of a geometric network rely on the precision of the observations and the geometry of the system. Hence thirteen parameters have been identified, and five of these have been examined further. Those are:

- 1a. Placement of control points and setups.
- 2a. Types of observations.
- 1b. Precision of the total station.
- 7b. Lengths of sight from the station point to measured points.
- 1c. Precision of levelling instrument and rod.

The research has taken place through computations that forecast the precision and reliability of a certain network design. With six initiatives in mind, different network designs have been shaped and specific instruments have been chosen. The computations have been completed with the program GeoADJUST since it provides every concept about precision and reliability that has been described, based on studies of previous literature. Comparisons between the results of these network designs disclose how the listed parameters affect the precision and reliability of a geometric network. On the basis of the computations and the percentage increases that the comparisons have led to, guidelines have been established.

It has been revealed that the parameters corresponding to the precision of the observations have the greatest effect on the precision and reliability of a geometric network. The geometry of the system comes in second. It requires no additional time in the field if the surveyor makes sure to utilize a total station that provides observations with a higher precision. Perhaps fewer observations then will be needed, and the external reliability will be improved.

Geometric levelling has proven to uprate the precision and reliability of the level, H , to a great extent, even if the surveyor uses the best total station at hand, but it might not be necessary for the establishment for a geometric network to complete geometric levelling between the points. Therefore, the requirements for a certain geometric network has to be kept in mind, when most decisions are being made.

Apart from the precision of the observations, it was determined that adding extra observations improves the precision and reliability of a geometric network the most. When it comes to the other parameters corresponding to the geometry of the system, having the setups located closer to the center of the system gave better results, since the lengths of sight were shorter and more equal to each other so the observations are weighted more even. Using free setups instead of setups in known points has only shown slight improvements in comparison to the other parameters.

Applying the guidelines on a real case where a superior geometric network had to be established, unveiled some shortcomings in the guidelines and computations. It occurred due to the dimension of the area that was about three times greater than in the network designs have been shaped after. It would not be realistic to maintain that all control points could be measured from the same setups. Hence a new parameter arose; examine how the common control points that connect the setups to each other can be distributed the best. The first network design assigned to solving the case turned out to be inadequate. Adding an extra setup at the right place solved the defects of the first network design, and it improved the magnitude of the precision and reliability of the geometric network a lot compared to the small change. This seems to show that the new parameter that came about has great importance and further studies are needed to clarify its effect on the precision and reliability of a geometric network.

Indholdsfortegnelse

Kapitel 1	Indledning	1
Kapitel 2	Problemformulering	3
Kapitel 3	Metodeafsnit	5
Kapitel 4	Parametre	9
4.1	Præcision og pålidelighed af et fikspunktsnet	9
4.1.1	Udregning af præcision og pålidelighed	11
4.2	Parametre der påvirker A - og C -matricen	13
4.2.1	Parametre vedrørende totalstation	15
4.2.2	Parametre vedrørende geometrisk nivellement	16
4.3	Opsamling for parametre	17
Kapitel 5	A priori spredninger og netdesign	21
5.1	Introduktion til testberegning	21
5.2	A priori spredninger	23
5.3	Netdesign	25
5.3.1	Design af testnet	26
Kapitel 6	Testberegninger	37
6.1	Definition af koordinatsystemet	37
6.2	Udførelse af testberegninger	39
6.3	Vurdering af testberegninger	40
6.3.1	Relative konfidensellipser	41
6.3.2	Tiltag 1: Forskellig opstillingstype, Fri vs. Kendt	42
6.3.3	Tiltag 2: Forskellig placering af totalstationen, Central vs. Yderlig	49
6.3.4	Tiltag 3: Forskelligt antal polære observationer til hvert nypunkt	52
6.3.5	Tiltag 4: Forskellig dimension, Indeks 100 vs. Indeks 25	55
6.3.6	Tiltag 5: Forskellige totalstationer	57
6.3.7	Tiltag 6: Implementering af geometrisk nivellement	62
6.3.8	På tværs af tiltag	66
6.4	Retningslinjer	69
6.5	Variansfaktoren	72
Kapitel 7	Case: Projektet NAU	73
7.1	Det overordnede fikspunktsnet til Projektet NAU	73
7.1.1	LE34's løsning på etableringen	74
7.1.2	Nyt perspektiv på grund af casen	77
7.1.3	Netdesign til Projektet NAU	81
7.2	Opsamling på casen: Projektet NAU	86

Kapitel 8	Konklusion	89
Kapitel 9	Perspektivering	91
Litteratur		93
Appendiks A	Indhold af ZIP-fil	97
Appendiks B	Bagvedliggende tabeller fra testberegningerne	99
Appendiks C	Udbudsbetingelser vedrørende NAU	107
Appendiks D	Interview med Arnt S. Madsen fra LE34 i Aalborg	115
Appendiks E	A priori spredninger for identificerede parametre	117

Til mange opmålings- og afsætningsopgaver kræves det, at der bliver etableret et fikspunktsnet med tilhørende E,N,H-koordinater af høj præcision. De betingelser, der opstilles for kravet om høj præcision i dette projekt, er, at koordinaterne for fikspunkterne skal passe godt sammen relativt. Der arbejdes ikke med, hvordan fikspunktsnettets placeres absolut til trods for, at det også har stor vigtighed i en praktisk anvendelse.

Der stilles store krav til udførelsen, således at fikspunkterne er præcist bestemt samtidig med, at der sikres tilstrækkelig god pålidelighed i alle områder af fikspunktsnettets.

Pålideligheden for et fikspunktsnet angives ofte som et udtryk for fikspunktsnettets robusthed over for små fejlbidrag, der kan gemme sig. Det kræver ekstra årvågenhed at benytte de områder af et fikspunktsnet, hvor der er dårlig pålidelighed. Ved design og opmåling af et fikspunktsnet skal derfor både præcision og pålidelighed være med i overvejelserne, [Teskey et al., 1985, s. 35] så det er muligt at opdage utilsigtede fejl i alle dele af et fikspunktsnet.

Dette projekt vil undersøge hvilke parametre, der påvirker præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet. Disse parametre skal indtænkes i ens netdesign forud for etableringen af fikspunktsnettets og den tilhørende procedure for dataindsamlingen.

Formentlig vil en praktiserende landinspektør foretrække at holde sig til sine tidligere erfaringer, når beslutningerne vedrørende netdesign og opmålingsprocedure skal foretages, hvilket pointeres i [Caspary et al., 1987, s. 112]. Problemstillinger kan opstå, hvis man har manglende kendskab til de enkelte parametres indvirkning på et fikspunktsnet. Når der er variation fra den ene opmålings- og afsætningsopgave til den anden, vil der være to faldgruber, som ens erfaring muligvis ikke kan gardere én imod; enten at gøre et stykke arbejde, der er alt for godt og tidskrævende, eller at præcisionen i sidste ende ikke er opnået, og supplerende opmålinger skal foretages.

Hensigten med dette projekt er at undersøge parametrene, der kan ændres på ved etablering af et fikspunktsnet. I modsætning til den udbredte erfaringsmæssige tilgang, anvendes her en mere generel tilgang ved beregning af forskellige testnet. Vidensudbyttet vil fungere som supplement til den enkelte landinspektørs erfaring, så vedkommende kan drage nytte af generel og konkret kendskab til etableringen af et fikspunktsnet, når man står over for en ny case.

Baseret på denne indledende diskussion, er problemformuleringen udformet.

Problemformulering 2

Hvilke parametre har indflydelse på præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet, og hvordan kan det lede frem til retningslinjer, som kan anvendes ved etablering af et konkret fikspunktsnet?

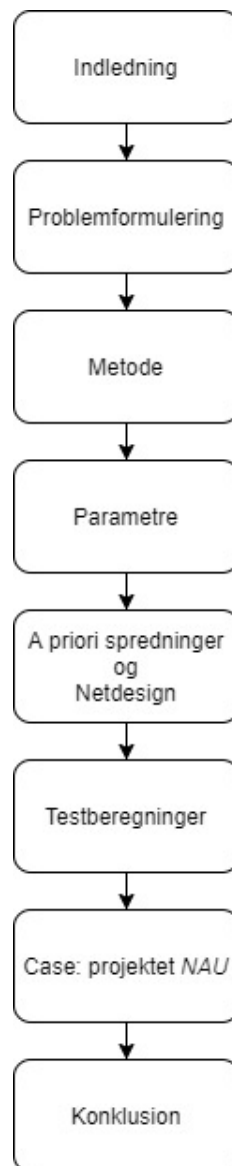
- Hvilke parametre har indvirkning på præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet?
- Hvordan kan parametrene undersøges, så det fører frem til nogle retningslinjer?
- Hvilke retningslinjer kan opstilles for etablering af et fikspunktsnet?
- Hvordan kan retningslinjerne anvendes på en konkret case, hvor der skal etableres et fikspunktsnet?

Metodeafsnit 3

I dette kapitel bliver de forskellige metoder, der anvendes til besvarelsen af underspørgsmål, udledt fra problemformuleringen, gået igennem enkeltvis. Dette bliver gjort for at forklare, hvad hvert kapitel indeholder, hvorfor det er relevant, og hvordan det bliver besvaret. Dette kapitel er ligeledes medhjælpende til at forklare, hvordan den overordnede projektstruktur er opbygget.

Den generelle projektstruktur vil være lineær, og der vil være et kapitel til besvarelse af hvert underspørgsmål. Helt overordnet, vil det første kapitel identificere hvilke parametre, der har betydning for præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet. Ud fra de fundne parametre opstilles nogle tiltag, der kan afsløre parametrenes indflydelse på præcisionen og pålideligheden. Disse tiltags indflydelse på præcisionen og pålideligheden skal undersøges, hvor det efterfølgende afsnit finder frem til, hvordan de identificerede tiltag vil blive undersøgt på forskellig vis, blandt andet ved hjælp af forskellige netdesign, for at finde frem til deres betydning for præcisionen og pålideligheden. Testberegningerne vil dernæst blive udført, hvor der på baggrund af deres resultater, vil blive lavet nogle retningslinjer, for hvad de forskellige tiltag har af betydning for præcisionen og pålideligheden. Sidst vil retningslinjerne blive testet ved, at anvende dem i en konkrete case. Til dette formål er Projektet NAU, Nyt Aalborg Universitetshospital, anvendt, hvor der er nogle krav til præcisionen, som skal overholdes.

En oversigt over projektets struktur kan ses på figur 3.1. Ud fra strukturdiagrammet ses det netop tydeligt, at projektstrukturen er meget lineær.



Figur 3.1. Strukturdiagram for projektet.

I det kommende vil der komme en dybere forklaring, om hvad de fire kapitler indeholder, hvorfor hver undersøgelse er relevante at have med, samt hvordan undersøgsmålene bliver besvaret.

Det første underspørgsmål, udledt af problemformuleringen er: *"Hvilke parametre har indvirkning på præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet?"*. Her undersøges det, hvad begreberne præcision og pålidelighed betyder for et fikspunktsnet, og hvilke parametre der spiller ind netop på præcisionen og pålideligheden. Det belyses hvilke matematiske formler, der kan anvendes til at udtrykke præcisionen og pålideligheden, hvorigennem parametrene identificeres. Til sidst i kapitlet bliver det gennemgået hvilke tiltag, der arbejdes videre med, og som har til formål at afsløre parametrenes betydning for præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet.

Det er relevant at finde frem til de parametre, som har indvirkning på præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet, så der kan planlægges nogle tiltag for at afsløre deres

indflydelse. Det er netop formålet med dette kandidatspeciale at finde frem til nogle retningslinjer for etablering af et fikspunktsnet, hvor præcision og pålidelighed er i højsæde. Besvarelsen af dette kapitel bliver gjort hovedsageligt ved brug af litteratur, der omhandler begreberne i relation til præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet.

Det næste underspørgsmål fra problemformuleringen: *"Hvordan kan parametrene undersøges, så det fører frem til nogle retningslinjer?"* vil være delt op i tre dele, hvor den første del er en introduktion til testberegninger, hvor der vil blive belyst nogle af de fordele, der er ved at anvende testberegninger. Simple retningslinjer fra tidligere forskning på området vil også blive nævnt. Anden del omhandler a priori spredningerne, der skal bruges i vægtmatricen C , som i det foranstående kapitel bliver identificeret som essentiel for testberegninger. Den sidste del er omkring forskellige opbygninger af netdesign, hvilket har at gøre med designmatricen A , som også skal ligge til grund for testberegningerne. Dette resulterer i forskellige design, der alle har til formål at vise gennem målrettet tiltag, hvordan de identificere parametre påvirker præcisionen og pålideligheden af fikspunktsnet.

Introduktionen til testberegninger bliver lavet for at belyse hvilke fordele, at dette planlægningsværktøj har, og samtidig dermed belyses nogle grundlægende retningslinjer for opbygning af et fikspunktnet. A priori spredninger bliver fundet, da de er blevet identificeret som meget essentielle for en testberegning. Der bliver lavet forskellige netdesign for at vise bedst muligt, hvad de forskellige tiltag har af betydning for præcisionen og pålideligheden. De kommende retningslinjer på kan derved baseres på et stort udsnit af netdesign og forskellige a priori spredninger.

Viden, der bruges til besvarelsen af alle de tre dele, vil hovedsageligt stamme fra litteratur, som omhandler netop dette. A priori spredninger for de enkelte instrumenter stammer fra de respektive datablade. Viden, der opnået tidligere i rapporten, er også anvendt til besvarelsen.

Det tredje underspørgsmål, *Hvilke retningslinjer kan opstilles for etableringen af et fikspunktsnet?*, besvares ved at gennemføre de planlagte testberegninger, og resultaterne fra testberegningerne sammenlignes med hinanden, så retningslinjer kan opstilles ud fra sammenligningerne. Sammenligningerne finder sted inden for hvert tiltag, og mod slutningen undersøges der på tværs af tiltagene, så det kan sammenlignes hvilket tiltag, der har størst betydning for præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet. Til sidst opsummeres det hvilke retningslinjer, der kan opstilles på baggrund af testberegningerne.

Dette kapitel er relevant, eftersom hele essensen med projektet er at skabe nogle retningslinjer, som man kan anvendes ved fremtidige etableringer af fikspunktsnet. Dette vil betyde, at man allerede, inden man påbegynder en opmåling, har en ide i, hvilken størrelsesorden præcisionen og pålideligheden vil være ved en given opmålingsmetode. Dette vil være medhjælpende til, at man ikke ender ud med et fikspunktsnet, der enten er for godt, og derfor formentligt har brugt for meget tid, eller ikke har tilstrækkelig præcision, så man er nødsaget til at foretage supplerende målinger.

Til udførelsen af dette kapitel er der anvendt testberegninger, som er foretaget med programmet GeoADJUST. Resultaterne af testberigningerne er dernæst blevet sammenlignet med hinanden, for at finde frem til de forskellige tiltags betydningen for præcisionen og pålideligheden. Retningslinjerne bliver dernæst lavet ved at sammenligne tiltagenes forskellige betydninger for præcisionen og pålideligheden, for at finde frem til hvilke af dem,

der har størst betydning og hvilke, der har mindst.

Det sidste underspørgsmål, udledt fra problemformuleringen, er: *"Hvordan kan retningslinjerne anvendes på en konkret case, hvor der skal etableres et fikspunktsnet?"*. Det omhandler, hvordan de fundne retningslinjer kan anvendes i en konkrete case. Hertil benyttes Projektet NAU, Nyt Aalborg Universitetshospital, hvor der er nogle krav i de tilhørende udbudsbetingelser, som skal overholdes. Retningslinjerne danner grundlag for planlægning af et netdesign, hvor formålet er at overholde kravene, der er for det overordnede fikspunktsnet til Projektet NAU.

Dette er relevant for at undersøge, hvorvidt de fundne retningslinjer er anvendelige og tilstrækkelige i en konkret case, hvor der er nogle krav, som skal overholdes. Dette er ligeledes første gang i projektet, at der bliver stillet krav til udførelsen, hvilket også kan give en anden vinkel til retningslinjerne, og der er mulighed for at nye perspektiver opstår.

Projektet NAU bliver undersøgt ved brug af udbudsbetingelserne, som landinspektørfirmaet LE34, har gjort os bekendt med. Et interview med den projektansvarlige i virksomheden er også anvendt. Selve imødekommelsen af udbudsbetingelserne bliver besvaret ved hjælp af den viden, som er opnået tidligere i projektet, hvor det hovedsageligt er retningslinjerne, der er anvendt. Selve testberegningerne er ligesom de forudgående testberegninger foretaget i GeoADJUST.

Parametre 4

I det følgende vil forskellige parametre, der er relevante i forbindelse med etablering af et fikspunktsnet, hvor der er fokus på præcision og pålidelighed, blive identificeret. Der vil blive foretaget en undersøgelse af begreberne præcision og pålidelighed af et fikspunktsnet ud fra deres matematiske beskrivelser, hvorigennem parametrene, der har indvirkning på præcisionen og pålideligheden, bliver identificeret. Slutteligt vil det blive uddybet, hvad der har betydning for de identificerede parametre.

Dette er relevant, for at der opnås en viden omkring hvilke parametre, der har betydning for netop præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet. Desuden danner denne gennemgang af relevante parametre grundlag for de testberegninger, som finder sted senere i kandidatspecialet.

Til besvarelsen af dette kapitel anvendes der hovedsageligt litteratur, som kommer ind på begreberne præcision og pålidelighed af et fikspunktsnet, så det vides, hvordan præcision og pålidelighed kan måles, og derigennem hvilke parametre, der er relevante at undersøge nærmere.

4.1 Præcision og pålidelighed af et fikspunktsnet

Inden undersøgelsen af parametre påbegyndes, er det nødvendigt med en mere dybdegående beskrivelse af begreberne *præcision* og *pålidelighed* af et fikspunktsnet, eftersom det er de parametre, der har indflydelse på disse størrelser, der ønskes identificeret.

Vigtige faktorer ved etablering af et fikspunktsnet er: præcision, pålidelighed og de systematiske fejls indflydelse. Præcision er i denne kontekst beskrevet ved a posteriori kovariansmatricen for elementerne, [Borre, 1990, s. 170] som i dette tilfælde er fikspunkternes færdigberegnedede koordinater. Pålidelighed er et udtryk for, hvor godt grove fejl blandt observationerne kan afsløres.

Der ses bort fra de systematiske fejls indflydelse, selvom Kai Borre påpeger, at disse ofte har større betydning for fikspunktsnettets end de tilfældige fejl. [Borre, 1990, s. 169] Det antages nemlig, at instrumenterne er kalibreret for de lovmæssige fejl, og at operatøren benytter de korrekte procedurer til at forebygge grove og systematiske fejl ved betjening af udstyret.

Den ovennævnte a posteriori kovariansmatrix for elementerne indeholder information om fikspunkternes præcision, hvilket kan anvendes til at bestemme *koordinatspredninger* og *konfidensellipser*.

Koordinatspredningerne fortæller hvor godt, at de enkelte koordinater til fikspunkterne er bestemt. Konfidensellipser kan anvendes til at visualisere præcisionsforholdene i det hori-

sontale plan, E, N , og deres individuelle størrelse, form og orientering bestemmes ud fra værdierne i kovariansmatricen. [Cederholm, 2000, s. 49 - 50]

Under ideelle forhold, hvor observationerne ikke er påvirket af grove eller systematiske fejl, kunne undersøgelse af præcisionen have stået alene, men grove fejl kan gemme sig, hvis geometrien af fikspunktsnettet er mangelfuld. I så fald vil en grov fejls tilstedeværelse ikke blive røbet af et stort residual, og fikspunktsnettet vil mangle pålidelighed. [Baarda, 1982, s. 47]

Det er derfor ikke fyldestgørende kun at foretage en vurdering af fikspunktsnettet ud fra a posteriori kovariansmatricen, herunder koordinatspredninger og konfidensellipser, men en analyse af fikspunktsnettets pålidelighed er nødvendig. [Cederholm, 2000, s. 87] Der er to årsager til, at en eller flere observationer kan være behæftet med grove fejl uden at blive opfanget; enten er observationen ikke tilstrækkeligt holdt op imod andre uafhængige observationer, eller den grove fejls indflydelse er for lille til at blive opdaget. [Gruendig, 1992, s. 533]

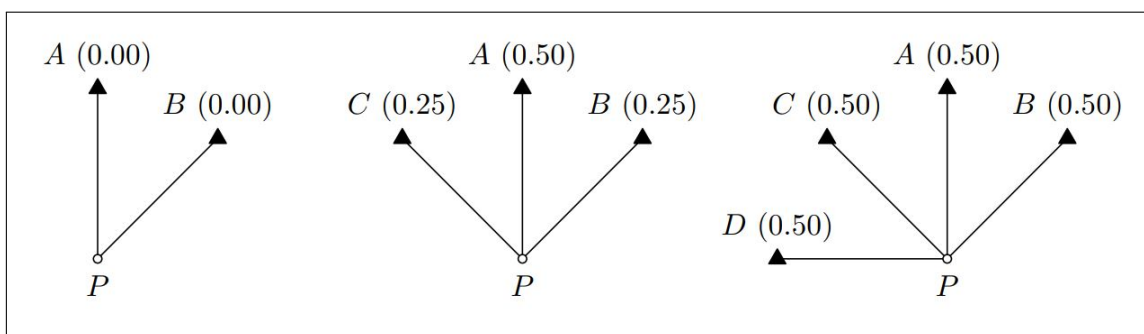
Et vigtigt værktøj, der kan anvendes til at vurdere pålideligheden, er *redundanstal*. For hver observation kan der udregnes et redundanstal, som befinder sig mellem 0 og 1, hvor det er bedre jo større værdi. [Amiri-Simkooei et al., 2012, s. 173] Redundanstal er et udtryk for fordelingen af antallet af overbestemmelser blandt alle observationerne, og lave redundanstal er en identifikation på svag geometri i nettet. [Cederholm, 2000, s. 87 og 108] På baggrund af redundanstal kan *intern pålidelighed* og *ekstern pålidelighed* bestemmes. Intern pålidelighed er et udtryk for den mindste grove fejl, der er mulig at afsløre ved hjælp af de normaliserede residualer. Normalvis tjekkes det på grund af normalfordelingskurven, om de normaliserede residualer overskrider ± 3 , men en anden værdi kan benyttes ud fra valg af *signifikansniveau*, α , og *testens styrke*, $1 - \beta$. Dette beskrives nærmere i afsnit 4.1.1 under formen for intern pålidelighed.

Ekstern pålidelighed er et udtryk for den effekt, som den interne pålidelighed har på den enkelte ubekendte. Enhver observation kan være fejlbehæftet og påvirke alle koordinater i udjævningen. Til hvert koordinat i fikspunktsnettet tjekkes derfor hvilken observation, der har størst indflydelse og kan give den største potentielle deformation. Denne maksimale effekt til hver koordinat, anbefaler Vaníček et al., at man arbejder ud fra i sin analyse af fikspunktsnettets pålidelighed. [Vaníček et al., 2001, s. 203] Der tages kun højde for, at der er én grov fejl blandt observationerne, når man undersøger ekstern pålidelighed. [Cederholm, 2000, s. 120]

Sammenhængen mellem disse begreber er således, at jo større redundanstal, jo mindre er de uopdagede grove fejl, der eventuelt finder sted, og deres indflydelse på bestemmelsen af fikspunkternes koordinater vil derfor også være mindre. Normalvis anbefales det at sigte mod en nogenlunde konstant værdi for redundanstallene, så muligheden for at opdage grove fejl er konstant i hele fikspunktsnettet. [Amiri-Simkooei, 2001, s. 228] I dette kandidatspeciale er det derimod ikke et ønske at sikre et konstant redundanstal, men derimod blot sørge for, at redundanstallene er høje nok, så pålideligheden er tilstrækkelig i alle dele af fikspunktsnettet. De områder af et fikspunktsnet, der kræver ekstra agtpågivenhed, er typisk i udkanten af ens fikspunktsnet, fordi der er en dårligere sammensætning af fikspunkternes placering, så observationerne ikke tjekkes lige så godt op imod hinanden. [Amiri-Simkooei et al., 2012, s. 179]

Cederholm har givet et illustreret eksempel på, hvordan pålidelighed afhænger af nettets geometri. Dette kan ses på figur 4.1. Det er punktet P , der ønskes bestemt ved bueskæring fra de kendte punkter A - D . Redundanstallet for hver observation er skrevet i parentes. I første situation er der ingen overbestemmelser. Redundanstallene har derfor værdien nul, fordi en eventuel grov fejl på den ene observation ikke bliver røbet.

Den bedste bueskæring fås, når observationerne står vinkelret på hinanden. I den midterste situation, er punktet P derfor bedst bestemt af observationerne af punkterne B og C . Disse to observationer kan ikke kontrolleres for grove fejl nær så godt som observationen fra punkt A . I sidste situation, står observationerne parvis vinkelret på hinanden, så en grov fejl vil nu kunne lokaliseres lige godt på alle observationerne, og der er tilfredsstillende pålidelighed. [Cederholm, 2000, s. 104] Til trods for, at observationerne kan være målt med den samme præcision, har eksemplet vist, hvordan geometrien blandt observationen har indflydelse på pålideligheden af den enkelte observation.



Figur 4.1. Illustration af geometriens indflydelse på pålidelighed. [Cederholm, 2000, s. 104]

4.1.1 Udregning af præcision og pålidelighed

Det blev nævnt ovenfor, at præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet kan måles henholdsvis ud fra a posteriori kovariansmatricen for elementerne og redundanstal. I dette underafsnit vil den matematiske beskrivelse af præcision og pålidelighed blive vist.

A posteriori kovariansmatricen, der indeholder information om de udjævnede koordinaters præcision, kan udregnes efter formel 4.1.

Formel for kovariansmatrix:

$$\Sigma_{\hat{x}} = \hat{\sigma}_0^2 (A^T C A)^{-1} \quad (4.1)$$

[Cederholm, 2000, s. 44]

hvor $\hat{\sigma}_0^2$ er variansfaktoren
 A er designmatricen for observationerne
 C er vægtmatricen for observationerne

I planlægningsfasen, før udjævningen finder sted, er variansfaktoren $\hat{\sigma}_0^2$ ukendt, så den sættes til 1. [Cederholm, 2000, s. 39] En udvidet beskrivelse af variansfaktoren kan findes i afsnit 5.1.

I indledningen blev det beskrevet, at dette kandidatspeciale tager udgangspunkt i etablering af et lokalt koordinatsystem, eftersom den relative præcision mellem nypunkterne er i fokus. Koordinatsystemet er defineret som E, N, H , hvor E, N udgør det horisontale plan. Selve opbygningen af kovariansmatricen er vist nedenfor med vilkårlige nypunkter i og j :

$$\Sigma_{\hat{x}} = \begin{bmatrix} \sigma_{E_i}^2 & \sigma_{E_i N_i} & \sigma_{E_i H_i} & \cdots & \sigma_{E_i E_j} & \sigma_{E_i N_j} & \sigma_{E_i H_j} \\ \sigma_{N_i E_i} & \sigma_{N_i}^2 & \sigma_{N_i H_i} & \cdots & \sigma_{N_i E_j} & \sigma_{N_i N_j} & \sigma_{N_i H_j} \\ \sigma_{H_i E_i} & \sigma_{H_i N_i} & \sigma_{H_i}^2 & \cdots & \sigma_{H_i E_j} & \sigma_{H_i N_j} & \sigma_{H_i H_j} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \sigma_{E_j E_i} & \sigma_{E_j N_i} & \sigma_{E_j H_i} & \cdots & \sigma_{E_j}^2 & \sigma_{E_j N_j} & \sigma_{E_j H_j} \\ \sigma_{N_j E_i} & \sigma_{N_j N_i} & \sigma_{N_j H_i} & \cdots & \sigma_{N_j E_j} & \sigma_{N_j}^2 & \sigma_{N_j H_j} \\ \sigma_{H_j E_i} & \sigma_{H_j N_i} & \sigma_{H_j H_i} & \cdots & \sigma_{H_j E_j} & \sigma_{H_j N_j} & \sigma_{H_j}^2 \end{bmatrix}$$

I diagonalen af a posteriori kovariansmatricen står variansen for de estimerede koordinater. [Cederholm, 2000, s. 45] Ved at benytte kvadratroden finder man frem til koordinatspredningerne, der udtrykker præcisionen af udjævningens resultat for bestemmelse af koordinaterne til fikspunkterne.

Ud fra kovariansmatricen ovenfor kan man eksempelvis bestemme koordinatspredningerne:

$$\begin{bmatrix} \sigma_{E_i} & \sigma_{N_i} & \sigma_{H_i} & \cdots & \sigma_{E_j} & \sigma_{N_j} & \sigma_{H_j} \end{bmatrix}$$

Hvad angår konfidensellipserne, skal kovariansen mellem koordinaternes varianser også benyttes. [Cederholm, 2000, s. 50] Konfidensellipsen til fikspunkt i bestemmes af $\sigma_{E_i}^2$, $\sigma_{N_i}^2$ og $\sigma_{E_i N_i}$.

Med hensyn til at måle pålideligheden for et fikspunktsnet, står redundanstallene for observationerne diagonalt i redundansmatricen R , der udregnes, som vist i formel 4.2.

Formel for redundansmatrix:

$$R = I - A(A^T C A)^{-1} A^T C \quad (4.2)$$

[Amiri-Simkooei, 2001, s. 228]

hvor I er identitetsmatricen
 A er designmatricen for observationerne
 C er vægtmatricen for observationerne

Redundanstallene benyttes til at beregne intern pålidelighed og ekstern pålidelighed i henholdsvis formel 4.3 og 4.4. I begge tilfælde er det én beregning for hver observation.

Formel for intern pålidelighed:

$$\nabla_0 b_i = \frac{\delta_o \sigma_i}{\sqrt{\rho_i}} \quad (4.3)$$

[Cederholm, 2000, s. 118]

hvor δ_0 er et udtryk for forskydningen af teststørrelsens fordelingskurve, som skyldes den grove fejl
 σ_i er spredningen for den i 'te observation
 ρ_i er redundanstallet for den i 'te observation

Værdien for δ_0 afhænger af det valgte signifikansniveau α og testens styrke $1 - \beta$. I praksis er det grænseværdien i *data snooping*, hvor residualerne testes hver for sig, efter udjævningen er gennemført, og de observationer, som tyder på at være fejlbehæftet, frasorteres. Cederholm anbefaler, at den kritiske værdi skal være i nærheden af 3.0. Den kritiske værdi anvendes i praksis, som størrelsen på δ_0 . Såfremt $\alpha = 5\%$ og $\beta = 10\%$, så er den kritiske værdi 3.3, og sandsynligheden for at afsløre en grov fejl er 90 % på 5 % signifikansniveau. [Cederholm, 2000, s. 97]

Formel for ekstern pålidelighed:

$$\nabla_0 \hat{x}_i = (A^T C A)^{-1} A^T C \nabla_0 b_i \quad (4.4)$$

[Amiri-Simkooei, 2001, s. 228]

Ud fra de førstnævnte formler 4.1 og 4.2 fremgår det tydeligt, at både præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet afhænger af designmatricen A , der fortæller om geometrien og sammensætningen af observationerne, og hvordan observationerne vægtes, udtrykt ved vægtmatricen for observationerne C . Dette giver den fordel, at man kan estimere en forventet præcision og pålidelighed, inden man foretager faktiske observationer i marken. [Ogundare, 2016, kap. 7]

Den indsamlede viden om præcision og pålidelighed af et fikspunktsnet har ført frem til, at de parametre, der skal undersøges nærmere, skal have indflydelse på A - og C -matricen, så geometrien og vægtningen af observationerne sikrer høj præcision og pålidelighed af fikspunktsnettet. Dette indebærer, at geometrien og observationernes varianser giver tilstrækkelig lave koordinatspredninger til, at det pågældende præcision kan overholdes samtidig med, at observationerne er tilstrækkeligt tjekket op imod hinanden og eventuelle grove fejl kun har minimal indflydelse på fikspunktsnettet. [Gruendig, 1992, s. 533]

4.2 Parametre der påvirker A - og C -matricen

I forrige afsnit blev der fundet frem til, at præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet er knyttet op på A - og C -matricen. Derfor vil de parametre, der påvirker geometrien og observationerne blive undersøgt nærmere.

Designmatricen for observationerne, A , fortæller hvilke koordinater, at den enkelte observation har indflydelse på, samt hvordan observationen har betydning. A -matricen består nemlig af de partielt afledede af observationsligningerne med hensyn til elementerne. [Cederholm, 2000, s. 33]

Til sammenligning indeholder vægtmatricen for observationerne, C , information om den forventede præcision af hver eneste observation. Vægtmatricen kan beregnes ud fra kovariansmatricen for observationerne, Σ_b , på følgende måde: $C = \Sigma_b^{-1}$. [Cederholm, 2000, s.

15]

Dette gælder også, hvis der er korrelationer mellem observationerne. I diagonalen af vægtmatricen står information baseret på a priori spredningerne.

Det blev vist på figur 4.1, at geometrien har stor betydning for pålideligheden. Det er ikke tilstrækkeligt med præcise observationer, hvis geometrien er dårlig. Ofte er geometrien underlagt de betingelser og fysiske hindringer, som det pågældende sted, hvor fikspunktsnettet skal etableres, dikterer. Eksempelvis kan fysiske forhold såsom terræn, beplantning eller lignende indskrænke mulighederne for det konkrete fikspunktsnet, såfremt det fremstår som en fysisk barrierer, der forhindrer observationer i at blive målt. Desuden kan der forekomme juridiske bindinger der dikterer, hvor fikspunkterne skal etableres, så den indbyrdes placering af fikspunkterne er hæmmet.

Følgende forhold bygger A -matricen i et testnet på jf. [Cederholm, 2000, s. 59]:

- Hvilke punkter, der skal observeres imellem
- Hvilke typer observationer, der benyttes

Tilsvarende bygger C -matricen på:

- De estimerede a priori spredninger

De punkter, der observeres imellem, kan som nævnt være underlagt betingelser grundet stedet, hvor fikspunktsnettet skal etableres. Derudover vil det have betydning for geometrien, om der med totalstation anvendes opstilling i kendte punkter eller frie opstillinger. Generelt er den indbyrdes afstand og fordeling af fikspunkterne, og eventuelle opstillingspunkter, afgørende for geometrien og derved A -matricen.

Med hensyn til de typer af observationer, der benyttes, tages der udgangspunkt i de to opmålingsværktøjer; totalstation og nivellerinstrument. En totalstation gemmer tre observationer til stedfæstelse af hvert målt punkt; horisontalretningen, H_z , vertikalvinklen, V , og 3D-afstanden, S_d . Et nivellerinstrument giver højdeforskellen på de punkter, der nivelleres imellem.

I A -matricen skal det vælges præcis hvilke observationer, at den enkelte testberegning skal bygge på. En kombination af triangulation og trilateration, som totalstationen giver mulighed for, styrker et fikspunktsnet væsentligt, mens geometrisk nivellement kan bidrage til bestemmelse af koten.

Indtil videre, med udgangspunkt i A -matricen, er der identificeret følgende parametre:

- 1a. Placering af fikspunkter og eventuelle opstillingspunkter
- 2a. Typer af observationer

Punkt 1a) Placeringen af fikspunkterne og eventuelle opstillingspunkter betinger sigtelængderne bag observationerne, og den indbyrdes geometri, der er afgørende for, hvorvidt observationerne tjekkes op imod hinanden, hvilket blev set på figur 4.1.

Punkt 2a) En anden vigtig parameter er hvilke typer af observationer, der forbinder punkterne. Eftersom der kun benyttes terrestiske observationer til netmålingen, drejer det sig

om en kombination af afstands- og retningsmålinger fra totalstation og højdeforskelle fra geometrisk nivellement. De forskellige typer af observationer, involverer punkterne forskelligt.

Hvad angår C -matricen, er det mange parametre, der påvirker de estimerede a priori spredninger for observationerne. Overordnet afhænger a priori spredningerne af det valgte udstyr og antallet af målinger. [Cederholm, 2000, s. 59] I de to følgende underafsnit vil en mere detaljeret gennemgang af parametre vedrørende de to opmålingsværktøjer, totalstation og nivellerinstrument, blive beskrevet. Formålet er endnu en gang at redegøre for, hvordan parametrene påvirker observationerne, hvilket bliver afspejlet i størrelsen af a priori spredningerne i C -matricen.

4.2.1 Parametre vedrørende totalstation

Til netmåling er totalstationen et udbredt opmålingsværktøj, så der vil nu blive kigget på de parametre vedrørende en totalstation, der har betydning for a priori spredningerne i C -matricen, og derved præcisionen og pålidelighed af et fikspunktsnet.

De parametre, der er identificeret vedrørende en totalstation og har virkning på a priori spredningerne, er:

1b. Præcision af totalstationen

- Spredningen på en horisontalretning
- Spredningen på en vertikalvinkel
- Spredningen på en 3D-afstand,
herunder grundfejlen og den afstandsafhængige fejl

2b. Antallet af satser

3b. Spredning på centrering af totalstationen ved opstilling

4b. Spredning på instrumenthøjden

5b. Spredning på centrering af sigteskive anbragt i fikspunkterne

6b. Spredning på sigteskivehøjden

7b. Sigtelængden fra opstilling til opmålingspunkt

8b. Usikkerhed på måling af tryk og temperatur ved reduktion af afstande

De fleste af parametrene er fundet ud fra bogen *Landmåling i Teori og Praksis* af Karsten Jensen, lektor emeritus, Aalborg Universitet. Det er de tilfældige fejl ved horisontalretningsmåling, afsnit 2.3, elektrooptisk distancemåling, afsnit 3.3, og trigonometrisk nivellement, afsnit 6.3, der hovedsageligt er benyttet. [Jensen, 2011]

Der er også draget stor nytte af artiklen "*A Simulation on the Expected Horizontal Accuracy of a Bridge Stakeout*" af Tuno et al., som bekræfter flere af de identificerede parametre. Tuno et al. undersøger meget systematisk indflydelsen fra afstandsafhængige fejl, præcisionen af vinkel- og afstandsmålinger og centreringsfejl. [Tuno et al., 2018, s. 288] Selvom deres fokus for undersøgelserne har taget udgangspunkt i afsætning af en bro ved brug af totalstation, kan undersøgelserne bidrage til dette kandidatspeciale, hvor emnet er etableringen af et fikspunktsnet.

Punkt 1b og 2b) A priori spredningerne afhænger af hvilken totalstation, der benyttes, eftersom producenterne har instrumenter af forskellig kvalitet. At øge antallet af satser,

kan have samme betydning for a priori spredningerne som at opgradere det anvendte udstyr. [Chrzanowski, 1989, s. 92 - 93] Tiltag, såsom at hver gemt observation baseres på middel af flere distancemålinger og vinkelaflæsninger, vil ligeledes have betydning for a priori spredningerne og derved præcisionen og pålideligheden af et fikspunktnet.

Punkt 3b og 4b) Der vil altid være et bidrag fra centreringsfejl og mangelfuld instrumenthøjde ved opstilling af totalstationen, uanset om der centrerer over kendte punkter eller der anvendes frie opstillinger. Fejlbidraget vurderes og pålægges normalvis a priori spredningerne. [Ogundare, 2016, kap. 8]

Punkt 5b og 6b) Ligeledes vil der altid være et fejlbidrag, når sigteskiver anbringes i fikspunkterne, både centreringsfejl og fejl i sigteskivehøjden.

Punkt 7b) Generelt vokser a priori spredningerne i takt med sigtelængderne, hvilket forringer den forventede præcision og pålidelighed af fikspunktsnettet.

Punkt 8b) De afstande, der måles med totalstation, bliver løbende korrigeret for de systematiske fejl, der afhænger af de aktuelle atmosfæriske forhold. [Jensen, 2011, s. 14] Dog vil der altid være et fejlbidrag grundet de tilfældige fejl ved måling af tryk og temperatur.

4.2.2 Parametre vedrørende geometrisk nivellement

Ligesom ovenstående, undersøges de parametre ved geometrisk nivellement, der har indflydelse på a priori spredningerne i C -matricen.

De identificerede parametre er:

- 1c. Præcision af nivellerinstrumentet og stadie
- 2c. Stabilisering af stadiet
- 3c. Sigtelængden

Ofte anvendes betegnelsen *kilometerspredningen*, som repræsenterer den samlede størrelse af fejl ved indstilling, aflæsning, instrumentets kompensator og refraktion, der optræder tilfældigt. [Jensen, 2011, s. 26]

Jensen fremhæver, at sigtelængden bør afpasses efter vejrforholdene.

De tre ovenstående parametre vil nu blive gennemgået med hensyn til, hvordan de hver især påvirker observationerne og derved a priori spredningerne i C -matricen:

Punkt 1c) Der findes nivellerinstrumenter, som er bygget til forskellige anvendelser, såsom teknisk nivellement og præcisionsnivellement. Endvidere findes der særlige invar stadier, hvormed der kan opnås observationer af stor præcision. [Leica Geosystems, 2015] A priori spredningerne skal tilpasses efter hvilket nivellerinstrument og stadie, der benyttes.

Punkt 2c) Anvendelse af hjælpeinstrumenter til stabilisering af stadiet, såsom stokke og dåselibelle, så stadiet holdes i lod, når alle aflæsninger foretages, vil have betydning for størrelsen på a priori spredningerne.

Punkt 3c) Sigtelængden er ligeledes en vigtig parameter, da spredningen på stadieaflesningerne vokser i takt med sigtelængden. Derfor fremgår det af specifikationerne til nivellerinstrumentet, hvilken maksimal sigtelængde, der må anvendes. Eksempelvis anbefales præcisionsmåling med Leica LS15 ikke at overskride 30 meter. [Leica Geosystems, 2017, s. 28]

4.3 Opsamling for parametre

På baggrund af den foregående gennemgang af parametre, der påvirker A - og C -matricen, vil der nu blive lavet en opstilling af de parametre, der ønskes undersøgt nærmere gennem testberegninger. Identificeringen af parametre med betydning for præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet, har været blandt de forberedende elementer til at præcisere hvordan testberegningerne, der skal fokuseres på senere i dette kandidatspeciale, skal udformes.

De parametre, der vil blive arbejdet videre med i testberegningerne, er markeret med (+) nedenfor:

- (+) 1a. Placering af fikspunkter og eventuelle opstillingspunkter
- (+) 2a. Typer af observationer
- (+) 1b. Præcision af totalstationen
 - 2b. Antallet af satser
 - 3b. Spredning på centrering af totalstationen ved opstilling
 - 4b. Spredning på instrumenthøjden
 - 5b. Spredning på centrering af sigteskive anbragt i fikspunkterne
 - 6b. Spredning på sigteskivehøjden
- (+) 7b. Sigtelængden fra opstilling til opmålingspunkt
 - 8b. Usikkerhed på måling af tryk og temperatur ved reduktion af afstande
- (+) 1c. Præcision af nivellerinstrumentet og stadie
 - 2c. Stabilisering af stadiet
 - 3c. Sigtelængden

Årsag til netop disse parametre er valgt til de videre testberegninger, er ud fra en vurdering af hvilke parametre, der hersker størst tvivl omkring, særligt en uklarhed om hvilken af parametrene, der er mest fordelagtig at ændre på, hvis man har flere muligheder at vælge mellem.

Parametre, der arbejdes videre med:

Placeringen af fikspunkter og eventuelle opstillingspunkter, parameter 1a, er den essentielle udfordring ved etablering af et fikspunktsnet, som er omdrejningspunktet for store dele af litteraturen, hvor der stræbes efter metoder til at finde den optimale fordeling af nypunkter. Den indbyrdes placering vil derfor blive undersøgt nærmere, og sigtelængden fra opstilling til opmålingspunkt, parameter 7b, er en del heraf.

Typer af observationer, parameter 2a, er også vurderet til at være et vigtigt element. Ud fra et økonomisk perspektiv vil det være væsentligt, om geometrisk nivellement helt kan undværes, såfremt de målte vertikalvinkler og 3D-afstande fra totalstationen giver koter, der er præcise nok.

En undersøgelse af parameter $1b$, som er præcision af totalstation, er også vurderet til at være væsentlig med henblik på, om det reelt har den store betydning at opgradere totalstationen i forhold til de øvrige parametre.

Med hensyn til geometrisk nivellement vil præcision af nivellerinstrument og stadie, parameter $1c$, blive inkluderet, da der kan anvendes udstyr af forskelligt kvalitet. Ud fra specifikationerne for udstyret kan denne parameter indgå i testberegningerne.

Parametre, der ikke arbejdes videre med:

Parametrene $3b$ og $4b$, som er spredning på centrering af totalstation ved opstilling og spredning på instrumenthøjden, vil ikke blive undersøgt. Fokus for dette kandidatspeciale er lagt andetsteds, fordi Tuno et al. delvist allerede har belyst centreringsfejl. Af den grund vil der blot blive vurderet passende a priori spredninger for observationerne, som vil blive anvendt i testberegningerne.

Antallet af satser, parameter $2b$, vil ikke blive belyst yderligere. I dette projekt tages der udgangspunkt i at måle én hel sats, altså både 1. og 2. hovedstilling, så fejlbidraget, der skyldes eventuelle lovmæssige fejl ved totalstationen eller stativdrejning, kan reduceres.

Spredning på centrering af sigteskive anbragt i fikspunkterne og spredning på sigteskivehøjden, parametrene $5b$ og $6b$, er ikke taget med, fordi der er stor enighed om at anvende miniprisme med sigteskivehøjde på 10 cm. Denne praksis er der ikke umiddelbart en gevinst ved at ændre på, og en empirisk undersøgelse af a priori spredningerne har ikke været mulig grundet begrænset adgang til instrumenter.

Tuno et al. er i deres undersøgelse af centreringsfejl kommet frem til følgende anbefalinger: 1) anvend en mere følsom dåselibelle, 2) anvend en form for hjælpeinstrument til stabilisering af prismet og 3) anvend kortest mulig prismestok. [Tuno et al., 2018, s. 292]

Angående parameter $8b$, usikkerhed på måling af tryk og temperatur ved reduktion af afstande, så vil der være større spredning på de reducerede afstande, jo større usikkerhed der er på aflæsning af tryk og temperatur. Dette kan aflædes af formel 3.3 i *Landmåling i Teori og Praksis*. [Jensen, 2011, s. 15] Det anbefales løbende at måle tryk og temperatur, så de målte afstande korrigeres korrekt. Intet yderligere vil blive undersøgt.

Parameter $2c$, stabilisering af stadiet, og parameter $3c$, sigtelængden, er ikke nær så målbare som præcisionen af nivellerinstrumentet og stadie, parameter $1c$, der vil blive taget med i testberegningerne. Da der har været begrænset adgang til udstyr, er parametrene vedrørende geometrisk nivellement væsentligt nedprioriteret, og vurderingen af passende a priori spredninger vil alene foretages ud fra specifikationerne for det pågældende nivellerinstrument og stadie. Endvidere antages det, at den angivne præcision kan overholdes, hvis man sørger for at overholde den maksimale sigtelængde, der er anbefalet i brugermanualen til nivellerinstrumentet.

Baseret på de udvælgelser, der er foretaget ovenfor, opsummeres det her, hvilke tiltag, der vil være for øje i kapitel 5.

Tiltag med hensyn til præcisionen af observationerne:

1. Forskellige totalstationer.
2. Implementering af geometrisk nivellement.

Tiltag med hensyn til geometrien af nettet:

1. Forskellig opstillingstype.
2. Forskellig placering af totalstationen.
3. Forskelligt antal polære observationer til hvert nypunkt.
4. Forskellig dimension.

Nu hvor de væsentligste parametre er blevet udvalgt forud for testberegningerne, vil det kommende kapitel præcisere, hvorledes forskellige testnet er designet i henhold til ovenstående tiltag, så det giver grundlag for at vurdere parametrene betydning for præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet.

A priori spredninger og netdesign 5

Dette kapitel er delt op i tre afsnit. Det første afsnit er en kort introduktion til fordelene ved at foretage testberegninger. Det næste afsnit omhandler præcisionen af observationerne, og de andre a priori spredninger, der skal anvendes til C -matricen. I det sidste afsnit vil der blive lavet nogle forskellige design af testnet, som vil blive lavet på en måde således, at der vil være forskellige opbygninger af matricen A .

Introduktionen til testberegninger laves for at belyse fordelene ved dette planlægningsværktøj og give en ide om hvilke generelle retningslinjer, der gør sig gældende ved en etablering af fikspunktsnet. A priori spredningerne og geometrien af testnettet undersøges, fordi det er beskrevet i kapitel 4, at begge elementer er helt essentielle for en undersøgelse af præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet gennem testberegninger. Tilsammen vil dette danne grundlag for de kommende testberegninger, så de specifikke tiltag i slutningen af afsnit 4.3 kan varetages.

Oplysningerne til udførelsen af dette kapitel er fundet ved brug af relevant litteratur, som omhandler de emner, kapitlet kommer ind på, ligesom der også er anvendt viden der er opnået tidligere i projektet. Information omkring a priori spredninger er hovedsageligt fundet ved hjælp af de datablad, som producenterne selv har udgivet for deres respektive instrumenter. Desuden er andet litteratur om testberegninger og udjævning anvendt, hvilket indebærer konkrete eksempler for a priori spredninger.

5.1 Introduktion til testberegning

Der er to basale tilgange til tankegangen bag grundlaget for opbygning af ens fikspunktsnet med dertilhørende indledende testberegninger; testnet (*'trial and error' metode*) og analytisk metode baseret på komplekse matematiske ligninger, der finder frem til en optimal løsning. [Ogundare, 2016, kap. 7] I dette kandidatspeciale vil testberegningerne blive grebet an med stor lighed til *'trial and error'* metoden, hvor testnettene bliver designet ud fra personlig vurdering af det enkelte testnets formål, og hvordan en specifik parameters indflydelse på præcisionen og pålideligheden vises tydeligst i resultaterne. Der vil forekomme et udvalg af testnet med målrettet ligheder og forskelle. Normalvis simuleres testnettene gentagende gange, indtil det perfekte netdesign er opnået, hvilket ikke vil blive gjort i denne undersøgelse. Af den grund vil intet testnet svare til den løsning, hvor der opnås de bedst opnåelige værdier for præcision og pålidelighed, men det vil være en tilnærmelse. Den klare fordel ved denne tilgang er, at evaluering af komplekse matematiske ligninger, der kan føre frem til den optimale løsning, ikke er nødsaget. [Ogundare, 2016, kap. 7] I dette kandidatspeciale er formålet med de forskellige design af testnet ikke at

tilnærme sig den optimale løsning, men derimod at belyse de parametre, dette kandidat speciale her interesse i at finde frem til størrelsesordenen af, gennem sammenligning med de øvrige testnet. Alle testnet bliver designet i dette kapitel, hvilket ligger før den egentlige udførelse af testberegninger i kapitel 6.

John Olusegun Ogundare belyser, i kapitel 7 af bogen *"Precision Surveying: The Principles and Geomatics Practice"*, nogle af fordelene ved at anvende testberegninger; fordele som passer godt med nogle af de parametre, dette projekt har til hensigt at undersøge. Det er særligt disse fordele:

1. Sørge for at potentielle grove fejl, der ikke kan opdages og fjernes, kun har minimal betydning for løsningen.
2. Reducere det påkrævet tidsforbrug og indsats, hvilket minimerer omkostningerne for et projekt.
3. Giver større klarhed om projektet kan lade sig gøre i henhold til dets kriterier.
4. Giver muligheden for at eksperimentere med forskellige variabler for netdesign.

Det er i særdeleshed sidstnævnte fordel, at dette kandidatspeciale benytter sig af. I kraft af de tiltag, der er oplistet i slutningen af afsnit 4.3, bliver der eksperimenteret med de udvalgte parametres betydning for præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet. Dette vil føre frem til anbefalinger for et veludført netdesign.

Ogundare har ligeledes beskrevet fire grundlæggende kriterier for et veludført netdesign, som vil blive undersøgt nærmere og efterprøvet i de forskellige testnet afhængigt af hensigten for den pågældende testberegning:

- a. Opstillingspunkter for totalstationen skal være jævnt fordelt, så forholdet mellem den største og mindste sigtelængde ikke overskrider 5.
- b. Ved opstilling af totalstationen i kendte punkter, skal de nærliggende opstillingspunkter forbindes med direkte målinger.
- c. Antallet af overbestemmelser i netdesignet skal være tilpasset formålet, så den ønskede præcision og pålidelighed opnås.
- d. A priori spredningerne skal estimeres så godt som muligt, baseret på det anvendte udstyr og teknik, så resultatet for testberegningerne bliver så korrekt som muligt.

[Ogundare, 2016, kap. 7]

Det er hensigten, at alle testberegningerne bliver udført indledningsvis, og først derefter vil der blive draget konklusioner og retningslinjer på baggrund af testberegningerne. Disse konklusioner og retningslinjer vil blive lavet ved at evaluere på hvilke forskelle, en ændring af et specifikt tiltag har ført til. Det er ikke de absolutte værdier for de enkelte testberegninger, at konklusionerne vil baseres på, men de vil derimod baseres på deres forskelle, hvor resultaterne fra testberegningerne holdes op imod hinanden. Det er netop gjort for at finde frem til, hvad de enkelte ændringer i designene har af betydning for præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet.

I det kommende afsnit vil der blive set på hvilke a priori spredninger, der ligger til grund for dette kandidatspeciale, og hvordan disse er fremskaffet, så resultatet for testberegningerne bliver troværdigt.

5.2 A priori spredninger

Som nævnt i forrige kapitel under identificeringen af parametre, der påvirker C -matricen, blev det belyst, at vægtmatricen bygger på a priori spredninger.

Det er derfor nødvendigt for testberegningerne, at der indtastes nogle a priori spredninger til en række værdier. I slutningen af afsnit 4.3 er det nævnt, at følgende tiltag vil blive undersøgt med hensyn til at ændre på præcision af observationerne:

1. Forskellige totalstationer.
2. Implementering af geometrisk nivellement.

En samlet oversigt over de instrumenter med dertilhørende a priori spredninger, som vil blive benyttet til testberegningerne, kan ses i tabel 5.1, sammen med de øvrige nødvendige værdier. Størrelsesorden af a priori spredningerne til de respektive instrumenter er fundet i producenteres datablad, og en uddybende forklaring til disse værdierne kan findes i bilag E.

A priori spredninger

Centrering instrument	0,0010 m*
Højde instrument	0,0050 m*
Centrering sigteskive	0,0005 m
Højde sigteskive	0,0005 m
Refraktionskoefficient	0,15

	Leica TS60	Leica TS16
Vinkelmåling	0,15 mgon	0,3 mgon - 1,5 mgon
Grundfejl afstand	0,6 mm	1,0 mm
Afstandsafhængig fejl	1 ppm	1,5 ppm

	Leica LS15	Leica Sprinter 250M
Middelfejl på dobbeltnivellement	0,2 mm pr. km	1,0/0,7** mm pr. km

*Ved anvendelse af fri opstilling er denne værdi 0,000 m

** Med anvendelse af Leica aluminium stadie [Leica Geosystems, 2020]

Tabel 5.1. A priori spredninger til testberegningerne.

I tabel 5.1 er der vist to eksempler på totalstationer og nivellerinstrumenter, der anvendes i bred udstrækning. Det ene eksempel af instrumenterne er det mest præcise, der er til rådighed blandt producenterne, mens det andet eksempel er et mellemklasse instrument for at vise, hvad der kan være af forskel i præcisionen på instrumenter. Der findes et stort udvalg af instrumenter, der har andre specifikationer. Disse er undersøgt nærmere i bilag E, og det er vurderet, at de er tilstrækkeligt repræsenteret gennem de fire udvalgte instrumenter; Leica TS60, Leica TS16, Leica LS15 og Leica Sprinter 250M.

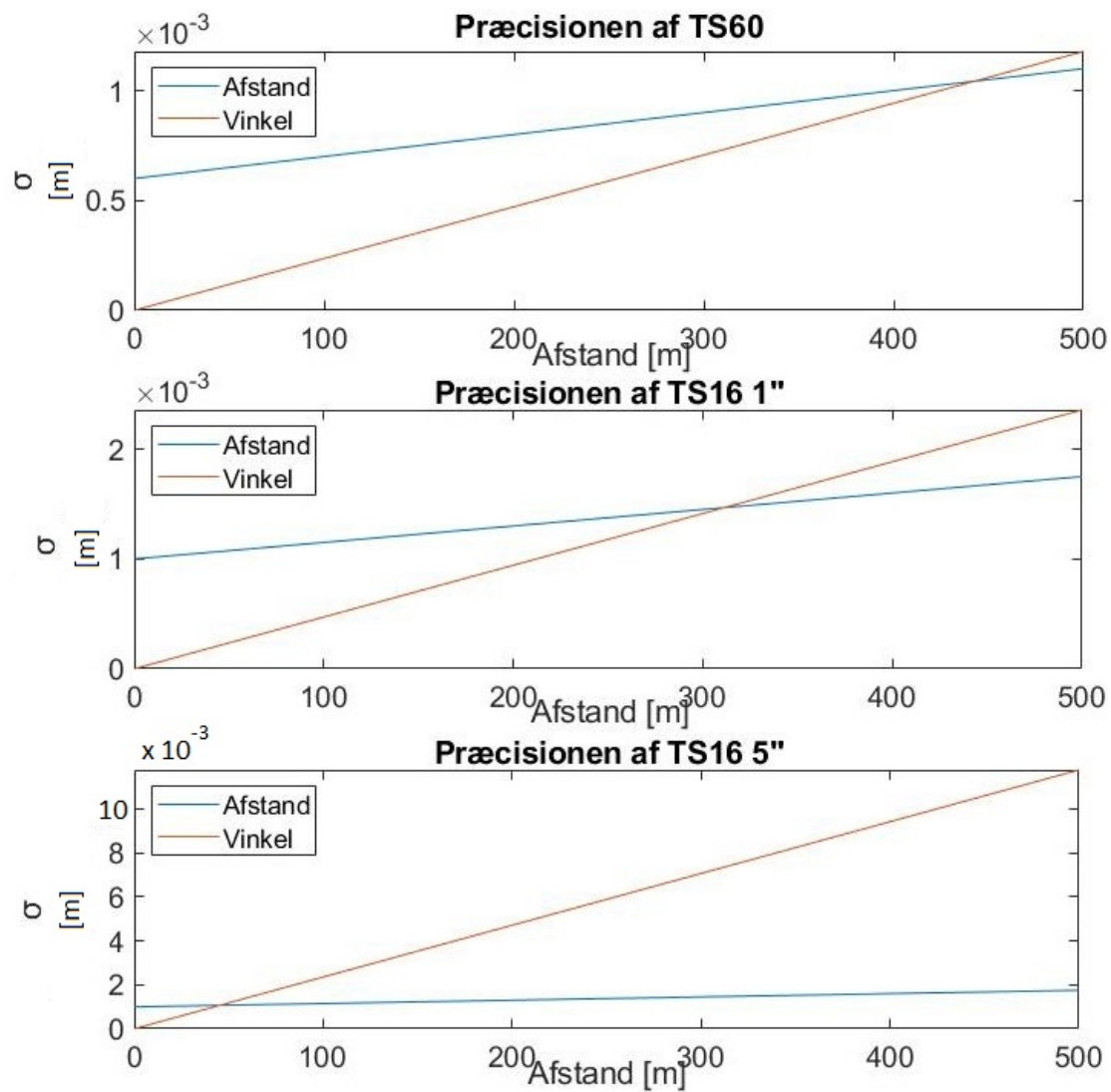
Totalstationen Leica TS16 vil både blive undersøgt som 1" og 5" totalstation med en a priori spredning for vinkelmåling på henholdsvis 0,3 mgon og 1,5 mgon. Tabel 5.2 viser, hvad spredningen på en afstands- og vinkelmåling svarer til i millimeter med en sigtelængde

på 100 m og 500 m.

Spredningerne tilhørende totalstationerne kan også ses på figur 5.1, hvor spredningerne på afstands- og vinkelmålingerne er vist ved et linje diagram, angivet i meter.

	TS60 0,5"		TS16 1"		TS16 5"	
	σ_{Sd} [mm]	σ_{Hz} [mm]	σ_{Sd} [mm]	σ_{Hz} [mm]	σ_{Sd} [mm]	σ_{Hz} [mm]
100 m	0,7	0,2	1,2	0,5	1,2	2,4
500 m	1,1	1,2	1,8	2,4	1,8	11,8

Tabel 5.2. Præcision af totalstation på forskellig afstand.



Figur 5.1. Præcision af totalstation på forskellig afstand.

I det kommende afsnit vil det blive beskrevet hvilke netdesign, der vil ligge til grund for testberegningerne. Når disse er på plads, vil de to tiltag, ændring af totalstation, og at inddrage nivellerinstrument finde sted. Sidstenævnte tiltag der drejer sig om implementering af observationer fra geometrisk nivellement, vil nemlig være interessant at undersøge, fordi det vil vise, hvad det vil gøre af forskel for bestemmelse af koten til punkterne at foretage et geometrisk nivellement. Det er tidskrævende at foretage geometrisk nivellement, og det kan være, at det bliver helt overflødigt, såfremt koten baseret på trigonometrisk nivellement med totalstation er tilstrækkelig til at opnå en præcision, der er indenfor det ønskede krav. Her vil der blive benyttet de to udvalgte nivellerinstrumenter fra tabel 5.1.

5.3 Netdesign

Det er tidligere konkluderet, at designmatricen A , er baseret på geometrien for testnettet. I dette afsnit vil der blive set på forskellige design, hvor der sigtes fra forskellige opstillingspunkter. Den indbyrdes geometri i testnettet kan se meget forskellig ud. Punkterne, der skal bestemmes koordinater til, vil fremadrettet blive kaldt *nypunkterne*. Derfor designs testnettene med de tiltag for øje, der er beskrevet i slutningen af afsnit 4.3 og er omhandlende geometrien. Det er følgende tiltag, at det drejer sig om:

1. Forskellig opstillingstype.
2. Forskellig placering af totalstationen.
3. Forskelligt antal polære observationer til hvert nypunkt.
4. Forskellig dimension.

Ud fra testnettene skal der være tilstrækkelig grundlag til at kunne vurdere det enkelte tiltags betydning for pålideligheden og præcisionen af koordinatbestemmelserne.

Der blev i det forrige kapitel på figur 4.1 vist nogle mindre eksempler på, hvordan geometrien har betydning for pålideligheden af stedfæstelsen, hvor eksemplet kun var ved brug af afstandsmålinger. Denne sammenhæng mellem geometrien og henholdsvis præcisionen og pålideligheden af et givent fikspunktsnet vil blive udfoldet. Man vil sagtens kunne forestille sig, at man kan lave et fikspunktsnet, der er bestemt med en tilfredsstillende præcision på nypunkterne, men hvor pålideligheden for observationerne er ringe på grund af dårlig geometri. Dette vil blive belyst nærmere gennem målrettet testnet.

Ligesom det blev nænt i indledningen, kapitel 1, er fikspunktsnettets absolutte placering ikke noget, der vil blive set på i dette kandidatspeciale. Derfor vil der til testberegningerne ikke være implementeret nogle absolutte koordinatobservationer til nypunkterne.

5.3.1 Design af testnet

Alle de kommende netdesign vil være ens i forhold til antallet af nypunkter, deres indbyrdes placering og størrelsen af området, med undtagelse af enkelte testnet, hvor der er benyttet en anden dimension.

Nedenstående er oplistet de rammer, som har ligget til grundlag for bestemmelsen af det overordnede netdesign.

- 15 nypunkter
- Jævn fordelt nypunkter
- Område ca. 500 m x 500 m
- 100-200 m mellem nærliggende nypunkter

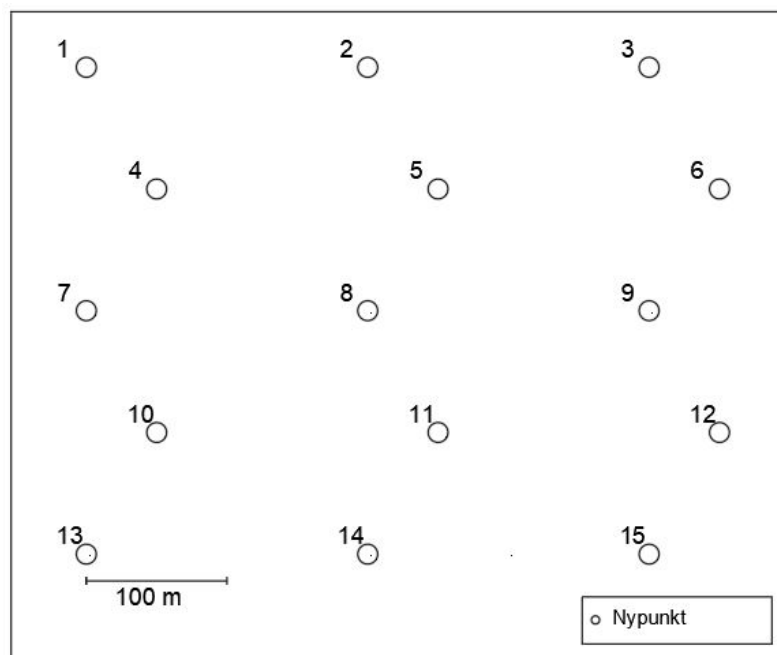
Der er valgt netop disse rammer, da det er vurderet, at det giver et godt udgangspunkt til at opnå viden om de udvalgte parametre i afsnit 4.3.

Der er valgt 15 nypunkter, da det er tilstrækkeligt til at give muligheder for at få nogle differentierede resultater, uden at antallet blive så stort, at det bliver uoverskueligt. Det er ligeledes derfor, at det er valgt, at nypunkterne skal fordeles jævnt over området i et simpelt mønster. Områdets størrelse på ca. 500 m x 500 m og den indbyrdes afstand mellem nærliggende nypunkter på 100-200 meter er valgt for at iscenesætte udfordringerne ved at etablere et fikspunktsnet, der dækker over en større byggeplads eller lignende.

Ved at se på a priori spredningerne for instrumenterne i tabel 5.1, kan det ses, at instrumenterne er af en sådan kvalitet, at det vurderes, at der som udgangspunkt kan sigtes til alle nypunkter fra hvert opstillingspunkt og stadig få en koordinatbestemmelse, der er indenfor den ønskede præcision. Det er vurderet at være tidsbesparende at begrænse antallet af opstillinger og til gengæld sørge for at have så mange fællespunkter som muligt, hvilket opnås, når der sigtes til alle nypunkter fra hver opstilling. Dette vil resultere i nogle lange sigter i forhold til en modsat strategi med mange opstillinger og kun sigte til de nærmeste nypunkter. For at undersøge sigtelængdernes indflydelse er en anden dimension af enkelte testnet reduceret til $1/4$, så det repræsenterer et mindre område på ca. 125 m x 125 m.

I praksis kan det vise sig, at det ikke er muligt på det pågældende sted, hvor nettet skal udføres, at måle til samtlige nypunkter fra hver opstilling på grund af fysiske forhindringer såsom bygninger, vegetation eller lignende. Denne problematik vil blive belyst senere i kapitel 7, hvor de anbefalinger, som testberegningerne i kapitel 6 fører til, efterkommes i en konkret case.

Det endelige net af nypunkter, som ligger til grundlag for de forskellige testnet, kan ses på nedenstående figur 5.2.



Figur 5.2. Grundlaget for netdesign.

Nu hvor grundlaget for testnettene er lagt på plads, i form af 15 nypunkter jævnt fordelt over ca. 500m x 500m, vil forskellene mellem de enkelte netdesign ligge i;

- Opstillingstypen
- Placeringen for opstilling af totalstationen
- Antallet af opstillinger

De forskellige design er navngivet på en sådan måde, at man ud fra det 3-cifret navn ved hvilke basale karakteristika, der ligger bag det enkelte design. En ordforklaring kan ses i den følgende tabel 5.3.

1.bogstav = Opstillingstype	2. bogstav = Placering af opstillinger	Tallet = Målinger til hver nypunkt
F = Fri opstilling K = Opstilling i kendt punkt	C = Centralt Y = I yderkanten	2 = to målinger 3 = tre målinger 4 = fire målinger

Tabel 5.3. Ordforklaring bag 3-cifret navn på design.

Der er 12 kombinationer i alt, baseret på de muligheder, der er vist i tabel 5.3. I nedenstående tabel 5.4 vises en samlet oversigt over de forskellige design. Endvidere oplyses det hvilke ligheder og forskelle, der er mellem de enkelte design, og dermed hvordan de kan sammenlignes med hinanden.

		Opstillingstype:		Placering af opstillinger:		Målinger til hver nypunkt:		
		Fri opstilling	Opstilling i kendt punkt	Centralt	I yderkanten	2	3	4
1	Design FC2	X		X		X		
2	Design KC2		X	X		X		
3	Design FY2	X			X	X		
4	Design KY2		X		X	X		
5	Design FC3	X		X			X	
6	Design KC3		X	X			X	
7	Design FY3	X			X		X	
8	Design KY3		X		X		X	
9	Design FC4	X		X				X
10	Design KC4		X	X				X
11	Design FY4	X			X			X
12	Design KY4		X		X			X

Tabel 5.4. Oversigt over karakteristika bag alle design af testnet.

Vedrørende det første tiltag, hvor der differentieres mellem opstillingstypen, som enten er "*fri opstilling*" eller "*opstilling i kendt punkt*", er en direkte sammenligning fundet yderst interessant, eftersom begge fremgangsmåder benyttes. Valg af opstillingstype kan have forskellig indflydelse på præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet, så ud fra de 12 kombinationer i tabel 5.4 undersøges væsentligheden af dette tiltag.

Det vil kunne ses nedenfor, hvor hvert enkelt netdesign visualiseres, at de frie opstillinger er placeret i nærhed til de nypunkter, der stilles op over i det efterfølgende netdesign, så sammenligningsgrundlaget styrkes.

Hvad angår det andet tiltag, placering af opstillinger, er alle opstillingerne enten placeret centralt i nettet eller i yderkanten. I de tilfælde, hvor totalstation kun stilles op centralt, er nypunkterne i yderkanten af nettet kun bestemt ved polære observationer, der går fra nettets center og ud. Det vil være interessant at se, om det har nogen betydning for præcisionen og pålideligheden af fikspunktsnettet, at punkterne i yderkanten kun er bestemt med observationer fra nogenlunde samme retning.

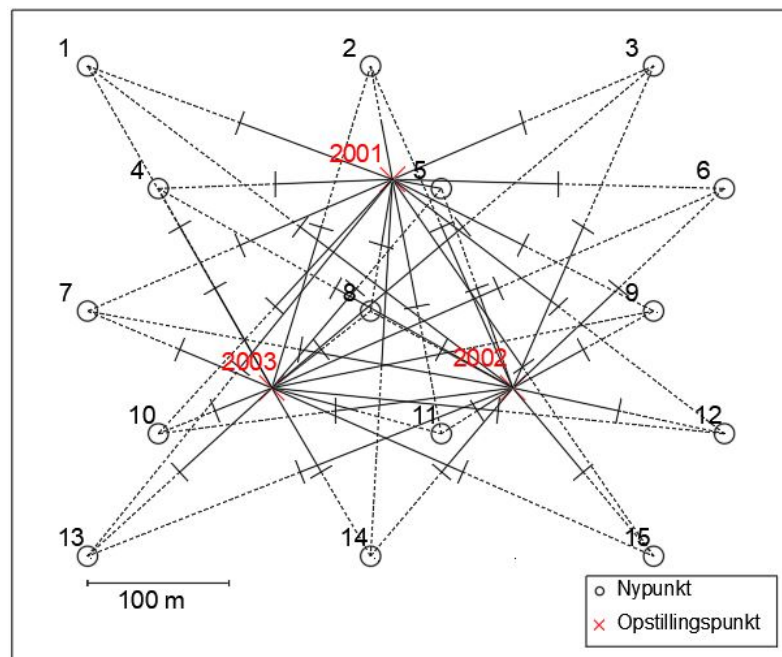
I modsat tilfælde, hvor totalstationen kun stilles op i yderkanten af nettet, forøges sigtelængderne væsentligt på tværs af området, mens nypunkterne vil have polære observationer fra flere forskellige retninger, hvilket kan have en anden effekt på præcisionen og pålideligheden.

Til sidst undersøges den forbedringen, som en ekstra polær observation til hver nypunkt kan bidrage med. Her startes så lavt som muligt, hvor de polære observationerne til hvert nypunkt kun tjekkes op imod én anden uafhængig måling. Ved at undersøge bidraget fra både en tredje og fjerde polær observation til hvert nypunkt, er det muligt at lave en simpel fremskrivning og afgøre, om det tyder på at være en lineær sammenhæng mellem denne parameter og præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet.

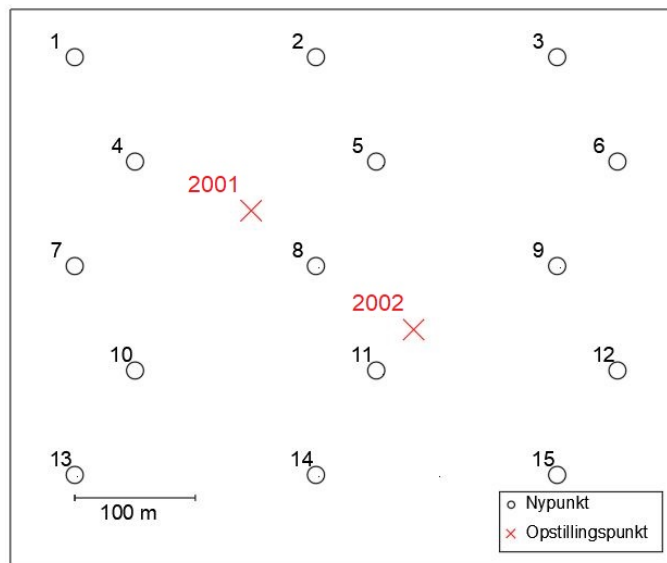
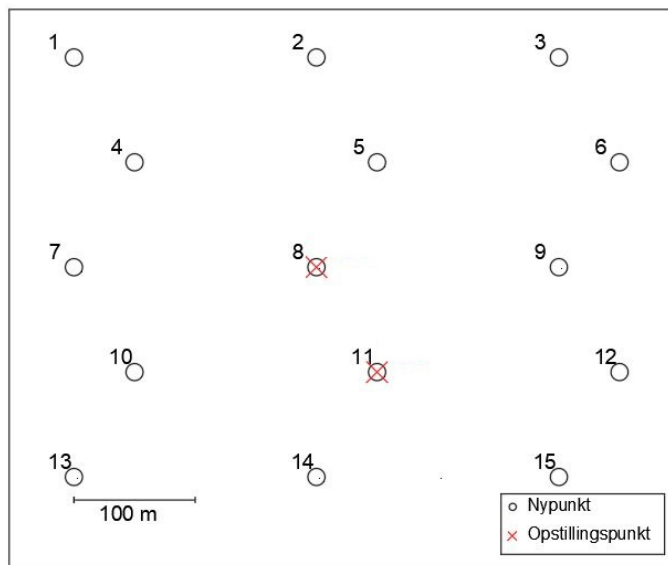
Dette kapitel sluttet af med at vise de 12 netdesign én ad gangen. Til hvert design følger en tabel over de karakteristika, der gør sig gældende for det enkelte design.

Nypunkterne er visualiseret med sorte cirkler, mens de røde krydser viser, hvor totalstationen opstilles.

Det er tidligere nævnt, at der fra hver opstilling foretages målinger til alle nypunkterne. Hvis der eksempelvis er tre opstillinger, er der tre polære observationer til alle nypunkter osv. Et enkelt eksempel på dette er vist på figur 5.3. I de efterfølgende netdesign er de polære observationer ikke indtegnet, så det er lettere at se, hvordan opstillingspunkterne er placeret i forhold til nypunkterne.

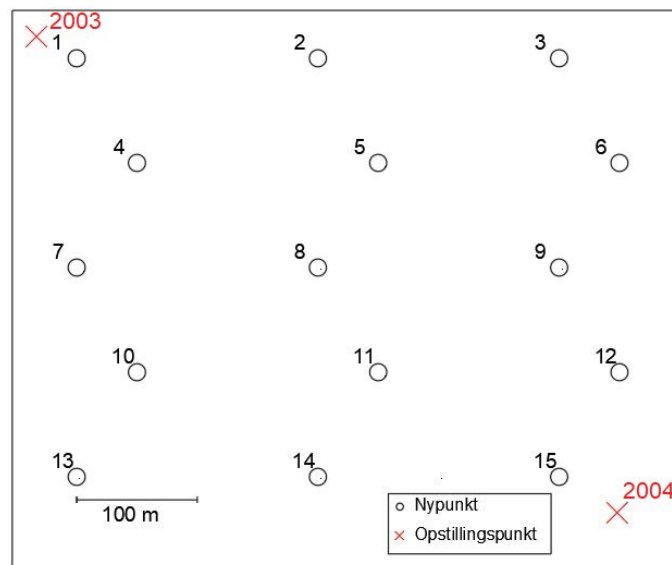
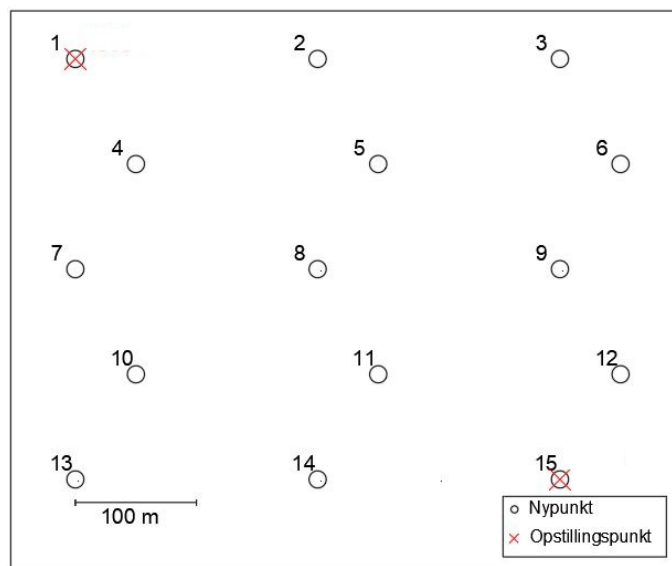


Figur 5.3. Design FC3 med polære observationer indtegnet.

Design: FC2 og KC2**Figur 5.4.** Design FC2.**Figur 5.5.** Design KC2.

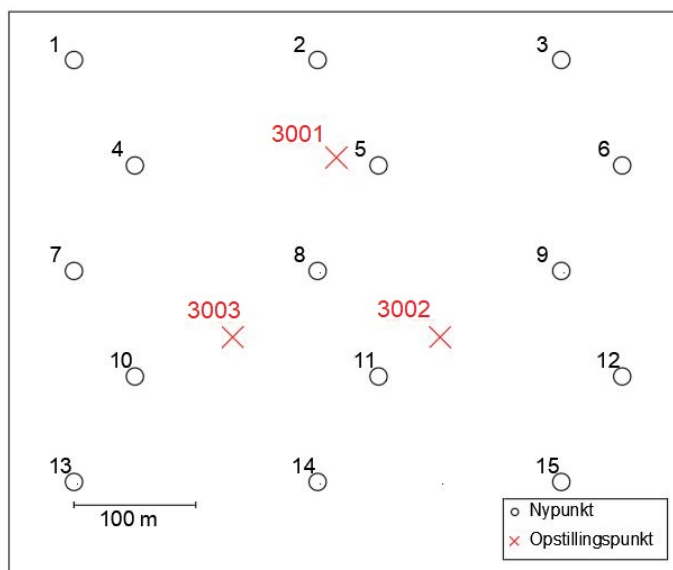
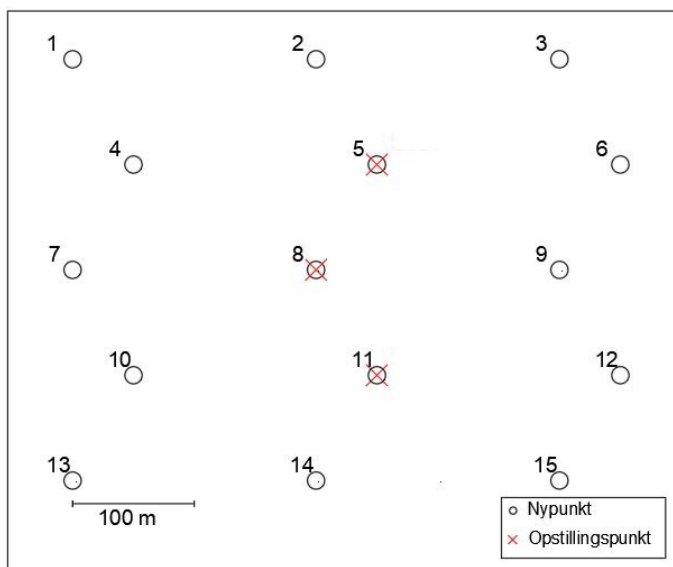
	Design FC2	Design KC2
Antal opstillinger	2	2
Middel af sigtelængderne	206 m	228 m
Min sigtelængde	32 m	112 m
Max sigtelængde	298 m	283 m
Opstillingstype:	Fri opstilling	Opstilling i kendt punkt
Opstillings placering:	Central placering	Central placering
Målinger til hver nypunkt:	2	2
Polære observationer i alt:	30	28

Tabel 5.5. Karakteristika for design FC2 og KC2.

Design: FY2 og KY2**Figur 5.6.** Design FY2.**Figur 5.7.** Design KY2.

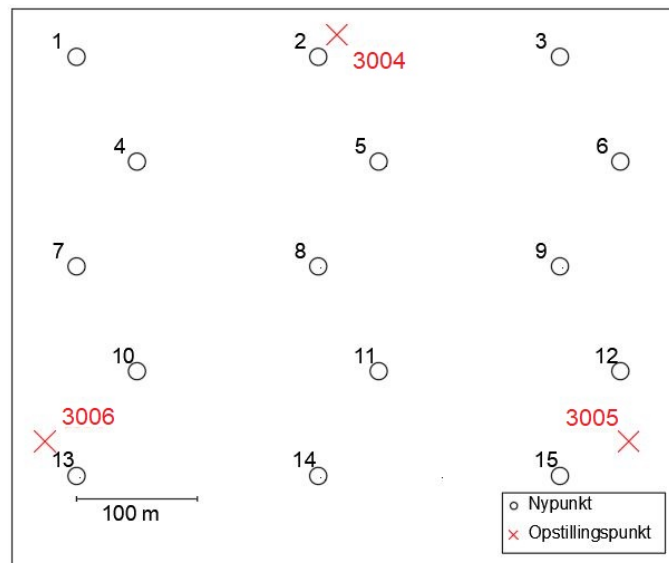
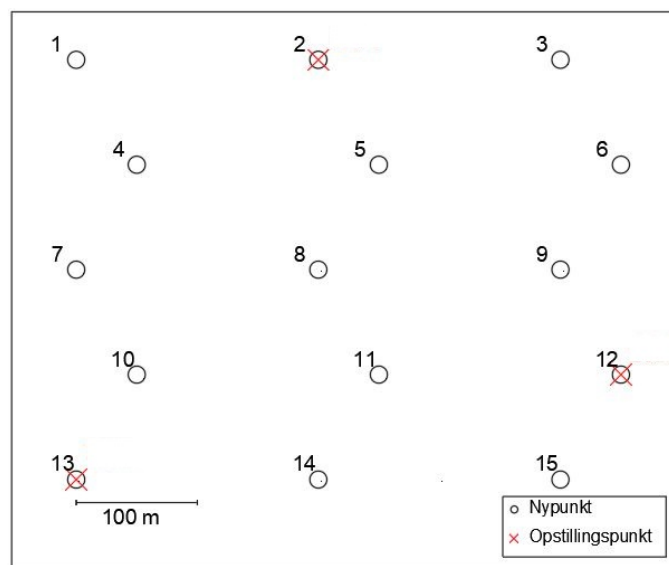
	Design FY2	Design KY2
Antal opstillinger	2	2
Middel af sigtelængderne	294 m	347 m
Min sigtelængde	45 m	112 m
Max sigtelængde	523 m	566 m
Opstillingstype:	Fri opstilling	Opstilling i kendt punkt
Opstillings placering:	Yderlig placering	Yderlig placering
Målinger til hver nypunkt:	2	2
Polære observationer i alt:	30	28

Tabel 5.6. Karakteristika for design FY2 og KY2.

Design: FC3 og KC3*Figur 5.8.* Design FC3.*Figur 5.9.* Design KC3.

	Design FC3	Design KC3
Antal opstillinger	3	3
Middel af sigtelængderne	225 m	231 m
Min sigtelængde	32 m	112 m
Max sigtelængde	405 m	391 m
Opstillingstype:	Fri opstilling	Opstilling i kendt punkt
Opstillings placering:	Central placering	Central placering
Målinger til hver nypunkt:	3	3
Polære observationer i alt:	45	42

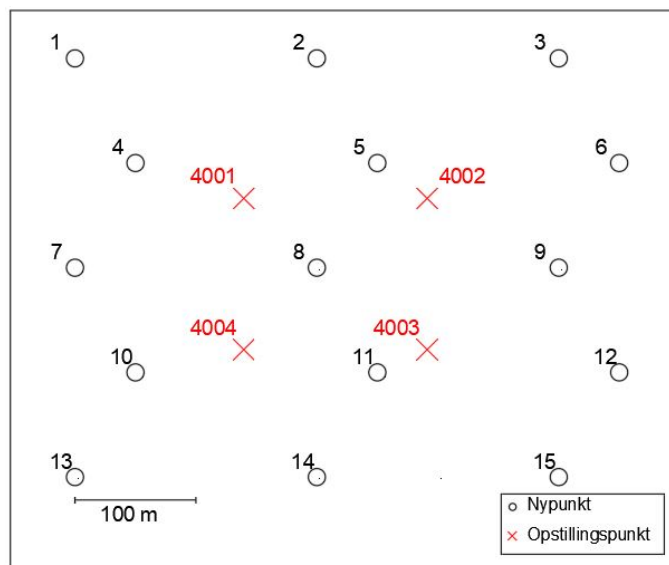
Tabel 5.7. Karakteristika for design FC3 og KC3.

Design: FY3 og KY3*Figur 5.10.* Design FY3.*Figur 5.11.* Design KY3.

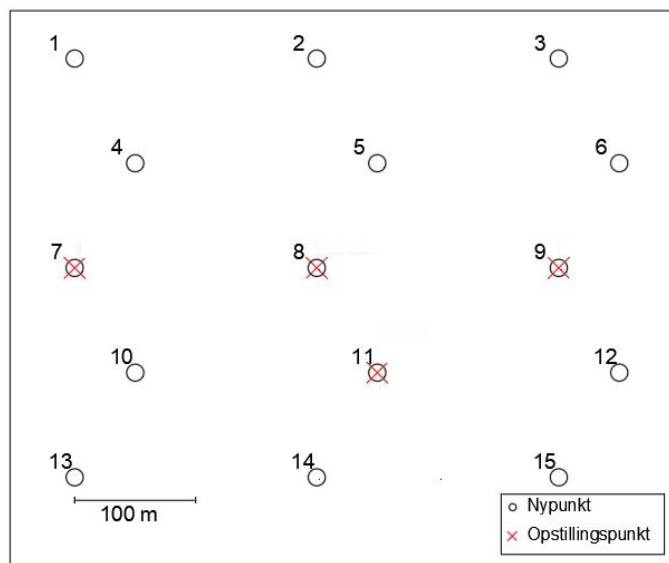
	Design FY3	Design KY3
Antal opstillinger	3	3
Middel af sigtelængderne	318 m	322 m
Min sigtelængde	21 m	112 m
Max sigtelængde	593 m	566 m
Opstillingstype:	Fri opstilling	Opstilling i kendt punkt
Opstillings placering:	Yderlig placering	Yderlig placering
Målinger til hver nypunkt:	3	3
Polære observationer i alt:	45	42

Tabel 5.8. Karakteristika for design FY3 og KY3.

Design: FC4 og KC4



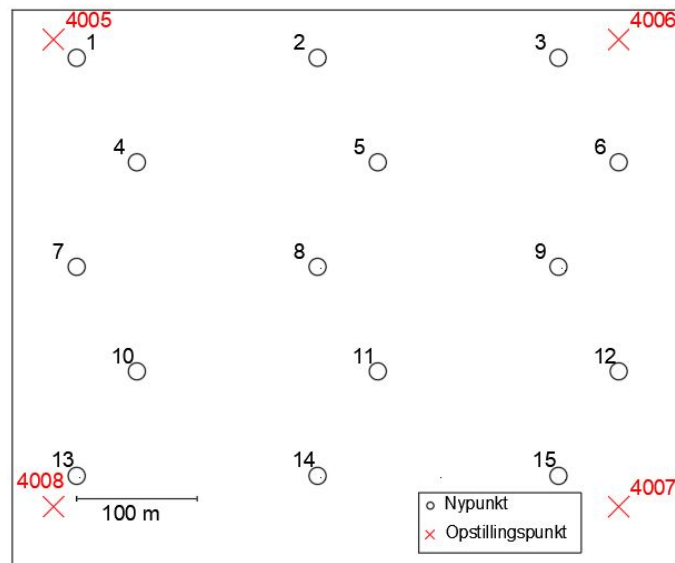
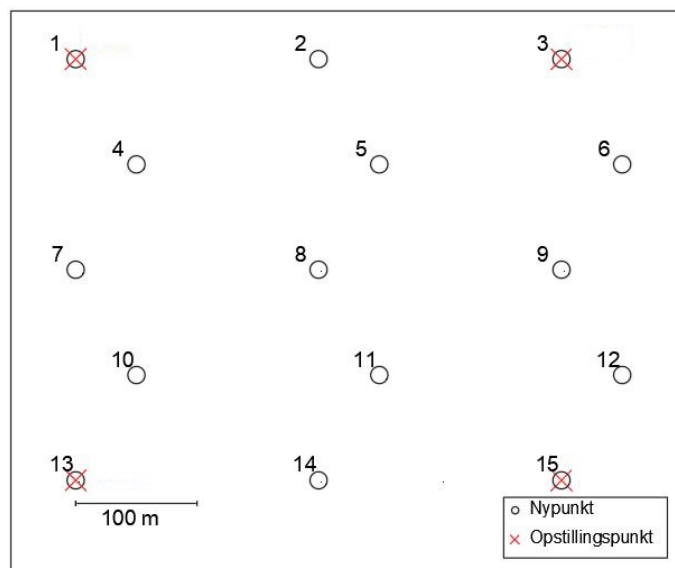
Figur 5.12. Design FC4.



Figur 5.13. Design KC4.

	Design FC4	Design KC4
Antal opstillinger	4	4
Middel af sigtelængderne	224 m	255 m
Min sigtelængde	54 m	112 m
Max sigtelængde	410 m	461 m
Opstillingstype:	Fri opstilling	Opstilling i kendt punkt
Opstillings placering:	Central placering	Central placering
Målinger til hver nypunkt:	4	4
Polære observationer i alt:	60	56

Tabel 5.9. Karakteristika for design FC4 og KC4.

Design: FY4 og KY4*Figur 5.14.* Design FY4.*Figur 5.15.* Design KY4.

	Design FY4	Design KY4
Antal opstillinger	4	4
Middel af sigtelængderne	354 m	347 m
Min sigtelængde	21 m	112 m
Max sigtelængde	616 m	566 m
Opstillingstype:	Fri opstilling	Opstilling i kendt punkt
Opstillings placering:	Yderlig placering	Yderlig placering
Målinger til hver nypunkt:	4	4
Polære observationer i alt:	60	56

Tabel 5.10. Karakteristika for design FY4 og KY4.

Gennem dette kapitel, der har omhandlet a priori spredninger og netdesign, og det forrige kapitel om parametre er der fundet frem til alle nødvendige elementer for de kommende testberegninger. Dette kapitel har forklaret tilvejebringelsen af de forskellige design af testnet, der vil blive gennemført i næste kapitel for at undersøge de udvalgte parametres betydning for A -matricen og C -matricen.

Testberegninger 6

Dette kapitel omhandler selve udførelsen af testberegningerne og den efterfølgende vurdering deraf, hvor det kan udledes fra testberegningernes resultat, hvordan de udvalgte parametre påvirker præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet. Til at starte med vil det blive beskrevet, hvordan koordinatsystemet defineres. En beskrivelse af hvilke værdier fra testberegningerne, der vil blive set på, vil blive forklaret. Resultaterne fra testberegningerne vil dernæst blive præsenteret, hvor der efter hver undersøgt tiltag, vil blive samlet op på tiltaget, for at finde frem til, hvad det har af betydning for præcisionen og pålideligheden. Disse opsamlinger vil efterfølgende blive vurderet og danne grundlag for nogle retningslinjer, der har fokus på, hvordan man opnår bedst mulig præcision og pålidelighed. Kapitlet afsluttes med at forklare, hvad der skal undersøges ved en udjævning med reelle observationer for at kontrollere, om det er endt efter hensigten.

Dette kapitel er lavet for netop at finde frem til nogle retningslinjer, som kan være brugbare ved fremtidige etableringer af fikspunktsnet. Disse retningslinjer vil være behjælpelige således, at du inden påbegyndelsen af opmålingen allerede der har en ide om hvilken præcision og pålidelighed, fikspunktsnettet vil ende ud med at være ved en given opmålingsprocedure. Retningslinjerne bliver ligeledes anvendt til den konkrete case, Projektet NAU, som bliver undersøgt i det efterfølgende kapitel.

Tiltagene bliver undersøgt ved hjælp af testberegninger, der bliver foretaget i programmet GeoADJUST. De fundne tiltag tidligere fra afsnit 4.3 bliver undersøgt en efter en gennem testberegninger af de netdesign fra afsnit 5.3. Disse undersøgelser fører frem til nogle bemærkninger omkring hver tiltags betydning for præcisionen og pålideligheden, hvor bemærkningerne på tværs af alle tiltagene ender ud med nogle retningslinjer omkring præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet. Generelt til undersøgelsen af diverse omtalte ting i kapitlet er der anvendt relevant litteratur, som har været behjælpelige med undersøgelserne.

6.1 Definition af koordinatsystemet

Det anvendte program til testberegninger, GeoADJUST, er ikke i stand til at lave en fri udjævning, men derimod en minimal fastholdt udjævning, der er kendetegnet ved, at der kun lige akkurat fastholdes nok, for at definere koordinatsystemet. Denne fastholdelse medfører, at det kun er observationerne, der bestemmer præcisionen og pålideligheden af fikspunktsnettet, og er derfor anvendelig til at fortælle noget om kvaliteten af observationerne. [Cederholm, 2000, s. 69] Minimal fastholdt udjævning er valgt, fordi dette kandidatspeciale kun undersøger begreberne *præcision* og *pålidelighed*. I kapitel 5 blev der lavet forskellige testnet, der fungerer lidt som principskitser for at undersøge specifikke parametres indflydelse på præcision og pålidelighed. Det er den relative forskel mellem

testnettene, der har interesse, og som *minimal fastholdt udjævning* giver, ikke den absolutte stedfæstelse af punkterne.

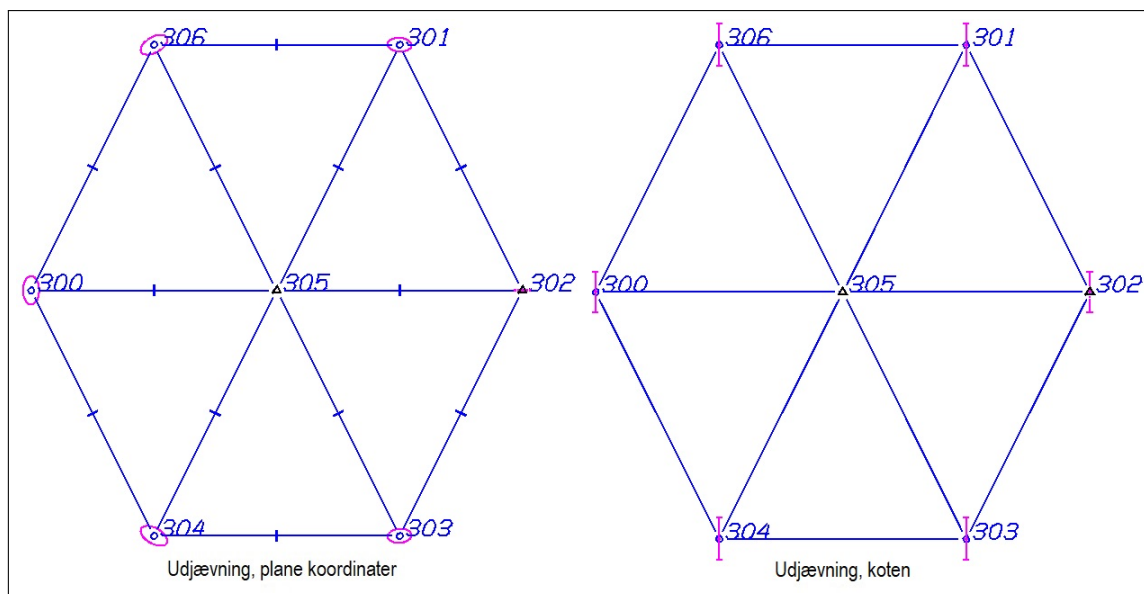
Som nævnt i afsnit 4.2 benyttes kun observationstyperne; horisontalretninger, vertikalvinkler og 3D-afstande fra måling med totalstation, samt højdeforskelle fra geometrisk nivellement. Ingen af de nævnte observationstyper giver en absolut koordinatobservation. Modsat, ønskes det, at udjævningen ender ud i en bestemmelse af koordinaterne til alle nypunkterne, så det er muligt at beskrive præcisionen ud fra koordinatspredninger og konfidensellipser. Med andre ord, inden et program kan bestemme koordinater til punkterne, skal det rumlige koordinatsystem være på plads, hvilket kræver fastlæggelse af 7 størrelser; 3 rotationer, 3 translationer og 1 skalering. [Cederholm, 2000, s. 68] Når totalstationen stilles op ved brug af dåselibelle eller lignende, er der styr på to af rotationerne. Samtidig sørger observationerne for den rette skalering. Tilbage er de tre translationer og rotation om vertikalaksen, der går lodret gennem totalstationen. Koordinatsystemet kan derfor ligge akkurat defineret, hvis man oplyser E, N, H -koordinaterne til ét punkt og udvælger et andet punkt, hvor man oplyser den ene koordinat i planen, enten E - eller N -koordinaten.

Det er altså ikke muligt for et program at definere koordinatsystemet uden de nævnte koordinater. Hvilket har medført, at det er en minimal fastholdt udjævning, hvor der er præcis det påkrævede antal koordinater til stede, så koordinatsystemet kan bestemmes, og ikke en fri udjævning. I så fald er det stadigvæk alene observationerne mellem punkterne, der bestemmer nettet. [Cederholm, 2000, s. 69]

Størrelsen af koordinatspredningerne og konfidensellipserne er fortsat betinget af hvilke punkter, der fastholdes i udjævningen. Gennem simple testnet er det fundet frem til, at programmet GeoADJUST definerer koordinatsystemet ved at fastholde E, N, H -koordinaterne til det nypunkt med lavest punktnummer, hvis programmet ikke får andet angivet. Jens Juhl, der har udviklet GeoADJUST og er bivejleder for dette kandidatspeciale, har oplyst, at måde, hvorpå programmet udvælger det andet nypunkt, der benyttes til definition af koordinatsystemet, er ved at tage det punkt, der har den største differens i E - eller N -koordinaten.

Det har betydning for alle konfidensellipserne og dermed præcisionen af fikspunktsnettet hvilke nypunkter, der fastholdes. I stedet for at benytte automatiseringen bag GeoADJUST, vil det manuelt blive oplyst hvilke koordinater, der skal fastholdes. Normalvis holdes E, N, H -koordinaterne til det nypunkt tættest på nettets tyngdepunkt fast, fordi det skaber en symmetri i nettet, at alle konfidensellipser vokser ud fra det fastholdte.

Nedenfor i figur 6.1, hvor syv nypunkter er forbundet med polære observationer, ses det, at det er lykkedes at fastholde det midterste nypunkt, hvilket er punkt 305, selvom det ikke har det laveste punktnummer. Man kan ikke se konfidensellipsen til punkt 305, fordi a priori koordinatspredningerne har fået den mindst mulige værdi, som programmet kan give, hvilket er 1/1000 mm. Samtidig er N -koordinatet til punkt 302 fået samme lave a priori spredning. Derfor er konfidensellipsen aflang.



Figur 6.1. Manuel minimal fastholdt udjævning

For de efterfølgende testberegninger, er det vigtigt for sammenligningen af resultaterne, at det er de samme punkter, der fastholdes på tværs af alle testberegninger, så koordinatsystemet er defineret ligedan. Det er besluttet at benytte punkt 6 og 10. Deres placering kan ses på figur 5.2. Det er E, N, H -koordinaterne til punkt 6 og N -koordinatet til punkt 10, der holdes fast. Punkt 6 og 10 er valgt, fordi totalstationen på intet tidspunkt stilles op over disse punkter. Til gengæld er der enkelte netdesign, hvor totalstationen centrerer over de punkter, der ligger nærmere nettets tyngdepunkt. De punkter, som totalstationen stilles op over ved opstilling i kendt punkt, er meget godt overbestemt, fordi der måles til alle de andre punkter ud fra totalstationens placering. Det har derfor stor betydning for resultatet, hvis det punkt, der er fastholdt med en a priori værdi for E, N, H -koordinaterne på 0,001 mm i nogle netdesign er forbundet til alle de andre nypunkter med polære observationer. Det vil hæmme sammenligningsgrundlaget.

6.2 Udførelse af testberegninger

I afsnit 5.3.1 blev det beskrevet, hvad der ligger til grund for de forskellige netdesign, som nu vil blive beregnet ved brug af programmet GeoADJUST.

Det fremgår af nedenstående tabel 6.1 hvilke værdier, der ligger til grund for testberegningerne, og det blev præsenteret i afsnit 5.2 hvilke a priori spredninger, der benyttes.

	Opstilling i kendt punkt	Fri opstilling
Instrumenthøjde	1,600 m	0,000 m
Sigteskivehøjde	0,100 m	0,100 m
Refraktionskoefficient	0,13	0,13

Tabel 6.1. Værdier til testberegningerne.

Til at starte med er de 12 kombinationer af netdesign, der blev vist i tabel 5.4, udført ved brug af Leica TS60, hvilket er den bedste totalstation, der undersøges i dette kandidatspeciale. Baseret på de første 12 testberegninger vil de første tre tiltag blive vurderet, hvilket er:

Tiltag 1. Forskellig opstillingstype (F, K)

Tiltag 2. Forskellig placering af totalstationen (C, Y)

Tiltag 3. Forskelligt antal polære observationer til hvert nypunkt $(2, 3, 4)$

De 3 tiltag er også dem, der fremgår af tabel 5.4, og dem de 3-cifret navne bygger på. Dernæst er der udført testberegninger i henhold til de øvrige tiltag, hvilket indbefatter:

Tiltag 4. Forskellig dimension

Tiltag 5. Forskellige totalstationer

Tiltag 6. Implementering af geometrisk nivellement

6.3 Vurdering af testberegninger

Inden selve vurderingen af testberegningerne påbegyndes, vil det først blive beskrevet, hvordan testberegningerne vurderes i forhold til hinanden. Det er vist i tabel 6.2 præcis hvilke værdier, der bliver anvendt til sammenligningerne.

Resultatet for hver testberegning vil blive vist i overensstemmelse med kategorierne i tabel 6.2, og til højre i tabellen er der angivet en forkortelse til hver kategori, som vil blive benyttet senere hen.

Udregningerne, der ligger bag hver enkelt kategori, bliver gennemgået ved den første testberegning i afsnit 6.3.2 med afsæt i de faktiske tal. Nu vil det blive beskrevet, hvorfor netop disse kategorier er udvalgt som sammenligningsgrundlag.

De første 8 kategorier fortæller om præcisionen af et givent fikspunktsnet, mens de resterende kategorier afspejler pålideligheden.

For hver udført testberegning har GeoADJUST genereret en dokumentationsfil. De kan findes i bilag A. Det første resultat, der oplyses i dokumentationsfilerne er koordinatspredningerne til de 15 nypunkter. Baseret på disse koordinatspredninger beregnes værdierne for de første fire kategorier i tabel 6.2.

I stedet for absolutte konfidensellipser, anvendes de relative konfidensellipser. En uddybende beskrivelse af relative konfidensellipser og fordelene ved dem er beskrevet i et afsnit for sig, afsnit 6.3.1.

I forhold til beskrivelse af fikspunktsnettets pålidelighed anvendes redundanstallene for observationerne. Helt generelt er der nogle anbefalede retningslinjer for størrelsesordenen af redundanstal. For net, der består af afstands- og retningsmålinger, vil værdien for det enkelte redundanstal, ρ_i , typisk ligge mellem 0,5 og 0,8. Generelt for alle typer af net, bør redundanstallene ikke være lavere end 0,3, og gennemsnittet bør ligge i nærheden af 0,5. [Cederholm, 2000, s. 108]. Disse retningslinjer vil blive taget i betragtning siden hen.

Til sidst er den eksterne pålidelighed taget med, eftersom det er et godt bidrag til at vurdere hvilken tolerance, at et givent fikspunktsnet kan overholde. Som beskrevet i afsnit 4.1.1 oplyser de største værdier for ekstern pålidelighed hvor meget, at et af nypunkterne

kan afvige fra den korrekte placering på grund af en grov fejl, der er så stor, at den lige præcis ikke opdages. I den henseende er tolerancen et udtryk for den maksimalt tilladte afvigelse, som både kan være angivet absolut eller relativt i forhold til de andre nypunkter.

	Forklaring:	Forkortelse:
1	Middelværdien for de 15 nypunkters punktspredning	s_P middel
2	Middelværdien for de 15 nypunkters spredning i højden	s_H middel
3	Max værdi for koordinatspredningerne i enten E eller N	s_E eller s_N max
4	Max værdi for koordinatspredningerne i H	s_H max
5	Middelværdien for den 1/2 storakse i de relative konfidensellipser	1/2_s_a_P middel
6	Max værdi for den 1/2 storakse i de relative konfidensellipser	1/2_s_a_P max
7	Middelværdien for spredningen på en højdeforskel	s_H_r middel
8	Max værdi for spredningen på en højdeforskel	s_H_r max
9	Middelværdien for redundanstallene tilhørende 3D-afstandene	red_3D_afs middel
10	Middelværdien for redundanstallene tilhørende horisontalretningerne	red_hor middel
11	Middelværdien for redundanstallene tilhørende vertikalvinklerne	red_ver middel
12	Mindste redundanstal for 3D-afstandene	red_3D_afs min
13	Mindste redundanstal for horisontalretningerne	red_hor min
14	Mindste redundanstal for vertikalvinklerne	red_ver min
15	Max værdi for ekstern pålidelighed i E	EP_E max
16	Max værdi for ekstern pålidelighed i N	EP_N max
17	Max værdi for ekstern pålidelighed i H	EP_H max

Tabel 6.2. Forkortelser for de præsenterede værdier

6.3.1 Relative konfidensellipser

Som tidligere beskrevet i afsnit 4.1.1 kan man anvende kovariansmatricen til at lave konfidensellipser med, men hvor de tidligere forklarede konfidensellipser drejer sig om absolutte konfidensellipser, vil der her i det følgende blive kigget nærmere på de relative konfidensellipser.

Relative konfidensellipser bruges til at fortælle om forholdet mellem to punkter ved at benytte difference vektoren mellem de to punkter i nettet. [Borre, 1990, s. 170] Man opnår derved et udtryk for den relative præcision mellem de to punkter.

Relative konfidensellipser udregnes ved brug af de samme formler som absolutte konfidensellipser, men med den forskel, at:

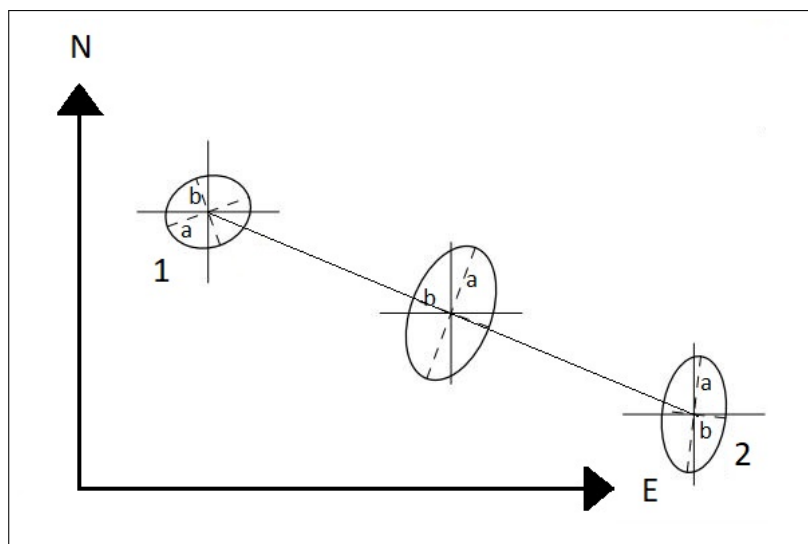
σ_N^2 skal udskiftes med $\sigma_{Ni}^2 + \sigma_{Nj}^2 - 2\sigma_{NiNj}$

σ_E^2 skal udskiftes med $\sigma_{Ei}^2 + \sigma_{Ej}^2 - 2\sigma_{EiEj}$

σ_{EN} skal udskiftes med $\sigma_{EiNi} + \sigma_{EjNj} - \sigma_{EiNj} - \sigma_{EjNi}$

[Cederholm, 2000, s. 58]

Ved at lave disse ændringer, får man den relative konfidensellipse mellem de to valgte punkter i stedet. En relativ konfidensellipse mellem to punkter tegnes som oftest i midten af linjen, der forbinder de to punkter. Et eksempel på en relativ konfidensellipse i sammenligning til de to absolutte konfidensellipser kan ses på følgende figur 6.2 [Ogundare, 2016, kap. 2], hvor a og b er henholdsvis den halve storakse og den halve lilleakse i konfidensellipserne. [Cederholm, 2000, s. 53]



Figur 6.2. Relativ konfidensellipse mellem to punkter [Cederholm, 2000, s. 59]

En af årsagerne til, at de relative konfidensellipser tages med fremfor de absolutte konfidensellipser skyldes blandt andet, at John Ogundare anbefaler at opstille kriterier for den ønskede præcision af fikspunktsnettet ved at vælge en maksimal værdi for den halve storakse i de relative konfidensellipser. I stedet for en konfidensgrad på 39 %, anvendes 95 % relative konfidensellipser, og den maksimale værdi angives som a_{95} . Denne tolerance kan anvendes til senere at tjekke, om netdesignet har levet op til præcisionskravet, hvorved de efterprøvet valg af parametre for observationerne og geometrien kan accepteres eller forkastes. [Ogundare, 2016, kap. 7]

6.3.2 Tiltag 1: Forskellig opstillingstype, Fri vs. Kendt

Det første tiltag, der vurderes, er brugen af forskellig opstillingstype. Her ændres der altid fra "*fri opstilling*" til "*opstilling i kendt punkt*", og det undersøges hvilken betydning, det har for henholdsvis præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet.

Siden det altid er den samme ene parameter, der ændres på i dette afsnit, drejer det sig kun om det første ciffer, som skifter fra F til K . De to andre cifre i navnet fastholdes, så de er til fælles. Med andre ord, de 12 kombinationer af netdesign i tabel 5.4 sammenlignes 2 og 2, således at der er 6 sammenligninger i alt, som hver især giver et bud på den procentvise forskel ved at ændre det første ciffer i navnet fra F til K .

Siden vurderingen bygger på mere end én sammenligning, er der skabt en tabel til allersidst i hvert afsnit, der samler op på resultatet på tværs af alle de forhenværende sammenligninger, der er præsenteret for den pågældende parameter.

For præcisionen gælder det, at dets lavere tallet er jo mindre er spredningen, derfor er det positivt at have et mindre tal. Mens der er redundanstal gælder om at have et så højt tal som muligt, redundanstal fortæller hvor godt overbestemt nettet er, og er værdier fra 0 til 1, hvor 0 er ikke overbestemt, mens 1 er meget overbestemt. [Cederholm, 2000, s. 104] Spredningerne i de kommende tabeller kan være meget lave, og ændringerne af disse vil i mange tilfælde være af så små størrelsesordener, at det vil være ligegyldigt. Der skal derfor ikke kigges så nøje på om det går fra 0,92 mm til 0,99 mm som ved s_P middel ved to

yderlige opstillinger, men derimod den procentvise ændring, som i dette tilfælde er 8 %.

For hver ny slags tabel, der præsenteres, er der angivet fodnoter undervejs. Den nødvendige information, som hører til fodnoterne, står nedenfor den enkelte tabel.

De kommende tre tabeller vil vise hvor store værdierne fra tabel 6.2 er. De vil også vise hvor mange procent værdierne har ændret sig, ved at lave ændringen, hvor det i de kommende er at gå fra *fri opstilling* til *opstilling i kendt punkt*.

Forskellig opstillingstype:¹

(2 opstillinger)

	2 centrale opstillingspunkter (C2) ²			2 yderlige opstillingspunkter (Y2) ²		
	FC ³	KC ³	% ⁴	FY ³	KY ³	% ⁴
s_P middel [mm] ⁵	0,85	0,86	1	0,92	0,99	8
s_H middel [mm] ⁶	1,03	1,04	2	1,45	2,05	41
s_E eller s_N max [mm] ⁷	1,10	1,10	0	1,20	1,30	8
s_H max [mm] ⁸	1,30	1,40	8	1,90	3,50	84
1/2_s_a_P middel [mm] ⁹	1,08	1,10	1	1,14	1,23	7
1/2_s_a_P max [mm] ¹⁰	1,70	1,60	-6	1,70	1,90	128
s_H_r middel [mm] ¹¹	1,09	1,15	5	1,34	2,24	67
s_H_r max [mm] ¹²	1,50	1,60	7	2,10	4,60	119
red_3D_afs. middel ¹³	0,47	0,45	-5	0,36	0,33	-7
red_hor middel ¹⁴	0,43	0,43	0	0,54	0,58	7
red_ver middel ¹⁵	0,47	0,43	-8	0,47	0,46	-1
red_3D_afs min ¹⁶	0,46	0,36	-22	0,18	0,14	-22
red_hor min ¹⁷	0,32	0,26	-19	0,08	0,15	88
red_ver min ¹⁸	0,35	0,02	-94	0,02	0,03	50
EP_E max [mm] ¹⁹	2,20	2,80	27	4,10	3,90	-5
EP_N max [mm] ²⁰	2,40	2,40	0	4,10	4,70	15
EP_H max [mm] ²¹	3,90	14,90	282	11,00	11,50	5

Tabel 6.3. Forskellene fra "*fri opstilling*" til "*opstilling i kendt punkt*" ved 2 opstillinger.

Udtrykkene fra nr. 1 til 21 i tabellen forklares i følgende:

1. Hvilken parameter, der er i fokus i denne tabel. I dette tilfælde er det forskellig opstillingstyper, hvor det altid er en ændring fra *F* til *K*.
2. Fællestræk ved de to netdesign, der sammenlignes med hinanden.
3. Hvilket specifikt design, de nedenstående tal er baseret på.
4. Den procentvise forskel fra den 1. værdi til den 2.

Eksempel fra første række:

$$\text{procentvise forskel s_P middel} = \frac{0,86 - 0,85}{0,85} \cdot 100\% = 0,8\%$$

Den procentvise forskel er vigtig for at kunne afgøre, hvordan det enkelte tiltag påvirker præcisionen og pålideligheden. Inden for de otte kategorier, der udtrykker præcisionen er en stigning dårlig. Ligeledes for den eksterne pålidelighed. Det er anderledes vedrørende redundanstallene for observationerne; der er en stigning god.

5. Middelværdien for de 15 nypunkters punktspredning bygger på Kai Borres definition for punktspredning:

$$\sigma_P = \sqrt{\frac{\sigma_E^2 + \sigma_N^2}{2}} \text{ [Jensen, 2011, s. 178]}$$

Middelværdien er udregnet på følgende måde:

$$s_P \text{ middel} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sigma_P^2}{n}}$$

6. Middelværdien for de 15 nypunkters spredning i højden H er beregnet ligedan:

$$s_H \text{ middel} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sigma_H^2}{n}}$$

7. Den største koordinatspredning for et nypunkt i enten E eller N .
 8. Den største koordinatspredning for et nypunkt i højden H .
 9. Middelværdien for den halve storakse i de 105 mulige kombinationer af 39% relative konfidensellipser mellem alle nypunkterne. Middelværdien er udregnet på følgende måde:

$$1/2_s_a_P \text{ middel} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n 1/2_s_a_P^2}{n}}$$

10. Den største værdi for den halve storakse blandt de 39% relative konfidensellipser mellem nypunkterne.
 11. Middelværdien for spredningen på en højdeforskel, baseret på de 105 mulige kombinationer af højdeforskelle mellem alle nypunkterne.

$$s_H_r \text{ middel} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n s_H_r^2}{n}}$$

12. Den største værdi for spredningen på en højdeforskel.
 13. Middelværdien for redundanstallene tilhørende 3D-afstandene:

$$red_3D_afs \text{ middel} = \frac{\sum_{i=1}^n red_{3D_afs}}{n}$$

14. Middelværdien for redundanstallene tilhørende horisontalretningerne:

$$red_hor \text{ middel} = \frac{\sum_{i=1}^n red_{hor}}{n}$$

15. Middelværdien for redundanstallene tilhørende vertikalkvinklerne:

$$red_ver \text{ middel} = \frac{\sum_{i=1}^n red_{ver}}{n}$$

16. Det mindste redundanstal tilhørende 3D-afstandene.
 17. Det mindste redundanstal tilhørende horisontalretningerne.

18. Det mindste redundanstal tilhørende vertikalvinklerne.
19. Den største værdi for ekstern pålidelighed i E .
20. Den største værdi for ekstern pålidelighed i N .
21. Den største værdi for ekstern pålidelighed i H .

Forskellig opstillingstype:

(3 opstillinger)

	3 centrale opstillingspunkter (C3)				3 yderlige opstillingspunkter (Y3)		
	FC3	KC3	%		FY3	KY3	%
s_P middel [mm]	0,69	0,71	4		0,73	0,74	2
s_H middel [mm]	0,80	0,88	10		1,01	1,25	24
s_E eller s_N max [mm]	0,90	0,90	0		0,90	1,00	11
s_H max [mm]	1,00	1,10	10		1,20	2,00	67
1/2_s_a_P middel [mm]	0,86	0,88	2		0,91	0,94	3
1/2_s_a_P max [mm]	1,30	1,30	0		1,30	1,40	8
s_H_r middel [mm]	0,85	0,92	7		1,06	1,45	37
s_H_r max [mm]	1,20	1,30	8		1,30	2,50	92
red_3D_afs. middel	0,61	0,60	-2		0,52	0,51	-1
red_hor middel	0,59	0,58	-1		0,68	0,69	1
red_ver middel	0,62	0,60	-4		0,62	0,60	-3
red_3D_afs min	0,57	0,57	0		0,39	0,41	5
red_hor min	0,35	0,40	14		0,30	0,38	27
red_ver min	0,25	0,28	12		0,05	0,10	100
EP_E max [mm]	1,70	1,40	-18		1,90	1,70	-11
EP_N max [mm]	1,70	1,40	-18		2,00	1,70	-15
EP_H max [mm]	3,60	2,70	-25		6,30	5,70	-10

Tabel 6.4. Forskellene fra "fri opstilling" til "opstilling i kendt punkt" ved 3 opstillinger.**Forskellig opstillingstype:**

(4 opstillinger)

	4 centrale opstillingspunkter (C4)				4 yderlige opstillingspunkter (Y4)		
	FC4	KC4	%		FY4	KY4	%
s_P middel [mm]	0,60	0,61	1		0,66	0,65	-1
s_H middel [mm]	0,71	0,76	8		1,01	1,14	13
s_E eller s_N max [mm]	0,80	0,80	0		0,80	0,80	0
s_H max [mm]	0,90	0,90	0		1,10	1,60	45
1/2_s_a_P middel [mm]	0,74	0,79	7		0,80	0,81	2
1/2_s_a_P max [mm]	1,10	1,20	9		1,10	1,20	9
s_H_r middel [mm]	0,74	0,83	13		1,01	1,34	32
s_H_r max [mm]	1,00	1,10	10		1,20	2,10	75
red_3D_afs. middel	0,69	0,66	-4		0,60	0,59	-2
red_hor middel	0,66	0,67	2		0,75	0,76	1
red_ver middel	0,70	0,68	-3		0,70	0,69	-2
red_3D_afs min	0,66	0,55	-17		0,54	0,51	6
red_hor min	0,47	0,46	-2		0,28	0,47	68
red_ver min	0,40	0,29	28		0,07	0,17	143
EP_E max [mm]	1,00	1,00	0		1,40	1,30	-7
EP_N max [mm]	1,20	1,20	0		1,50	1,30	-13
EP_H max [mm]	2,40	2,60	8		5,20	3,80	-27

Tabel 6.5. Forskellene fra "fri opstilling" til "opstilling i kendt punkt" ved 4 opstillinger.

Den kommende tabel samler op på de tre forudgående tabeller, hvor der dog kun er vist hvor mange procent ændringen har betydet, da der som nævnt ikke skal lægges særlig stor vægt i de forholdsvis små ændringer, som spredningerne kan have. Der er ligeledes udregnet en middel værdi μ , som viser den gennemsnitlige procentvise ændring.

Forskellig opstillingstype:

(Opsamling på de ovenstående tabeller 6.3, 6.4 og 6.5)

	$F \Rightarrow K$						
	μ^1 [%]	C2 ² [%]	Y2 ² [%]	C3 ² [%]	Y3 ² [%]	C4 ² [%]	Y4 ² [%]
s_P middel	2	1	8	4	2	1	-1
s_H middel	16	2	41	10	24	8	13
s_E eller s_N max	3	0	8	0	11	0	0
s_H max	36	8	84	10	67	0	45
1/2_s_a_P middel	4	1	7	2	3	7	2
1/2_s_a_P max	5	-6	12	0	8	9	9
s_H_r middel	27	5	67	7	37	13	32
s_H_r max	52	7	119	8	92	10	75
red_3D_afs. middel	-4	-5	-7	-2	-1	-4	-2
red_hor middel	2	0	7	-1	1	2	1
red_ver middel	-3	-8	-1	-4	-3	-3	-2
red_3D_afs. min	-10	22	-22	0	5	-17	6
red_hor min	29	-19	88	14	27	-2	68
red_ver min	31	-94	50	12	100	28	143
EP_E max	-2	27	-5	-18	-11	0	-7
EP_N max	-5	0	15	-18	-15	0	-13
EP_H max	39	282	5	-25	-10	8	-27

Tabel 6.6. Samlet resultat ved ændring af opstillingstype fra "fri opstilling" til "opstilling i kendt punkt".

1. Middelværdien for den procentvise forskel baseret på de foregående seks sammenligninger, der er vist i tabellerne 6.3, 6.4 og 6.5.

Eksempel fra første række:

$$\mu_{s_P \text{ middel}} = \frac{1\% + 8\% + 4\% + 2\% + 1\% + (-1\%)}{6} = 2\%$$

I tabellerne er procentsatserne rundet af til heltal, hvilket kan give nogle afvigelse, hvis man regner resultatet efter, baseret på værdierne i tabellerne.

I dette tilfælde er punktspredningen for de 15 nypunkter i gennemsnit blevet 2 % større ved at benytte "opstilling i kendt punkt" fremfor "fri opstilling."

2. Dette er den procentvise ændring tilhørende det specifikke design. Tallet kommer fra et af de tidligere tabeller 6.3, 6.4 eller 6.5.

Opsamling: Fra "*fri opstilling*" til "*opstilling i kendt punkt*"

Enhver opsamling er struktureret således, at det først omhandler hvilken effekt, at den pågældende parameter har på præcisionen af et fikspunktsnet. Dernæst belyses pålideligheden.

De udførte testberegninger er eksplicit en del af rapporten, så det er muligt at drage sine egne konklusioner på baggrund af sammenligningerne. Fremfor en stringent gennemgang af resultaterne, præsenteres kun de pointer, der er fundet interessante for projektets omfang.

POINTER VEDRØRENDE PRÆCISIONEN AF ET FIKSPUNKTSNET:

- Præcisionen af et fikspunktsnet forringes ved at benytte "*opstilling i kendt punkt*" frem for "*fri opstilling*". Det har kun en lille betydning i planen, men forringelsen er væsentlig større hvad angår værdierne tilhørende koten.

Argumentation: Som tidligere nævnt er de første otte kategorier i tabel 6.6 et udtryk for præcisionen af koordinaterne til de 15 nypunkter. Ses der på den første kolonne, μ , er der udelukkende tale om en procentvis forøgelse. Det sammen billede tegner sig for hver af tabellerne 6.3, 6.4 og 6.5.

De største værdier ses hos kategorierne $s_H\ max$, $s_H_r\ middel$ og $s_H_r\ max$, der omhandler koten.

- Forringelsen af præcisionen, grundet opstilling i kendt punkt, afhænger i høj grad af en anden parameter, hvilket er, om opstillingerne er placeret nær yderkanten af nettet. Hvis opstillingerne er placeret centralt, har det ikke den store betydning hvilken opstillingstype, der benyttes. Modsat med opstillinger kun nær yderkanten, har det store konsekvenser for præcisionen i koten af skifte til opstilling i kendt punkt.

Argumentation: Tabel 6.6 samler, som sagt, resultatet for seks foregående sammenligninger. Der ses en systematik blandt værdierne i de tidligere nævnte kategorier, der vedrører koten. Inden for kolonnerne $C2$, $C3$ og $C4$ ses de nogenlunde samme lave ændringer, så afvigelserne fra den samlede middelværdi har samme fortegn. De store procentvise forringelser i præcisionen af koten, ses derimod i kolonnerne $Y2$, $Y3$ og $Y4$, der har til fælles, at opstillingerne er placeret nær yderkanten af fikspunktsnettet.

Det sammen mønster er bekræftet ved at undersøge de enkelte dokumentationsfiler fra testberegningerne, der kan ses i bilag A. De store værdier for $s_H\ max$ optræder, hvor der er anvendt "*opstilling i kendt punkt*" med yderlige opstillinger, KY . Det er præcis i de nypunkter, som totalstationen stilles op over, at de høje koordinatspredninger i H finder sted.

Mere om denne parameter, hvor opstillingernes placering ændres af centralt til yderligt, behandles i afsnit 6.3.3.

POINTER VEDRØRENDE PÅLIDELIGHEDEN AF ET FIKSPUNKTSNET:

- Det har ingen betydelig forskel for pålideligheden af et fikspunktsnet at ændre opstillingstypen fra "*fri opstilling*" til "*opstilling i kendt punkt*".

Argumentation: Til trods for, at der er meget store procentvise ændringer i tabel 6.6 inden for de nederste seks kategorier med dertilhørende store afvigelser har midelværdierne i første kolonne, så kan det ses, at værdierne i kategorierne *red_3D_afs middel*, *red_hor middel* og *red_ver middel* er stort set uændrede.

Ved at gå i dybden med tabel 6.3, 6.4 og 6.5 ses igen et mønster, at den parameter, der har stor indflydelse på pålideligheden af et fikspunktsnet er, om opstillingerne er centralt eller yderligt placeret, hvilket behandles i afsnit 6.3.3.

Det er netop bemærkelsesværdigt, at nogle af værdierne i kategorierne *red_3D_afs min*, *red_hor min* og *red_ver min* falder drastisk, når det er yderligt placerede opstillinger, frem for centralt placerede. Når det netop er små værdier, så skal der ikke en stor ændring til, før det procentvise forskel ved at ændre fra "*fri opstilling*" til "*opstilling i kendt punkt*" ser voldsom ud i tabel 6.6. Det er derfor ved at kigge på de absolutte værdier i tabel 6.3, 6.4 og 6.5 vurderet, at valget af opstillingstype ikke har betydelig indflydelse på pålideligheden af et fikspunktsnet.

- Generelt er det mindste redundanstal for vertikalvinklerne betydeligt lavere end det mindste redundanstal tilhørende de andre observationstyper, hvilket resulterer i, at den største værdier for ekstern pålidelighed er større for H end for E og N .

Argumentation: Ud fra tabellerne 6.3, 6.4 og 6.5 kan det ses, at denne pointe gør sig gældende. For at afspejle det danske terræn, som normalvis er fladt, er koten for nypunkterne sat til 10 m, så der udelukkende er tale om sigter nær vandret. Derfor har kun horisontalvinklerne og 3D-afstandene indflydelse på nypunkternes stedfæstelse i E og N . I de tilfælde, hvor en dårlig geometri forårsager, at observationerne ikke kontrolleres særligt godt af andre uafhængige observationer, kan horisontalretningerne og 3D-afstandene kontrollere hinanden. Modsat står vertikalvinklerne stort set alene om at bestemme koten, hvilket kan give få tilfælde med meget lave redundanstal og høje værdier for ekstern pålidelighed for H .

- Det kan ses på pålideligheden af et fikspunktsnet, at der kan fremkomme meget store værdier ved at have to polære observationer til hvert nypunkt.

Argumentation: I første halvdel af tabel 6.3 (centrale opstillinger) stiger $EP_H \max$ fra 3,90 mm til 14,90 mm, hvilket er en procentvis stigning på 282 %. Den store værdi på 14,90 mm for ekstern pålidelighed for H finder sted mellem de kendte punkter, som totalstationen stilles op over. Koten til hvert af de nypunkter, der er centreret over, er kun bestemt af vertikalvinklen fra den modsatte opstilling og den indtastede instrumenthøjde. Siden a priori spredningen for instrumenthøjden er sat til 0,005 m, vil en grov fejl på vertikalvinklen fra den modsatte opstilling kunne ændre koten omkring $\pm 3\sigma = \pm 0,015$ m, før det opdages med den indtastede instrumenthøjde.

Hvis der netop opdages en fejl, er der brug for mere end to uafhængige målinger for med sikkerhed at sortere den fejlbehæftede måling fra. Mere om antallet af polære observationer til hvert nypunkt belyses i afsnit 6.3.4.

6.3.3 Tiltag 2: Forskellig placering af totalstationen, Central vs. Yderlig

Det næste tiltag, der vurderes, er ændringen fra centralt placerede opstillinger af totalstationen til placeringer nær yderkanten af nettet. Derfor drejer det sig om det andet ciffer i navnet til hvert netdesign, som ændres fra C til Y i alle seks sammenligninger. De to andre cifre i navnet fastholdes.

Fremadrettet er det kun de opsamlende tabeller, ligesom tabel 6.6, der udelukkende viser de procentvise forskelle og gennemsnittet heraf. De bagvedliggende tabeller kan findes i bilag B. Det er netop for at undersøge hvilke ændringer, at det forskellige tiltag fører med sig, at testberegningerne gennemføres. De absolutte værdier i de bagvedliggende tabeller har derfor ikke nær så stor interesse som de procentvise forskelle.

Den kommende tabel viser, hvad det vil have af forskel, at går fra at have opstillinger centralt i nettet, til at have opstillinger i yderkanten af nettet.

Forskellig placering af totalstationen:

(Opsamling på tabellerne B.1, B.2 og B.3 i bilag B)

	$C \Rightarrow Y$						
	μ [%]	F2 [%]	K2 [%]	F3 [%]	K3 [%]	F4 [%]	K4 [%]
s_P middel	9	8	16	6	5	9	7
s_H middel	50	41	96	26	41	43	50
s_E eller s_N max	6	9	18	0	11	0	0
s_H max	66	46	150	20	82	22	78
1/2_s_a_P middel	7	6	12	6	7	8	3
1/2_s_a_P max	4	0	19	0	8	0	0
s_H_r middel	50	23	95	24	58	37	61
s_H_r max	73	40	188	8	92	20	91
red_3D_afs. middel	-17	-24	-26	-15	-14	-13	-10
red_hor middel	20	27	35	16	18	14	13
red_ver middel	1	0	7	0	0	0	1
red_3D_afs. min	-35	-61	-61	-32	-28	-18	-7
red_hor min	-29	-75	-42	-14	-5	-40	2
red_ver min	-51	-94	50	-80	-64	-83	-41
EP_E max	38	86	39	12	21	40	30
EP_N max	40	71	96	18	21	25	8
EP_H max	85	182	-23	75	111	117	46

Tabel 6.7. Samlet resultat ved ændring af placering fra central til yderlig.

Opsamling: Fra central til yderlig placering af totalstationen

POINTER VEDRØRENDE PRÆCISIONEN AF ET FIKSPUNKTSNET:

- Der tegner sig et tydeligt mønster i tabel 6.7, at præcisionen for et fikspunktsnet forringes, hvis totalstationen kun placeres nær yderkanten af nettet. Dette gælder ved både anvendelse af "*fri opstilling*" og "*opstilling i kendt punkt*". Det ses igen, at det har størst betydning for koten.

Argumentation: Der er sket en procentvis stigning inden for alle otte kategorier i tabel 6.7, der vedrører præcisionen af et fikspunktsnet, og dette er sket i alle seks foregående sammenligninger, som den opsamlende tabel bygger på. I første kolonne, μ , ses det, at det er en mindre forringelse i planen, men en stor forringelse i koten. Denne generelle forværelse af præcisionen skyldes blandt andet de forøgede sigtelængder, som er konsekvensen ved yderlig frem for centrale opstillinger. Tabel 6.8 i slutningen af dette afsnit opsummerer sigtelængderne fra netdesign FC4, KC4, FY4 og KY4, og der ses store forskelle på sigtelængderne ved henholdsvis central og yderlig placering af totalstationen. Når opstillingerne kun er nær yderkanten af nettet kræver det lange polære observationer på tværs for at måle de fjerneste nypunkter ind.

Ved nærlæsning af dokumentationsfilerne tilhørende "*opstilling i kendt punkt*", centralt, og "*opstilling i kendt punkt*", yderligt, ses de største forskelle ved værdierne tilhørende vertikalvinklerne, og de er ved sigter nær vandret næsten ene om at bestemme koten. Ved at se på figur 5.1 fra afsnit 5.2, kan der ved præcisionen af TS60 ses, at spredningen på vinklen, vokser mere end spredningen på afstanden. Dette medfører at fordi vertikalvinklen nærmest er ene om at bestemme koten, og ikke på samme måde er afhængig af afstanden, som de plane koordinater er, vil spredningen på koten vokse mere end dem til planen.

- Der ses den sammen systematik som i afsnit 6.3.2, at værdierne med relation til koten, forringes mere når kombinationen af yderligt placerede opstillinger og anvendelse af "*opstilling i kendt punkt*" anvendes fremfor yderligt placerede opstillinger og "*fri opstilling*".

Argumentation: Inden for kategorierne $s_H\ max$, $s_H_r\ middel$ og $s_H_r\ max$ i tabel 6.7 er værdierne i kolonne K2, K3 og K4 stort set ens og mere end det dobbelte af værdierne i kolonne F2, F3 og F4, der også har værdier magen til hinanden. Opstillingstypen har derfor stor betydning i disse tilfælde, hvilket afspejler sig i de systematiske afvigelser fra det samlede middeltal i første kolonne.

POINTER VEDRØRENDE PÅLIDELIGHEDEN AF ET FIKSPUNKTSNET:

- Pålideligheden af et fikspunktsnet er dårligere ved kun at have opstillingerne placeret nær yderkanten af nettet fremfor centralt.

Argumentation: Dette er tydeligst at se i de nederste tre kategorier i tabel 6.7, som omhandler den eksterne pålidelighed. De største værdier for ekstern pålidelighed for E , N og H vokser betydeligt i alle seks sammenligninger, særligt for H , hvor der er

mere end 100 % stigning i kolonnerne $F2$, $K3$ og $F4$. Dette gør sig både gældende for "opstilling i kendt punkt" og "fri opstilling".

- Redundanstallene for 3D-afstandene er overordnet set faldet med 17 %, mens redundanstallene for horisontalretningerne i gennemsnit er blevet 20 % højere. Middelværdien for redundanstallene tilhørende vertikalkvinklerne er til gengæld nærmest uændret.

Argumentation: På baggrund af specifikationer for totalstationen Leica TS60, som er benyttet til tabel 5.2 i kapitel 5, kan det udregnes, at spredningen for en 3D-afstand, σ_{sd} , vokser fra 0,7 mm til 1,1 mm, altså 0,4 mm ved at øge sigtelængden fra 100 m til 500 m. Dette er en lille ændring i forhold til spredningen for en horisontalretning, målt med én sats, σ_{Hz} , der øges med 1,0 mm fra omtrent 0,2 mm til 1,2 mm, ved de samme afstande. Det kan derfor udledes, at horisontalretningerne får mindre og mindre betydning for den plane stedfæstelse af nypunkterne, mens 3D-afstanden får mere og mere betydning for den plane stedfæstelse af nypunkterne når sigtelængderne øges. Dette betyder at afstanden bliver bedre til at kontrollere horisontalretningen for fejl med, hvilket bekræftes af redundanstallene for horisontalretningerne, som bliver større. Modsat er gældende for 3D-afstandene.

- Til trods for forrige pointe, er de mindste værdier for redundanstallene inden for alle observationstyper blevet væsentligt mindre i stort set alle tilfælde. Det tyder på, at John Ogundare har ret i, at man skal undgå, at forholdet mellem den største og mindste sigtelængde overskrider 5. Dette blev omtalt i afsnit 5.1.

Argumentation: Ved at studere de pågældende dokumentationsfiler, der alle ligger tilgængelig i bilag A, er det konkluderet, at det er de korte sigter, der giver lave redundanstal for observationerne. Ved kun at have opstillinger placeret nær yderkanten af nettet, er forholdet mellem de korteste og længste sigtelængder langt større end 5, som John Ogundare anbefaler. Derfor vægtes observationerne fra de nærtliggende opstillingspunkter langt højere end de øvrige observationer. Observationerne fra de korte sigter er derfor sværere at kontrollere for eventuelle grove fejl, når de kun bliver holdt op mod sigter, der er væsentligt længere, med dertilhørende lavere vægt. Dette giver ekstremt lave tilfælde af redundanstal og store værdier for den eksterne pålidelighed, hvilket bekræftes af tabellerne B.1, B.2 og B.3 i bilag B. I bilag B kan der ses redundanstal helt ned til 0,02. Det er særligt gået ud over redundanstallene for vertikalkvinklerne og den eksterne pålidelighed i H .

	FC4	KC4		FY4	KY4
Middel af sigtelængderne	224 m	255 m		354 m	347 m
Min sigtelængde	54 m	112 m		21 m	112 m
Max sigtelængde	410 m	461 m		616 m	566 m

Tabel 6.8. Sigtelængder fra design FC4, KC4, FY4 og KY4.

6.3.4 Tiltag 3: Forskelligt antal polære observationer til hvert nypunkt

Det tredje tiltag, der er undersøgt, er hvorledes antallet af polære observationer til hvert nypunkt påvirker henholdsvis præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet. Tallet i navnet på det enkelte netdesign repræsenterer antallet af polære observationer til hvert nypunkt. Undersøgelsen har indbefattet enten 2, 3 og 4 polære observationer til hvert nypunkt, og der ses nu på hvilke forskelle, denne parameter har givet. De øvrige to cifre i navnet fastholdes.

Den første af de kommende tre tabeller viser hvad det har af ændringer at gå fra 2-3 polære observationer til hver nypunkt. Den anden tabel er fra 2-4, mens den sidste er fra 3-4.

Fra 2-3 polære observationer til hvert nypunkt

	2 $\Rightarrow$ 3				
	μ [%]	FC [%]	FY [%]	KC [%]	KY [%]
s_P middel	-21	-19	-21	-17	-25
s_H middel	-27	-22	-30	-15	-39
s_E eller s_N max	-21	-18	-25	-18	-23
s_H max	-31	-23	-37	-21	-43
1/2_s_a_P middel	-21	-20	-20	-20	-24
1/2_s_a_P max	-23	-24	-24	-19	-26
s_H_r middel	-24	-21	-21	-20	-35
s_H_r max	-31	-20	-38	-19	-46
red_3D_afs. middel	40	29	44	34	54
red_hor middel	30	38	26	36	19
red_ver middel	34	33	33	38	31
red_3D_afs. min	98	24	117	58	193
red_hor min	123	9	275	54	153
red_ver min	414	-29	150	1300	233
EP_E max	-46	-23	-54	-50	-56
EP_N max	-46	-29	-51	-42	-64
EP_H max	-46	-8	-43	-82	-50

Tabel 6.9. Samlet resultat ved ændring fra 2-3 polære observationer til hvert nypunkt.

Fra 2-4 polære observationer til hvert nypunkt

	$2 \Rightarrow 4$				
	μ [%]	FC [%]	FY [%]	KC [%]	KY [%]
s_P middel	-30	-29	-29	-29	-34
s_H middel	-33	-31	-30	-27	-44
s_E eller s_N max	-32	-27	-33	-27	-38
s_H max	-41	-31	-42	-36	-54
1/2_s_a_P middel	-31	-32	-30	-28	-34
1/2_s_a_P max	-33	-35	-35	-25	-37
s_H_r middel	-31	-32	-25	-27	-40
s_H_r max	-40	-33	-43	-31	-54
red_3D_afs. middel	60	47	68	48	78
red_hor middel	45	54	38	57	31
red_ver middel	52	50	50	58	49
red_3D_afs. min	140	43	38	53	264
red_hor min	147	47	250	77	213
red_ver min	520	14	250	1350	467
EP_E max	-63	-55	-66	-64	-67
EP_N max	-59	-50	-63	-50	-72
EP_H max	-60	-38	-53	-83	-67

Tabel 6.10. Samlet resultat ved ændring fra 2-4 polære observationer til hvert nypunkt.

Fra 3-4 polære observationer til hvert nypunkt

	3 $\Rightarrow$ 4				
	μ [%]	FC [%]	FY [%]	KC [%]	KY [%]
s_P middel	-12	-12	-10	-14	-12
s_H middel	-9	-12	0	-14	-9
s_E eller s_N max	-13	-11	-11	-11	-20
s_H max	-14	-10	-8	-18	-20
1/2_s_a_P middel	-13	-14	-12	-10	-13
1/2_s_a_P max	-13	-15	-15	-8	-14
s_H_r middel	-9	-14	-4	-9	-8
s_H_r max	-14	-17	-8	-15	-16
red_3D_afs. middel	14	13	16	11	16
red_hor middel	12	12	10	16	10
red_ver middel	13	12	13	14	14
red_3D_afs. min	19	16	38	-4	24
red_hor min	17	34	-7	15	24
red_ver min	43	60	40	4	70
EP_E max	-30	-41	-26	-29	-24
EP_N max	-23	-29	-25	-14	-24
EP_H max	-22	-33	-17	-4	-33

Tabel 6.11. Samlet resultat ved ændring fra 3-4 polære observationer til hvert nypunkt.

Opsamling: Tilføjelse af polære observationer til hvert nypunkt

POINTER VEDRØRENDE PRÆCISIONEN AF ET FIKSPUNKTSNET:

- Præcisionen af et fikspunktsnet forbedres jo flere polære observationer, der er til hvert nypunkt. Ændringen fra 2 til 3 polære observationer til hvert nypunkt har større betydning end ændringen af 3 til 4 polære observationer.

Argumentation: Ud fra tabellerne 6.9, 6.10 og 6.11 ses det, at alle procentvise ændringer, der vedrører præcisionen af et fikspunktsnet, har et minus som fortegn. I første kolonne af tabel 6.9 (fra 2-3 polære observationer) vises større procentvise forbedringer end i første kolonne af tabel 6.11 (fra 3-4 polære observationer).

POINTER VEDRØRENDE PÅLIDELIGHEDEN AF ET FIKSPUNKTSNET:

- Pålideligheden af et fikspunktsnet forbedres også betydeligt ved at tilføje flere polære observationer til hvert nypunkt. Igen har det størst betydning at ændre fra 2 til 3 polære observationer til hvert nypunkt.

Argumentation: Der ses store procentvise forbedringer blandt redundanstallene for observationerne. Middelværdierne i kategorierne *red_3D_afs middel*, *red_hor middel* og *red_ver middel* har fået en stor procentvis stigning, som ikke er set magen til

blandt de andre parametre hidtil. Samtidig har værdier i de nederste tre kategorier, omhandlende den eksterne pålidelighed, et minus som fortegn. Både redundanstallene og den eksterne pålidelighed forbedres.

- Det viser sig med hensyn til pålideligheden, at der kan forekomme små værdier for redundanstallene for observationerne ved at have 2 polære observationer til hvert nypunkt.

Argumentation: Inden for kategorierne *red_3D_afs min*, *red_hor min* og *red_ver min* ses store procentvise forskelle, hvis der ændres fra 2 polære observationer til 3 eller 4. Det værste tilfælde er en procentvis forskel på 1350 % i tabel 6.10. Til gengæld i tabel 6.11, hvor det drejer sig om forskellen på 3 og 4 polære observationer per nypunkt, har det slet ikke de samme konsekvenser at vælge det ene frem for det andet. Det tegner sig altså et bedre og mere jævnt billede af pålideligheden at holde sig til minimum 3 polære observationer til hvert nypunkt.

6.3.5 Tiltag 4: Forskellig dimension, Indeks 100 vs. Indeks 25

Det sidste tiltag, der hører under geometrien af ens netdesign, er dimensionen. Der tages afsæt i fire af de 12 netdesign fra tabel 5.4, og der eksperimenteres med en ny dimension, der er 25 % af den hidtil anvendte dimension på ca. 500m x 500m, hvilket svarer til en mindre byggeplads eller lignende med et område på ca. 125m x 125m.

De fire netdesign er udvalgt således, at der med afsæt i netdesign KY3 kan perspektiveres til de øvrige tre netdesign, hvor ét nyt ciffer i navnet er ændret for hver gang, så det er netdesign KC3, FY3 og KY4.

Den kommende tabel 6.12 viser den procentvise ændring ved at gå fra en indeks 100 dimension til en indeks 25 dimension, hvilket ved sige, at det er 1/4 af størrelsen.

Forskellig dimension:

(Opsamling på tabellerne B.8 og B.9 i bilag B)

	Indeks 100 $\Rightarrow$ Indeks 25				
	μ [%]	KC3 [%]	KY3 [%]	FY3 [%]	KY4 [%]
s_P middel	-23	-21	-25	-23	-25
s_H middel	-56	-50	-59	-51	-62
s_E eller s_N max	-25	-22	-30	-22	-25
s_H max	-63	-55	-70	-58	-69
1/2_s_a_P middel	-26	-26	-26	-25	-27
1/2_s_a_P max	-29	-38	-29	-23	-25
s_H_r middel	-58	-50	-64	-53	-66
s_H_r max	-69	-62	-76	-62	-76
red_3D_afs. middel	25	10	33	33	25
red_hor middel	-22	-11	-28	-25	-22
red_ver middel	-1	0	-1	0	-1
red_3D_afs. min	36	7	46	56	33
red_hor min	17	5	11	40	11
red_ver min	387	61	340	900	247
EP_E max	-30	-21	-29	-37	-31
EP_N max	-29	-21	-24	-40	-31
EP_H max	-73	-56	-75	-84	-76

Tabel 6.12. Samlet resultat ved reducere af dimensionen med 75 %.**Opsamling: Reducere dimensionen af et fikspunktsnet**

Behandlingen af denne parameter, dimensionen af et fikspunktsnet, foretages på en lidt anden måde. I modsætning til de forrige parametre, som er blevet vurderet, så er dimensionen af fikspunktsnettet typisk dikteret af opgavens eller byggepladsens størrelse. Det er derfor ikke umiddelbart en parameter, der kan finde sin anvendelse, men det vil stadigvæk være interessant at eksemplificere hvilke forskelle, at kortere sigtelængder fører til inden for de 17 kategorier fra tabel 6.2. Dette giver dog kun et begrænset indsigt i, hvorledes undersøgelserne og de kommende retningslinjer for dette projekt kan anvendes til områder af anden størrelse end ca. 500m x 500m.

POINTER VEDRØRENDE PRÆCISIONEN AF ET FIKSPUNKTSNET:

- Præcisionen af et fikspunktsnet bliver væsentligt bedre, når dimensionen er mindre. Den største forbedring ses inden for de kategorier, der relaterer sig til koten.

Argumentation: I tabel 6.12 er der udelukkende forbedringer af præcisionen, og i den første kolonne μ ses mere end dobbelt så store procentvise ændringer, inden for de kategorier, der er tilknyttet koten. I tabel B.8 og B.9 i bilag B kan man ud fra de absolutte værdier se, at præcisionen ligefrem er blevet bedst i koten. Ved korte sigter viser tabel 5.2 også, at 3D-afstandene har en større spredning i millimeter end

horisontalretningerne og vertikalvinklerne.

- I takt med at dimensionen af et fikspunktsnet reduceres, formindskes forskellen mellem de absolutte værdier.

Argumentation: I tabel B.8 og B.9 i bilag B ses det, at de absolutte værdier under kolonnen "Skala 25" er blevet meget ens i de enkelte netdesign.

POINTER VEDRØRENDE PÅLIDELIGHEDEN AF ET FIKSPUNKTSNET:

- Pålideligheden af et fikspunktsnet forbedres ligeledes i takt med dimensionen og sigtelængderne reduceres.

Argumentation: I tabel 6.12 ses det, at de mindste værdier for redundanstallene til observationerne forøges, mens de største værdier for ekstern pålidelighed mindskes i alle eksempler.

- Forholdet mellem redundanstallene for henholdsvis 3D-afstandene og horisontalretningerne afhænger i høj grad af sigtelængden.

Argumentation: Begrundelsen for dette blev også forklaret tidligere, hvor forskellen fra central til yderlig placering af opstillingerne blev gennemgået, men det ses tydeligere her. Helt konkret bliver redundanstallene for 3D-afstandene større, mens redundanstallene for horisontalretningerne bliver mindre, efter at sigtelængderne er blevet reduceret med 75 %. Dette skyldes, at grundfejlen i sig selv, hvilket er 0,6 mm for Leica TS60, er større end spredningen på en horisontalretning ved disse forholdsvise korte sigtelængder. Horisontalretningerne har derfor fået større betydning for stedfæstelse af nypunkterne og kan i takt hermed ikke kontrolleres så godt af 3D-afstandene som før. Det modsatte gælder for redundanstallene for 3D-afstandene.

6.3.6 Tiltag 5: Forskellige totalstationer

Det femte tiltag, der er blevet belyst gennem testberegninger, er en undersøgelse af forskellige totalstationer. Leica TS60 er hidtil blevet benyttet som eksempel på et 0,5" instrument, hvor a priori spredningen for en vinkelmåling kun er 0,15 mgon. Ifølge afsnit 5.2 vil Leica TS16 blive inddraget i undersøgelsen af dette femte tiltag. Her behandles Leica TS16 både som en 1" totalstation og 5" totalstation, hvor a priori spredningen for en vinkelmåling er henholdsvis 0,30 mgon og 1,50 mgon. Hvad angår a priori spredningen for en afstandsmåling, er grundfejlen steget fra 0,6 mm til 1,0 mm, og den afstandsafhængige fejl er 1,5 ppm, hvor den tidligere var 1,0 ppm.

De kommende tre tabeller viser, hvad den procentvise forskel er ved at have en totalstation med anden præcision.

Der bliver taget udgangspunkt i de samme design som ved anden dimensionering. Den første tabel viser, hvad forskellen er ved at gå fra en Leica TS16 5" til en Leica TS16 1". Den anden er forskellen fra Leica TS16 5" til Leica TS60 0,5". Den sidste er forskellen fra Leica TS16 1" til Leica TS60 0,5".

Ændring af totalstation fra 5" til 1"

	5" $\Rightarrow$ 1"			
	μ [%]	KY3 [%]	KC3 [%]	FY4 [%]
s_P middel	-27	-20	-48	-15
s_H middel	-75	-72	-77	-76
s_E eller s_N max	-24	-13	-52	-8
s_H max	-72	-63	-77	-76
1/2_s_a_P middel	-29	-18	-55	-15
1/2_s_a_P max	-32	-20	-59	-16
s_H_r middel	-74	-70	-77	-76
s_H_r max	-71	-58	-77	-77
red_3D_afs. middel	42	50	51	26
red_hor middel	-20	-19	-28	-13
red_ver middel	-3	-7	-4	0
red_3D_afs. min	220	322	286	53
red_hor min	-48	-57	-41	-44
red_ver min	96	0	-11	300
EP_E max	-66	-71	-79	-48
EP_N max	-59	-69	-76	-30
EP_H max	-76	-77	-77	-75

Tabel 6.13. Samlet resultat ved ændring af totalstation fra 5" til 1".

Ændring af totalstation fra 5" til 0,5"

	5" $\Rightarrow$ 0,5"			
	μ [%]	KY3 [%]	KC3 [%]	FY4 [%]
s_P middel	-52	-46	-66	-43
s_H middel	-83	-80	-85	-83
s_E eller s_N max	-48	-38	-69	-38
s_H max	-80	-72	-85	-84
1/2_s_a_P middel	-53	-45	-72	-42
1/2_s_a_P max	-54	-44	-76	-42
s_H_r middel	-82	-78	-85	-83
s_H_r max	-79	-68	-84	-84
red_3D_afs. middel	47	57	53	31
red_hor middel	-24	-24	-32	-16
red_ver middel	-4	-8	-4	0
red_3D_afs. min	241	356	307	59
red_hor min	-27	-54	-31	4
red_ver min	197	-9	0	600
EP_E max	-79	-84	-89	-65
EP_N max	-75	-83	-86	-55
EP_H max	-82	-81	-84	-82

Tabel 6.14. Samlet resultat ved ændring af totalstation fra 5" til 0,5".

Ændring af totalstation fra 1" til 0,5"

	1" $\Rightarrow$ 0,5"			
	μ [%]	KY3 [%]	KC3 [%]	FY4 [%]
s_P middel	-34	-33	-36	-33
s_H middel	-31	-28	-34	-31
s_E eller s_N max	-33	-29	-36	-33
s_H max	-29	-23	-31	-31
1/2_s_a_P middel	-34	-32	-39	-32
1/2_s_a_P max	-34	-30	-41	-31
s_H_r middel	-31	-28	-34	-31
s_H_r max	-28	-24	-32	-29
red_3D_afs. middel	4	5	2	4
red_hor middel	-5	-7	-6	-3
red_ver middel	0	-1	0	0
red_3D_afs. min	6	8	6	4
red_hor min	38	9	21	87
red_ver min	26	-9	12	75
EP_E max	-41	-43	-46	-33
EP_N max	-41	-45	-42	-35
EP_H max	-26	-20	-31	-28

Tabel 6.15. Samlet resultat ved ændring af totalstation fra 1" til 0,5".**Opsamling: Opgradering af totalstation**

POINTER VEDRØRENDE PRÆCISIONEN AF ET FIKSPUNKTSNET:

- Det har stor betydning for præcisionen af et fikspunktsnet hvilke specifikationer, at totalstationen har.

Argumentation: Ud fra tabellerne 6.13, 6.14 og 6.15 kan det ses, at der udelukkende er tale om procentvise forbedringer af præcisionen ved at benytte en bedre totalstationen. Samtidig kan det ses, at det er en meget jævn forbedring i tabel 6.15, og resultatet for de enkelte testnet er meget tæt på middelværdien i første kolonne μ (1" - 0,5"). Dette er ikke tilfældet i tabel 6.13 og 6.14. Årsagen er, at ændringen i a priori spredningerne ved at gå fra Leica TS16 1" til Leica TS60 0,5" for både 3D-afstandene, horisontalretningerne og vertikalvinklerne forbedres nogenlunde lige meget ved disse sigtelængder. I de to andre tilfælde forbedres horisontalretningerne og vertikalvinklerne meget mere end 3D-afstandene.

Derfor er den procentvise forbedring af s_H middel større end for s_P middel i tabel 6.13 og 6.14.

- Det har stor betydning for præcisionen i E og N , om både a priori spredningerne for 3D-afstandene og horisontalretningerne bliver bedre.

Argumentation: I tabel 6.15, hvor totalstationen opgraderes fra 1" til 0,5", inklusiv en forbedring af 3D-afstandene fra 1,0 mm + 1,5 ppm til 0,6 mm + 1,0 ppm, hvilket svarer til en forbedring af a priori spredningerne på omkring 50 %, forbedres den gennemsnitlige ændring af $s_P\text{ middel}$ med -34 %. Modsat i tabel 6.13, hvor a priori spredningen for en vinkelmåling forbedres med 80 % fra 1,5 mgon til 0,3 mgon, er den gennemsnitlige ændring af $s_P\text{ middel}$ kun -27 %. Dette skyldes, at a priori spredningen for 3D-afstandene er uændret, så det begrænser de procentvise forskelle.

- Placeringen af opstillinger har betydning for hvor meget præcisionen forbedres ved at opgradere totalstationen, såfremt 3D-afstandene, horisontalretningerne og vertikalvinklerne ikke forbedres med samme faktor.

Argumentation: I tabel 6.13 og 6.14 er der store afvigelser fra middelværdien μ , ved KC3 når det omhandler de plane værdier fremfor koten.

Dette skyldes, at der udover at blive ændret i totalstationen også bliver ændret på den gennemsnitlige sigtelængde, hvilket som omtalt tidligere, vil give forskellige ændringer hvis præcisionen af horisontalretningen og 3D-afstanden ikke ændres lige meget. Dette kan ses ved den sidste af tabellerne 6.15, hvor både horisontalretningen og 3D-afstanden ændres i nogenlunde samme størrelsesorden, hvor dette medfører små afvigelser fra middelværdien på de plane værdier.

POINTER VEDRØRENDE PÅLIDELIGHEDEN AF ET FIKSPUNKTSNET:

- Værdierne for ekstern pålidelighed forbedres betydeligt ved at opgradere totalstationen.

Argumentation: I alle tre tabeller 6.13, 6.14 og 6.15 er der store procentvise forbedringer af de største værdier for ekstern pålidelighed under kategorierne $EP_E\text{ max}$, $EP_N\text{ max}$ og $EP_H\text{ max}$.

- Det ændrer ikke på middelværdien af redundanstallene for observationerne, hvis præcisionen af 3D-afstandene, horisontalretningerne og vertikalvinklerne forbedres lige meget.

Argumentation: Dette kan læses ud fra de første tre kategorier om redundanstallene i tabel 6.15.

I tabel 6.13 er der kun præcisionen af vinklen og ikke afstanden, der ændres på, hvilket medfører, at redundanstallene for 3D-afstandene er stigende, mens redundanstallene for horisontal retningen er faldende. Begrundelsen for dette, er som det også blevet omtalt tidligere, at vinkelmålingen bliver bedre, mens afstandsmålingen forbliver den samme, hvilket resulterer i at 3D-afstanden vil have en koordinatbestemmelse med samme præcision som tidligere, mens horisontal retningen vil have en koordinatbestemmelse der er bedre end tidligere. Dette betyder at 3D-afstanden bliver kontrolleret bedre for grove fejl af horisontal vinklen, og derved det højere redundanstal. Modsat gøre sig gældende for horisontal vinklen, der bliver kontrolleret med samme præcision som tidligere af 3D-afstanden, mens retningen er blevet bedre, som derfor resulterer i et lavere redundanstal. Det samme gør sig gældende

for værdierne i tabel 6.14

I tabel 6.15 ses et andet mønster i middelværdierne tilhørende redundanstallene hvor der skiftes fra TS16 1" til TS60 0,5", og dette er fordi, at det både er retningen af afstanden, som forbedres ved denne ændring af totalstation.

6.3.7 Tiltag 6: Implementering af geometrisk nivellement

Dette sidste tiltag vedrører kun koten til nypunkterne. Et geometrisk nivellement, der bidrager med højdeforskelle, har ingen betydning for totalstationens horisontalretninger, og heller ikke 3D-afstandene, fordi der tages udgangspunkt i et fuldstændig plant terræn, hvor alle nypunkterne har koten 10.

Tabellerne i dette afsnit vil derfor se anderledes ud end i de forrige afsnit, fordi de kategorier, der ikke berører koten, ikke ændrer sig ved at implementere geometrisk nivellement. Der er ingen procentvise ændringer inden for disse kategorier, så der er sorteret fra. Til gengæld er der to nye kategorier på grund af redundanstallene for højdeforskellene. De nye værdier samt deres forkortelse, kan ses på den kommende figur 6.16

	Forklaring:	Forkortelse:
1	Middelværdi for redundanstallene tilhørende højdeforskellene	red_1D_afs middel
2	Mindste redundanstal for højdeforskellene	red_1D_afs min

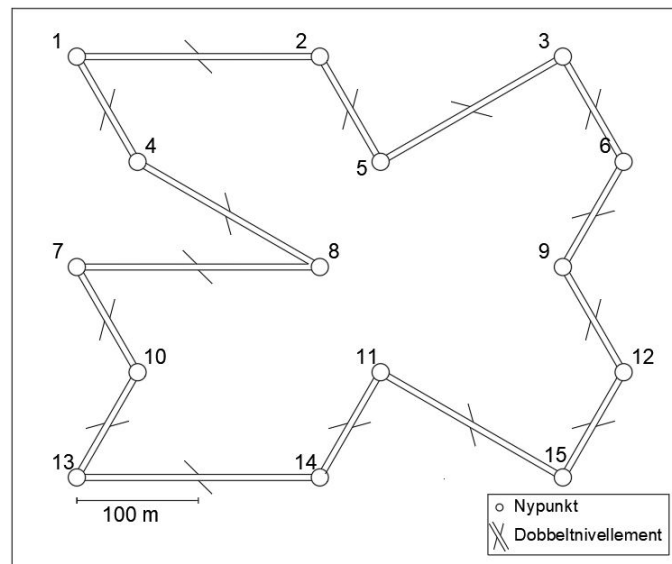
Tabel 6.16. Forkortelse for de nye værdier

Jævnfør afsnit 5.2 implementeres højdeforskelle baseret på to forskellige nivellerinstrumenter, Leica LS15 med en kilometerspredning, der er estimeret til $0,6 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$ og Leica Sprinter 250M med en kilometerspredning estimeret til $3,0 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$. Kilometerspredningerne er baseret på det tekniske notat fra Geopartner Inspections [Larsen og Vognsen, 2019] og faktor 5 forholdet mellem nivellerinstrumenterne i tabel 5.1, hvor det ses, at Leica LS15 er 5 gange så præcis som Leica Sprinter 250M, hvilket medfører at kilometerspredningen, som Geopartner Inspections har udregnet for Leica LS15 ganges med 5, for at få kilometerspredningen på Leica Sprinter 250M.

Ud fra kendskab til geometrisk nivellement, vides det, at Geopartner Inspections anvender et invar stadie sammen med Leica LS15 for at opnå en kilometerspredning på $0,6 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$. Derimod kan en kilometerspredning på $3,0 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$ med Leica Sprinter 250M opnås med et mere simpelt aluminiumsstadie, og der er en væsentlig prisforskel mellem disse typer af stadier.

Den længste afstand mellem to nabopunkter er 200 meter. Denne afstand er benyttet statistisk således, at alle højdeforskelle har fået samme vægt. For Leica LS15 er a priori spredningen for en højdeforskel udregnet til 0,27 mm, mens den er 1,34 mm ved anvendelse af Leica Sprinter 250M.

Figur 6.3 viser en netskitse over, hvordan nypunkterne er forbundet ved dobbeltnivellermenter.



Figur 6.3. Netskitse for geometrisk nivellement, baseret på dobbeltnivellementer.

I de kommende tre tabeller tager de to første udgangspunkt i værdierne opnået med Leica TS60 0,5", og ser på den procentvise ændring, det har medført at implementere geometrisk nivellement. Den sidste tabel sammenligner de to nivellerinstrumenter med hinanden, hvor den procentvise ændring ved at gå fra Leica Sprinter 250 til Leica LS15 bliver vist.

Implementering af højdeforskelle fra Leica Sprinter 250M

	U. geo.niv $\Rightarrow$ Leica Sprinter 250M			
	μ [%]	KY2 [%]	KY3 [%]	FC4 [%]
s_H middel	-36	-52	-38	-19
s_H max	-49	-69	-55	-22
s_H_r middel	-41	-57	-44	-21
s_H_r max	-55	-74	-44	-21
red_ver middel	35	65	29	11
red_ver min	425	967	270	38
EP_H max	-70	-83	-74	-54

Tabel 6.17. Samlet resultat ved implementering af højdeforskelle fra Leica Sprinter 250M.

Implementering af højdeforskelle fra Leica LS15

	U. geo.niv $\Rightarrow$ Leica LS15			
	μ [%]	KY2 [%]	KY3 [%]	FC4 [%]
s_H middel	-76	-87	-78	-62
s_H max	-81	-91	-85	-67
s_H_r middel	-77	-88	-81	-64
s_H_r max	-83	-88	-91	-70
red_ver middel	59	98	51	29
red_ver min	861	1967	530	85
EP_H max	-90	-96	-91	-83

Tabel 6.18. Samlet resultat ved implementering af højdeforskelle fra Leica LS15.

Implementering af højdeforskelle fra Leica LS15 i stedet for Leica Sprinter 250M

	Leica Sprinter 250M $\Rightarrow$ Leica LS15			
	μ [%]	KY2 [%]	KY3 [%]	FC4 [%]
s_H middel	-63	-72	-65	-53
s_H max	-66	-73	-67	-57
s_H_r middel	-64	-71	-66	-54
s_H_r max	-65	-67	-70	-57
red_ver middel	18	20	17	16
red_1D_afs middel	-25	-21	-25	-29
red_ver min	66	94	70	35
red_1D_afs min	-21	-17	-20	-27
EP_H max	-68	-75	-67	-64

Tabel 6.19. Samlet resultat ved implementering af højdeforskelle fra Leica LS15 i stedet for Leica Sprinter 250M.

Opsamling: Implementering af geometrisk nivellement

POINTER VEDRØRENDE PRÆCISIONEN AF ET FIKSPUNKTSNET:

- Dette tiltag har kun betydning for præcisionen af koten. Til gengæld gør det en stor forskel for præcisionen inden for disse kategorier.

Argumentation: Som tidligere beskrevet, bidrager nivellerinstrumenterne kun med højdeforskelle, som ikke har betydning for præcisionen af et fikspunktsnet i E og N . Tabellerne 6.17 og 6.18 viser, at det generelt kan have store procentvise forbedringer for præcisionen af et fikspunktsnet at implementere geometrisk nivellement.

- I takt med at netdesignet forbedres grundet andre parametre, jo mindre kan et geometrisk nivellement bidrage med i præcisionen af et fikspunktsnet.

Argumentation: Fra tidligere i afsnit 6.3.4 vides det, at netdesign KY3 er bedre end netdesign KY2. Ligeledes er netdesign FC4 det bedste af de tre, og det skyldes, at det at tilføje en ekstra måling til hvert nypunkt, gør en stor forskel for præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet. Der ses et tydeligt mønster i tallene blandt tabellerne 6.17 og 6.18, at de procentvise ændringer ved at implementere geometrisk nivellement bliver mindre for hver af de tre netdesign.

- Der opnås i nærheden af 60 % bedre præcision ved at benytte Leica LS15 i stedet for Leica Sprinter 250M, men a priori kilometerspredningen er også angivet til at være fem gange bedre for Leica LS15.

Argumentation: I første kolonne der viser værdierne tilhørende præcision i tabel 6.19 ses det, at de procentvise ændringer i snit ligger omkring -60 % for μ værdierne tilknyttet præcisionen.

- Implementering af højdeforskelle baseret på Leica LS15 giver en meget entydig høj præcision i koten.

Argumentation: De absolutte værdier i tabellerne B.13, B.14 og B.15 i bilag B ligger stabilt, når det drejer sig om Leica LS15. Der er meget minimale forskelle mellem tabellerne, når man kigger på dens absolutte tal. Resultatet ved at implementere højdeforskelle baseret på Leica LS15 er meget robust, mens værdierne i kolonnen *m. Leica Sprinter 250M* afhænger mere af hvilket netdesign, der tages udgangspunkt i. Dette er fordi Leica LS15 er så meget bedre til at bestemme koten end totalstationen, at det nærmest kun er den der bestemmer koten. Mens det med Leica Sprinter 250 gælder, at den stadig har gavn af totalstationens observationer til at bestemme koten med. Derfor vil spredningerne være mindste i de sammenligninger, hvor der tidligere også var opnået de mindste spredninger på koten uden brug af geometrisk nivellement, som i det tilfælde her er FC4.

POINTER VEDRØRENDE PÅLIDELIGHEDEN AF ET FIKSPUNKTSNET:

- Ligesom det var gældende med hensyn til præcisionen, så påvirker dette tiltag kun pålideligheden inden for de kategorier, der vedrører koten, og bidraget fra geometrisk nivellement er mindre, jo bedre netdesignet er i forvejen grundet andre parametre.

Argumentation: Ud fra dokumentationsfilerne i bilag A hvor geometrisk nivellement er benyttet, kan det ses at alle ændringer i redundanstal og ekstern pålidelighed, er de værdier, som omhandler koten. Ligesom med ved præcisionen kan det også ses ved pålideligheden, at den positive indflydelse ved at implementere nivellement falder i takt med at det sammenlignelige netdesign bliver mere præcist.

- Det er kun ved redundanstallene for højdeforskellene, at man kan se en forbedring, og derfor større værdi ved at anvende Leca Sprinter 250 frem for Leica LS15.

Argumentation: Hidtil har det handlet om, hvordan det har haft store procentvise fordele for resultatet at inddrage højdeforskelle fra et nivellerinstrument, særligt Leica LS15. Det kan dog ses på redundanstallene for højdeforskellene i tabellerne B.13, B.14 og B.15 i bilag B, at værdierne i kategorierne *red_1D_afs_middel* og *red_1D_afs_min* er mindst for Leica LS15. Dette skyldes som nævnt tidligere, at totalstationen er bedre til at kontrollere det mindre præcise nivellerinstrument Leica Sprinter 250 for fejl end Leica LS15, derfor vil redundanstallene for Leica Sprinter 250 være de største. værdierne for Leica LS15 er dog stadigvæk større end det anbefalede spektrum fra 0,5 - 0,8, som blev belyst under afsnit 6.3.

6.3.8 På tværs af tiltag

Hidtil har de forskellige tiltag været behandlet systematisk én ad gangen. Dette afsnit vil afsløre hvilket tiltag, der umiddelbart giver den største fortjeneste i præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet. Der har været sørget for, at netdesign KY3 er gået igen i alle undersøgelserne, således at det er muligt at vise med afsæt i netdesign KY3 hvilket tiltag, der giver den største procentvise ændring. Kun tiltag 4, der omhandler ændring af størrelsen på et fikspunktsnet, er ikke taget med, fordi dimensionen af det påkrævede fikspunktsnet, typisk er betinget af byggepladsens eller projektets størrelse.

Tabel 6.20 vises de procentvise ændringer for netdesign KY3 på tværs af alle tiltag. Ud fra denne enkelte sammenligning på tværs af de behandlede tiltag gives en indsigt i hvilke parametre, der er vigtigst at forholde sig til i sin planlægning af et fikspunktsnet. Såfremt man ikke har opnået tilstrækkeligt præcise eller pålidelige koordinater til sine nypunkter, giver tabel 6.20 en indikation på hvilke parametre, man bør overveje at ændre først.

Der er taget afsæt i netdesign KY3, fordi det i de foregående afsnit har vist sig, at en ændring af hvert ciffer, $K \Rightarrow F$, $Y \Rightarrow C$ eller $3 \Rightarrow 4$, vil give en forbedring i præcisionen af et fikspunktsnet, og nu vil størrelsesordenen af forbedringerne blive sammenlignet med hinanden.

Som udgangspunkt er totalstationen Leica TS60 0,5" benyttet, derfor vises der hvilke procentvise forringelser det fører med sig at benytte et dårligere instrument. Til sidst i tabel 6.20 er der tilføjet geometrisk nivellement fra Leica LS15 og Leica Sprinter 250M.

På tværs af parametre:

(Med afsæt i netdesign KY3)

	Med afsæt i netdesign KY3						
	$K \Rightarrow F$ [%]	$Y \Rightarrow C$ [%]	$3 \Rightarrow 4$ [%]	TS60 0,5" $\Rightarrow$ TS16 1" [%]	TS60 0,5" $\Rightarrow$ TS16 5" [%]	+LS15 [%]	+Sprinter 250M [%]
s_P middel	-4	-6	-12	48	85	0	0
s_H middel	-9	-21	-9	39	397	-78	-38
s_E eller s_N max	0	0	-20	40	60	0	0
s_H max	-9	-17	-20	30	255	-85	-55
1/2_s_a_P middel	-2	-5	-13	48	80	0	0
1/2_s_a_P max	0	0	-14	43	79	0	0
s_H_r middel	-7	-19	-8	39	364	-81	-44
s_H_r max	-8	-8	-16	32	216	-88	-60
red_3D_afs. middel	2	18	16	-5	-36	0	0
red_hor middel	1	-14	10	8	32	0	0
red_ver middel	4	0	14	1	8	51	29
red_3D_afs. min	0	46	24	-7	-78	0	0
red_hor min	-13	17	24	-8	116	0	0
red_ver min	-11	400	70	10	10	530	270
EP_E max	21	-11	-24	76	518	0	0
EP_N max	21	-15	-24	82	488	0	0
EP_H max	33	-43	-33	25	439	-91	-74

Tabel 6.20. Procentvis forskel på tværs af alle tiltag, netdesign KY3.**POINTER VEDRØRENDE PRÆCISIONEN AF ET FIKSPUNKTSNET:**

- På tværs af de behandlede tiltag ses det, at valget af totalstation har den største betydning for præcisionen af et fikspunktsnet. At gå fra Leica TS60 0,5" til Leica TS16 1" er kun en lille ændring i forhold til det store udvalg af totalstationer, der er til rådighed. Til trods for, at Leica TS16 1" også er en totalstation af stor kvalitet, kræves der ekstra polære observationer til hvert nypunkt for at opnå samme præcision, som man kan få ved at opgradere sin totalstation. Det vil selvfølgelig afhænge af den procentvise forbedring af observationernes præcision, grundet valget af totalstation.

Argumentation: Blandt de første otte kategorier i tabel 6.20, dem der omhandler præcisionen, ses de største procentvise ændringer, hvor der ændres på hvilken totalstation, der gøres brug af. Der er så store forskelle på præcisionen af de tre totalstationer, dette kandidatspeciale har koncentreret sig om, at det ikke er tilstrækkeligt at ændre opstillingstypen, $K \Rightarrow F$, eller opstillingernes placering, $Y \Rightarrow C$, for at opnå tilsvarende effekt, fordi værdierne i disse to kolonner af tabel 6.20 er væsentligt lavere. Til gengæld er det muligt at tilføje ekstra målinger, indtil den samme præcision er opnået, men her er værdierne i en pågældende kolonne også lave, så der skal en del flere målinger til.

- Selvom Leica TS60 repræsenterer de bedste totalstationer, der er til rådighed, så har det fortsat stor betydning for koten at udføre geometrisk nivellement, selv med Leica Sprinter 250M. Hvis der er store præcisionskrav for koten af nypunkterne, vil

geometrisk nivellement være på sin plads.

Argumentation: I de sidste to kolonner af tabel 6.20 er der store procentvise ændringer ved at implementere geometrisk nivellement. Selvom det er Leica TS60, der benyttes, kan højdeforskellene fra Leica LS15 forbedre middelværdien af nypunkternes spredning i H med 78 %, hvilket er stor forbedring. Højdeforskelle fra Leica Sprinter 250M kan endda give en forbedring på 38 %.

POINTER VEDRØRENDE PÅLIDELIGHEDEN AF ET FIKSPUNKTSNET:

- Ved bedømmelse af pålideligheden ud fra redundanstallene for observationerne er det tredje tiltag, hvor der tilføjes ekstra polære observationer, det eneste tiltag, der resulterer i en forbedring alle redundanstal. Til trods for dette har valget af totalstation den største indvirkning på den eksterne pålidelighed, og der skal ekstra observationer til for at opnå samme pålidelighed, hvis man benytter Leica TS16 5" i stedet for Leica TS60 0,5".

Argumentation: Værdierne vedrørende redundanstallene for observationerne i kolonnen $3 \Rightarrow 4$ er alle positive. Dette gør sig ikke gældende for nogen af de andre tiltag med undtagelse af geometrisk nivellement, hvor der tilføjes en helt ny observations-type, som ikke er vist i tabel 6.20.

At benytte en anden totalstation har kun betydning for nogle af redundanstallene, fordi præcisionen af 3D-afstandene og horisontalretningerne ikke ændres i samme størrelsesorden, men når det kommer til ekstern pålidelighed, har valget af totalstation enorme procentvise ændringer til følge ud fra de tre nederste kategorier i tabel 6.20.

- At ændre opstillingspunkterne fra yderligt placeret til centralt har ret store ligheder til implementering af geometrisk nivellement, hvad angår pålideligheden af koten, til dels også præcisionen, men langt fra samme effekt.

Argumentation: Inden for kategorien *red_ver min* ses en procentvis forskel på 400 % ved at ændre opstillingernes placering fra yderlig til central. De kortere afstande gør, at vertikalvinklerne kontrollerer hinanden bedre. Et lignende resultat ses kun ved implementering af geometrisk nivellement, hvor vertikalvinklerne kontrolleres af højdeforskellene. Den ekstra observationstype gør endvidere, at middelværdien af redundanstallene for vertikalvinklerne bliver bedre. *Red_ver middel* er uændret i kolonnen $Y \Rightarrow C$, fordi redundanstallene rykker tættere på middelværdien. Før, hvor nogle observationer blev vægtet højere på grund af de korte sigtelængder, var redundanstallene for observationerne med lav vægt store. Nu, hvor sigtelængderne er mere ens, får de observationer, der før havde et stort redundanstal, et mindre redundanstal, så middelværdien rykker sig generelt ikke, fra Y til C .

Inden for kategorierne som *EP_H max* og *s_H middel* ses dog fortsat de største forbedringer ved at tilføje højdeforskelle fra geometrisk nivellement.

6.4 Retningslinjer

I dette afsnit vil det eksplicit blive vurderet, hvad testberegningerne har ført frem til om de udvalgte parametres betydning for præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet. Fra afsnit 4.3 er det følgende parametre, som udvalgt som centrale for dette kandidatspeciale:

- (+) 1a. Placering af fikspunkter og eventuelle opstillingspunkter
- (+) 2a. Typer af observationer
- (+) 1b. Præcision af totalstationen
- (+) 7b. Sigtelængden fra opstilling til opmålingspunkt
- (+) 1c. Præcision af nivellerinstrumentet og stadie

Tabel 6.21 viser grundlaget for, hvorledes de enkelte parametre nu bliver vurderet ud fra de tidligere behandlede tiltag.

Tiltag 1. Forskellig opstillingstype

Tiltag 2. Forskellig placering af totalstationen

Tiltag 3. Forskelligt antal polære observationer til hvert nypunkt

Tiltag 4. Forskellig dimension

Tiltag 5. Forskellige totalstationer

Tiltag 6. Implementering af geometrisk nivellement

	Tiltag 1	Tiltag 2	Tiltag 3	Tiltag 4	Tiltag 5	Tiltag 6
Parameter 1a	X	X	X	X		
Parameter 2a						X
Parameter 1b				X	X	
Parameter 7b	X	X	X	X		
Parameter 1c						X

Tabel 6.21. Grundlag for vurdering af de udvalgte parametre fra afsnit 4.3.

De udvalgte parametre fra afsnit 4.3 bliver nedenfor vurderet én ad gangen med alt, hvad der er fundet frem til i testberegningerne. En kort opsummering af de retningslinjer, der kan opstilles på baggrund af testberegningerne, ses i afsnit 6.4.

1a. Placering af fikspunkter og eventuelle opstillingspunkter

Denne parameter har været berørt gennem flere af tiltagene. Det har været grebet an således, at en statisk opsætning af 15 nypunkter har ligget til grund for alle netdesign. Den indbyrdes afstand mellem nypunkterne har være 100 m - 200 m, med undtagelse af tiltag 4, hvor dimensionen af nettet blev reduceret med 75 %. Fra hver opstilling har der været målt til alle nypunkterne, så variationen har ligget i placeringen af opstillingspunkterne. Overordnet set har det vist sig, at placering af nypunkterne og eventuelle opstillingspunkter kun har væsentligt betydning i kraft af længden af sigter, der er påkrævet for at binde nettet sammen. Dette skyldes, at præcisionen af observationerne fra totalstationen er afstandsafhængig. Sigtelængden er beskrevet som særskilt parameter nedenfor.

For bedre præcision og pålidelighed af et fikspunktsnet har det at tilføje ekstra polære observationer til hvert nypunkt vist sig generelt at have størst effekt, hvis man kun vil

ændre på geometrien af nettet og altså ses bort fra præcisionen af observationerne. Dette fremgår af tabel 6.20.

Det viste sig nærmest ikke at have betydning for præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet, især i planen, at benytte opstillingstypen "*opstilling i kendt punkt*" eller "*fri opstilling*". Så det er umiddelbart tilstrækkeligt for mange opgaver at benytte sig af det indbyggede centreringssværktøj, såsom optisk lod eller laserlod, hvor spredningen på centrering af totalstationen er 0,001 m.

2a. Typer af observationer

Totalstationen måler, som nævnt, 3 typer af observationer; vertikalvinkler, horisontalretninger og 3D-afstande, mens geometrisk nivellement bidrager med en enkelt type, højdeforskelle.

Grundet totalstationens 3 typer af observationer, har det vist sig, at den indbyrdes geometri ikke har haft store betydninger for pålideligheden. Der blev i kapitel 4, figur 4.1, iscenesat, at den indbyrdes geometri kan have stor indflydelse for pålideligheden. Men figur 4.1 bygger kun på afstandsmålinger. Det har vist sig at gøre en stor forskel, når der kombineres med andre typer af observationer.

Hvis det gjorde sig gældende, at præcisionen af 3D-afstandene og horisontalretningerne var fuldstændig ens, hvilket helt konkret kan ses på figur 5.1, hvor spredningen på vinklen og afstanden af de 3 anvendte totalstationer skærer hinanden, så kunne der så vidt måles til et nypunkt fra hvilken som helst retning. I grove træk ville kun sigtelængderne være afgørende for redundanstallene for observationerne. Så kunne det at kontrollere for systematiske fejl komme i fokus. Det er nemlig antaget, at observationerne bliver rensset for systematiske fejl, men forskellige retninger til et nypunkt vil kunne afsløre systematiske fejl såsom forkert prismekonstant. En forkert prismekonstant vil ikke kunne opdages, hvis der kun foretages målinger fra samme retning til et nypunkt.

I praksis har 3D-afstandene, horisontalretningerne og vertikalvinklerne forskellig præcision, så geometrien alligevel har lidt betydning, hvilket ses i tabel 6.13 og 6.14.

Implementering af højdeforskelle fra geometrisk nivellement har haft store fordele for præcisionen og pålideligheden af koten. Mere om dette er beskrevet under den sidste parameter nedenfor.

1b. Præcision af totalstationen

En sammenligning på tværs af alle tiltagene med afsæt i netdesign KY3 viste i tabel 6.20, at præcisionen af observationerne fra totalstationen havde den største betydningen for præcisionen og den eksterne pålidelighed af et fikspunktsnet.

De forskellige totalstationer, som blev inddraget i testberegningerne i afsnit 6.3.6, var Leica TS60 0,5", Leica TS16 1" og Leica TS16 5". De er blevet udvalgt til at repræsentere udvalget af totalstationer. Springet mellem disse instrumenter er procentvis rigtig stort. Derfor er præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet også forbedret markant ved at opgradere totalstationen. Implementering af geometrisk nivellement kan dog fortsat have en positiv effekt på præcisionen og pålideligheden af koten. Selv hvis man bruger Leica TS60 0,5" totalstation.

7b. Sigtelængden fra opstilling til opmålingspunkt

Det har vist sig, at sigtelængderne har stor betydning for koten til nypunkterne og de meget lave tilfælde af redundanstal for vertikalvinklerne. Dette er særligt tydeligt i tabel 6.12 under det fjerde tiltag, hvor dimensionen af de fire netdesign er blevet reduceret med 75 %. Forklaringen ligger i, at ved lange sigtelængder er det svært for observationerne at kontrollere hinanden, så hvis der kun er ét nærtliggende opstillingspunkt, vægtes observationerne derfra væsentligt højere end de andre observationer med risiko for at være fejlbehæftet. John Ogundares anbefaling i afsnit 5.1 om, at forholdet mellem den største og mindste sigtelængde ikke bør overskride 5, har vist sig vigtig at overholde for pålidelighedens skyld.

Til trods for den gode effekt ved at reducere sigtelængderne, har tabel 6.20 dog vist, at det har langt større effekt på præcisionen og pålideligheden af koten at implementere geometrisk nivellement eller benytte en bedre totalstation. Desuden kan korte sigtelængder gøre én nødsaget til at lave flere opstillinger, hvilket kan være en mere tidskrævende proces.

1c. Præcision af nivellerinstrumentet og stadie

Det er i særdeleshed tabel 6.20, hvor der blev foretaget en sammenligning på tværs af alle seks tiltag, der indikerer, at geometrisk nivellement kan have sin berettigelse. Med afsæt i netdesign KY3 viste det sig, at endda højdeforskelle fra Leica Sprinter 250M med en kilometerspredning på omtrent $3 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$ kan forbedre præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet væsentligt, selvom der har været benyttet et af de bedste totalstationer til rådighed, Leica TS60 0,5". At benytte nivellerinstrumentet Leica LS15, hvor kilometerspredningen kan komme helt ned på $0,6 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$, vil selvfølgelig give endnu bedre resultater.

Opsummering retningslinjer

Gennem testberegningerne har der været fokus på både *præcisionen af observationerne* og *geometrien af nettet*. Helt generelt har parametrene, der hører ind under præcisionen af observationerne, vist sig at have større betydning for præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet end de parametre, der hører til geometrien af nettet. Ud fra et tidsmæssigt aspekt er der opstillet retningslinjer i denne specifikke rækkefølge:

1. Benyt en totalstation med præcise observationer.
2. Hvis muligt, placer opstillingerne centralt, så sigtelængderne er korte og mere ens.
Hav samtidig øje for, hvordan systematiske fejl kan spille ind.
3. Benyt frie opstillinger.
4. Mål dernæst det antal observationer, opgaven kræver.
5. Hvis nødvendigt, implementer geometrisk nivellement.

6.5 Variansfaktoren

Alle de forudgående resultater er fra testberegninger, som ikke er baseret på reelle observationer, hvilket medfører, at der kun arbejdes med de tilfældige fejl baseret på a priori spredninger. Når man har været ude i marken og indsamle de observationer, som man er nået frem i sin planlægning, skal der foretages en udjævning. Dernæst skal det undersøges, om resultatet for udjævningen overholder de forventningerne, der har været til observationerne, udtrykt som a priori spredninger. Et primært værktøj til dette er a posteriori variansfaktoren.[Cederholm, 2000, s.39]

Det første, at man vurderer sin udjævning efter, er en *global test*, hvor man sikrer sig, at a posteriori variansfaktoren, $\hat{\sigma}_0^2$, er tæt nok på 1. I så fald tyder det på, at to ting gør sig gældende:

1. A priori spredninger har været realistiske, og vægtmatricen C bør have været korrekt.
2. Sammenhængen mellem observationer og ubekendte har været fornuftig, så designmatricen A bør have været korrekt.

A posteriori variansfaktoren kan både tjekkes for alle observationer og for hver observationstype. Teststørrelsen, ω , der anvendes til global test, kan beregnes ud fra formel 6.1.

$$\omega = \frac{u \hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} \quad (6.1)$$

[Cederholm, 2000, s. 88]

Ud fra det valgte signifikansniveau, α , og antallet af overbestemmelser, u , bør teststørrelsen ligge inden for intervallet: $\chi_{(u,\alpha/2)}^2 < \omega < \chi_{(u,1-\alpha/2)}^2$

Såfremt teststørrelsen ω ikke ligger inden for intervallet, kan det skyldes, at observationerne ikke er normalfordelte, eventuelt på grund af grove fejl, at der er fejl i den funktionelle og/eller stokastiske model, så henholdsvis A - og C -matricen ikke er korrekt. [Cederholm, 2000, s. 87-89]

Som tidligere nævnt under afsnit 4.1.1 kan grove fejl lokaliseres og fjernes ved hjælp af *data snooping*. Hvis man har været nødsaget til at fjerne mange observationer, fordi de er vurderet til at være påvirket af grove fejl, kan det være nødvendigt at foretage nye observationer i marken.

Case: Projektet NAU

7

I dette kapitel vil det blive eksemplificeret, hvordan den opnåede viden om parametrene, og de dertilhørende retningslinjer i slutningen af kapitel 6 kan anvendes til en konkret case, hvor der er brug for etablering af et fikspunktsnet. Hertil benyttes Projektet NAU, Nyt Aalborg Universitetshospital. Til den indledende fase af Projektet NAU var der brug for et overordnet fikspunktsnet, som landinspektørfirmaet LE34 fik til opgave at etablere. Med afsæt i et interview med den projektansvarlige og undersøgelse af udbudsbetingelserne vil det blive gennemgået, hvad opgaven bestod i, og hvilke krav der har været til præcisionen af fikspunktsnettet. Efterfølgende vil den viden, som dette kandidatspeciale har ført til, hovedsageligt ved anvendelse af retningslinjerne, blive anvendt på etablering af det overordnede fikspunktsnet til Projektet NAU, hvor der er nogle krav, som skal overholdes.

Fikspunktsnettet til Projektet NAU bliver gennemgået, for at konkretisere de retningslinjer, som er fundet tidligere, da kandidatspecialet har været struktureret ud fra en teoretisk tilgang uden, at der er inddraget en konkret opgave eller placering. Testberegningernes resultater skulle derfor gerne finde anvendelse i en mere bred udstrækning, siden der er holdt på en mere abstrakt niveau. Nu gives der et perspektiv til, hvordan resultaterne kan anvendes på en konkret case og hvilke udfordringer, der kan opstå.

Dette er blevet gjort ved hjælp af Landinspektørfirmaet LE34, hvor den projektansvarlige har medvirket i et interview og været behjælpelig med at forklare opgaven. Han gjorde os desuden bekendt med udbudsbetingelserne tilhørende landinspektøropgaverne for projektet. Udbudsbetingelserne er blevet gennemgået, for at finde frem til hvad kravene til det overordnede fikspunktsnet er. Kravene til udbudsbetingelserne bliver løst ved testberegninger i GeoADJUST, hvor retningslinjerne fra de forudgående kapitler er anvendt.

7.1 Det overordnede fikspunktsnet til Projektet NAU

Det overordnede fikspunktsnet til Projektet NAU blev helt konkret udført af landinspektørfirmaet LE34, som har gjort os bekendt med udbudsbetingelserne, samt hvordan de valgte at løse opgaven. I udbudsbetingelserne er oplistet nogle krav til fikspunktsnettet. De krav, der er væsentlige for dette kandidatspeciale, vil blive gennemgået.

Området for Projekt NAU er cirka 600 m på tværs og 1500 m på langs, hvilket vises på et kort nedenfor sammen med LE34's løsning for etablering af fikspunktsnettet. For hele området skulle der i alt etableres 28 fikspunkter med en indbyrdes afstand på omtrent 150 m. LE34 har gennem dialog med projektafdelingen for Projektet NAU nået til enighed om nogle små ændringer til fordelingen af fikspunkter, så det ikke er endt præcis som beskrevet i udbudsbetingelserne. Dette fremgår af interviewet med Arnt S. Madsen fra LE34 i Aalborg, som kan findes i bilag D.

Det er LE34's placering af de overordnede fikspunkter, der sidenhen vil blive taget udgangspunkt i, men først undersøges kravet til præcisionen af fikspunkterne.

Ordret står der i udbudsbetingelserne: *"De overordnede fikspunkter skal bestemmes med XYZ-koordinater med en indbyrdes nøjagtighed på ± 2 mm."* (Se bilag C, side 3 af 6) Hele dokumentet for udbudsbetingelserne kan læses i bilag C.

Dette krav om indbyrdes nøjagtighed på ± 2 mm kan tolkes på flere måder, fordi det ikke er et entydigt fagbegreb.

Dette giver mulighed for bred fortolkning. Forskellen eksemplificeres her ved to fortolkninger, der giver et vidt forskellig resultat:

Eksempelvis kan indbyrdes nøjagtighed anses som værende ensbetydende med præcisionen af hvert fikspunkt. Dette kan udtrykkes ved at være den maksimale værdi for den halve storakse i de absolutte konfidensellipser med en konfidensgrad på 39 %, hvor den største værdi derfor maksimalt må være på ± 2 mm. Hvis ellipsens akser skales med 2,447, så den maksimale storakse bliver $2 \text{ mm} * 2,447 = 4,9 \text{ mm}$, er der 95 % sandsynlighed for, at det estimerede koordinat ligger inden for den absolutte konfidensellipse. [Cederholm, 2000, s. 54]

Hvis den indbyrdes nøjagtighed på ± 2 mm derimod tolkes som den maksimale værdi for den halve storakse i den absolutte konfidensellipse med en konfidensgrad på 95 %, vil det betyde, at storaksen i de absolutte 39 % konfidensellipser maksimalt må være $\frac{2}{2,447} = 0,8$ mm, altså en værdi der er 60 % lavere, som alene skyldes usikkerheden på, hvordan indbyrdes nøjagtighed fortolkes. Derudover kunne man også benytte andre af de tidligere omtalte begreber såsom punktspredningen og den eksterne pålidelighed, så der er mulighed for et væld af andre tolkninger.

Grundet denne forvirring er det forsøgt at tage kontakt til både Region Nordjylland, som har stået for udbudsbetingelserne, og endnu engang landinspektørfirmaet LE34, som etablerede det overordnede fikspunksnet, for at finde frem til, hvordan de har tolket udtrykket indbyrdes nøjagtighed, begge dele uden held.

Siden det ikke har været muligt at få oplyst en mere konkret fortolkning, er det besluttet at benytte 2 mm som værdien for den halve storakse i de 39 % absolutte konfidensellipser. For koten skal $1\sigma_H = \pm 2$ mm.

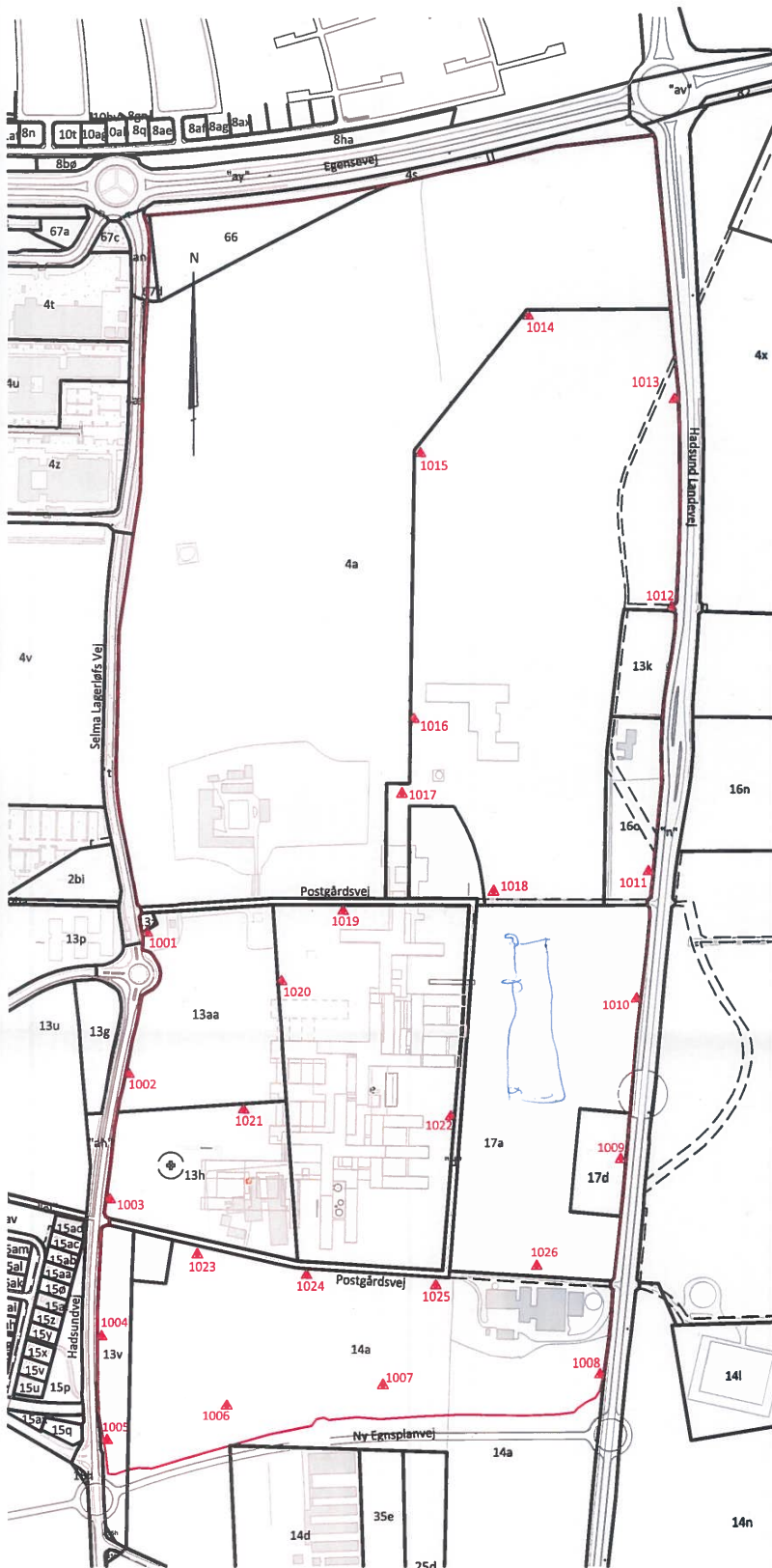
Samtidig er det valgt at ingen værdi for den ekstern pålidelighed for E , N og H må overskride ± 6 mm, så man sikrer sig, at pålideligheden også er tilstrækkelig god. 6 mm svarer til $3\sigma_H$. Dette er et tilvalg vi har lavet, da vi gennem vores testberegninger har fundet frem til, at man godt kan opnå en god præcision på koordinaterne samtidig med at værdierne for ekstern pålidelighed er store sammenlignet med. Derfor er den generelle pålidelighed af nettet ikke særlig god, da man uden at det viser sig i en grov fejl, kan have store koordinat afvigelser, som vi gerne vil undgå ved at sætte denne maksimale grænse.

Som nævnt kan andre fortolkninger være velbegrundet.

7.1.1 LE34's løsning på etableringen

Som tidligere nævnt var det LE34, der fik opgaven af at etablere det overordnede fikspunksnet til Projektet NAU. Det havde været brugbart at inddrage LE34's originale ob-

servationer fra dataindsamlingen, der ligger til grund for det etablerede fikspunktsnet, så de kunne undersøges i relation til de retningslinjer, som blev udfærdiget i afsnit 6.4. Det har dog ikke været muligt at få fat i disse. Til gengæld har Arnt S. Madsen fra LE34 i Aalborg medvirket gennem et interview. Arnt Madsen har det overordnede ansvar for fikspunktsnettet til Projektet NAU. Interviewet kan læses i bilag D, og i forbindelse med interviewet var LE34 behjælpelige med stille udbudsbetingelserne og deres egen fikspunktsplan over løsningen til rådighed. Fikspunktsplanen kan ses på næste side. Heraf fremgår det hvor på arealet, LE34 blev enige med projektafdelingen at placere fikspunkterne.



Koordinatliste - Overordnede fikspunkter

Lokalt system orienteret efter DKTM2, men med skalafaktor 1,000000.

Højder angivet i henhold til DVR90

Punktnr.	Northing (m)	Easting (m)	Højde (m)
1001	1321050.966	399695.206	21.674
1002	1320883.856	399674.199	23.558
1003	1320735.655	399651.616	21.596
1004	1320574.529	399642.600	14.480
1005	1320452.302	399649.265	11.147
1006	1320492.495	399788.598	12.413
1007	1320517.265	399971.697	11.055
1008	1320529.551	400226.587	8.561
1009	1320782.997	400250.493	6.690
1010	1320973.098	400268.584	7.461
1011	1321122.941	400283.136	5.707
1012	1321435.044	400310.206	4.883
1013	1321679.632	400313.628	4.587
1014	1321778.144	400141.808	4.654
1015	1321616.686	400015.812	4.363
1016	1321303.455	400007.842	10.092
1017	1321215.043	399994.698	11.571
1018	1321099.760	400102.127	9.437
1019	1321076.741	399924.929	15.440
1020	1320993.804	399852.743	16.668
1021	1320841.636	399808.065	17.609
1022	1320833.722	400051.075	11.856
1023	1320670.570	399754.282	15.073
1024	1320646.437	399882.120	13.336
1025	1320634.040	400033.487	11.701
1026	1320657.195	400151.538	9.881

Alle fikspunkter er etableret som det fremgår af nedenstående fotos af fikspunkt 1010. N, E og H er defineret af bolt med kørnerprikk faststøbt i betonfundament ca. 30 cm over terræn. Foruden boltten er der en stålplade med indgraveret punktnummer til sikker identifikation af punktet.



Baggrundskortet er "Hovedstrukturplan for geotekniske undersøgelser" modtaget fra Region Nordjylland d. 25-04-2013, samt uddrag fra det tekniske grundkort og det digitale matrikelkort.

NELLEMANN BJØRNKJÆR

Region Nordjylland - Fikspunktsplan
Nyt Aalborg Universitetshospital (NAU)
Matr.nr. 4a m.fl. Sdr. Tranders By, Sdr. Tranders
Aalborg Kommune
Region Nordjylland

SIGNATURFORKLARING:

▲ Overordnet fikspunkt

Arne Kjærsgaard
Landinspektør

Målforhold:	Plansystem:	Lokalt - orienteret som DKTM2	Sag nr.:	2013-1165/4
Dato:	Højdesystem:	DVR90	Initialer:	AM
Tegning:	Fikspunktsplan_DKTM2_DVR90_20131106.dwg			
Landinspektørfirmaet Nellemann & Bjørnkjær I/S				
Strandvejen 18 postboks 20 DK-9100 Aalborg Tlf. 98 13 46 55 www.nb.dk CVR 54314310				

Ud fra fikspunktsplanen bemærkes det, at det kun endte ud med 26 fikspunkter, og ikke de 28, som udbudsmaterialet lagde op til. I dette kapitel vil der blive taget udgangspunkt i den samme fordeling af fikspunkterne. Hertil er LE34's koordinatliste i hjørnet af fikspunktsplanen benyttet.

Gennem interviewet med Arnt S. Madsen kan det læses, at de har benyttet sig af et geometrisk nivellement for at være sikre på at opfylde kravene til koten, samt anvendelse af den mest præcise nykalibrerede totalstation, de har til rådighed i virksomheden. Totalstationen, de anvendte, er en Trimble S8, der har en a priori spredning for vinkelmålingerne på 0,15 mgon (0,5") og afstandsmålingerne på 0,8 mm + 1 ppm.

Ved at have fået kendskab til en konkret case, er der brug for nogle tilføjelser til testberegningerne, fordi der er opstået problemstillinger, der ikke har været taget højde for i kapitel 6.

7.1.2 Nyt perspektiv på grund af casen

Gennem interviewet gjorde Arnt Madsen opmærksom på, at det har været en udfordring med store terrænforskelle og læbælter, der forhindrede mulighederne for at sigte til samtlige punkter fra alle opstillinger. Nogle sigtelængder kunne stadigvæk være 3-400 meter, men det er et noget større område, at Projektet NAU dækker over, end det 500 m x 500 m område, som testberegningerne i afsnit 6 er bygget på.

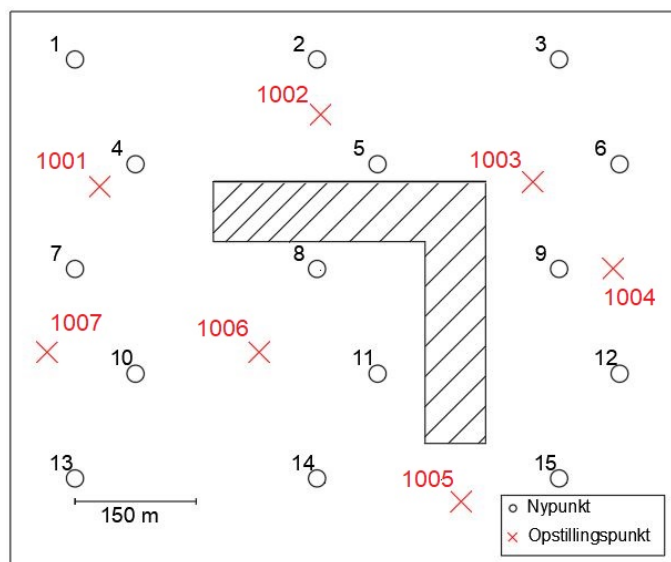
Resultaterne fra kapitel 6 kan ikke anvendes direkte på casen, fordi der er en væsentlig faktor til forskel. I testberegningerne har der altid været sigtet til samtlige nypunkter fra hver opstilling, så der har været mange fællespunkter til at knytte opstillingerne sammen. Dette vil man praktisk ikke kunne forvente i en opgave, som denne her, hvilket formentlig vil have en konsekvens for præcisionen og pålideligheden, som tidligere ikke er blevet undersøgt.

Det nye perspektiv, der er brug for at undersøge nærmere er:

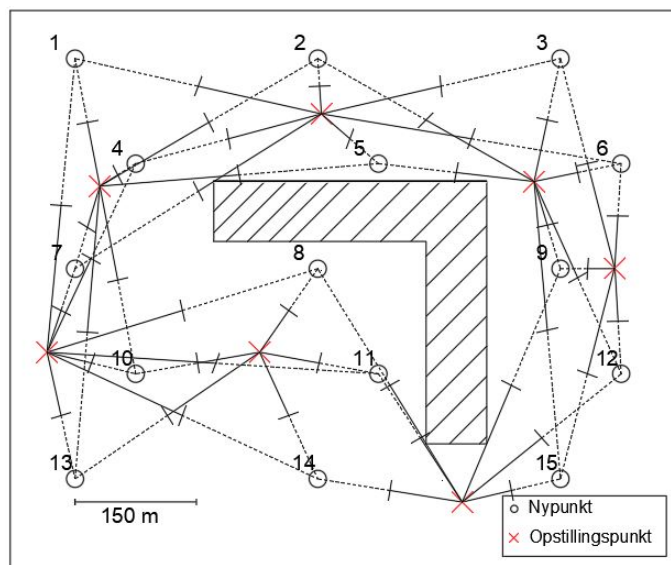
- Hvilke ændringer, det har for præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet, når der er færre fællespunkter mellem opstillingerne.

Grundet de nye problemstillinger, som kendskabet til casen har identificeret, vil der først blive lavet en ny testberegning med det formål at undersøge, hvad det har af betydning for præcisionen og pålideligheden, når det ikke er muligt at sigte til alle nypunkterne fra samme opstilling. Således vil der være et nyt perspektiv at tage udgangspunkt i, når planlægningen til Projektet NAU skal gennemtænkes.

Til det nye perspektiv er dimensionen af det tidligere område forøget med 50 %, så der er omkring 150 meter mellem de nærtliggende nypunkter, ligesom det var specificeret i udbudsbetingelserne. Der er også tilføjet en maksimal sigtelængde på 3-400 meter, for at tilnærme sig nogle af de begrænsninger, som et kuperet terræn kan have. Samtidig er der visualiseret en fysisk barriere, så nypunkterne ikke kan forbindes af polære observationer fra samme opstilling. Det skraverede felt symbolisere en bygning eller lignende, som ikke gør det muligt at foretage sigter igennem. På figur 7.1 og 7.2 kan det nye netdesign, *FB3* (Fri opstilling, blandet centrale og yderlige opstillinger, 3 polære observationer til hver nypunkt), ses med og uden de polære observationer indtegnet.



Figur 7.1. Nyt netdesign, FB3, forud for Projektet NAU uden observationer



Figur 7.2. Nyt netdesign, FB3, forud for Projektet NAU med observationer

Baseret på retningslinjerne i slutningen af kapitel 6, er det følgende elementer, at der har været for øje for det nye netdesign:

- Til alle nypunkterne er der 3 polære observationer. Den ønskede præcision og pålidelighed kunne eventuelt opnås ved kun at have 2 polære observationer til hvert nypunkt, men der er valgt 3, således at det også er muligt at identificere hvilken af observationerne, der eventuelt er fejlbehæftet, uden at man skal ud i marken igen.
- Opstillingerne er placeret, så sigtelængderne er så korte som muligt, samtidig med, at der sigtes til så mange nypunkter, at antallet af opstillinger holdes på et minimalt niveau. Opstillingspunkterne er overvejende placeret centralt for at reducere sigtelængderne, der tidligere er fundet frem til, som værende af stor betydning for på præcisionen og pålideligheden af koten.

- Der er benyttet opstillingstypen "*fri opstilling*", fordi det giver større frihed til at vælge mere optimale opstillingspunkter. Testberegningerne i kapitel 6 vise desuden, at det var lidt bedre end "*opstilling i kendt punkt*", særligt for koten.
- Præcisionen af observationerne viste sig at have særlig stor betydning for præcisionen og pålideligheden, så det nye netdesign FB3 vil blive foretaget med de samme a priori spredninger som tidligere, baseret på Leica TS60 0,5" totalstation.
- Maksimal sigtelængde omkring 3-400 meter for at tilnærme sig nogle de begrænsninger, der kan forekomme ved opmålinger i marken såsom kuperet terræn med mere. Desuden afspejler det udfordringerne ved de store ændringer i terrænet, der gør sig gældende for casen Projektet NAU.

Det resulterede i 7 opstillinger af typen "*fri opstilling*" for at dække området, og der er i første omgang ikke implementeret geometrisk nivellement.

Det nye netdesign vil blive sammenlignet med netdesign FC3, fordi der er mange ligheder. Til trods for forøgelsen af nettets dimension med 50 %, er sigtelængderne nogenlunde magen til hinanden. Det fremgår af hver deres karakteristika i tabel 7.1. En sammenligning mellem resultatet for de to testnet er fundet berettiget, da det også viser, om antagelsen bag netdesignene i kapitel 5 har været korrekt; at det er bedre med få opstillinger, der sigter til alle nypunkterne, og derfor har mange fællespunkter.

	Design FC3	Design FB3
Antal opstillinger	3	7
Middel af sigtelængderne	225 m	241 m
Min sigtelængde	32 m	36 m
Max sigtelængde	405 m	432 m
Opstillingstype:	Fri opstilling	Fri opstilling
Opstillings placering:	Central placering	Blandet placering
Målinger til hver nypunkt:	3	3
Polære observationer i alt:	45	45

Tabel 7.1. Karakteristika for design FC3 og FB3.

Den kommende tabel, 7.2, viser den procentvise forskel ved at have færre fællespunkterne, der forbinder opstillingerne, ved at sammenligne netdesign FC3 med FB3.

	Netdesign FC3 $\Rightarrow$ FB3		
	FC3	FB3	[%]
s_P middel [mm]	0,69	0,82	20
s_H middel [mm]	0,80	0,95	19
s_E eller s_N max [mm]	0,90	1,10	22
s_H max [mm]	1,00	1,10	10
1/2_s_a_P middel [mm]	0,86	1,03	19
1/2_s_a_P max [mm]	1,30	1,40	8
s_H_r middel [mm]	0,85	1,03	20
s_H_r max [mm]	1,30	1,20	8
red_3D_afs. middel	0,61	0,47	-23
red_hor middel	0,59	0,46	-22
red_ver middel	0,62	0,53	-15
red_3D_afs. min	0,57	0,19	-67
red_hor min	0,35	0,27	-23
red_ver min	0,25	0,13	-48
EP_E max [mm]	1,70	3,20	88
EP_N max [mm]	1,70	1,90	12
EP_H max [mm]	3,60	4,00	11

Tabel 7.2. Samlet resultat ved tilføjelse af fysisk barriere i netdesign FB3.

POINTER VEDRØRENDE PRÆCISIONEN AF ET FIKSPUNKTSNET:

- I dette tilfælde er præcisionen af fikspunktsnettet generelt blevet 20 % ringere ved at der er tilføjet en fysisk barriere således, at der er færre fællespunkter mellem opstillingerne.

Argumentation: Inden for kategorierne *s_P middel*, *s_H middel*, *1/2_s_a_P middel* og *s_H_r middel* i tabel 7.2 er der sket en procentvis forringelse omkring 20 %.

POINTER VEDRØRENDE PÅLIDELIGHEDEN AF ET FIKSPUNKTSNET:

- Redundanstallene for 3D-afstandene, horisontalretningerne og vertikalvinklerne er alle blevet omkring 20 % ringere. Det samme mønster har hidtil kun gjort sig gældende, hvis der fjernes eller tilføjes en ekstra måling til hvert nypunkt, hvilket blev kommenteret på i tabel 6.20.
Observationerne kontrollerer hinanden bedre, når opstillingspunkterne har flere fællespunkter med hinanden.

Argumentation: Inden for kategorierne *red_3D_afs. middel*, *red_hor middel* og *red_ver middel* er den procentvise forringelse også omkring 20 % for alle observationstyperne. Da der er sket dette fald i middeltallet af redundanstallene, og minimums redundanstallet ligeledes er faldet, kan det bekræftes, at observationer tilhørende FC3 bliver kontrolleret bedre af hinanden end observationerne til FB3

- Den høje procentvise stigning i $EP_E\ max$ på 88 % skyldes, at en grov fejl på 3D-afstanden fra opstilling 1005 til punkt 15 kan flytte E-koordinaten til punkt 15 med 3,2 mm, før det kan ses på de andre observationer. På trods af denne store stigning, overskrides den ovennævnte grænse for ekstern pålidelighed på ± 6 mm ikke.

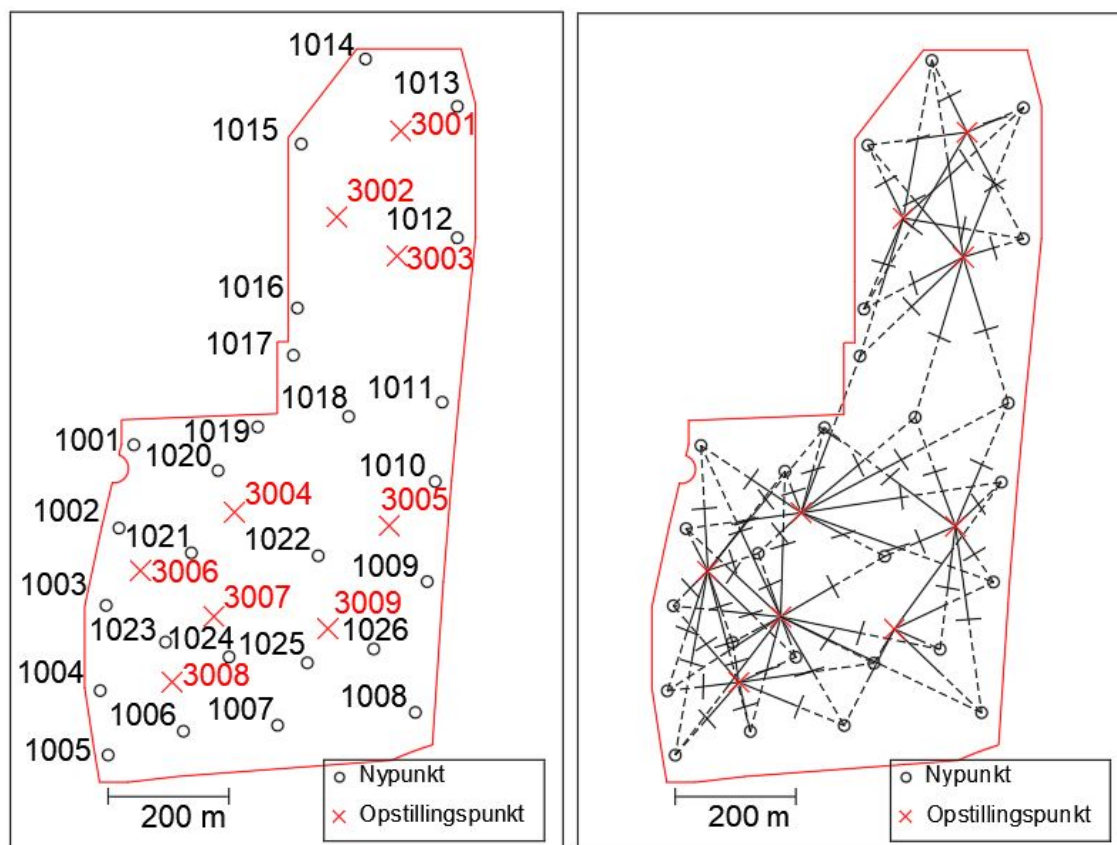
Argumentation: E-koordinaten for nypunkt 15 er dårligere bestemt af de andre observationer end 3D-afstanden fra opstilling 1005. Redundanstallet for denne 3D-afstand er også nede på 0,24.

Inden for alle kategorierne i tabel 7.2 er resultatet blevet dårligere ved, at der ikke længere sigtes til alle nypunkter fra hver opstilling, men der er umiddelbart ikke noget til hinder for at anvende samme principper for netdesignet til Projektet NAU, som der blev anvendt til det nye netdesign FB3.

7.1.3 Netdesign til Projektet NAU

Denne gang har der været særligt fokus på at overholde John Ogundares anbefaling om, at forholdet mellem det længste og korteste sigte ikke bør overskride 5, fordi det fra tidligere testberegninger er erfaret som vigtig for pålideligheden. Der er igen ikke implementeret geometrisk nivellement, da der er en forventning om, at præcisionen af observationerne fra Leica TS60 0,5" kan imødekomme det vurderede krav for præcisionen af koten, $\sigma_H = \pm 2$ mm.

Det har ført til 9 opstillinger, der er vist på figur 7.3. De koordinater, der er holdt fast for at gøre det til en *minimal fastholdt udjævning*, er E, N, H -koordinaterne til fikspunkt 1004 og E -koordinaten til fikspunkt 1014.



Figur 7.3. Netdesign til Projektet NAU, 9 opstillinger.

	Design NAU9
Antal opstillinger	9
Middel af sigtelængderne	228 m
Min sigtelængde	84 m
Max sigtelængde	393 m
Opstillingstype:	Fri opstilling
Opstillings placering:	Central placering
Målinger til hver nypunkt:	3
Polære observationer i alt:	78

Tabel 7.3. Karakteristika for design til Projektet NAU, baseret på 9 opstillinger.

Det kan ses ud fra tabel 7.3, at forholdet mellem det korteste og længste sigte ikke overskrider 5, og nedenfor i tabel 7.4 ses resultatet for netdesignet til Projektet NAU. Der vises kun de oplysninger, der afslører, om de fastsatte krav til henholdsvis præcisionen og pålideligheden af fikspunktsnettet er overholdt.

Det kan ses, at den største værdi for den halve storakse i en 39 % konfidensellipse overskrider den vurderede præcisionskrav på maksimalt 2 mm. Ligeledes er de største værdier for ekstern pålidelighed for E og N begge større end ± 6 mm. Til gengæld er den største værdi for σ_H inden for ± 2 mm, og den største værdi for ekstern pålidelighed for H kan accepteres.

	Design NAU9
Største værdi for den halve storakse i en 39 % absolut konfidensellipse	2,1 mm
Største værdi for spredningen på H	1,6 mm
Største værdi for ekstern pålidelighed for E	-9,2 mm
Største værdi for ekstern pålidelighed for N	-8,2 mm
Største værdi for ekstern pålidelighed for H	4,5 mm

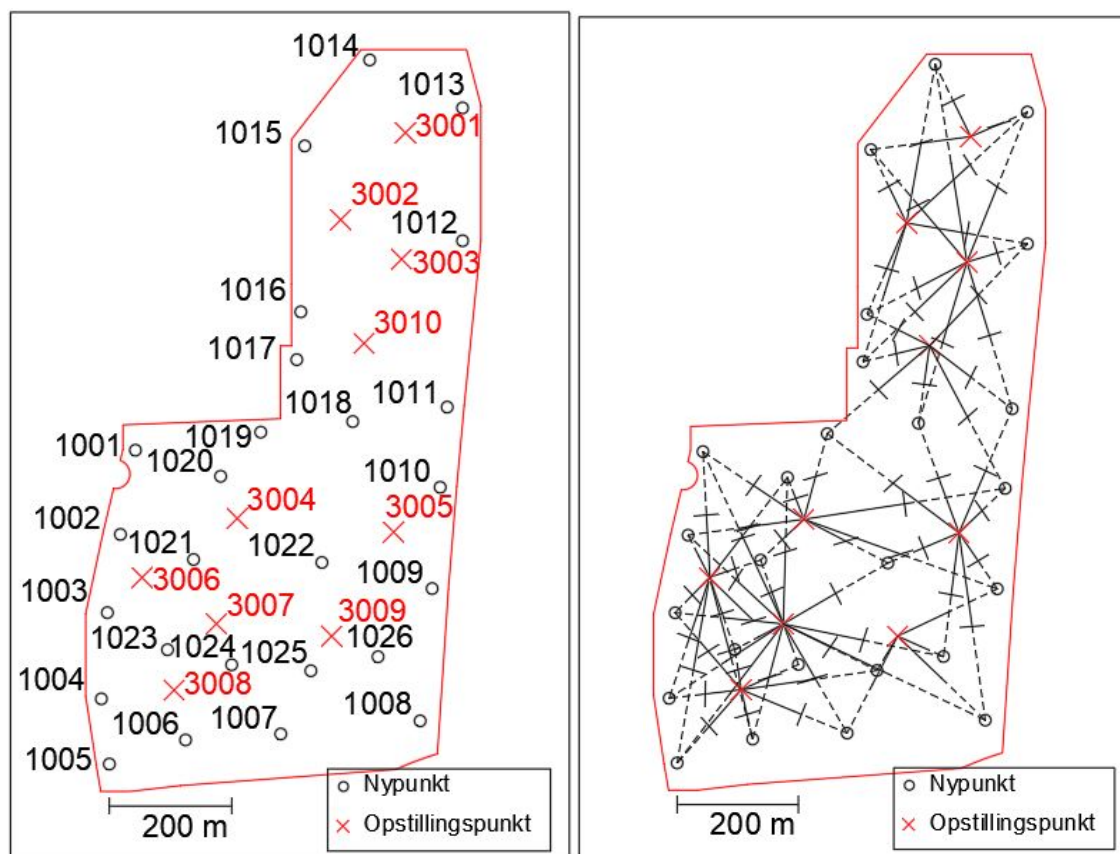
Tabel 7.4. Resultat for design til Projektet NAU, 9 opstillinger.

Det har vist sig ikke at være nødvendigt med et geometrisk nivellement, fordi koten til fikspunkterne er tilstrækkelig godt bestemt. Problemstillingerne er opstået i planen, og dokumentationsfilen, der kan findes i bilag A, fortæller, at det kun er de halve storakser i punkt 1016 og 1017, som er større end 2 mm. Til sidst i dokumentationsfilen oplyses, hvor de største værdier for ekstern pålidelighed kan indtræffe, og det er, hvis der sker en grov fejl på 3D-afstanden fra opstilling 3004 til punkt 1017 (observation 31) og 3D-afstanden fra opstilling 3005 til punkt 1011 (observation 48), fordi de ikke er kontrolleret tilstrækkeligt af andre uafhængige observationer.

På figur 7.3 kan det også ses, at der er et stort mellemrum mellem opstillingspunkterne, og der er få observationer mellem den nordlige og sydlige del af området. To af 3D-afstandene, der knytter de to områder sammen, er ikke godt nok kontrolleret til, at den eksterne pålidelighed for E og N holdes under ± 6 mm.

Grundet dette er der er tilføjet en ekstra opstilling, 3010, der er strategisk placeret for at knytte den nordlige og sydlige del af området bedre sammen med flere observationer på tværs. Der er fortsat kun tre målinger til hvert nypunkt, og det forventes, at de halve storakser i punkt 1016 og 1017 kommer inden for 2 mm.

Det nye netdesign kan ses på figur 7.4.



Figur 7.4. Nyt netdesign til Projektet NAU, baseret på 10 opstillinger.

Design NAU9	
Antal opstillinger	10
Middel af sigtelængderne	218 m
Min sigtelængde	84 m
Max sigtelængde	392 m
Opstillingstype:	Fri opstilling
Opstillings placering:	Central placering
Målinger til hver nypunkt:	3
Polære observationer i alt:	78

Tabel 7.5. Karakteristika for design til Projektet NAU, 10 opstillinger.

Denne gang ligger resultatet i tabel 7.6 inden for de fastsatte krav til præcisionen og pålideligheden af det overordnede fikspunktsnet til Projektet NAU, der blev vurderet ud fra udbudsbetingelserne.

De største værdier for ekstern pålidelighed for E og N er reduceret væsentligt til trods for den simple, men målrettede ændring.

Ud fra disse resultater kan det ses, at det umiddelbart ikke er nødvendigt at foretage et geometrisk nivellement mellem fikspunkterne for at opnå præcisionen på ± 2 mm for koten.

	Design NAU10
Største værdi for den halve storakse i en 39 % absolut konfidensellipse	1,7 mm
Største værdi for spredningen på H	1,5 mm
Største værdi for ekstern pålidelighed for E	-3,4 mm
Største værdi for ekstern pålidelighed for N	-2,8 mm
Største værdi for ekstern pålidelighed for H	3,7 mm

Tabel 7.6. Resultat for design til Projektet NAU, 10 opstillinger.

Der vil de det næste afsnit blive foretaget en mere dybdegående undersøgelser af hvilken betydning, at fællespunkterne mellem opstillingerne har for præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet.

Sammenligning af netdesign NAU9 og NAU10

Den kommende tabel viser den procentvise forskel ved at gå fra NAU9 til NAU10, for at belyse hvilke ændringer det har betydet at have flere fællespunkter i sammenhængen med det nordlige og sydlige område.

	Netdesign NAU9 $\Rightarrow$ NAU10		
	NAU9	NAU10	[%]
s_P middel [mm]	1,19	1,09	-8
s_H middel [mm]	1,10	1,04	-5
s_E eller s_N max [mm]	1,80	1,60	-11
s_H max [mm]	1,60	1,50	-6
1/2_s_a_P middel [mm]	1,37	1,23	-10
1/2_s_a_P max [mm]	2,40	2,00	-17
s_H_r middel [mm]	1,15	1,05	-9
s_H_r max [mm]	1,70	1,60	-6
red_3D_afs. middel	0,52	0,51	-3
red_hor middel	0,50	0,48	-4
red_ver middel	0,56	0,55	-2
red_3D_afs. min	0,10	0,32	220
red_hor min	0,29	0,16	-45
red_ver min	0,18	0,18	0
EP_E max [mm]	8,20	2,80	-66
EP_N max [mm]	9,20	3,40	-63
EP_H max [mm]	4,50	3,70	11

Tabel 7.7. Samlet resultat ved sammenligning af netdesign NAU9 og NAU10.

Det kan læses ud fra tabel 7.7, at præcisionen af fikspunktsnettet er blevet forbedret omkring 10 % i planen og 5 % procent i koten. Samtidig blev der rettet op på de værste tilfælde af lave redundanstal for 3D-afstandene, således at de største værdier for ekstern pålidelighed for E og N blev reduceret med mere end 60 %.

Det er ret meget, som er hentet ved at tilføje et målrettet opstillingspunkt. Det tyder altså på, at en undersøgelse, der går i dybden med placering af opstillingerne, hvor fællespunkterne er for øje, kan bidrage en stor del til præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet.

I dette tilfælde kunne det ses, hvor præcisionen og pålideligheden ikke var tilstrækkelig god, så der blev grebet målrettet ind. Lignende problemstillinger vil man formentlig kunne forebygge ved at undersøge det nærmere og opstille retningslinjer for, hvordan opstillingerne og fællespunkterne fordeles bedst.

7.2 Opsamling på casen: Projektet NAU

Retningslinjerne i slutningen af kapitel 6 har hjulpet godt på vej for at planlægge et netdesign, der har passende præcision og pålidelighed. Dog opstod der nye problematikker ved at anvende retningslinjerne på casen, Projektet NAU, i kraft af at det strækker sig over et stort areal med terrænforskelle og læbælter, så der ikke kan sigtes til alle nypunkter fra hver opstilling af totalstationen.

Holder man sig stringent til retningslinjerne i slutningen af kapitel 6 blev der i testnet NAU9 allerede benyttet Leica TS60 0,5" totalstation, så præcisionen af 3D-afstandene, horisontalretningerne og vertikalvinklerne kunne ikke forbedres ved opgradering af totalstationen. Implementering af geometrisk nivellement ville kun kunne bidrage til koten, men det var i planen, at netdesign NAU9 ikke levede op til de fastsatte krav. De tilbageværende parametre, der er undersøgt i dette kandidatspeciale, drejer sig om geometrien, og der var allerede anvendt frie opstilling, placeret centralt, siden det har vist sig at give den bedste præcision og pålidelighed.

Retningslinjerne har altså anbefalet, at der er brug for ekstra målinger til hvert nypunkt, men det viste sig ikke at være nødvendigt, fordi netdesign NAU10, som opfylder kravene, har stadigvæk kun tre målinger til hvert nypunkt.

Der bør så vidt tilføjes et nyt punkt til opsamlingen på retningslinjer i afsnit 6.4, at testberegninger har vist sig at være et vigtigt værktøj til at finde ud af, om ens planlagte netdesign ender ud med det ønskede resultat.

En mere enkel og tidsbesparende løsning, end at tilføje ekstra målinger til nypunkterne, var at fordele opstillingspunkterne bedre og have fællespunkterne for øje. Det har vist sig at have stor betydning hvilke fællespunkter, der forbinder opstillingerne med hinanden. Siden det er præcis det samme antal polære observationer i både netdesign NAU9 og NAU10, så kan man lige så godt opnå et bedre resultat for den samme mængde arbejde ved at opstille retningslinjer for fællespunkterne. Det fører muligvis til, at det kan undlades nogle målinger. Denne problematik bør undersøges nærmere, hvilket ligger uden for dette kandidatspeciale.

Grundet denne opdagelse, der er sket ved hjælp af netop testberegninger, kan der som nævnt tilføjes endnu et punkt til retningslinjerne, som er testberegninger, da det i dette, og potentielt mange andre, har fundet frem til, at en udtænkt løsning ikke altid tilstrækkelig, og derfor kræver visse ændringer for at opnå de ønskede krav for præcisionen og pålideligheden.

Retningslinjerne, inklusiv den nyopdagede, er derfor:

1. Benyt en totalstation med præcise observationer.
2. Hvis muligt, placer opstillingerne centralt, så sigtelængderne er korte og mere ens.
Hav samtidig øje for, hvordan systematiske fejl kan spille ind.
3. Benyt fri opstillinger
4. Mål dernæst det antal observationer, opgaven kræver.
5. Hvis nødvendigt, implementer geometrisk nivellement
6. Tjek hvorvidt det planlagte netdesign giver det ønskede resultat ved at foretage en testberegning

Konklusion 8

Præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet kan estimeres uden brug af reelle observationer, fordi det alene bygger på *præcisionen af observationerne*, udtrykt i vægtmatricen C , og *geometrien af nettet*, udtrykt i designmatricen A . Det er derfor blevet undersøgt, hvilke parameter, der påvirker A - og C -matricen, fordi de samme parametre vil have indvirkning på præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet.

Der blev identificeret 13 parametre, blandt dem blev der foretaget en udvælgelse, og de parametre, der er arbejdet videre med i dette kandidatspeciale, er:

- 1a. Placering af fikspunkter og eventuelle opstillingspunkter
- 2a. Typer af observationer
- 1b. Præcision af totalstationen
- 7b. Sigtelængden fra opstilling til opmålingspunkt
- 1c. Præcision af nivellerinstrument og stadie

Disse parametre er blevet undersøgt ved at gennemføre testberegninger i programmet GeoADJUST, hvor der har været seks forskellige tiltag for øje:

- Tiltag 1. Forskellig opstillingstype
- Tiltag 2. Forskellig placering af totalstationen
- Tiltag 3. Forskelligt antal polære observationer til hvert nypunkt
- Tiltag 4. Forskellig dimension
- Tiltag 5. Forskellige totalstationer
- Tiltag 6. Implementering af geometrisk nivellement

Der er specifikt udvalgt a priori spredninger og netdesign i henhold til de konkrete tiltag, så resultatet af testberegninger kunne sammenlignes med hinanden og afsløre de procentvise forskelle, der skyldes et givent tiltag. Baseret på sammenligningerne og de procentvise forskelle, er der opstillet retningslinjer, som kan anvendes ved etablering af et konkret fikspunktsnet.

Det har vist sig, at *præcisionen af observationerne* generelt har større betydning for præcision og pålideligheden af et fikspunktsnet end *geometrien af nettet*. Derfor er retningslinjerne stillet op i denne specifikke rækkefølge ud fra et tidsmæssigt aspekt:

- 1. Benyt en totalstation med præcise observationer.
- 2. Hvis muligt, placer opstillingerne centralt, så sigtelængderne er korte og mere ens.
Hav samtidig øje for, hvordan systematiske fejl kan spille ind.
- 3. Benyt frie opstillinger.
- 4. Mål dernæst det antal observationer opgaven kræver.

5. Hvis nødvendigt, implementer geometrisk nivellement.
6. Tjek hvorvidt det planlagte netdesign giver det ønskede resultat ved at foretage en testberegning.

Ved at anvende retningslinjerne på den konkrete case, Projektet NAU, er der opstået problematikker, som der ikke har været taget højde for under testberegningerne. Projektet NAU strækker sig nemlig over et område på cirka 600 m på tværs og 1500 m på langs. Desuden er der ret store terrænforskelle, så det er ikke muligt at sigte til samtlige nypunkter fra samme opstilling. Det har givet et nyt perspektiv, fordi der brug for fokus på, hvordan opstillingerne forbindes med hinanden via de nypunkter, som de har til fælles. Det er en ny parametre, der bør undersøges separat. Retningslinjerne, som dette kandidatspeciale har ført frem til, viste sig ikke at være tilstrækkelige for etablering af det overordnede fikspunktsnet til Projektet NAU, da det første netdesign ikke levede op til det vurderede krav til nettet. Den sjette retningslinje blev først tilføjet senere under behandling af casen, Projektet NAU, fordi testberegning viste sig at være et vigtigt værktøj til at afklare, om ens netdesign lever op til de fastsatte krav.

En stringent efterlevelse af retningslinjerne pegede på, at det krævede flere polære observationer, men det viste sig at være tilstrækkeligt med en målrettet placering af et nyt opstillingspunkt. Fortjenesten herved var procentvis stor, så det tyder på, at det kan være til stor gavn at opstille retningslinjer for, hvordan opstillingspunkterne placeres bedst med fællespunkterne for øje.

Perspektivering 9

I denne perspektivering nævnes forskellige forslag til videre undersøgelser, der kan foretages i forlængelse af indholdet her i kandidatspecialet. Der er også opstået nogle ting, som godt kunne have været inkluderet eller gjort anderledes i projektet. Disse forslag bliver nævnt nedenfor.

Ting, der burde have været gjort anderledes

Til testberegningerne blev der anvendt en a priori spredning for instrumenthøjden på 0,005 m ved opstilling i kendt punkt. I første omgang blev det vurderet som en realistisk værdi, fordi instrumenthøjden typisk måles med tommestok, hvilket kan være en udfordring i et kuperet terræn.

Efterfølgende er vi af den overbevisning, at dette kan gøres langt bedre end en a priori spredning for instrumenthøjden på 0,005 m, fordi alle punkterne er veldefineret. Det vurderes sidenhen, at a priori spredningen maksimalt burde have været sat til 0,002 m.

Dette havde formentlig været medvirkende til at løse den udfordring, der opstod i nogle af testberegningerne, hvor "*opstilling i kendt punkt*" var anvendt, og bestemmelsen af koten til opstillingspunkterne havde en dårligere præcision og pålidelighed end i de resterende nypunkter.

Forslag til videre undersøgelser

Praktiske tests

Indledningsvis var det meningen, at efterprøve gennem en praktisk test, om det kunne bekræftes, at det giver en bedre præcision på 3D-afstandene at midle flere målinger, end totalstationen er sat til normalvis. Denne undren stammer fra interviewet med Arnt S. Madsen fra LE34 i Aalborg, hvor han fortalte, at det var et af de indstillinger, som de ændrede på ved totalstationen, da de etablerede det overordnede fikspunktsnet til Projektet NAU.

Den praktiske test blev sidenhen undladt på grund af nedlukningen af universitet grundet ny Coronavirus, så der ikke var adgang til instrumenterne.

Dette projekt bygger altså kun på en teoretisk tilgang ud fra testnet, og har derfor ikke nogle reelle observationer at validere resultaterne på. Det kunne have været givende at kontrollere en eller flere af testberegningerne, ved at lave en praktisk test, for at finde frem til, om de resultater, som testberegningerne ender ud i, er i nogenlunde samme størrelsesorden, som reelle observationer viser.

På universitetet er der normalvis Leica TS16 5" totalstationer til rådighed. Det ville derfor være oplagt at efterprøve et af de tilsvarende testnet, der er baseret på samme instrument,

eksempelvis netdesign FY4 eller KC3.

Her ville indholdet i afsnit 6.5 om variansfaktoren kunne anvendes, så det kunne vises gennem konkrete værdier, hvordan det kan være et vigtigt værktøj til at kontrollere sin udjævning med. Variansfaktoren kan blandt andet give information om, hvorvidt ens a priori spredninger til vægtmatricen har været korrekte.

Ny parameter om fællespunkter mellem opstillingerne

Det blev fundet ud af gennem testberegningerne til casen, Projektet NAU, at antallet og fordelingen af fællespunkter har en stor betydning for præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet. Denne parameter bør undersøges nærmere, så der også kan opstilles retningslinjer for, hvordan man skal håndtere denne parameter for opnå den bedste præcision og pålidelighed med det samme antal polære observationer til rådighed.

Krav til absolut nøjagtighed

Som nævnt allerede i indledningen, har dette projekt kun haft fokus på høj relativ præcision. En undersøgelse, hvor absolutte koordinatobservationer inddrages, kunne være interessant, da en specifik opgave kunne så vel have store krav til den absolutte nøjagtighed af et fikspunktsnet. Det åbner op for helt andre parametre. Eksempelvis vokser fikspunkternes absolutte koordinater jo længere man kommer væk fra de fastholdte punkter, så deres placering er af stor betydning for hvor nøjagtigt, det bliver. [Borre, 1990, s. 173]

Ligeledes kunne det være interessant at undersøge andre parametre, såsom antallet af fastholdte punkter og nøjagtigheden af disse punkter.

Blindt polygontræk

Alle netdesign der har været undersøgt, har haft mest til fælles med lukkede polygoner, men man kan også komme ud for situationer, hvor det ikke kan lade sig gøre, og man derfor bliver nødsaget til at lave et blindt polygontræk. I interviewet med Arnt S. Madsen, nævner han blandt andet, at der ved opmåling på skibe kan forekomme blinde polygontræk. Det at udføre et blindt polygontræk kan eventuelt give nogle andre retningslinjer end dem, som der er kommet frem til i dette kandidatspeciale. Eksempelvis forklarer Arnt kort, at det kunne være en fordel at anvende *opstilling i kendt punkt*, hvilket er en modsatrettet retningslinje til de retningslinjer, der er opstillet her, baseret på testberegningerne.

Det kunne altså være interessant at finde frem til hvilke retningslinjer, der gør sig gældende ved blinde polygontræk.

Tvangscentrering

Et metode til opstilling af totalstationen, som ikke har været nævnt tidligere i rapporten, er metoden *tvangscentrering*. Denne metode er behjælpelig, hvis man ønsker at nedbringe spredningen på højden og centreringen af instrumentet, hvor man ved brug af tvangscentrering kan komme ned på 0,1 mm. [Borre, 1990, s. 352].

I dette kandidatspeciale har de to opstillingstyper, *opstilling i kendt påunkt* og *fri opstilling*, være belyst, men det kunne være interessant om metoden *tvangscentrering* bidrager med andre kvaliteter, når der efterspørges høj præcisionen og pålideligheden af et fikspunktsnet.

Litteratur

- Amiri-Simkooei, 2001.** A. Amiri-Simkooei. *Comparison of reliability and geometrical strength criteria in geodetic networks*. Journal of Geodesy, 75, 227–233, 2001. doi: 10.1007/s001900100170.
- Amiri-Simkooei et al., 2012.** A. R. Amiri-Simkooei, M. ASCE, J. Asgari, F. Zangeneh-Nejad og S. Zaminpardaz. *Basic Concepts of Optimization and Design of Geodetic Networks*, Journal of Surveying Engineering, Vol. 138, No. 4, DOI: 10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000081, 2012.
- Baarda, 1982.** W. Baarda. *Daar heb ik veertig jaar over nagedacht: Forty Years of Thought, Festbundel ter gelegenheid van de 65ste verjaardag van Professor Baarda : Deel I. (artikel indeholdt i ZIP-fil)*. 1982.
- Borre, 1990.** Kai Borre. *Landmåling*. Central-Trykkeriet Nykøbing F. A/S, 1990. ISBN 8789088247.
- Caspary et al., 1987.** W.F. Caspary, J.M. Rüeger og University of New South Wales. School of Surveying. *Concepts of Network and Deformation Analysis*. Monograph (University of New South Wales. School of Surveying). School of Surveying, University of New South Wales, 1987. ISBN 9780858390447.
- Cederholm, 2000.** Peter Cederholm. *Udjævning*. Aalborg University, 1st revision, 2nd edition, 2000.
- Chrzanowski, 1989.** Adam Chrzanowski. *Implementation of trigonometric height traversing in geodetic levelling of high precision*, Department of Surveying Engineering, University of New Brunswick, Canada. <http://www2.unb.ca/gge/Pubs/TR142.pdf>, 1989.
- Garcia-Balboa et al., 2018.** Jose L. Garcia-Balboa, Antonio M. Ruiz-Armenteros, Jose Rodriguez-Avi, Juan F. Reinose-Gordo og Juan Robledillo-Roman. *A Field Procedure for the Assessment of the Centring Uncertainty of Geodetic and Surveying Instruments*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6210703/>, 2018.
- Gruendig, 1992.** L Gruendig. *Interaction of Criteria, Accuracy and Reliability and its Implication for the Design of Engineering Survey Control Networks, Optimization and Artificial Intelligence in Civil and Structural Engineering, Volume 1*, 525-544. Kluwer Academic Publishers, 1992.
- Jensen, 2011.** Karsten Jensen. *Landmåling i Teori og Praksis*. Aalborg University, ISBN 978-87-91830-57-0, 3rd edition, 2011.
- Jensen, 2017.** Karsten Jensen. *Introduktion til udjævning efter mindste kvadraters princip*. Aalborg Universitet, 2017.

- Larsen og Vognsen, 2019.** Henrik Larsen og Karsten Vognsen. *Geometrisk nivellementsudjævning, Teknisk Notat Nr. 2, Matematikken bag Geopartners udjævningsprogram (notat indeholdt i ZIP-fil)*, 2019.
- Leica Geosystems, 2015.** Leica Geosystems. *Leica LS Digital Levels, Data sheet*. https://w3.leica-geosystems.com/downloads123/zz/levels/general/brochures-datasheet/leica_ls_digital_levels_ds_us.pdf, 2015.
- Leica Geosystems, 2017.** Leica Geosystems. *Leica LS10/LS15, User Manual, Version 3.0, English*. http://www.surveyteq.com/uploads/p_3465DA06-9646-17AE-CEB2-1327F36390BD-1516880551.pdf, 2017.
- Leica Geosystems, 2016.** Leica Geosystems. *Leica TS16 User Manual, 819218-2.0.0en*, 2016.
- Leica Geosystems, 2020.** Leica Geosystems. *Leica Sprinter levels, Technical data sheet, senest downloaded 11. marts 2020*. https://leica-geosystems.com/-/media/files/leicageosystems/products/datasheets/leica_sprinter_levels_technical_ds.ashx?la=da&hash=12FB4B46EBF2A0DC1443A8566805376A, 2020.
- Leica Geosystems, 2019.** Leica Geosystems. *Leica Geosystem Total Station Comparison Chart, Data sheet, en - 05.19*, 2019.
- Ogundare, 2016.** John Olusegun Ogundare. *Precision Surveying: The Principles and Geomatics Practice*. John Wiley & Sons, Incorporated, 2016. ISBN 9781119147770, ProQuest Ebook Central.
- Sokkia, 2009.** Sokkia. *SokkiaSDL1X Digital Level*. https://eu.sokkia.com/sites/default/files/product/downloads/sdl1x_1.pdf, 2009.
- Stonex, 2017.** Stonex. *R1 Plus Total Station*. [https://www.stonex.it/wp-content/uploads/download_pdf/R1PLUS_Brochure_\[ENG\]compressed.pdf](https://www.stonex.it/wp-content/uploads/download_pdf/R1PLUS_Brochure_[ENG]compressed.pdf), 2017.
- Teskey et al., 1985.** William Francis Teskey, L Gruendig og Canadian Institute of Surveying. *Papers for the Precise Engineering and Deformation Surveys Workshop*. The University of Calgary, 1985. ISBN 0919088163.
- Topcon, 2017.** Topcon. *GT series robotic total station*. https://www.topconpositioning.com/sites/default/files/product_files/gt_series_datasheet_7010_2231_reva_sm.pdf, 2017.
- Trimble, 2015.** Trimble. *Trimble S8 Total Station, Datasheet*. <https://community.trimble.com/servlet/JiveServlet/downloadBody/1763-102-2-1774/Datasheet+-+Trimble+S8+-+English.pdf>, 2015.
- Trimble, 2017a.** Trimble. *Trimble DiNi*. <https://geospatial.trimble.com/sites/geospatial.trimble.com/files/2019-03/Datasheet%20-%20DiNi%20Digital%20Level%20-%20English%20A4%20-%20Screen.pdf>, 2017.

- Trimble, 2017b.** Trimble. *Trimble SX10*. <https://geospatial.trimble.com/sites/geospatial.trimble.com/files/2019-10/Datasheet%20-%20SX10%20Scanning%20Total%20Station%20-%C2%A0Danish%20-%20Screen.pdf>, 2017.
- Trimble, 2020.** Trimble. *Compare Robotic Total Stations, senest besøgt d. 6. marts 2020*. <https://geospatial.trimble.com/portfolios/254/compare>, 2020.
- Tuno et al., 2018.** Nedim Tuno, Jusuf Topoljak, Naida Ademovic og Admir Mulahusic. *A Simulation on the Expected Horizontal Accuracy of a Bridge Stakeput*. Tehnički vjesnik, 25(1), pp. 285-293. <https://doi.org/10.17559/TV-20161115105536>, ISSN 1330-3651, 2018.
- Vaníček et al., 2001.** P. Vaníček, M. Craymer og E.J. Krakiwsky. *Robustness analysis of geodetic horizontal networks*. Journal of Geodesy, 75, 199–209, 2001. doi: 10.1007/s001900100162.

Indhold af ZIP-fil



Dette bilag viser indholdet af ZIP-filen, der er vedlagt rapporten.

Testberegninger

Udj

Herunder ligger alle GeoAdjust udj. filerne fra testberegningerne i kapitel 6.

Dok

Herunder ligger alle dokumentationsfiler fra testberegningerne i kapitel 6.

Bnr_Net

Herunder ligger alle bnr filerne fra testberegningerne i kapitel 6.

Case Projektet NAU

Herunder ligger alle filerne til netdesign FB3, NAU9 og NAU10.

Litteratur

Barda1982 Daar heb ik veertig jaar over nagedacht.pdf

Juhl2019 Ny udjævningsmodel for landmålingsobservationer.pdf

Larsen og Vognsen2019 Geometrisk nivellementsudjævning - Teknisk Notat Nr. 2.pdf

Bagvedliggende tabeller fra testberegningerne

B

Dette bilag indeholder de bagvedliggende tabeller, som testberegningerne har ført til, og som ikke er vist eksplicit i kapitel 6.

TABELLER TILHØRENDE TILTAG 2: FORSKELLIG PLACERING AF TOTALSTATIONEN
(Altid fra "central" til "yderlig")

Forskellig placering af totalstationen:
(2 opstillinger)

	2 frie opstillinger (F2)				2 opstillinger i kendt punkt (K2)		
	FC2	FY2	%		KC2	KY2	%
s_P middel [mm]	0,85	0,92	8		0,86	0,99	16
s_H middel [mm]	1,03	1,45	41		1,04	2,05	96
s_E eller s_N max [mm]	1,10	1,20	9		1,10	1,30	18
s_H max [mm]	1,30	1,90	46		1,40	3,50	150
1/2_s_a_P middel [mm]	1,08	1,14	6		1,10	1,23	12
1/2_s_a_P max [mm]	1,70	1,70	0		1,60	1,90	19
s_H_r middel [mm]	1,09	1,34	23		1,15	2,24	95
s_H_r max [mm]	1,50	2,10	40		1,60	4,60	188
red_3D_afs. middel	0,47	0,36	-24		0,45	0,33	-26
red_hor middel	0,43	0,54	27		0,43	0,58	35
red_ver middel	0,47	0,47	0		0,43	0,46	7
red_3D_afs min	0,46	0,18	-61		0,36	0,14	-61
red_hor min	0,32	0,08	-75		0,26	0,15	-42
red_ver min	0,35	0,02	-94		0,02	0,03	50
EP_E max [mm]	2,20	4,10	86		2,80	3,90	39
EP_N max [mm]	2,40	4,10	71		2,40	7,70	96
EP_H max [mm]	3,90	11,0	182		14,90	11,50	-23

Tabel B.1. Forskellen fra central til yderlig placering af totalstationen ved 2 opstillinger.

Forskellig placering af totalstationen:

(3 opstillinger)

	3 frie opstillinger (F3)				3 opstillinger i kendt punkt (K3)		
	F C 3	F Y 3	%		K C 3	K Y 3	%
s_P middel [mm]	0,69	0,73	6		0,71	0,74	5
s_H middel [mm]	0,80	1,01	26		0,88	1,25	41
s_E eller s_N max [mm]	0,90	0,90	0		0,90	1,00	11
s_H max [mm]	1,00	1,20	20		1,10	2,00	82
1/2_s_a_P middel [mm]	0,86	0,91	6		0,88	0,94	7
1/2_s_a_P max [mm]	1,30	1,30	0		1,30	1,40	8
s_H_r middel [mm]	0,85	1,06	24		0,92	1,45	58
s_H_r max [mm]	1,20	1,30	8		1,30	2,50	92
red_3D_afs. middel [mm]	0,61	0,52	-15		0,60	0,51	-14
red_hor middel [mm]	0,59	0,68	16		0,58	0,69	18
red_ver middel [mm]	0,62	0,62	0		0,60	0,60	0
red_3D_afs min	0,57	0,39	-32		0,57	0,41	-28
red_hor min	0,35	0,30	-14		0,40	0,38	-5
red_ver min	0,25	0,05	-80		0,28	0,10	-64
EP_E max [mm]	1,70	1,90	12		1,40	1,70	21
EP_N max [mm]	1,70	2,00	18		1,40	1,70	21
EP_H max [mm]	3,60	6,30	75		2,70	5,70	111

Tabel B.2. Forskellen fra central til yderlig placering af totalstationen ved 3 opstillinger.**Forskellig placering af totalstationen:**

(4 opstillinger)

	4 frie opstillinger (F4)				4 opstillinger i kendt punkt (K4)		
	F C 4	F Y 4	%		K C 4	K Y 4	%
s_P middel [mm]	0,60	0,66	9		0,61	0,65	7
s_H middel [mm]	0,71	1,01	43		0,76	1,14	50
s_E eller s_N max [mm]	0,80	0,80	0		0,80	0,80	0
s_H max [mm]	0,90	1,10	22		0,90	1,60	78
1/2_s_a_P middel [mm]	0,74	0,80	8		0,79	0,81	3
1/2_s_a_P max [mm]	1,10	1,10	0		1,20	1,20	0
s_H_r middel [mm]	0,74	1,01	37		0,83	1,34	61
s_H_r max [mm]	1,00	1,20	20		1,10	2,10	91
red_3D_afs. middel	0,69	0,60	-13		0,66	0,59	-10
red_hor middel	0,66	0,75	14		0,67	0,76	13
red_ver middel	0,70	0,70	0		0,68	0,69	1
red_3D_afs min	0,66	0,54	-18		0,55	0,51	-7
red_hor min	0,47	0,28	-40		0,46	0,47	2
red_ver min	0,40	0,07	-83		0,29	0,17	-41
EP_E max [mm]	1,00	1,40	40		1,00	1,30	30
EP_N max [mm]	1,20	1,50	25		1,20	1,30	8
EP_H max [mm]	2,40	5,20	117		2,60	3,80	46

Tabel B.3. Forskellen fra central til yderlig placering af totalstationen ved 3 opstillinger.

TABELLER TILHØRENDE TILTAG 3: ANTAL MÅLINGER TIL HVERT NYPUNKT

Forskellig antal målinger:

("Fri opstilling", centralt)

	"Fri opstilling", centralt (FC)					
	FC2	FC3	FC4	% fra: 2-3	% fra: 2-4	% fra: 3-4
s_P middel [mm]	0,85	0,69	0,60	-19	-29	-12
s_H middel [mm]	1,03	0,80	0,71	-22	-31	-12
s_E eller s_N max [mm]	1,10	0,90	0,80	-18	-27	-11
s_H max [mm]	1,30	1,00	0,90	-23	-31	-10
1/2_s_a_P middel [mm]	1,08	0,86	0,74	-20	-32	-14
1/2_s_a_P max [mm]	1,70	1,30	1,10	-24	-35	-15
s_H_r middel [mm]	1,09	0,85	0,74	-21	-32	-14
s_H_r max [mm]	1,50	1,20	1,00	-20	-33	-17
red_3D_afs. middel	0,47	0,61	0,69	29	47	13
red_hor middel	0,43	0,59	0,66	38	54	12
red_ver middel	0,47	0,62	0,70	33	50	12
red_3D_afs min	0,46	0,57	0,66	24	43	16
red_hor min	0,32	0,35	0,47	9	47	34
red_ver min	0,35	0,25	0,40	-29	14	60
EP_E max [mm]	2,20	1,70	1,00	-23	-55	-41
EP_N max [mm]	2,40	1,70	1,20	-29	-50	-29
EP_H max [mm]	3,90	3,60	2,40	-8	-38	-33

Tabel B.4. Forskellig antal målinger ved "fri opstilling", centralt.**Forskellig antal målinger:**

("Fri opstilling", yderligt)

	"Fri opstilling", yderligt (FY)					
	FY2	FY3	FY4	% 2 $\Rightarrow$ 3	% 2 $\Rightarrow$ 4	% 3 $\Rightarrow$ 4
s_P middel [mm]	0,92	0,73	0,66	-21	-29	-10
s_H middel [mm]	1,45	1,01	1,01	-30	-30	0
s_E eller s_N max [mm]	1,20	0,90	0,80	-25	-33	-11
s_H max [mm]	1,90	1,20	1,10	-37	-42	-8
1/2_s_a_P middel [mm]	1,14	0,91	0,80	-20	-30	-12
1/2_s_a_P max [mm]	1,70	1,30	1,10	-24	-35	-15
s_H_r middel [mm]	1,34	1,06	1,01	-21	-25	-4
s_H_r max [mm]	2,10	1,30	1,20	-38	-43	-8
red_3D_afs. middel	0,36	0,52	0,60	44	68	16
red_hor middel	0,54	0,68	0,75	26	38	10
red_ver middel	0,47	0,62	0,70	33	50	13
red_3D_afs min	0,18	0,39	0,54	117	200	38
red_hor min	0,08	0,30	0,28	275	250	-7
red_ver min	0,02	0,05	0,07	150	250	40
EP_E max [mm]	4,10	1,90	1,40	-54	-66	-26
EP_N max [mm]	4,10	2,00	1,50	-51	-63	-25
EP_H max [mm]	11,0	6,3	5,20	-43	-53	-17

Tabel B.5. Forskellig antal målinger ved "Fri opstilling", yderligt.

Forskellig antal målinger:

("Opstilling i kendt punkt", centralt)

	"Opstilling i kendt punkt", centralt (KC)					
	KC2	KC3	KC4	% 2 $\Rightarrow$ 3	% 2 $\Rightarrow$ 4	% 3 $\Rightarrow$ 4
s_P middel [mm]	0,86	0,71	0,61	-17	-29	-14
s_H middel [mm]	1,04	0,88	0,76	-15	-27	-14
s_E eller s_N max [mm]	1,10	0,90	0,80	-18	-27	-11
s_H max [mm]	1,40	1,10	0,90	-21	-36	-18
1/2_s_a_P middel [mm]	1,10	0,88	0,79	-20	-28	-10
1/2_s_a_P max [mm]	1,60	1,30	1,20	-19	-25	-8
s_H_r middel [mm]	1,15	0,92	0,83	-20	-27	-9
s_H_r max [mm]	1,60	1,30	1,10	-19	-31	-15
red_3D_afs. middel	0,45	0,60	0,66	34	48	11
red_hor middel	0,43	0,58	0,67	36	57	16
red_ver middel	0,43	0,60	0,68	38	58	14
red_3D_afs min	0,36	0,57	0,55	58	53	-4
red_hor min	0,26	0,40	0,46	54	77	15
red_ver min	0,02	0,28	0,29	1300	1350	4
EP_E max [mm]	2,80	1,40	1,00	-50	-64	-29
EP_N max [mm]	2,40	1,40	1,20	-42	-50	-14
EP_H max [mm]	14,90	2,70	2,60	-82	-83	-4

Tabel B.6. Forskellig antal målinger ved "Opstilling i kendt punkt", centralt.**Forskellig antal målinger:**

("Opstilling i kendt punkt", yderligt)

	"Opstilling i kendt punkt", yderligt (KY)					
	KY2	KY3	KY4	% 2 $\Rightarrow$ 3	% 2 $\Rightarrow$ 4	% 3 $\Rightarrow$ 4
s_P middel [mm]	0,99	0,74	0,65	-25	-34	-12
s_H middel [mm]	2,05	1,25	1,14	-39	-44	-9
s_E eller s_N max [mm]	1,30	1,00	0,80	-23	-38	-20
s_H max [mm]	3,50	2,00	1,60	-43	-54	-20
1/2_s_a_P middel [mm]	1,23	0,94	0,81	-24	-34	-13
1/2_s_a_P max [mm]	1,90	1,40	1,20	-26	-37	-14
s_H_r middel [mm]	2,24	1,45	1,34	-35	-40	-8
s_H_r max [mm]	4,60	2,50	2,10	-46	-54	-16
red_3D_afs. middel	0,33	0,51	0,59	54	78	16
red_hor middel	0,58	0,69	0,76	19	31	10
red_ver middel	0,46	0,60	0,69	31	49	14
red_3D_afs min	0,14	0,41	0,51	193	264	24
red_hor min	0,15	0,38	0,47	153	213	24
red_ver min	0,03	0,10	0,17	233	467	70
EP_E max [mm]	3,90	1,70	1,30	-56	-67	-24
EP_N max [mm]	4,70	1,70	1,30	-64	-72	-24
EP_H max [mm]	11,50	5,70	3,80	-50	-67	-33

Tabel B.7. Forskellig antal målinger ved "Opstilling i kendt punkt", yderligt.

TABELLER TILHØRENDE TILTAG 4: FORSKELLIG DIMENSION

Forskellig dimension:

(KC3 og KY3)

	Netdesign KC3				Netdesign KY3		
	Indeks 100	Indeks 25	%		Indeks 100	Indeks 25	%
s_P middel [mm]	0,71	0,56	-21		0,74	0,56	-25
s_H middel [mm]	0,88	0,44	-50		1,25	0,52	-59
s_E eller s_N max [mm]	0,90	0,70	-22		1,00	0,70	-30
s_H max [mm]	1,10	0,50	-55		2,00	0,60	-70
1/2_s_a_P middel [mm]	0,88	0,65	-26		0,94	0,69	-26
1/2_s_a_P max [mm]	1,30	0,80	-38		1,40	1,00	-29
s_H_r middel [mm]	0,92	0,46	-50		1,45	0,53	-64
s_H_r max [mm]	1,30	0,50	-62		2,50	0,60	-76
red_3D_afs. middel	0,60	0,66	10		0,51	0,68	33
red_hor middel	0,58	0,51	-11		0,69	0,50	-28
red_ver middel	0,60	0,60	0		0,60	0,60	0
red_3D_afs min	0,57	0,61	7		0,41	0,60	46
red_hor min	0,40	0,42	5		0,38	0,42	11
red_ver min	0,28	0,45	61		0,10	0,44	340
EP_E max [mm]	1,40	1,10	21		1,70	1,20	-29
EP_N max [mm]	1,40	1,10	21		1,70	1,30	-24
EP_H max [mm]	2,70	1,20	-56		5,70	1,40	-75

Tabel B.8. Forskellen ved reducere af dimensionen af KC3 og KY3 med 75 %.**Forskellig dimension:**

(FY3 og KY4)

	Netdesign FY3				Netdesign KY4		
	Indeks 100	Indeks 25	%		Indeks 100	Indeks 25	%
s_P middel [mm]	0,73	0,56	-23		0,65	0,49	-25
s_H middel [mm]	1,01	0,50	-51		1,14	0,43	-62
s_E eller s_N max [mm]	0,90	0,70	-22		0,80	0,60	-25
s_H max [mm]	1,20	0,50	-58		1,60	0,50	-69
1/2_s_a_P middel [mm]	0,91	0,68	-25		0,81	0,60	-27
1/2_s_a_P max [mm]	1,30	1,00	-23		1,20	0,90	-25
s_H_r middel [mm]	1,06	0,50	-53		1,34	0,45	-66
s_H_r max [mm]	1,30	0,50	-62		2,10	0,50	-76
red_3D_afs. middel	0,52	0,69	33		0,59	0,74	25
red_hor middel	0,68	0,51	-25		0,76	0,59	-22
red_ver middel	0,62	0,62	0		0,69	0,68	-1
red_3D_afs min	0,39	0,61	56		0,51	0,68	33
red_hor min	0,30	0,42	40		0,47	0,52	11
red_ver min	0,05	0,50	900		0,17	0,59	247
EP_E max [mm]	1,90	1,20	-37		1,30	0,90	-31
EP_N max [mm]	2,00	1,20	-40		1,30	0,90	-31
EP_H max [mm]	6,30	1,00	-84		3,80	0,90	-76

Tabel B.9. Forskellen ved reducere af dimensionen af FY3 og KY4 med 75 %.

TABELLER TILHØRENDE TILTAG 5: FORSKELLIGE TOTALSTATIONER

Forskellige totalstationer:

(Netdesign KY3)

	Netdesign KY3					
	TS16 5"	TS16 1"	TS60 0,5"	% 5" $\Rightarrow$ 1"	% 5" $\Rightarrow$ 0,5"	% 1" $\Rightarrow$ 0,5"
s_P middel [mm]	1,37	1,10	0,74	-20	-46	-33
s_H middel [mm]	6,22	1,74	1,25	-72	-80	-28
s_E eller s_N max [mm]	1,60	1,40	1,00	-13	-38	-29
s_H max [mm]	7,10	2,60	2,00	-63	-72	-23
1/2_s_a_P middel [mm]	1,69	1,38	0,94	-18	-45	-32
1/2_s_a_P max [mm]	2,50	2,00	1,40	-20	-44	-30
s_H_r middel [mm]	6,72	2,01	1,45	-70	-78	-28
s_H_r max [mm]	7,90	3,30	2,50	-58	-68	-24
red_3D_afs. middel	0,33	0,49	0,51	50	57	5
red_hor middel	0,91	0,74	0,69	-19	-24	-7
red_ver middel	0,65	0,61	0,60	-7	-8	-1
red_3D_afs. min	0,09	0,38	0,41	322	356	8
red_hor min	0,82	0,35	0,38	-57	-54	9
red_ver min	0,11	0,11	0,10	0	-9	-9
EP_E max [mm]	10,50	3,00	1,70	-71	-84	-43
EP_N max [mm]	10,00	3,10	1,70	-69	-83	-45
EP_H max [mm]	30,70	7,10	5,70	-77	-81	-20

Tabel B.10. Forskellen ved forskellige totalstationer, netdesign KY3.

Forskellige totalstationer:

(Netdesign KC3)

	Netdesign KC3					
	TS16 5"	TS16 1"	TS60 0,5"	% 5" $\Rightarrow$ 1"	% 5" $\Rightarrow$ 0,5"	% 1" $\Rightarrow$ 0,5"
s_P middel [mm]	2,11	1,11	0,71	-48	-66	-36
s_H middel [mm]	5,86	1,34	0,88	-77	-85	-34
s_E eller s_N max [mm]	2,90	1,40	0,90	-52	-69	-36
s_H max [mm]	7,10	1,60	1,10	-77	-85	-31
1/2_s_a_P middel [mm]	3,17	1,44	0,88	-55	-72	-39
1/2_s_a_P max [mm]	5,40	2,20	1,30	-59	-76	-41
s_H_r middel [mm]	5,95	1,38	0,92	-77	-85	-34
s_H_r max [mm]	8,30	1,90	1,30	-77	-84	-32
red_3D_afs. middel	0,39	0,59	0,60	51	53	2
red_hor middel	0,85	0,62	0,58	-28	-32	-6
red_ver middel	0,62	0,60	0,60	-4	-4	0
red_3D_afs. min	0,14	0,54	0,57	286	307	6
red_hor min	0,58	0,33	0,40	-43	-31	21
red_ver min	0,28	0,25	0,28	-11	0	12
EP_E max [mm]	12,20	2,60	1,40	-79	-89	-46
EP_N max [mm]	10,20	2,40	1,40	-76	-86	-42
EP_H max [mm]	16,80	3,90	2,70	-77	-84	-31

Tabel B.11. Forskellen ved forskellige totalstationer, netdesign KC3.**Forskellige totalstationer:**

(Netdesign FY4)

	Netdesign FY4					
	TS16 5"	TS16 1"	TS60 0,5"	% 5" $\Rightarrow$ 1"	% 5" $\Rightarrow$ 0,5"	% 1" $\Rightarrow$ 0,5"
s_P middel [mm]	1,15	0,98	0,66	-15	-43	-33
s_H middel [mm]	6,08	1,47	1,01	-76	-83	-31
s_E eller s_N max [mm]	1,30	1,20	0,80	-8	-38	-33
s_H max [mm]	6,80	1,60	1,10	-76	-84	-31
1/2_s_a_P middel [mm]	1,39	1,18	0,80	-15	-42	-32
1/2_s_a_P max [mm]	1,90	1,60	1,10	-16	-42	-31
s_H_r middel [mm]	6,09	1,46	1,01	-76	-83	-31
s_H_r max [mm]	7,40	1,70	1,20	-77	-84	-29
red_3D_afs. middel	0,46	0,58	0,60	26	31	4
red_hor middel	0,89	0,77	0,75	-13	-16	-3
red_ver middel	0,70	0,70	0,70	0	0	0
red_3D_afs. min	0,34	0,53	0,54	53	59	4
red_hor min	0,27	0,15	0,28	-44	4	87
red_ver min	0,01	0,04	0,07	300	600	75
EP_E max [mm]	4,00	2,10	1,40	-48	-65	-33
EP_N max [mm]	3,30	2,30	1,50	-30	-55	-35
EP_H max [mm]	28,50	7,20	5,20	-75	-82	-28

Tabel B.12. Forskellen ved forskellige totalstationer, netdesign FY4.

TABELLER TILHØRENDE TILTAG 6: IMPLEMENTERING AF GEOMETRISK NIVELLEMENT

Implementering af geometrisk nivellement:

(Netdesign KY2)

	Netdesign KY2					
	Uden geo.niv.	m. Leica Sprinter 250M	m. Leica LS15	% U. geo.niv ⇒ Sprinter 250M	% U. geo.niv. ⇒ LS15	% Sprinter 250M ⇒ LS15
s_H middel [mm]	2,05	0,98	0,28	-52	-87	-72
s_H max [mm]	3,50	1,10	0,30	-69	-91	-73
s_H_r middel [mm]	2,24	0,95	0,28	-57	-88	-71
s_H_r max [mm]	4,60	1,20	0,40	-74	-91	-67
red_ver middel	0,46	0,76	0,91	65	98	20
red_1D_afs middel		0,69	0,55			-21
red_ver min	0,03	0,32	0,62	967	1967	94
red_1D_afs min		0,66	0,55			-17
EP_H max [mm]	11,50	2,00	0,50	-83	-96	-75

Tabel B.13. Implementering af geometrisk nivellement for netdesign KY2.**Implementering af geometrisk nivellement:**

(Netdesign KY3)

	Netdesign KY3					
	Uden geo.niv.	m. Leica Sprinter 250M	m. Leica LS15	% U. geo.niv ⇒ Sprinter 250M	% U. geo.niv. ⇒ LS15	% Sprinter 250M ⇒ LS15
s_H middel [mm]	1,25	0,78	0,28	-38	-78	-65
s_H max [mm]	2,00	0,90	0,30	-55	-85	-67
s_H_r middel [mm]	1,45	0,81	0,28	-44	-81	-66
s_H_r max [mm]	2,50	1,00	0,30	-60	-88	-70
red_ver middel	0,60	0,78	0,91	29	51	17
red_1D_afs middel		0,75	0,56			-25
red_ver min	0,10	0,37	0,63	270	530	70
red_1D_afs min		0,70	0,56			-20
EP_H max [mm]	5,70	1,50	0,50	-74	-91	-67

Tabel B.14. Implementering af geometrisk nivellement for netdesign KY3.**Implementering af geometrisk nivellement:**

(Netdesign FC4)

	Netdesign FC4					
	Uden geo.niv.	m. Leica Sprinter 250M	m. Leica LS15	% U. geo.niv ⇒ Sprinter 250M	% U. geo.niv. ⇒ LS15	% Sprinter 250M ⇒ LS15
s_H middel [mm]	0,71	0,57	0,27	-19	-62	-53
s_H max [mm]	0,90	0,70	0,30	-22	-67	-57
s_H_r middel [mm]	0,74	0,59	0,27	-21	-64	-54
s_H_r max [mm]	1,00	0,70	0,30	-30	-70	-57
red_ver middel	0,70	0,78	0,90	11	29	16
red_1D_afs middel		0,84	0,60			-29
red_ver min	0,40	0,55	0,74	38	85	35
red_1D_afs min		0,81	0,59			-27
EP_H max [mm]	2,40	1,10	0,40	-54	-83	-64

Tabel B.15. Implementering af geometrisk nivellement for netdesign FC4.

Udbudsbetingelser vedrørende NAU



Vises på de næste seks sider.

I gode hænder hos
REGION NORDJYLLAND

Projektafdelingen Nyt
Aalborg Universitetshospital

Region Nordjylland
Niels Bohrsvej 30
9220 Aalborg Ø
www.nytaalborguh.m.dk

9. april 2013

UDBUDSBETINGELSER

Nyt Aalborg Universitetshospital - landinspektøropgave



REGION NORDJYLLAND

Indholdsfortegnelse:

1.	Indledning	3
1.1.	Den ordregivende myndighed	3
1.1.1.	Kontaktperson	3
2.	Beskrivelse af opgaven	3
2.1.	Etablering af overordnet fixpunktsystem	3
2.2.	Nivellement	4
3.	Leverandørens ydelse til ordregiver	4
3.1.	Fixpunkter	4
3.2.	Nivellement	4
4.	Tidsplan	5
5.	Tildelingskriterium	5
6.	Tilbudsbetingelser	5
7.	Aftalegrundlaget	5
8.	Spørgsmål og rettelser	5
9.	Tilbudsfrist m.v.	5
10.	Vedståelse af tilbuddet	6

UDBUDSBETINGELSER

1. Indledning

Disse udbudsbetingelser gælder for Region Nordjyllands udbud af landinspektøropgaver udført på et areal beliggende i Aalborg Øst til brug for opførelse af Nyt Aalborg Universitetshospital.

Opgaven tildeles som en delkontrakt jfr. Udbudsdirektivet art. 9 stk. 5 litra a, og er derfor ikke omfattet af hverken EU-Udbudsdirektivet eller Tilbudsloven.

1.1. Den ordregivende myndighed

Den ordregivende myndighed er Region Nordjylland, Projektafdelingen.

1.1.1. Kontaktperson

Alle henvendelser forud for tilbudsafgivelsen skal rettes til:

Region Nordjylland
Projektafdelingen
Niels Bohrs Vej 30
9220 Aalborg Ø

Att.: Poul Møller
E-mail: pomo@rn.dk

Alle henvendelser skal ske skriftligt, og måtte der opstå uoverensstemmelse mellem ordregivers skriftlige angivelser og mundtlige udsagn, skal de skriftlige angivelser til enhver tid gælde forud.

2. Beskrivelse af opgaven

Opgaven består i etablering af et overordnet fixpunktssystem samt i fladenivellement af hele det område, der er omfattet af lokalplan 4-4-109. Området fremgår af bilag 1. Detaljeret beskrivelse af opgaverne fremgår af disse udbudsbetingelser.

2.1. Etablering af overordnet fixpunktssystem

Der skal på området, langs skellene med en indbyrdes afstand på ca. 150 m i to etaper jfr. pkt. 4, etableres henholdsvis 5 punkter langs nord- og sydsiden af arealet og 9 punkter langs øst- og vestskeletet, i alt 28 fixpunkter. Punkterne placeres 3-5 m inden for skellinien.

De overordnede fixpunkter skal bestemmes med XYZ-koordinater med en indbyrdes nøjagtighed på +/- 2 mm. X- og Y-koordinaterne bestemmes i referencesystem DKTM2, medens højdebestemmelsen (Z-koordinaten) beskrives i DVR90.

Den fysiske etablering af fixpunkterne skal i praksis ske ved, at der graves ned til frostfri dybde, hvor der placeres et fundament ca. 100 x 100 x 30 cm i beton, hvori der indstøbes et lodret Ø30 betonrør med en

længde, således at toppen af røret er 30 cm over terræn. Betonrøret fyldes med beton, og i toppen af betonrøret placeres dels en indstøbningsbolt af fabrikat Goecke type 14AS med Beskyttelseshætte type 14AS-K (bilag 2) til montering af et prisme og dels en bolt af fabrikat Goecke type SL-B (bilag 3), som udgør kotefixpunktet til nivellementet. Herefter opfyldes hullet med jord, og uden om Ø30 betonrøret placeres en Ø100 betonring som beskyttelse af punktet.

2.2. Nivellement

Der skal udføres et fladenivellement af hele det på bilag 1 viste område – absolut nøjagtighed bedre end +/- 3 cm for alle opmålte punkter. Referencesystem skal være DKTM2 og DVR90, indordnet i det fixpunktsystem etableret jfr. pkt. 2.1. Nivellementet skal udføres i et grid på max 25 x 25 m og med måling af alle brudlinjer i terræn.

Vejmidten og vejsiden (vejbelægningen) ind mod arealet skal koordineres og kotesættes med 25 m afstand mellem punkterne markeret med "A" på Hadsund Landevej (vist med rød streg på bilag 1) samt på Selma Lagerlöfs Vej mellem punkterne markeret med "B".

3. Leverandørens ydelse til ordregiver

3.1. Fixpunkter

For hvert fixpunkt jfr. pkt. 2.1 leveres en fixpunktskitse med angivelse af placeringen, afmærkning, lokal fixpunktnummer og XYZ- koordinater til punktet.

3.2. Nivellement

De opmålte kotepunkter til fladenivellementet afleveres digitalt i en 3D-fil suppleret med den beregnede trekantsmodel med de genererede højdekurver. Opmålingen skal kunne anvendes digitalt til projektering og fremsendes til ordregiver i form af AutoCad (Dwg) med punkter og terrænbundlinjer indtegnet i 3D, format Revit(rvt) og i DSFL-format.

Der skal endvidere afleveres 5 stk. plantegninger i måleforhold 1 : 2000 med indtegnede højdekurver 0,25 m.

3.3. Tidsplan

Opgaven jfr. pkt. 2.1 forventes udført i to etaper.

I perioden 22.4. – 29.4.2013 skal der etableres 2 fixpunkter, der placeres efter nærmere aftale med udbyder..

De øvrige fixpunkter skal etableres efter nærmere aftale med udbyder, formentlig efter høsten ultimo august 2013.

Opgaven jfr. pkt. 2.2 skal udføres i perioden 1.5 – 31.5.2013

Tilbudsgiver skal være forberedt på, at opgaven kan udstrækkes ud over de anførte tidspunkter, uden at tilbudsgiver derved vil få krav på ekstrabetaling. Det er ordregivers ønske, at opgaven tidsmæssigt optimeres, således at forløbet bliver kortest muligt. Den endelige tidsplan vil blive fastlagt i forbindelse med kontraktsindgåelse.

Såfremt den ovenfor nævnte afleveringsdag (h.h.v. 29.4.2013 og 31.5.2013) samt for senere aftalte afleveringsdage overskrides forfalder der en dagbod jfr ABR89 pkt. 6.1.1 på kr.5.000 pr. arbejdsdag.

4. Tildelingskriterium

Tildelingen sker på baggrund af tildelingskriteriet "Laveste pris".

5. Tilbudsbetingelser

Tilbudsgiver skal afgive tilbud på baggrund af nærværende udbudsmateriale under overholdelse af den for opgavens løsning gældende lovgivning, herunder bekendtgørelser, cirkulærer og vejledninger.

6. Aftalegrundlaget

Kontrakten indgås på baggrund af hele udbudsmaterialet, herunder eventuelle rettelsesblade og spørgsmål/svar samt ABR89. Honoraret er fast jfr. ABR89 pkt. 3.1.1.1. Udlæg efter ABR89 pkt. 3.2 skal være indeholdt i det faste honorar, idet der ikke ydes vederlag e.l. udover det faste honorar.

Honoraret forfalder til betaling når opgaven er udført og ydelserne jfr. pkt. 3 er leveret til ordregiver.

7. Spørgsmål og rettelser

Tilbudsgiver kan skriftligt stille spørgsmål til udbudsbetingelserne og udbudsforretningen i øvrigt.

Spørgsmål vil blive besvaret skriftligt. Spørgsmål skal være afgivet til ordregiver senest den 12. april 2013, og svar og eventuelle rettelser vil i anonymiseret form blive tilstillet alle deltagere i udbuddet.

8. Tilbudsfrist m.v.

Tilbud skal være ordregiver i hænde senest

onsdag den 17. april 2013 kl. 12.00.

Tilbud, der modtages efter dette tidspunkt, vil ikke blive taget i betragtning og vil blive returneret uåbnet.

Tilbud skal sendes eller leveres til:

Region Nordjylland, Projektafdelingen

Niels Bohrs Vej 30

9220 Aalborg Øst

Att.: Poul Møller

Tilbud kan ikke sendes elektronisk, men sendes eller indleveres til den ovenfor angivne adresse.

Tilbud mærkes "Udbud af landinspektøropgave" og med tydelig angivelse "Må ikke åbnes i postmodtagelsen".

Tilbud skal afleveres i 3 papireksemplarer, hvoraf ét skal være underskrevet,

De tilbud, der modtages rettidigt, vil blive åbnet umiddelbart efter tilbudsfristens udløb. Tilbudsgiveren har ikke adgang til at overvære åbningen af tilbud.

9. Vedståelse af tilbuddet

Tilbudsgiver skal vedstå sit tilbud i 3 måneder regnet fra tilbudsfristens udløb.

Ordregiver anser ikke udbudsforretningen for afsluttet, før kontrakten er underskrevet.

Aalborg den 9. april 2013

Interview med Arnt S. Madsen fra LE34 i Aalborg

D

Hvordan har I etableret fikspunktsnettet for det nye universitetssygehus i Aalborg?

Det startede tilbage i 2013. Ifølge udbudsbetingelserne var der krav om 28 fikspunkter rundt omkring området i rammen med 150 meters mellemrum. Netmålingen krævede lange sigter helt op til 3-400 m. Så det blev udført i godt vejr og ved brug af autolock. Instrumenterne var nykalibreret. Hvert fikspunkt blev målt med minimum 3 satser fra opstillinger med forskellig geometri. De gemte observationer var også baseret på en midling af flere målinger. Vi viste vores plan over de 28 fikspunkter til godkendelse. Med hensyn til opbygningen af fikspunkterne var vi ikke enige med projektafdelingens valg. Vi foreslog, at X,Y, Z koordinaterne skal gælde for det samme punkt; et veldefineret fikspunktssøm, der er støbt ned i toppen af et betonrør, der stikker en meter ned i dybden.

Alle punkter er nivelleret 2 gange med Leica udstyr til præcisionsnivellelement. Lukkesum på 1 mm/km. Det foregik i 3 løkker. Højden er ikke godt nok med totalstation pga. de lange afstande. Til det geometriske nivellelement blev 3-4 højdefikspunkter udenfor området anvendt.

Det hele er holdt i skala 1. Transformeret ind i tyngdepunktet. Det er derfor et lokalt system, hvor koordinaterne ligner DKTM2. Ensidig fejl ind mod midten, hvis man måler med GPS, og der er ca. 1 cm fejl mod kanten. Med totalstation passer fikspunkterne indbyrdes, hvis man indstiller til lokalt system. Præcisionen blev omkring 1 mm på X,Y. Krav var 2 mm.

Alt målt med miniprisme, hvor sigteskivehøjden er 10 cm, og prismet blev stabiliseret af en holder.

Det er helt rigtigt, at have den store ramme fra starten af. Det nye område, der snart skal udbygges har ikke været en del af den originale ramme, men det bliver heller ikke forbundet med de øvrige bygninger gennem en tunnel eksempelvis. Så bare det passer internt. Når fikspunktsnettet skal udvides, vil der igen blive brugt mange forskellige fikspunkter. Normalvis når arkitekter uploader en 3D model i DVG format, som skal passe med de øvrige bygninger, så kræver vi, at der minimum er 3 originale fikspunkter fra rammen (3 af de 28 originale fikspunkter), så vi kan kontrollere tegningerne.

Generelt bliver koordinaterne til fikspunkterne ændret løbende, hvis man kan se at de ikke passer så godt længere? Hvordan sørger I så for, at bygningerne passer relativt sammen?

I starten sætter de sig. De første 3 år blev de 28 overordnede fikspunkter brugt flittigt. De blev testet hvert år. Når man stiller totalstationen op sigter man til 4-5 fikspunkter, så man kan se, om nogle af fikspunkterne har bevæget sig. Nogle af de 28 fikspunkter har endda været dækket til af jord og gravet frem igen.

Det bedste er, at få sat prismen op. Der var ikke noget af sætte op på i starten. Så efter 2-3 år blev det sat prismen op på bygninger. 3 på skurbyen. De sidder fast altid, men de giver sig. Når prismen gemmes, så måles flest mulig af postumenterne (de 28 overordnede fikspunkter), og så vurderer, hvilke der har givet sig.

I X,Y er det vigtigst, at det passer sammen relativt, Alle fikspunkter var målt minimum 3 gange i forskellig geometri med totalstation S8, halvsekunds. Til normal bygningsafsætning, så behøver det ikke være S8. Nu etablerer vi løbende retromærker på bygninger, og de sætter sig meget, fx 5 mm, når der er kommet flere etager ovenpå.

Nu anvendes prismen. Der er suppleret med prismen. Nogle er flyttet nogle gange. I enkelte tilfælde har entreprenøren bedt om fikspunkter på steder, hvor de synker for meget til, at vi vil påtage os ansvaret efterfølgende, for eksempel blev nogle sat ovenpå en jordvold. Tørken i 2018 var også et problem pga. kridt i jorden, som tørrede ind. Derudover er skurbyen lavet af træ, og prismen blev målt ind i frostvejr. Senere på en varm solskinsdag var det udvidet 1,5 cm, så vi bestemte en middellokation. Derfor er det vigtigt at måle til 4-5 fikspunkter ved afsætning.

Regionen har købt prismen. De gode 360 prismen, der er væsentligt dyrere, er placeret, hvor det har været vigtigst, og de sidder fast med snaplås, så når der er mere aktivitet i et bestemt område, så flyttes de gode prismen. Vi har selv fundet ud af, hvordan prismen skulle monteres, så vi er selv kommet med flere af løsningsforslagene.

Det er vigtigt at være et skridt foran og etablere nye fikspunkter, inden de gamle fjernes. Man kan også risikere, at bygningerne bliver så høje, at de blokerer. Så planerne ændrer sig.

Vi har løbende suppleret med retromærker. Råhuset blev påbegyndt i 2017, og der har været etableret 2000 retromærker. Normalvis bliver der først målt ud til prismen, og så trækkes det ind via retromærker. Retromærkerne skal blandt andet anvendes til metermærker og gulve, der består af rågulv, isolering, flim og gummifuger under skillevæggene for, at lyden ikke spreder sig. Der er også indrykket modullinjer til vinduefolk og indre facader. Prismen bliver opdateret ud fra naboprismen baseret på en vurdering. Det passer inden for 2 mm. Det er relativt let af finde fejl, hvis et fikspunkt har bevæget sig.

Vi regner ikke længere med at gå tilbage til de oprindelige 28 fikspunkter, nogle af dem er gået tabt sidenhen. Men de kunne ikke have været undværet, selvom de var dyre at etablere.

Bruger I nogensinde opstilling i kendt punkt, hvis det kan undgås?

I sådan her et projekt. Nej. Ved blind polygontræk kan det være en fordel. Selvom det optisk lod i totalstationen kalibreres, vil der være fejl i opstilling, hvorimod fri opstilling med flere fikspunkter er bedre. Ved opmåling på skibe er der ikke altid fornuftig geometri til at lave friopstilling. Så vil det være en fordel at stille op i kendt punkt og lave blindt polygontræk.

De er lykkedes os at komme under kravene. Ved opmåling på skibe skal kompensatoren slås fra, så totalstationen følger skibets bevægelser. Vi ved ikke i starten, om totalstationen står parallelt med skibets plan. Det kræver 3D transformation at sammensætte hver opstilling med hinanden. Ved disse opgaver kommer vi ikke ned på millimeterniveau.

A priori spredninger for identificerede parametre



I dette bilag vil de forskellige parametre, omtalt i kapitel 4 med hensyn til C -matricen, blive undersøgt nærmere

Parametre tilhørende totalstation

Det førstnævnte opmålingsværktøj er selve totalstationen. Her findes der mange forskellige fabrikanter, som hver især har forskellige specifikationer. Der vil derfor blive set på nogle af de forskellige producenter og dertilhørende præcision for instrumenterne, hvor der vil være fokus på de nedenstående værdier:

1b. Præcision af totalstationen

- Spredningen på en horisontalretning
- Spredningen på en vertikalvinkel
- Spredningen på en 3D-afstand, herunder grundfejlen og den afstandsafhængige fejl

Der vil blive set på instrumenter fra Leica Geosystems, Trimble, Topcon og Stonex. Hver producent har mange forskellige instrumenter, der derfor også har forskellige specifikationer. Der vil derfor ikke blive gået i dybden med dem alle sammen, men kun et udvalg, der repræsenterer forskellene i præcision.

Det bemærkes, at producenterne kun oplyser en spredning på vinkelmålingen og ikke en spredning på både horisontalretningen og vertikalvinklen. Man kan derfor konkludere, at disse er af samme størrelse. De vil derfor i det følgende kun blive nævnt som spredningen på vinkelmålingen.

Hvis der ses nærmere på Leica Geosystems's totalstationer, har de totalstationer, der måler vinklen med en præcision i intervallet fra $0,5''$ til $7''$, hvilket svarer til henholdsvis $0,15$ mgon og $2,1$ mgon. Hvad angår afstandsmålingen ved anvendelse af prisme, er det i intervallet fra $0,6 \text{ mm} + 1,0 \text{ ppm}$ til $1,0 \text{ mm} + 1,5 \text{ ppm}$. Helt konkret kan der fås Leica FlexLine TS07 instrumenter, der måler en vinkel med en præcision i intervallet fra $1''$ til $7''$ og en afstand med $1,0 \text{ mm} + 1,5 \text{ ppm}$, mens en Leica Nova TS60 måler en vinkel med $0,5''$ og afstand med $0,6 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$. De resterende totalstationer fra Leica måler alle sammen inden for intervallet af disses præcision. [Leica Geosystems, 2019]

Trimble har ligesom Leica en række forskellige totalstationer, hvor de måler en vinkel fra $0,5''$ til $5''$ og afstanden fra $0,8 + 1 \text{ ppm}$ til $1,0 + 2 \text{ ppm}$ ved anvendelse af prisme. Det er henholdsvis Trimble S9 HP, der måler med størst præcision, og Trimble S5, der måler med mindst præcision. [Trimble, 2020] De nævnte totalstationer fra Leica Geosystems og

Trimble kan også ses i nedenstående tabel E.1.

De to andre producenter, Stonex og Topcon, har hverken totalstationer, der måler med større præcision eller lige så god præcision som Leica Geosystems' og Trimble's. Derfor har disse producenter intet ekstra at tilbyde med hensyn til testberegningerne, så der vil ikke blive kigget nærmere på deres totalstationer. De findes tilsvarende ved Leica og Trimble. [Topcon, 2017] [Stonex, 2017]

	Leica FlexLine TS07	Leica Nova TS60	Trimble S5	Trimble S9 HP
Afstands nøjagtighed med prisme	1,0 + 1,5 ppm	0,6 mm + 1 ppm	1 mm + 2 ppm	0,8 mm + 1 ppm
Afstands nøjagtighed reflektørløs	0-500 m: 2mm + 2ppm >500 m: 4mm + 2ppm	0-500 m: 2mm + 2ppm >500 m: 4mm + 2ppm	2 mm + 2 ppm	3 + 2 ppm
Vinkel nøjagtighed	1", 2", 3", 4", 5", 7"	0,5"	1", 2", 3", 5"	0,5", 1"

Tabel E.1. Tabel over de nævnte totalstationer [Leica Geosystems, 2019] [Trimble, 2020]

2. Antallet af satser

Det er ikke til at sige, hvor meget bedre præcisionen bliver ved at øge antallet af satser. Ved brug af den simple fejlforplantning udregnes spredningen af punktet X ved en uafhængig dobbeltmåling således:

$$\sigma_X = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} \text{ [Jensen, 2017, s. 5]}$$

Det vil ikke være rimeligt at antage, at en forøgelse i antal satser fra præcis samme opstilling kan betragtes som uafhængige målinger. Man kan derfor ikke regne med, at ovenstående udregning gør sig gældende for flere satser. Den korrekte forbedring er derfor ikke en kendt værdi, men den befinder sig et sted, en smule ringere end den ovenstående udregning for uafhængige målinger.

3. Spredningen på centrering af totalstation ved opstilling

Hvis opmålingsmetoden "*Opstilling i kendt punkt*" anvendes, kræver det, at man centrerer totalstationen over et i forvejen kendt punkt. Der vil altid være en opstillingsfejl, som har indflydelse på observationerne.

Der findes mange forskellige metoder, man kan benytte til at centrere en totalstation over et punkt med, så opstillingsfejlen minimeres. Artiklen "*A Field Procedure for the Assessment of the Centring Uncertainty of Geodetic and Surveying Instruments*" af Garcia-Balboa et al. samler op på en række forskellige bøger og artikler, der oplyser om størrelsesordenen af fejlbidraget ved centrering over kendte punkter med udgangspunkt i forskellige opmålingsinstrumenter, heriblandt totalstationer, og med forskellige hjælpeværktøjer til rådighed. [Garcia-Balboa et al., 2018]

De to producenter af totalstationer, der er udvalgt til undersøgelserne i dette projekt, Trimble og Leica Geosystems, har hver deres type af hjælpeværktøj til centrering over et kendt punkt indbygget i totalstationerne. Trimble's instrumenter benytter sig af et optisk lod eller optisk lodkamera [Trimble, 2015] [Trimble, 2017b], mens Leica Geosystems' instrumenter har et laserlod. [Leica Geosystems, 2016, s. 18] Den ovenstående kilde kommer også ind på andre metoder end dem, som Trimble og Leica Geosystems anvender,

heriblandt lod snor, som også kan anvendes som alternativ metode.[Garcia-Balboa et al., 2018, s. 3]

Nedenstående er der lavet en tabel E.2, som samler op på de værdier, som kilden kommer ind på. Det er kun valgt at vise de værdier, som er fundet interessant med hensyn til projektet.

Begreb for udregning	Centreringsmetode	Værdi [mm]
Maksimal fejl	Lodsnor	5
	Optisk lod	1
Nøjagtighed	Lodsnor	1-2
	Optisk lod	1
Spredning	Lodsnor	1-3
	Optisk lod	0,5-1
Eksperimentel spredning	Lodsnor	1-2
	Optisk eller laser lod	0,5
Nøjagtighed	Lodsnor	3-5
	Optisk lod	0,5
Nøjagtighed ved en højde på 1,5 m	Laser lod	1,5
Nøjagtighed	Lodsnor	3-5
	Optisk lod	0,5-1
Nøjagtighed ved en højde på 1,55 m	Optisk kamera	0,5

Tabel E.2. Centreringsfejl fra forskellige kilder. [Garcia-Balboa et al., 2018, s. 3]

Ved at studere tabellen kan det ses, at der er fire forskellige metoder: Lodsnor, optisk lod, laser lod og optisk kamera. Det er kun valgt at vise disse metoder, da det kun er dem, der er relevante for centrerung af en totalstation. Som det blev tidligere nævnt, er laserlod indbygget i Leica Geosystems' instrumenter, og Trimble's instrumenter anvender optisk lod eller kamera. Hver række i tabel E.2 repræsenterer sin egen kilde, som har undersøgt emnet, der er ligeliges derfor, at der er brugt forskellige begreber til at beskrive afvigelse. De forskellige værdier har nogenlunde samme størrelsesorden, så kilderne stemmer godt overens med hinanden, og resultaterne virker pålidelige.

4. Spredningen på instrumenthøjden

Ved anvendelse af opmålingsmetoden "*Opstilling i kendt punkt*" skal man indtaste i hvilken højde, horisontalaksen på totalstationen er over det kendte punkt, der opstilles over. Derfor er dette en ekstra kilde til en ukorrekt placering af totalstationen ved anvendelse af denne opmålingsmetode.

Selve totalstationen har ikke nogen indbygget metode, der har til formål at måle denne højde med, så man må manuelt måle den ved brug af målebånd, tomkestok eller lignende. Det er ikke lykkedes at finde nogle kilder, som undersøger størrelsesordenen af usikkerheden, som kommer ved måling af instrumenthøjden. Der er dog kigget nærmere på andre, der ligeledes udfører testberegninger, hvor der også skal indtastet nogle a priori spredninger for måling af instrumenthøjden.

Lektor i institut for planlægning ved Aalborg Universitet, Peter Cerderholm, har skrevet

bogen "*Udjævning*", hvor der udføres nogle testberegninger. Her a priori spredningen for instrumenthøjden angivet som 0,005 m. [Cederholm, 2000, s. 63]

Kilden, der tidligere blev anvendt under identificering af parametrene i kapitel 4, skrevet af lektor eremitus Karsten Jensen, indeholder også nogle testberegninger. I dette tilfælde anvendes også en a priori spredning for bestemmelse af instrumenthøjden på 0,005 m. Det bliver desuden specificeret, at det er ved måling med tommestok. [Jensen, 2011, s. 31]

Det er valgt at arbejde videre med en a priori spredning på instrumenthøjden på 0,005 m. Trods deres værdier ikke er for præcisionsarbejde, som dette er. Det er vurderet da der ved mange situationer skal opstille totalstationen i et ujævnt terræn, hvor højden kan være svære at måle med en tommestok.

5. Spredningen på centrering af sigteskiver anbragt i fikspunkterne
6. Spredningen på sigteskivehøjden

Ved opmåling med totalstation, hvor der sigtes til et prisme, skal sigteskiven centreres over hvert fikspunkt. Her er der også brug for en vurdering af hvor nøjagtigt, man kan centrere sigteskiven over fikspunkterne.

Det samme gør sig gældende med højden på sigteskiven, hvor der også skal anvendes et skøn for dens spredning. Ligesom ved spredningen på instrumenthøjden, er der ikke fundet noget litteratur, som går dybere ned i undersøgelsen omkring hvor store værdier, det er. Derfor refereres der til de samme to kilder som ovenstående. De to kilder, som også blev omtalt under instrumenthøjden, angiver begge en a priori spredning for centrering af sigteskiven på 0,005 m. Spredningen på sigteskivehøjden er også angivet som 0,005 m. Jensen uddyber dog, at sigteskivehøjden er målt ved brug af en tommestok. [Cederholm, 2000, s. 63] [Jensen, 2011, s. 31 og 69]

Disse værdier er ligeledes ikke ved præcisions arbejde, hvorfor man også her kan forvente at opnå mindre værdier.

Kildernes a priori spredninger er ved normal landmåling, og ikke ved præcisionsarbejde. Ved præcisionsarbejde kan det forventes, at der vil kunne opnås lavere værdier, både på grund af at man er ekstra omhyggelig, men også fordi, der hvis muligt vil blive anvendt mini-prisme, hvor der kan anvendes en kortere sigteskivehøjde, som vil minimere spredningen for centreringen. Højden på et mini-prisme er også nemmere at fastslå, da den bestemmes ved brug af nogle gevind der skrues derpå, som er mere præcise. Dette samt et internt arbejdsrapport, som vores hovedvejleder har gjort os bekendt med, er det vurderet, at centreringsspredningen for et miniprisme med en højde på 0,10 cm er omtrent 0,5 mm. Den samme værdi er angivet som a priori spredning for højden på sigteskiven. På grund af dette anvendes a priori spredningerne:

- Spredningen på centrering af sigteskiver anbragt i fikspunkterne = 0,0005 m
- Spredningen på sigteskivehøjden = 0,0005 m

7. Sigtelængden

Sigtelængdens betydning for spredningen på en 3D-afstand, kan ses i formel E.1.

$$\sigma_S = \sqrt{\sigma_g^2 + (\sigma_a S_d)^2 + \sigma_c^2} \quad (\text{E.1})$$

[Cederholm, 2000, s. 64]

hvor σ_g er spredningen på grundfejlen i meter
 σ_a er spredningen på den afstandsafhængige fejl for afstandsmåleren
 S_d er den målte 3D-afstand i meter
 σ_c er centreringsspredningen

Ud fra formelen kan det ses, at en øget sigtelængde vil få spredningen på 3D-afstanden til at vokse, eftersom sigtelængden er ganget ind på spredningen på den afstandsafhængige fejl. Det skal dog noteres, at centreringsspredningen, σ_c , er en sammensætningen af centreringsspredningen for sigteskiven og totalstationen, hvor sidstnævnte er en væsentlig faktor, hvis opmålingsmetoden "*Opstilling i kendt punkt*" anvendes.

Ligeledes påvirkes spredningen for en vinkelmåling af sigtelængden. Det kan ses ud fra nedenstående formel, at den faktiske værdi for spredningen på en horisontalretning er størst ved korte sigter:

$$\sigma_{Hz} = \sqrt{2 \left(\left(\frac{\sigma_r^2}{n} \right) + \left(\frac{\sigma_c \omega}{S_d} \right)^2 \right)} \quad (\text{E.2})$$

[Cederholm, 2000, s. 64]

hvor σ_r er spredningen på retningsmålingen
 n er antallet af satser
 S_d er sigtelængden i meter
 ω er omregningsfaktoren fra gon til radianer

Geometrisk nivellement

Den andet opmålingsværktøj, der kan anvendes ved etablering af et fikspunktsnet, hvis der ønskes stor præcision i koten, er et nivellerinstrument. Den førstnævnte parameter tilhørende denne er:

1. Præcision af nivellerinstrument

Der vil ligesom ved undersøgelsen af totalstationen, blive set på nogle forskellige fabrikanten af nivellerinstrumenter. Der vil blive kigget på produkter fra følgende fabrikanten: Leica Geosystems, Trimble og Sokkia. De angiver alle nøjagtigheden som spredningen på en 1 km dobbelt højdemåling. Hver deres nøjagtighed kan ses i følgende tabel E.3. Nøjagtighederne, der er angivet, er ved brug af et invar stadie, der giver en større nøjagtighed.

	Leica LS10	Leica LS15	Trimble DiNi 0,3	Trimble DiNi 0,7	Sokkia SDL1X
Højde nøjagtighed	0,3 mm	0,2 mm, 0,3mm	0,3 mm	0,7 mm	0,2 mm

Tabel E.3. Oversigt over udvalgte nivelleringsinstrumenter [Trimble, 2017a] [Leica Geosystems, 2015] [Sokkia, 2009]

Ud fra tabellen kan det ses, at både Leica Geosystems og Sokkia har instrumenter, der måler helt ned til 0,2 mm. Trimble's mest nøjagtige nivellerinstrument måler med 0,3 mm. Derudover har de også et, der måler med en nøjagtighed på 0,7 mm.

Leica Geosystems har også en anden serie af nivellerinstrumenter, der ikke har helt den samme nøjagtighed. Disse er oplistet og kan ses i tabel E.4.

	Sprinter 50	Sprinter 150	Sprinter 150M	Sprinter 250M
Højde nøjagtighed	2,0 mm	1,5 mm	1,5 mm	1,0/0,7* mm

Tabel E.4. Oversigt over Leica Sprinter serien. * Er med anvendelse af Leica aluminium stadie [Leica Geosystems, 2020]

Ud fra tabellen kan det ses, at Sprinter instrumenterne ikke er lige så nøjagtige som de forrige, men der kan stadig med et enkelt af instrumenterne komme ned på en nøjagtighed på under 1,0 mm.

2. Stabilisering af stadie

Ved brug af nivellerinstrument er der et frem- og tilbagesigte mod et stadie. Derfor er der vigtigt, at stadiet holdes stabilt og i lod, således at aflæsningen af frem og tilbage sigtet ikke er behæftet med fejl som resultat af et ustabilt stadie. Hvis stadiet ikke holdes i lod, men derimod lige "skævt" bliver alle aflæsninger for store. Det anbefales at kontrollere libellen på stadiet med jævne mellemrum, og libellen skal vise synlige udslag ved en hældning, der afviger mere end 0,8 gon fra lodret. [Jensen, 2011, s. 24-25]

3. Sigtelængden

Ved geometrisk nivellement anbefales det, at man anvender frem- og tilbagesigter af nogenlunde samme længde, for at undgå effekten af de systematiske fejl: jordkrumning, refraction og sigtelinjens skævhed. [Jensen, 2011, s. 25]

Nøjagtigheden af aflæsningen på stadiet er afstandsafhængigt, så nøjagtigheden af den enkelte aflæsning er bedst ved korte sigter. Spredningen på en stadieaflæsning kan udregnes ved hjælp af formel E.3.

$$\sigma_a = \sqrt{S\sigma_k^2} \quad (\text{E.3})$$

[Jensen, 2011, s. 25]

hvor S er sigtelængden
 σ_k er kilometerspredningen, indsættes i $\frac{mm}{\sqrt{km}}$