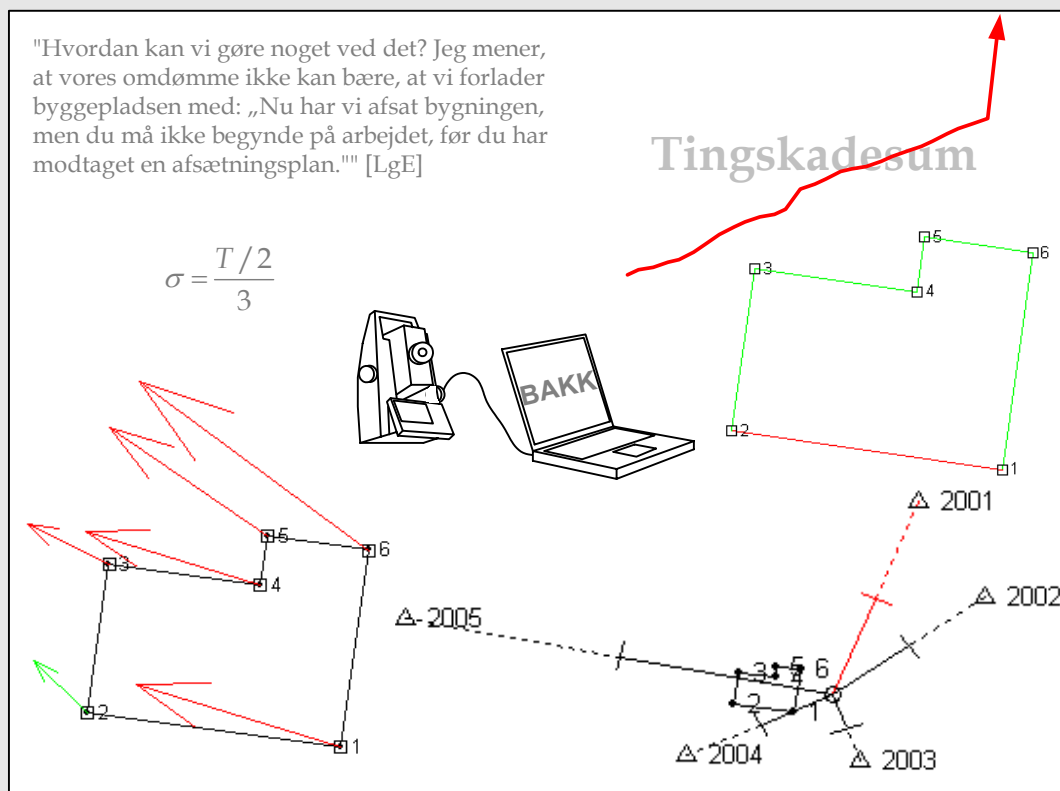


Bygningsafsætning med totalstation

- kvalitetskontrol



LANDINSPEKTØRUDDANNELSENS 10. SEMESTER

GRUPPE 04gi1003

AALBORG UNIVERSITET 2004

Aalborg Universitet

Institut for samfundsudvikling og planlægning
Fibigerstræde 11, 9220 Aalborg Ø



Tema:
Geoinformatik

Titel:
Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

Projektperiode:
februar 2004 - juni 2004

Projektgruppe:
04gi1003

Gruppemedlemmer:
Kim N. Madsen
Jesper B. Stisen

Hovedvejleder:
Karsten Jensen

Bivejleder:
Peter Cederholm

Oplagstal: 10
Sidetal: 124

Bilag: 7 incl. Data-CD
Appendiks: 3

Abstract

The purpose of this project is to examine how setting-out of buildings with a totalstation can be controlled appropriately in the field regarding an evaluation of precision/accuracy.

First it is examined of how setting-out of buildings is being conducted i private firms. Then a review of insurance cases regarding setting-out of buildings in LgE is made to investegate if there is a problem and to investigate the character of the problems.

A setting-out prototype software (BAKK) to bring in the field is developed containing setting-out of baselines in two dimensions and quality control of those. BAKK is being developed on the basis of empirical and theoretical knowledge about setting-out of buildings and evaluationparameters that should be used to evaluate them. BAKK is being tested in actual use.

It is concluded that BAKK is a strong tool for the surveyor because setting-out of buildings can be evaluated immediately. In this way it can be determined if a setting-out of a building is satisfactory. Futhermore, BAKK generates on-site documentation.

Forord

Nærværende projektrapport er udarbejdet på landinspektøruddannelsens 10. semester 2004 under temaet „Geoinformatik“. Projektet henvender sig primært til vejleder og censor, men også til andre med interesse for afsætning med totalstation, udjævning, fejlteori og programudvikling.

Projektrapporten er overordnet inddelt i 11 kapitler og er nummereret fortløbende gennem projektrapporten.

Litteraturhenvisninger er angivet med [Forfatterens efternavn, udgivelsesår, side]. Har samme forfatter eller andre forfattere med samme efternavn publiceret mere end et værk samme år, benævnes disse forskelligt med a, b osv. Der vil således være en entydig henvisning til litteraturlisten, hvor det er yderligere oplysninger om den anvendte litteratur. Er litteraturhenvisningen placeret indenfor et punktum refererer den til sidste sætning. Står litteraturhenvisningen lige efter et punktum refererer den til sidste afsnit, og hvis der er lineskift inden henvisningen, er det til sidste overskrift eller litteraturhenvisning. Henvisninger til internetsider foregår ved, at hovedsiden skrives i teksten, og i litteraturlisten kan hele URL-adressen findes sammen med dato for besøg på internetsiden. Er det flere henvisninger til samme internetside betegnes de med a, b osv. Henvisninger til bilag eller appendiks foregår ved at angive type efterfulgt af A, B osv. for bilag og I, II osv. for appendiks. Er henvisningen til data-CD bilag A, angives også stien.

Alle figurer er, hvis ikke andet er angivet, lavet eller fremskaffet af projektgruppen. Figurer er nummereret fortløbende i hvert kapitel ligesom alle formler.

Bagerst i projektrapporten findes en begrebsliste, som beskriver udvalgte begreber og angiver deres symboler. Dette gøres for at skabe en entydig forståelse af de enkelte begreber. Ofte benytter den anvendte litteratur forskellige betegnelser for samme begreb. Desuden vil det være med til, at læseren kan bruge det som opslagsliste i forbindelse med gennemlæsning af projektrapporten til afklaring af, hvad symboler eller begreber betyder. Enkelte steder vil der være overlap, hvilket for den opmærksomme læser ikke vil give problemer.

Matricer og vektorer er i projektrapporten skrevet med fed.

Hvor ikke andet er angivet, arbejdes der i et lokalt tre-dimensionalt kartesisk koordinatsystem, hvor Y er 1. akse, X er 2. akse og Z er 3. akse. Koordinatsystemet er orienteret som System 34 og er et højrehåndssystem.

I projektrapporten henvises til landinspektøren som den person, der udfører afsætningen. Denne person kan selvfølgelig være en anden med kendskab til afsætning eksempelvis en landmåler.

En oversigt over udviklede scripts i forbindelse med projektet findes i bilag G, hvor der kort beskrives funktionaliteten af de enkelte scripts.

Der skal rettes tak til Pernille Egekjær Stisen og Renè Bundgaard Christensen for korrekturlæsning af projektrapporten.

Rapporten, udviklede programmer og scripts må citeres/anvendes med angivelse af kilde. Endvidere fralægges ethvert ansvar i forbindelse med kommerciel anvendelse af projektgruppens programmer/scripts.

Kim N. Madsen

Jesper B. Stisen

Indholdsfortegnelse

1. Indledning	1
1.1 Initierende problemstilling	2
1.2 Projektbygning	3
2. Foranalyse	7
2.1 Afsætning i praksis	7
2.2 Landinspektørernes gensidige Erhvervsansvarsforsikring	16
2.3 Hard- og software til afsætning med totalstation	20
3. Problemformulering	23
3.1 Afgrænsning	25
4. Løsning til problemformulering	27
4.1 Grundlag til løsning	27
4.2 Løsning til problem	29
4.3 Betingelser og valg	31
5. Fri opstilling	35
5.1 Opmålingssituation	35
5.2 Beregningsmetode af fri opstilling	37
5.3 Vurderingsstørrelser til fri opstilling	40
5.4 Vurdering vedrørende fri opstilling	48
6. Afsætning af modullinie samt kote	51
6.1 Afsætningsituation	52
6.2 Afsætning i planen	53
6.3 Afsætning af kote	63
6.4 Placering af opstillingspunkt	65
6.5 Vurdering vedrørende afsætning af modullinie samt kote	70
7. Kontrol af afsætning	71
7.1 Fejl i afsætning	72
7.2 Kontrolmetoder	75
7.3 Vurderingsstørrelser til kontrol af afsætning	82
7.4 Digitalt kort til afsætning og kontrol	86
7.5 Vurdering vedrørende kontrol af afsætning	88
8. Programudvikling	89
8.1 Teknisk platform (Hardware)	90
8.2 Programudvikling af BAKK	92
8.3 Afsætningsproces med BAKK	93
8.4 Proces for programudvikling af BAKK	95
8.5 Mangler og udbygningsmuligheder ved BAKK	96

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

9. Afsætning med BAKK	99
9.1 Procedure til bygningsafsætningsproces	100
9.2 Afsætningsprocedure anvendt i praksis	102
9.3 Fordele og ulemper ved BAKK	103
10. Konklusion	107
11. Perspektivering	111
11.1 Videreudvikling af afsætningsprogram	111
11.2 Økonomi og profession	113
Litteraturliste	115
Begrebsliste	121
Bilag	
Bilag A: Data-CD	
Bilag B: Test af rumlig udjævning	
Bilag C: Faktorfastsættelse til robust udjævning	
Bilag D: TestNetHus	
Bilag E: BAKK	
Bilag F: Test af BAKK	
Bilag G: MatLab-scripts	
Appendiks	
Appendiks I: Beregning af fri opstilling	
Appendiks II: Præcision og nøjagtighed af afsætning	
Appendiks III: Kontrol af afsætning	

1

Indledning

Afsætning er en af mange discipliner indenfor landmåling. Men hvor landmåling oftest opfattes som øvelsen, hvormed geometrien af forskellige objekter opsamles, er afsætning det modsatte. Dette er nemlig disciplinen, hvor der „i marken“ placeres punkter ud fra givne koordinater, kort eller planer for objekter. [Jacobi, m.fl., 1989, s. 9]

Interessen for afsætning er naturlig, da dette er en af landinspektørens mange fagområder. For landinspektøren findes der forskellige typer af afsætning bl.a.:

- Matrikulær afsætning (skelafsætning)
- Bygningsafsætning
- Afsætning af veje
- Præcisionsafsætning af andre objekter (eks. industrimaskiner)

Det er bygningsafsætning, der er genstand for behandling igennem dette projekt, selvom forskellen mellem typerne af afsætning rent teoretisk ikke er stor med totalstation. Således vil bygningsafsætning og afsætning igennem projektet være synonym.

I en afsætningsituation kan der stilles betydelige krav til præcisionen/nøjagtigheden af det afsatte. Dette forhold bliver vigtigere i takt med, at anvendelsen af præfabrikerede elementer bliver større i forbindelse med byggeri. Derfor er det

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

også vigtigt at fremskaffe sig vished om, at afsætningen er udført i overensstemmelse med den stillede opgave og holder sig indenfor angivne tolerancer. Fejl ved afsætninger er forbundet med betydelige omkostninger, hvis byggeriet er påbegyndt eller færdigt [Thiesen, 1974, s. 7].

I forbindelse med byggeri er det oftest landinspektøren, der er det først led, når der tænkes på afsætning. Netop det, at landinspektørens arbejde er grundlag for det videre byggeri, kræver, at der udføres et troværdigt og dermed pålideligt og præcist stykke arbejde. En troværdig afsætning bør også kunne ydes af en landinspektør, på baggrund af den viden og kompetence landinspektørfaget besidder. En forkert afsætning af bare et enkelt punkt, der først opdages efter, at byggeriet er begyndt, kan få alvorlige økonomiske konsekvenser for de involverede parter. Fejl i forbindelse med bygningsafsætning bør undgås, da dette er en indledende proces, der har indvirkning på resten af byggeprocessen.

Fordi der kan opstå økonomiske problemer og utroværdighed omkring landinspektørens rolle i forbindelse med afsætning, betragtes det af projektgruppen som et interessant emne til undersøgelse af forbedringsmuligheder og sikring af kvalitet af en afsætning. Altså hvor der kan indsættes med bedre eller nye løsninger, så eventuelle fejl ved afsætning kan undgås uden yderligere tidsforbrug.

1.1 Initierende problemstilling

I det foregående er det anskueliggjort, at afsætning er en af landinspektørens fagområder, og at hvis en fejl begås ved afsætning, kan fejlen resultere i betydelige omkostninger for landinspektøren.

Men hvorledes foregår en bygningsafsætningsproces i praksis, og hvor i en sådan proces kan landinspektøren begå fejl, der kan have økonomiske konsekvenser for denne?

Disse spørgsmål danner baggrund for den initierende problemstilling, der lyder:

„Hvorledes forløber en bygningsafsætningsproces i praksis, og hvor kan processen forbedres, samt i hvilke situationer kan der opstå fejl?“

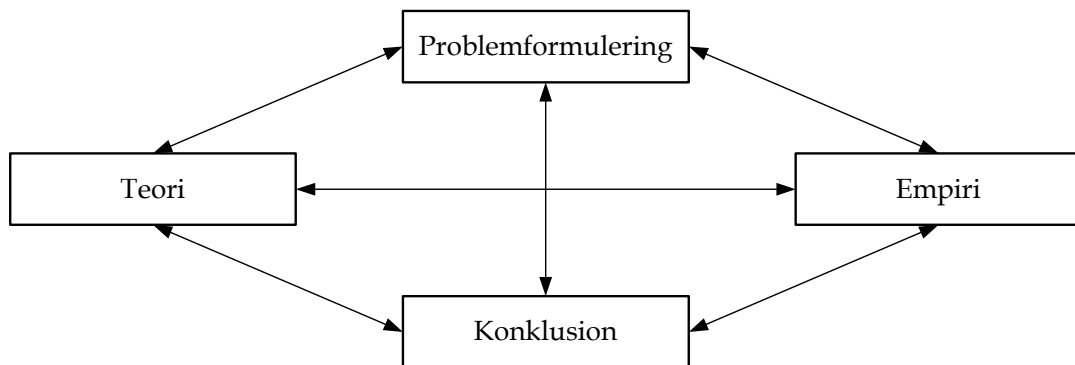
Denne initierende problemstilling vil gennem analyse efterfølgende konkretiseres til problemformuleringen.

1.2 Projektopbygning

Dette afsnit har til formål at formidle den overordnede projektstruktur. Først vil en generel model for projektets hovedelementer blive præsenteret, hvorefter der vises en model af projektopbygningen.

1.2.1 Projektets hovedelementer

I det problemorienterede projektarbejde lægges fokus på problemløsning. Da ikke alle problemer kan løses på samme måde, er det selve problemet bag et projekt - altså problemformuleringen, der bliver af afgørende betydning for, hvilke elementer som bør inddrages i et projekt. Det er ikke muligt at opstille nøjagtigt, hvilke elementer der konkret skal indgå i projektarbejdet, men det er dog muligt at påpege fire hovedelementer, der bør indgå. Disse fire hovedelementer er i videnskabsprocessen illustreret på figur 1.1.



Figur 1.1: Videnskabsprocessens hovedelementer og arbejdsgang. [Andersen, 2002, s. 30]

Problemformulering: En kort fremstilling af, hvilket problem der gennem projektarbejdet ønskes løsning på. Denne kan fremstå på to måder. Enten via konkrete spørgsmål eller via fremsættelse af påstande, der skal besvares gennem projektet.

Teori: En fastsat model, som anvendes til at belyse et emne, hvorefter et fornuftigt resultat fremkommer. En teori er med til at løse et problem.

Empiri: Her foregår dataindsamling og -bearbejdning med det formål at opnå større kendskab til virkeligheden. Empirien leder ofte frem til den teori, der skal anvendes.

Konklusion: Svaret på problemformuleringens spørgsmål, som skal afspejle den erkendelse og nye viden, som er opnået gennem arbejdet med projektet.

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

Pilene i figur 1.1 henviser til forskellige former for analyser, der foretages i projektarbejdet for at knytte de fire hovedelementer sammen.

[Andersen, 2002, s. 29-35]

Rækkefølgen af elementerne afhænger af det projekt, der er under udarbejdning. Endvidere er projektarbejdet en iterativ proces, og derfor vil de enkelte elementer ofte gå igen flere gange, da ny viden kan medføre inddragelse af nye teorier og empiri.

I dette projekt vælges det at arbejde med kvalitetssikring af en bygningsafsætning. Opbygningen illustreres på figur 1.2, hvor det fremgår, hvilke teorier og empiri der knytter sig til projektet.

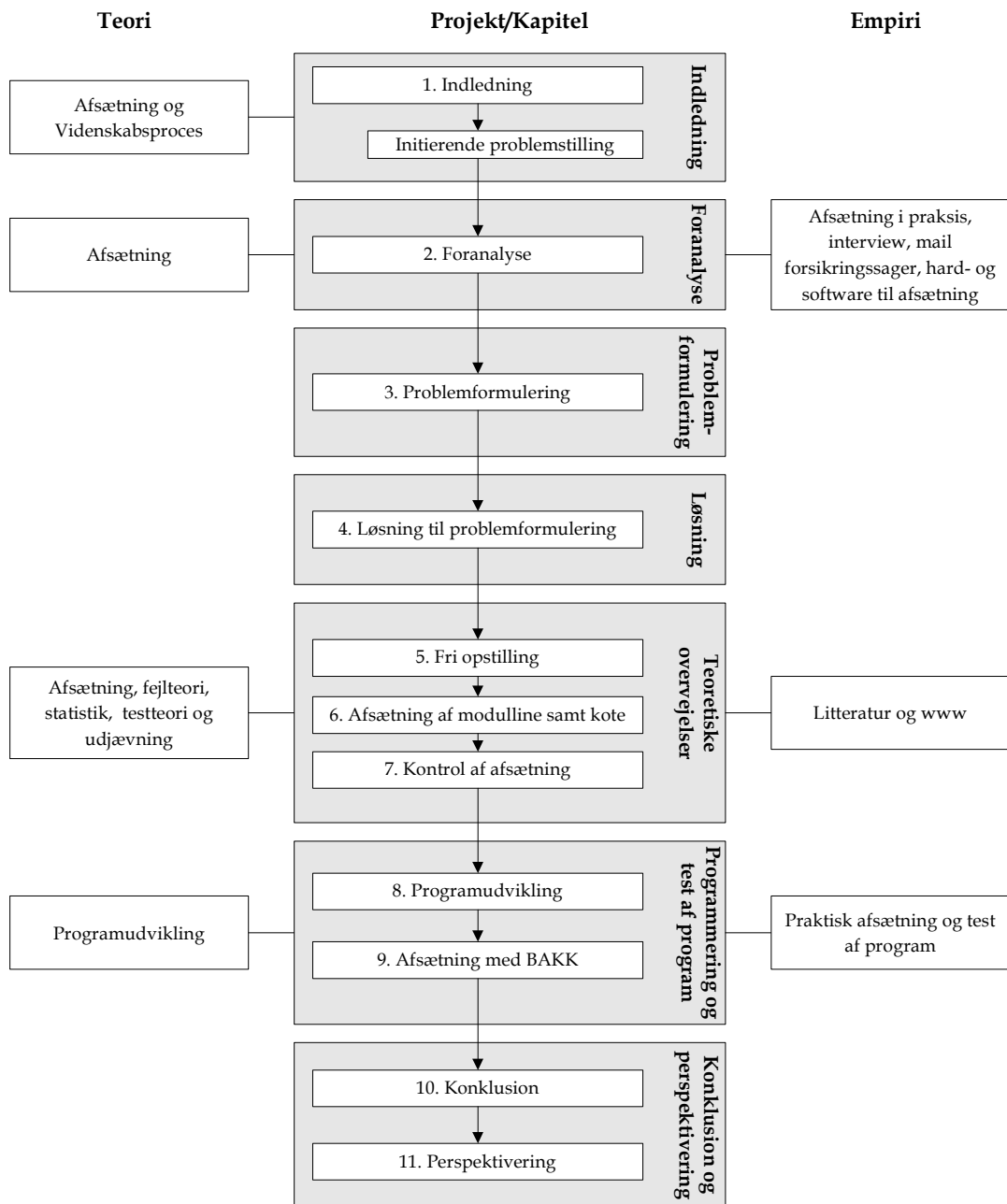
I indledningen er forskellige aspekter omkring afsætning gennemgået, bl.a. landinspektørens rolle og betydningen for afsætningens rigtighed. Derudfra opstilles den initierende problemstilling, der bearbejdes i foranalysen. I denne analyseres, hvordan en bygningsafsætning forløber i praksis, i hvilke situationer der opstår fejl samt hvilke tekniske muligheder en landinspektør har i forbindelse med en afsætning.

Ud fra empirien i foranalysen udarbejdes problemformuleringen, der er grundlaget for projektet.

Til problemformuleringen fremsættes et løsningsforslag. Dette løsningsforslag bearbejdes efterfølgende gennem teoretiske overvejelser samt deres anvendelighed.

På baggrund af foregående overvejelser udvikles et program til brug i en afsætningssituation, som efterfølgende testes i praksis.

Der konkluderes på resultater og vurderinger opsamlet/erfaret gennem projektet. Endelig bliver det udviklede program samt overvejelser vedrørende fremtiden for kvalitetskontrol af afsætning i marken genstand for perspektivering.



Figur 1.2: Projektopbygning.

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

2

Foranalyse

For at besvare den initierende problemstilling analyseres i dette kapitel, hvordan en bygningsafsætning foregår i praksis for netop at kunne inddrage empirisk viden på området. Udover gennemgangen af bygningsafsætning i praksis fremhæves landinspektørernes syn på forbedringsmuligheder indenfor bygningsafsætningsprocessen.

Efterfølgende beskrives Landinspektørernes gensidige Erhvervsansvarsforsikring, samt bestemmelser omkring afsætning for at forsikringen dækker ved evt. fejl, og hvilke forsikringssager der har omhandlet afsætning.

Afslutningsvis på foranalysen studeres allerede tilgængeligt hard- og software fra to førende producenter af landmålingsudstyr med henblik på afsætning og dens videreudvikling.

2.1 Afsætning i praksis

Dette afsnit har til formål at redegøre for, hvorledes en typisk bygningsafsætning foregår i praksis. Endvidere vil der i slutningen af afsnittet blive opstillet forbedringsmuligheder til processen.

Der bliver taget udgangspunkt i bygningsafsætning, men der kan dog også drages paralleller til andre typer af afsætning.

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

Redegørelsen for bygningsafsætningen bygger på litteratur omhandlende emnet [www.ddl.org], [www.multimediekontoret.dk], [Nielsen, m.fl., 1975], [Thiesen, 1974], projektgruppens erfaringer samt et interview med et landinspektørfirma. Spørgsmålene fra projektgruppen til landinspektørfirmaet fremgår af bilag A [:\Interview\Spørgsmål.pdf]. Endvidere fremgår selve interviewet af lyd-filen [:\Interview\Nellemann_12_02_2004.wav]. Efterfølgende er dette afsnit gennemlæst af tre andre landinspektørfirmaer for at bekræfte dets rigtighed. Deres respons fremgår af bilag A [:\Mail*.pdf].

Redegørelsen for bygningsafsætningen er udstyrsafhængigt. Det vælges udelukkende at beskrive, hvorledes en afsætning foregår vha. totalstation. Således vil inddragelse af f.eks. nivellér instrument til afsætning af koter ikke blive behandlet.

Redegørelsen for bygningsafsætningsprocessen er inddelt i fire dele:

- Før afsætning
- Afsætning
- Kontrol af afsætning
- Efter afsætning

Disse fire dele af bygningsafsætningsprocessen bliver behandlet i det følgende.

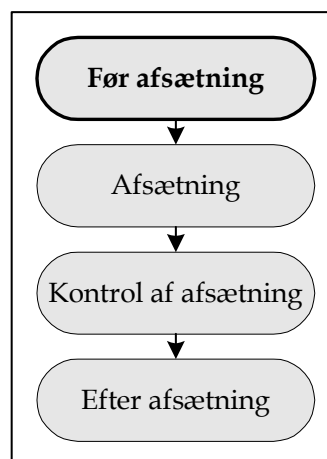
2.1.1 Før afsætning

Denne del af bygningsafsætningsprocessen er den igangsættende del af processen, jf. figur 2.1. Processen foregår som oftest på kontoret, og det er i denne delproces, at landinspektøren bliver rekvireret til at udføre det pågældende afsætningsarbejde.

Forudgående for denne delproces er der i nogle tilfælde af landinspektøren udarbejdet en situationsplan for området, hvori afsætningen skal foregå. Således er der på forhånd et kendskab til områdets karakter, og hvilke kendte punkter der findes i området.

Først studeres tegningsmaterialet, oftest i form af en CAD-tegning, for at skabe et overblik over, hvad der skal afsættes. I forbindelse med tegningsmaterialet bør det kontrolleres:

- at det er de godkendte planer, det vil sige opdateret tegningsmateriale
- at der foreligger byggetilladelse (godkendelse fra kommunen), og at denne stemmer overens med tegningsmaterialet



Figur 2.1: Første delproces af bygningsafsætning.

- at lovgivningens bestemmelser er overholdt (herunder undersøgelse af eventuelle servitutter og lokalplan)
- at mål mellem koordinater stemmer overens med mål angivet på tegningsmaterialet, samt at delmål og totalmål stemmer overens

Hvis ikke disse punkter findes korrekte, må eventuelle uoverensstemmelser og tvivl afklares med rekvirenten. I denne forbindelse har Responsumudvalget nedsat af Den danske Landinspektørforening i forbindelse med afgørelse af erstatnings sag nr. 922 ved Landinspektørernes gensidige Erhvervsansvarsforsikring udtalt:

„Inden en bygningsafsætning foretages, påhviler det landinspektøren at sikre sig, at der foreligger et entydigt grundlag for afsætningen, og at det er klart, hvad afsætningen skal omfatte. I den udstrækning, der er uklarhed eller opstår tvivlsspørgsmål under selve afsætningen, påhviler det landinspektøren at søge forholdet afklaret.“

[LgE, sag nr. 922]

Hvis afsætningen skal foregå ad flere omgange, må dette forhold også aftales med rekvirenten. Hvis der senere opstår forhold såsom fejl eller tvivl, der kan medføre erstatningspligt for landinspektøren, er det en fordel at have dokumentation for forhold, som er aftalt mellem rekvirent og landinspektør.

Inden den egentlige afsætning i udføres marken, fremstilles afsætningsdata oftest på kontoret. Afsætningsdata fremstilles i diverse CAD-programmer og består som hovedregel af:

- koordinater til afsætningspunkter og kendte punkter (analogt/digitalt)
- tegningsmateriale (analogt/digitalt)

Med analogt menes, at afsætningsdata medbringes i marken på papirform, og med digitalt menes, at koordinater til afsætningen medbringes som en koordinatliste på totalstationen. I nyere totalstationer er det muligt at medbringe selve tegningsmaterialet på totalstationen, mere om disse teknologiske muligheder i *2.3 Hard- og software til afsætning med totalstation.*

Afhængigt af om afsætningen foregår i et lokalt koordinatsystem eller et landsdækkende system (f.eks. System 34jf) fremstilles koordinater herefter. Endvidere gælder at hvis afsætningen ønskes udført i 3D ved trigonometrisk nivellement, må afsætningspunkter udover Y- og X-koordinat også indeholde Z-koordinat.

Krav til afsætningens præcision og nøjagtighed, såkaldte tolerancer, kan stilles af rekvirenten. En beskrivelse af tolerancer i forbindelse med afsætning opstilles af Dansk Standardiseringsråd i „Måling i byggeriet“, hvor forskellen mellem en

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

kontrolmålt afstand og en given eller beregnet afstand mellem et kendt punkt og et afsætningspunkt eller mellem to afsætningspunkter ikke må overstige:

$$\pm K\sqrt{L} \text{ mm} \quad (2.1)$$

K: konstant (jf. tabellen figur 2.2)

L: afstand i meter

K	Eksempel på anvendelse
10	Jordarbejde uden særlige nøjagtighedskrav, fx grovudgravninger, jordvolde og lign.
5	Jordarbejde med nøjagtighedskrav, fx vejarbejde, rendegravning, fundament og lign.
2	<i>In situ</i> betonstøbning, kantsten og lign.
1	Præfabrikerede betonelementer, stålkonstruktioner og lign.

Figur 2.2: Tabel for værdier af K samt eksempler på anvendelse. [DS, 1987, s. 15]

For L mindre end 5 m er tolerancen +/- 2K mm.

[DS, 1987, s. 15]

Erfaringer fra praksis

Det opleves fra praksis, at landinspektøren ofte bliver inddraget i byggesagen på et for sent tidspunkt. Dermed opstår et unødvendigt tidspres på landinspektøren i forbindelse med afsætningsopgaven.

Vedrørende tegningsmateriale kan det være tidskrævende og besværligt at holde styr på, hvilket tegningsmateriale der er gældende. Dette problem er stigende i takt med, at planer i højere grad bliver udvekslet mellem parter via e-mail. Endvidere kan planer for større byggerier ændres flere gange dagligt. Det kan dog forekomme ved større byggerier, at bygherren har en hjemmeside, hvor involverede parter kan hente opdaterede planer og tegningsmateriale.

I praksis kan der opstå uoverensstemmelser mellem koordinatangivelser og dimensionsmål på det digitale tegningsmateriale. I sådanne tilfælde er det oftest dimensionsmålene, der er gældende.

Med hensyn til tolerancekrav bliver disse kun i sjældent grad opgivet fra rekvirenten. Rekvirenten beror sig på, at landinspektøren har den fornødne ekspertise og erfaring til, at afsætningen bliver udført med tilfredsstillende præcision og nøjagtighed til den stillede afsætningsopgave.

2.1.2 Afsætning

Anden delproces, jf. figur 2.3, af bygningsafsætning er selve afsætningen i marken. Afsætningen kan være foreløbig eller endelig. Forskellen på disse to er teoretisk set lille. I praksis kan forskellen bestå i tolerancekrav, valg af udstyr og afmærkningsformen.

Afsætningen af punkter i planen (Y,X) kan ske efter forskellige metoder med totalstation:

- Polært (afstand og retning)
- Fremskæring (retninger)
- Bueskæring (afstande)

I praksis anvendes hovedsageligt den polære metode til afsætning med totalstation. Dog kan der ved hjælp af software på diverse totalstationer frembringes afsætningsdata, der fremstår som ortogonale mål f.eks. i forhold til en referencelinie eller i forhold til en linie mellem instrument og prisme (fodpunkt og perpendikulær).

Bygningsafsætning består oftest af afsætning af modullinier eller modulsystemer, hvorfor det er hensigtsmæssigt for landinspektøren at få afsætningsdata ud i form af fodpunkt og perpendikulær under afsætningen.

Afsætning af koter (Z) med totalstation udføres ved:

- Trigonometrisk nivellement

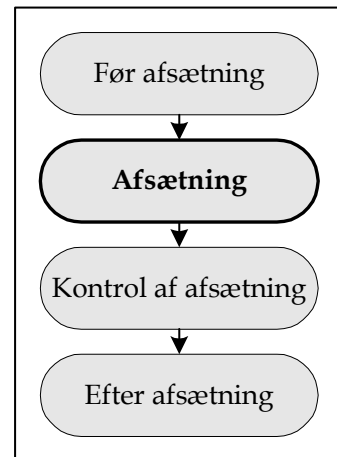
Opstilling med totalstation til afsætning kan være:

- Opstilling i kendt punkt
- Fri opstilling

I praksis anvendes hovedsageligt fri opstilling. Dette gøres dels fordi, totalstationen kan opstilles, hvor der er bedst udsyn til kendte punkter og afsætningspunkter. Dels bidrager en fri opstilling ikke med yderligere usikkerheder i form af centreringsfejl, som en opstilling i kendt punkt vil gøre.

Afsætningen ud fra fri opstilling foregår i store træk som følgende:

1. Opstilling med totalstation (fri opstilling)
2. Måling af kendte punkter
3. Beregning af fri opstilling (evt. fravælgelse af enkelte kendte punkter)



Figur 2.3: Anden delproces af bygningsafsætning.

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

4. Ud fra koordinater afsættes afsætningspunkter
5. Prismefører vinkes/kommanderes ind ved hjælp af ortogonalmål i forhold til opstillingen og afsætningspunktet eller en referencelinie
6. Afmærkning af afsætningspunkt (efter aftale)
 - På galge med søm
 - På træpæl med søm
 - Jernrør
 - osv.
7. Registrering af det afsatte punkt.

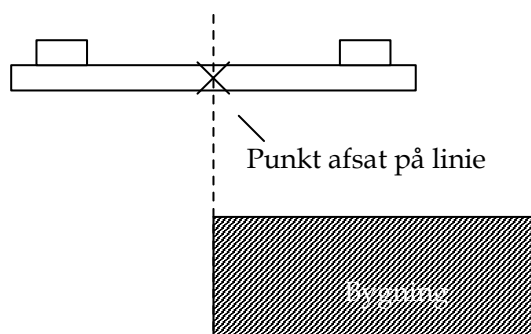
Under hele afsætningsforløbet er det vigtigt at holde styr på afsætningspunkternes nummer eller betegnelse, således at afmærkningen foretages korrekt, samt at kontrolmålingen efterfølgende kan sammenlignes med afsætningen.

Erfaringer fra praksis

Opstillingen til afsætning fra fri opstilling udføres på baggrund af landinspektørens erfaring vedrørende „god geometri“. Der laves således typisk ikke forudgående testberegninger med hensyn til placering af totalstationen i forhold til kendte punkter og afsætningspunkter.

Det tilstræbes at måle til mere end 2 - 3 kendte punkter til beregning af den frie opstilling, der observeres oftest til 4 - 5 stk. Således er der mulighed for at frasortere et enkelt eller to kendte punkter i den efterfølgende beregning af den frie opstilling. Punkter, der ofte benyttes som kendte punkter, er bygningshjørner, der anses for stabile. Nøjagtigheden af den frie opstilling vurderes ud fra spredningen på opstillingspunktets koordinater, som bør være nogle få millimeter.

I og med at arbejdsopgaverne ved afsætning ofte er afsætning af modullinier, er det ikke et specifikt punkt, der ønskes afsat, men derimod et punkt på en linie. Dette forhold illustreres på figur 2.4. Dette medfører også, at brugen af beregnede ortogonalmål i forhold til en referencelinie er udpræget.



Figur 2.4: Illustration af punkt der er afsat på linie.

Afsætningen tilrettelægges således, at afsætningspunkterne omkranses af kendte punkter. Endvidere overstiger afstanden mellem opstillingspunkt og afsætningspunkter sjældent 100 m. Er dette tilfældet vælges ofte en ny fri opstilling.

I praksis findes ingen vejledning eller skrevne regler for, hvorledes afsætningen skal udføres. Dette er overladt til den enkelte landinspektør og dennes erfaring.

I forbindelse med at landinspektøren er på byggepladsen og udfører afsætningen, er der mange forstyrrende elementer i form af larm, rystelser, trafik og svær fremkommelighed. Endvidere oplever landinspektøren i visse tilfælde et vist tidspres fra omgivelserne.

„.... 20 entreprenørmaskiner og betonkanoner står og puster os i nakken....“
[Interview, 2004]

Alle disse førnævnte faktorer bidrager til større risiko for, at landinspektøren begår fejl.

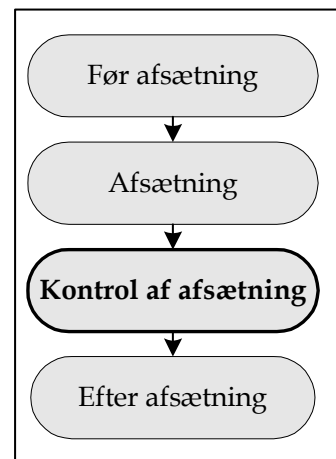
2.1.3 Kontrol af afsætning

Denne tredje delproces udføres umiddelbart efter afsætningen, jf. figur 2.5. Ofte henregnes denne delproces som en del af anden delproces - afsætning.

Kontrol af en afsætning er vigtig for, at landinspektøren kan overbevise sig selv og andre om afsætningens rigtighed og dens præcision/nøjagtighed.

Kontrollen af afsætningen foregår som hovedregel på en af to forskellige måder.

- Ny uafhængig polær opmåling af afsætningspunkter
- Dimensionsmål



Figur 2.5: Tredje delproces af bygningsafsætning.

Ved en ny uafhængig polær opmåling etableres enten en ny fri opstilling eller en ny opstilling i kendt punkt (oftest fri opstilling). Herefter måles til kendte punkter og endelig alle afsatte punkter. Ved denne form for kontrolmåling fremkommer koordinater til de afsatte punkter. Disse skal efterfølgende sammenlignes med tegningsmaterialet. Dette gøres ved at vurdere koordinatforskelle mellem designkoordinater (fra tegningsmaterialet) og opmålte koordinater til afsætningspunkter (fra kontrolmåling).

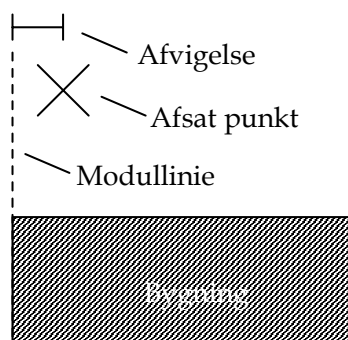
Da det ofte er modullinier, der skal afsættes, kan kontrollen også udføres ved at måle afvigelser mellem opmålte koordinater (fra kontrolmåling) og modullinier (fra tegningsmaterialet). Et eksempel på dette fremgår af figur 2.6.

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

Kontrollen med sammenligning af tegningsmateriale med det aktuelt afsatte repræsenteret ved kontrolmålingen foretages hjemme på kontoret.

Ved dimensionsmål foretages båndmål mellem enten de modullinier som afsætningspunkterne udspænder eller afsætningspunkterne indbyrdes. Disse dimensionsmål sammenlignes med designværdierne fra tegningsmateriale.

Denne kontrol med sammenligning af dimensionsmål kan ved simple/mindre afsætninger udføres i marken. Ved mere komplicerede bygningsafsætninger udføres denne kontrol også på kontoret.



Figur 2.6: Eksempel på hvor afsat punkt kontrolleres i forhold til modullinie.

Erfaringer fra praksis

Som også gældende i forbindelse med afsætningen etableres opstillingen til kontrolmålingen ud fra erfaring. Dette er dog i de fleste tilfælde tilnærmelsesvis tæt på opstillingen, hvorfra afsætningen foregår.

Hvis der er begået en grov fejl i forbindelse med tegningsmateriale, vil denne ikke nødvendigvis blive opdaget i forbindelse med kontrollen.

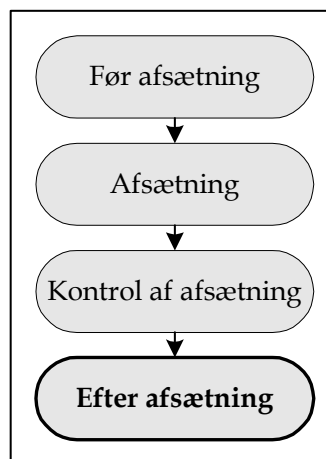
„...man kan godt afsætte et forkert punkt - korrekt...“
[Interview, 2004].

2.1.4 Efter afsætning

Denne fjerde og dermed afsluttende delproces af bygningsafsætningen udføres på kontoret.

Hvis afsætningen ikke er tilfredsstillende, skal landinspektøren ud til byggepladsen og genafsætte med efterfølgende kontrolmåling.

Efterfølgende udarbejdes en afsætningsplan for det som landinspektøren har afsat i marken. Denne afsætningsplan sendes til rekvirenten, og efter dennes accept af det afsatte er bygningsafsætningen afsluttet.



Figur 2.7: Fjerde delproces af bygningsafsætning.

Erfaringer fra praksis

Afsætningsplanen, der fremsendes til rekvirenten, er fremhævet de steder, hvor afsætningen er foregået. Hvis afsætningsplanen afleveres digitalt, er det vigtigt, at landinspektøren og rekvirenten arbejder med kompatibelt software, ellers kan dele af afsætningsplanen gå tabt i konverteringen til et andet format.

I praksis kan rekvirentens accept af afsætningsplanen være en underskrivelse af afsætningsplanen, som det fremgår af figur 2.8.

Såfremt de på nærværende afsætningsplan anførte mål ikke er i overensstemmelse med den godkendte tegning, skal landinspektøren straks underrettes.

Jeg bekræfter hermed, at de på nærværende afsætningsplan med farve fremhævede mål er i overensstemmelse med de godkendte tegninger

Dato

Figur 2.8: Påskrift på afsætningsplan til godkendelse ved rekvirenten.

2.1.5 Forbedringsmuligheder af bygningsafsætningsprocessen

I forbindelse med interview af landinspektørfirmaet blev der stillet spørgsmålet, om de i praksis syntes, at der var forbedringsmuligheder i bygningsafsætningsprocessen?

Hertil blev svaret bekræftende, jf. bilag A [:\Interview\Nellemann_12_02_2004.wav], og især to forbedringsmuligheder i processen blev fremhævet.

Først vil det være fordelagtigt at have tegningsmaterialet med digitalt i marken, eksempelvis på totalstationen. På denne måde kan landinspektøren bedre skabe sig et overblik over afsætningsopgaven.

Endvidere blev der efterlyst et system/værktøj således, at landinspektøren i marken ikke er nødsaget til først at tage hjem på kontoret for at få vished om, at afsætningen er udført korrekt. Således at det arbejde, der på nuværende tidspunkt bliver udført på kontoret vedrørende kontrol af afsætningen, flyttes i marken. På denne måde kan landinspektøren straks efter afsætning og kontrolmåling vurdere afsætningen. Ved fejl i afsætningen kan der omgående genafsættes, ellers kan der gives besked til rekvirenten om, at afsætningen er tilfredsstillende, og bygningsarbejdet kan påbegyndes eller fortsættes.

2.2 Landinspektørernes gensidige Erhvervsansvarsforsikring

I dette afsnit præsenteres Landinspektørernes gensidige Erhvervsansvarsforsikring med henblik på redegørelse af, hvad der kræves i forbindelse med afsætning, for at forsikringen dækker, og hvilke forsikringsager der har været omkring afsætning i nyere tid.

Landinspektørernes gensidige Erhvervsansvarsforsikring, herefter LgE, er en sammenslutning af landinspektørfirmaer samt opmålingsselskaber og institutioner, hvis indehavere, ejere eller ledere er medlemmer af Den danske Landinspektørforening [LgE-vedtægter, 2002, s. 1]. Formålet med LgE er ifølge § 1, stk. 2:

„Selskabets hovedformål er overtagelse af erhvervsansvarsforsikring for dets medlemmer for det dem i deres egenskab af landinspektør påhvilende civilretlige erstatningsansvar over for trediemands person eller ejendom. ...“
[LgE-vedtægter, 2002, s. 1]

Der er altså mellem landinspektører en fælles erhvervsansvarsforsikring, således at det enkelte firma eller landinspektør ikke skal have en selvstændig erhvervsansvarsforsikring.

I LgE's forsikringsbetingelser beskrives, i hvilke situationer forsikringen dækker. Forsikringen dækker ved forsikringstagerens erstatningsansvar overfor tredjemand ved uagtsom handling eller udeladelse, der skyldes forsikringstageren eller hans medarbejder [LgE-forsikringsbetingelser, 2002, s. 1]. Specielt for afsætning gælder § 3, hvor der står:

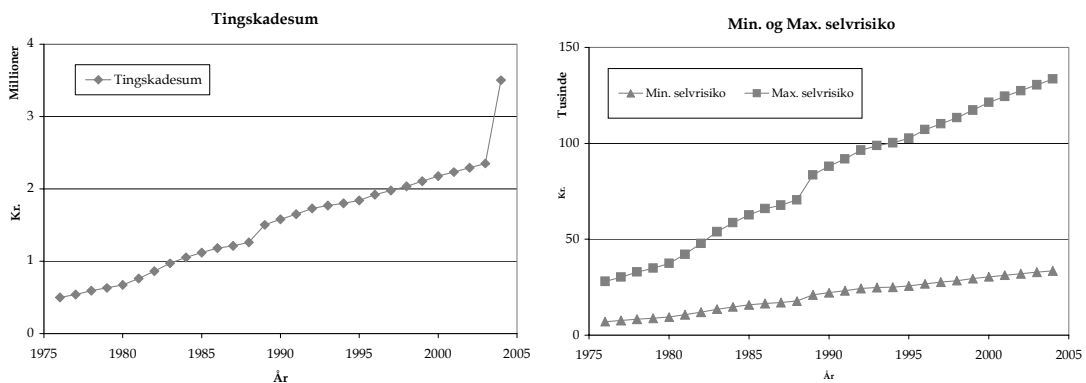
„Efter afsætning af bygninger og tekniske anlæg udfører landinspektøren en af det afsatte uafhængig, totalopmåling til kontrol af de afsatte punkter i plan og højde, således at afsætningens rigtighed kan dokumenteres. Selvriskoen vil være at fordoble i de tilfælde, hvor der sker skader, som kunne have været undgået/opdaget:

- 1) Ved foretagelse af ovennævnte kontrolmåling.*
- 2) Ved umiddelbart efter afsætning at udsende afsætningsplan til rekvirent og projekterende arkitekt/ingeniør.*
- 3) Ved at få bekræftelse/dokumentation for mundtlige aftaler om afsætning i tegningsmaterialer m.v. eller ved skriftligt at bekræfte sådanne aftaler.“*
[LgE-forsikringsbetingelser, 2002, s. 1]

Det er altså vigtigt for landinspektøren at kontrollere sin afsætning, dels for at undgå at gøre brug af erhvervsansvarsforsikringen, men også i de tilfælde hvor der sker fejl at kunne dokumentere sin afsætning. Ydermere skal der efter afsætning videresendes til rekvirenten og projekterende arkitekt/ingeniør en plan

over, hvad der er afsat og hvornår, således at afsætningens rigtighed kontrolleres. For at undgå tvister mellem landinspektør og bygherre i forbindelse med fejlafsætning, bør alle aftaler kunne dokumenteres.

Ved brug af erhvervsansvarsforsikringen skal der af forsikringstageren betales en selvrisiko på 10 % af forsikringssummen. Dog eksisterer der en minimums- og maksimumsgrænse for selvrisikoen, som indeksreguleres hvert år sammen med præmien og forsikringssummen for ting- og formueskade [LgE-forsikringsbetingelser, 2002, s. 1]. Figur 2.9 viser udviklingen af minimums- og maksimumsgrænsen for selvrisikoen samt tingskadesummen gennem perioden 1976-2004. Der fremgår en stigning af både selvrisikoen og tingskadesummen, som er indeksreguleret i forhold til det af Danmarks Statistik offentliggjorte indeks. Før 1991 er der reguleret efter „Byggeomkostningsindeks for enfamiliehuse“, der er afløst af „Reguleringsindeks for boligbyggeri“. Efter 2003 indeksreguleres der efter „Byggeomkostningsindeks for boliger“. [www.dst.dk], [LgE-forsikringsbetingelser, 2002, s. 1]



Figur 2.9: Udviklingen af tingskadesummen, minimums- og maksimumsgrænsen for selvrisikoen hos LgE i perioden 1976-2004. [LgE, 2004]

Udover at der generelt er en stigning, skal der specielt bemærkes stigningen i tingskadesummen fra 2003-2004, hvor stigningen er markant i forhold til de øvrige år. Stigningen er 1.150.000 kr. som konsekvens af, at byggeri bliver større, og at der ved udbetaling af erstatning kan blive behov for større summer end hidtil. Med en stigning i tingskadesummen og dermed en forventning om stigning i udbetaling af erstatning, er det endnu mere vigtigt, at der af landinspektøren i forbindelse med afsætning foretages en korrekt afsætning. Desuden skal afsætningen kunne vurderes og dokumenteres bl.a. ud fra uafhængig kontrolmåling, som § 3 i [LgE-forsikringsbetingelser, 2002, s. 1] foreskriver.

2.2.1 Forsikringsssager omkring afsætning

Årsagen til erstatningsansvar, som følge af fejl i forbindelse med afsætning, kan skyldes flere forskellige faktorer. I en gennemgang af afsluttede forsikringsssager fra 1991-2003 fremgår forskellige begrundelser, som beskrives i det følgende. Dokumenter vedrørende opsamling af forsikringsssager, forsikringsbetingelser, vedtægter samt oversigt over relevante forsikringsssager vedrørende afsætning fremgår af bilag A [:\LgE*.pdf]. I forbindelse med gennemgang af forsikrings-sagerne knytter bestyrelsen for LgE kommentarer, der opfattes som generelle kommentarer til alle forsikringstagere, om hvordan landinspektørerne bør forholde sig i en afsætningsituation.

Fejl i afsætning kan være bestemmelsen af koten, hvor der er tvivl mellem entreprenør og landinspektør, om hvad der skal bruges som nulpunkt eller udgangspunkt [LgE, sag nr. 906]. Der kan også være grove fejl som læse- og skrive fejl, der resulterer i, at der bliver afsat for højt eller for lavt [LgE, sag nr. 865, 880, 889, 978].

Fejl i forbindelse med afsætning i planen knytter sig ofte til afsætning af modul-linier, hvor den forkerte modullinie bliver afsat [LgE, sag nr. 862, 944], eller at der sker en grov fejl i udregningen af, hvor meget en modullinie skal parallelforskydes [LgE, sag nr. 761, 805, 964]. Derover kan fejlafsætning af en modullinie oftest få indflydelse på andre modullinier, som skal være parallelle med en given afstand [LgE, sag nr. 815]. Fejl i forbindelse med afsætning af enkelte punkter knytter sig til fejl i udregningen af afsætningsdata [LgE, sag nr. 886, 892].

I forbindelse med fejl under selve afsætningen kan det forekomme, at der sker fejl vedrørende diverse konstanter. Eksempelvis fejlagtig korrektion for prisme-konstant [LgE, sag nr. 962].

Med hensyn til kontrolmåling af det afsatte skal denne udføres således, at det kan dokumenteres, hvad der er afsat [LgE-forsikringsbetingelser, 2002, s. 1]. I mange af forsikringsssagerne i perioden 1991-2003 er grunden til fejlen i afsætningen, at kontrolmålingen ikke er udført eller ikke er udført tilfredsstillende, således der ikke kan forelægges en fyldestgørende dokumentation for rigtigheden af afsætningen. Der kan nævnes flere sager, hvor der ikke er udført kontrolmåling, som af LgE menes at kunne have opdaget afsætningsfejlen [LgE, sag nr. 845, 850, 890, 921]. Selvom kontrolmålingen udføres kan dokumentationen af denne sommetider være mangelfuld og ikke forståelig for LgE i behandling af erstatningssagen [LgE, sag nr. 885]. Ydermere eksisterer der erstatningssager, hvor der ikke er udført kontrolmåling, som har resulteret i, at der skal betales dobbelt selvrisiko, eller hvor dobbelt selvrisiko har været diskuteret af LgE [LgE, sag nr. 890, 911, 937, 948]. Specielt med hensyn til manglende eller ikke tilfredsstillende kontrolmåling har LgE i forbindelse med gennemgangen af afsluttede forsikringsssager i 1999 fremhævet, at kontrolmåling skal kunne dokumenteres, således at andre end selve måleren kan forstå kontrolmålingen. Yderligere skal

kontrolmålingen ikke kun omfatte selve det afsatte, men også omkringliggende bestemmende punkter såsom hushjørner, skelmærker osv. [LgE, 2000]

Af andre typer af fejl, som kan blive grundlaget for en forsikrings sag, kan kommunikationsbrist fremhæves. Kommunikationsbrist kan fremtræde i flere situationer, eksempelvis kan det til landsinspektøren udleverede tegningsmateriale være for dårligt (faxede bygningstegninger), hvor landinspektøren aflæser tegningsmateriale forkert [LgE, sag nr. 917, 982]. Derudover kan der på byggepladsen ske ændringer i det, som entreprenøren eller bygherren ønsker afsat. Der er således indgået en aftale om afsætningsmål, der ikke er beskrevet på det udleverede tegningsmateriale. Sådanne mundtlige aftaler er ikke brugbare i en forsikrings sag, idet de oftest ikke kan dokumenteres. [LgE, sag nr. 917, 920, 954] Forsikrings sager omhandlende manglende dokumentation har fået LgE til at skærpe forsikringsbetingelserne i § 3, således at der kan afkræves dobbelt selvrisiko i tilfælde af, at mundtlige aftaler ikke er bekræftet skriftligt [LgE, 2002]. Manglende dokumentation har også fået LgE til at udtale følgende:

„Jeg vil endnu en gang gentage, at mundtlige aftaler om for eksempel forståelse af mål på projekttegninger og aftaler på byggepladser skal bekræftes skriftligt. ... Det er uhyre vigtigt at have en sådan dokumentation liggende i sagen.“

[LgE, 2002]

Kvalitetssikring og tidspres

I en forsikrings sag, omhandlende afsætning af et enfamiliehus, kommer landinspektøren fejlagtig til at afsætte enfamiliehuset ud fra en forkert tegning. Der skal således betales erstatning for forkert afsætning. Udover at have afsat på baggrund af forkert tegningsmateriale har landinspektøren behandlet afsætnings sagen korrekt med hensyn til kontrolmåling af det afsatte og nærtliggende skel, nivellement, udfærdigelse og afsendelse af afsætningsrids til muremesteren. Forsikrings sagen er et eksempel på, at byggearbejdet starter inden landinspektøren når at udfærdige og afsende afsætningsplan. Denne forsikrings sag får LgE til at udtale dette:

„Hvordan kan vi gøre noget ved det (at der startes på byggearbejdet før afsætningen er dokumenteret, red.)? Jeg mener, at vores omdømme ikke kan bære, at vi forlader byggepladsen med: „Nu har vi afsat bygningen, men du må ikke begynde på arbejdet, før du og arkitekten har modtaget en afsætningsplan.“ “

Forsikringssummen var i denne sag 161.071,00 kr.

[LgE, sag nr. 943]

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

Med hensyn til kontrol af afsætningen, og at den oftest udføres på kontoret, kan sag nr. 862 fremhæves som belysning af tidsproblemet med, at en landinspektør ikke kan kontrollere afsætningen i marken. En landinspektør rekvireres til at foretage en afsætning af tre huse på galger, fejlagtig får landinspektøren indlagt en forkert modullinie som udgangspunkt. Landinspektøren foretager afsætning med efterfølgende kontrolmåling fra fri opstilling uden at opdage fejlen. Fejlen opdages på kontoret 3 timer og 15 minutter efter, at landinspektøren har forladt byggepladsen. Men i dette tidsrum er den ene langside allerede støbt, og der er et nyt læs beton på vej.

Forsikringssummen var i denne sag 34.817,50 kr.

[LgE, sag nr. 862]

Foregående forsikrings sag viser, at der ikke er lang tid, fra en landinspektør har afsat en bygning, til der foretages bygningsarbejde i form af støbning af sokkel. Der er tidspres på landinspektører og selvom fejlen i afsætningen „opdages“ indenfor få timer, kan det alligevel resultere i udbetaling af erstatning.

Idet at ansvarsforsikringen er en gensidig forsikring mellem landinspektører, foretages der løbende underretning til forsikringsmodtager om forskellige forsikrings sager netop for at forebygge benyttelsen af forsikringen. Det er således i alles interesse at holde et så lavt præmieniveau som muligt, hvilket også afspejles i, at forsikringsbetingelser er skærpet angående afsætning i 2002. Udover at der skal betales præmie til forsikringen, vil manglende rettidig omhu og dermed benyttelse af LgE også betyde svækkelse af landinspektørens troværdighed. Der skal således udføres et troværdigt arbejde. [LgE, sag nr. 943], [LgE, 2002], [LgE, 2000]

2.3 Hard- og software til afsætning med totalstation

Dette afsnit har til formål at redegøre for, hvilke teknologiske muligheder der pt. findes i forbindelse med afsætning med totalstation. Det vil ikke indeholde en matematisk/teknisk gennemgang af teknologierne, men derimod redegøre for, hvilke teknologiske muligheder der findes for en operatør/landinspektør i forbindelse med en afsætningssituation.

Der er i 2.1.5 *Forbedringsmuligheder af bygningsafsætningsprocessen* fremhævet to forbedringsmuligheder. Den ene mulighed er at have et digitalt kort med i marken for således at kunne orientere sig bedre. Den anden mulighed er at have et værktøj med i marken, der kan hjælpe landinspektøren med at få en vished om, at afsætningen er udført korrekt.



Figur 2.10 Trimble 5600 totalstation med påmonteret ACU controller samt ACU controller [www.trimble.com].



Figur 2.11: Leica TPS1200 totalstation [www.leica-geosystems.com].

Der vil blive taget udgangspunkt i to førende producenter af totalstationer, henholdsvis Trimble og Leica.

De nyeste modeller fra de to producenter er:

- Trimble: 5600 totalstation
 - Leica: TPS1200 totalstation
- [www.trimble.com], [www.leica-geosystems.com]

I det efterfølgende beskrives disse to totalstations løsninger med hensyn til, hvilke teknologiske muligheder vedrørende kommunikation en operatør har i forbindelse med en afsætningssituation med totalstation.

Gældende for begge systemer er, at de er integrerede med andet landmålingsudstyr eksempelvis GPS. Det er således muligt at indmåle punkter med GPS og arbejde videre med disse punkter på totalstationen direkte i marken.

Trimble 5600 totalstation har et aftageligt display kaldet „ACU controller“, der kan påmonteres både totalstation og GPS. Totalstationen med påmonteret ACU controller samt ACU controller er afbilledet på figur 2.10. I forbindelse med hvilke teknologiske muligheder en operatør har i en afsætningssituation, er det ACU controlleren, der er betydningsfuld.

Leica TPS1200 totalstation er afbilledet af figur 2.11. Her er det ikke muligt at tage displayet af. Derimod kan der anskaffes en fjernbetjening.

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

I figur 2.12 fremgår, hvilke funktioner de enkelte instrumenter indeholder. Disse er et udvalg, som er vigtige at fremhæve i forbindelse med videreudvikling af forbedringsmuligheder i bygningsafsætningsprocessen.

Specifikation	Trimble 5600	Leica TPS1200
Vinkelmåling		
Hz, V	0,3 mgon	0,3 mgon
Distancemåling		
Grundfejl	2 mm	2 mm
Afstandsafhængigfejl	2 mm	2 mm
Hardware		
Styresystem	Windows CE	Leica (internt system)
Skærm	320 * 240 pixels	320 * 240 pixels
	Color	S/H
	touchscreen	touchscreen
Fjernbetjening	aftageligt (ACU controller)	Valgfrit
Internet adgang	+	-
Software		
Afsætningsprogrammer	+	+
Digitalt kort med i marken	+	+

Figur 2.12: Funktioner indeholdt i totalstationer [www.trimble.com], [www.leica-geosystems.com].

Især skal det bemærkes, at det på begge instrumenter er muligt at medbringe digitale kort i marken. Via det grafiske interface er det muligt i begge systemer at udpege punkter i kortet enten via knapper eller via touchscreen samt udføre diverse zoom-funktioner.

I forbindelse med en afsætningsituation findes der diverse afsætningsprogrammer på totalstationerne. Endvidere er det muligt at programmere egne programmer til totalstationerne. Således findes altså diverse programmer til at afsætte punkter i marken. Derimod findes ingen programmer, der kan hjælpe landinspektøren med at kontrollere sin afsætning i marken.

3

Problem- formulering

Dette kapitel indeholder en opsamling på den empiriske viden, der er opstillet i foranalysen. Denne viden benyttes til at foretage en konkretisering af den i indledningen opstillede initierende problemstilling. Denne konkretisering resulterer i problemformuleringen, der danner grundlag for det videre arbejde med projektet.

Gennem foranalysen er der svaret på den initierende problemformulering, der lyder:

„Hvorledes forløber en bygningsafsætningsproces i praksis, og hvor kan processen forbedres, samt i hvilke situationer kan der opstå fejl?“

Med hensyn til hvordan en praktisk afsætningsituation forløber, er det gennem kontakter til praktiserende landinspektører fastslået, at:

- landinspektøren foretager en kontrol af tegningsmaterialet
- landinspektøren foretager beregning/konstruktion af afsætningsdata på kontoret

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

- afsætning foretages polært med totalstation (fra fri opstilling)
- der foretages oftest afsætning af modullinier ud fra referencelinie eller koordinater
- der udføres polær kontrolmåling (fra fri opstilling)
- kontrolberegning af afsætningen foretages på kontoret
- afsætningen vurderes ud fra erfaring med tidligere opgaver, spredningen på opstillingspunktets koordinater samt sammenligning mellem kontrolmåling og tegningsmaterialet

Fejl i forbindelse med afsætning er belyst gennem forsikringsager som er indstillet til Landinspektørernes gensidige Erhvervsansvarsforsikring. Disse kan være:

- fejl i fastlæggelse/afsætning af kote
- fejl i fastlæggelse af modullinie(r)
- manglende eller utilfredsstillende kontrolmåling og manglende dokumentation af afsætningens rigtighed
- kommunikationsbrist, eksempelvis som følge af dårligt tegningsmateriale
- manglende dokumentation for mundtlige aftaler
- tidspres

Af forbedringsmuligheder har de involverede praktiserende landinspektører fremlagt, at det vil være en fordel, at:

- have et digitalt kort med i marken
- der på stedet kan skabes overblik over præcisionen/nøjagtigheden og rigtigheden af det afsatte, således der ikke skal foretages kontrolberegning og sammenligning med tegningsmateriale på kontoret men i marken.

For at kunne forbedre og kvalitetssikre afsætningsprocessen bør der altså inddrages et digitalt kortmateriale i marken, og det bør på en hensigtsmæssig måde være muligt at kunne kontrollere og vurdere sin afsætning i marken.

På baggrund af foranalysen og foregående udledninger fra denne opstilles følgende problemformulering.

„Hvordan vurderes præcision/nøjagtighed af en afsætning, og hvordan kontrolleres en afsætning hensigtsmæssigt i marken?“

3.1 Afgrænsning

Der afgrænses til udelukkende at behandle afsætning og kontrol af afsætning med totalstation ved den polære metode. Endvidere afgrænses afsætning til at omfatte afsætning af modullinier i planen, da denne metode er udbredt i praksis, jf. 2.1.2 *Afsætning*. Ydermere inddrages afsætning af kote med totalstation ved trigonometrisk nivellement, for på denne måde at inkludere den tredje dimension.

I 2. *Foranalyse* fremgår det, at opstilling med totalstation oftest foregår som en fri opstilling. Derfor vælges det at behandle netop denne type af opstilling igennem projektet. Således afgrænses fra at foretage opstilling i kendt punkt med totalstationen i forbindelse med afsætning eller kontrolmåling.

Projektet omhandler udelukkende, hvorledes der kan udføres en hensigtsmæssig kontrol af en afsætning, og ikke hvorledes en eventuel fejl udbedres på den mest hensigtsmæssige måde. Endvidere omhandler projektet de fejl som landinspektøren har indflydelse på i forbindelse med en afsætning, og ikke hvilke fejl der evt. kan påføres en afsætning efter, at landinspektøren har forladt byggepladsen.

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

4

Løsning til problemformulering

Formålet med dette kapitel er at fremlægge en løsning til problemet formuleret i problemformuleringen. Kapitlet indeholder således en overordnet beskrivelse af løsningen, hvorefter løsningen i kapitel 5, 6 og 7 analyseres og vurderes i detaljer. På baggrund af løsningen udvikles et program i kapitel 8, der testes i kapitel 9.

Først opstilles grundlaget til løsningen samt argumentation for netop at vælge denne indgangsvinkel til løsningen. Herefter beskrives løsningen til problemet, med udgangspunkt i delkonklusionerne fra foranalysen og afgrænsningen. Slutteligt indeholder dette kapitel en fremstilling af, hvilke betingelser og valg der er afgørende for projektet.

4.1 Grundlag til løsning

Grundlaget til løsningen ligger i de forbedringsmuligheder, som landinspektører har fremstillet i forbindelse med foranalysen. Forbedringsmulighederne er, at der medbringes et digitalt kort i marken, og at der i marken kan skabes overblik over præcisionen, nøjagtigheden og rigtigheden af det afsatte. Det, at land-

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

inspektøren i marken kan skaffe sig vished om afsætningens kvalitet, vil være med til at lette arbejdsgangen i en bygningsafsætningsproces og formentlig betyde færre sager ved LgE angående afsætning.

Projektet vil overordnet omhandle mulighederne for at forbedre og kvalitets-sikre en bygningsafsætningsproces i marken.

Dette vil have to åbenlyse fordele. Landinspektøren vil øjeblikkeligt have den nødvendige dokumentation for afsætningens kvalitet, og kan efter kontrollen umiddelbart afslutte sagen og gå videre til næste. Anden fordel er, at byggeriet kan gå i gang umiddelbart efter, at landinspektøren har forladt byggepladsen med vished om, at afsætningen er korrekt.

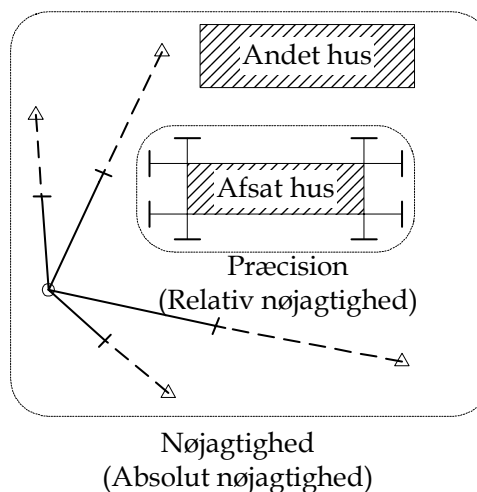
Netop førnævnte forbedringsmuligheder er indeholdt i anden til fjerde delproces (afsætning, kontrol af afsætning og efter afsætning) af bygningsafsætningsprocessen i praksis, jf. 2.1 *Afsætning i praksis*.

Med hensyn til afsætning udføres der hovedsageligt fri opstilling med totalstation og oftest afsætning af modullinier på galger, jf. 2.1.2 *Afsætning*, hvorfor dette også er grundlag for løsningen af problemformuleringen.

4.1.1 Præcision og nøjagtighed

I dette afsnit defineres begreberne præcision og nøjagtighed i forbindelse med afsætning, som er en del af vurderingsproblemet i problemformuleringen. Præcision (relativ nøjagtighed) kan betragtes som forholdet mellem observationerne fra den enkelte opstilling og nøjagtighed (absolut nøjagtighed) er forholdet mellem observationerne og kendte punkter eller andre objekter.

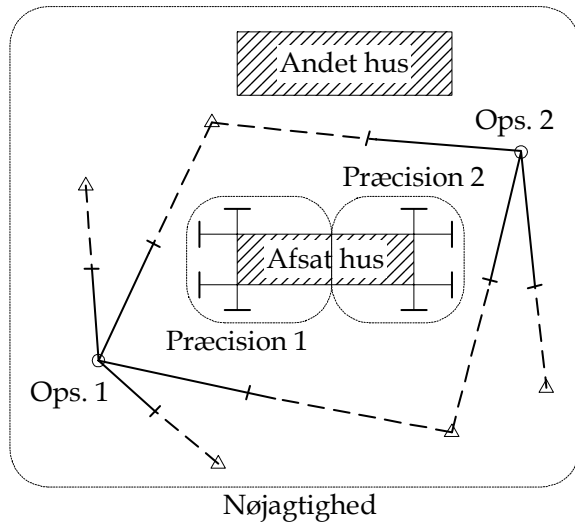
I forbindelse med afsætning defineres præcision som et udtryk for forholdet mellem afsatte punkter samt afledte punkter af de afsatte punkter. Afledte punkter kan eksempelvis være skæring af modullinier. Med en præcis afsætning menes, at der er overensstemmelse indenfor det afsatte fra den enkelte opstilling, den relative nøjagtighed er god. På figur 4.1 illustreres omfanget af afsætningen, der betegnes som præcisionen af afsætningen. Præcisionen på figur 4.1 udgøres af punkter og skæring af modullinier afsat fra en opstilling.



○ Opstillingspunkt △ Kendt punkt

Figur 4.1: Illustration af præcision og nøjagtighed i forbindelse med afsætning.

Modsat præcision er nøjagtighed udtryk for afsætningens forhold til det omkringliggende, såsom andre huse, tidligere afsatte punkter fra anden opstilling, kendte punkter, skel osv. En nøjagtig afsætning er altså, hvor afsætningen passer absolut. Figur 4.1 viser omfanget af nøjagtigheden i afsætningen. Såfremt et hus afsættes fra flere opstillinger, vil det kræve, at afsætningen fra alle opstillinger er nøjagtige, netop fordi at opstillingspunktet til den enkelte opstilling bestemmes ud fra observationer til kendte punkter. Et afsat hus kan således være sammensat af flere præcise afsætninger (præcision 1 og 2), som, for at det hele huset passer sammen, jf. figur 4.2, også skal være nøjagtige.



○ Opstillingspunkt △ Kendt punkt

Figur 4.2: Illustration af præcision og nøjagtighed af et hus afsat fra to opstillinger.

Det er altså muligt, at foretage en præcis afsætning, uden at afsætning nødvendigvis er nøjagtig. Men der kan ikke foretages en nøjagtig afsætning, medmindre den også er præcis. Om der foretages en nøjagtig afsætning afhænger af, hvor nøjagtig opstillingen bestemmes, idet opstillingen udgør overgangspunktet mellem kendte punkter/objekter og afsætningspunkterne.

4.2 Løsning til problem

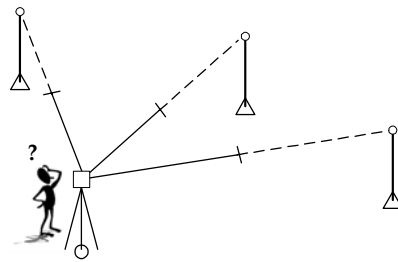
Problemformuleringen kan opdeles i to - dels en vurderingen af afsætningens præcision og nøjagtighed og dels en hensigtsmæssig måde at kontrollere en afsætning i marken. Det vælges således at opdele løsningen til problemformuleringen i to delvis adskilte dele, som det vil fremgå af det følgende.

4.2.1 Vurdering vedrørende præcision og nøjagtighed af afsætning

Det er fastlagt, at projektet vil omhandle afsætning fra fri opstilling med totalstation og med afsætning af modullinier samt koter. Derfor vil en vurdering af afsætningens præcision og nøjagtighed knytte sig til vurdering af:

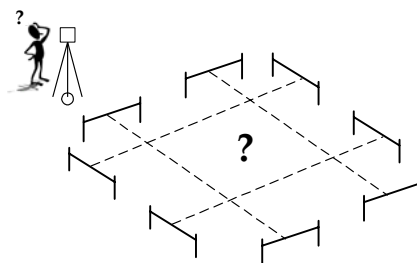
- fri opstilling (figur 4.3)
- afsætningen af modullinier samt kote (figur 4.4)

Vurderingen af fri opstilling gør sig gældende både til selve afsætningen og til den efterfølgende kontrolmåling. Vurderingen af afsætningen af modullinier kan benyttes under selve afsætningsforløbet og til kontrolmålingen. Under selve afsætningsforløbet kan vurderingen af afsætningen af modullinier bruges til at vurdere, om præcisionen og nøjagtigheden af afsætningen er tilfredsstillende på baggrund af opstillet fejlteori. Denne vurdering af modullinier vil også med fordel kunne benyttes under/efter selve kontrollen til vurdering af afsætningens præcision og nøjagtighed.



Figur 4.3: Vurdering af fri opstilling.

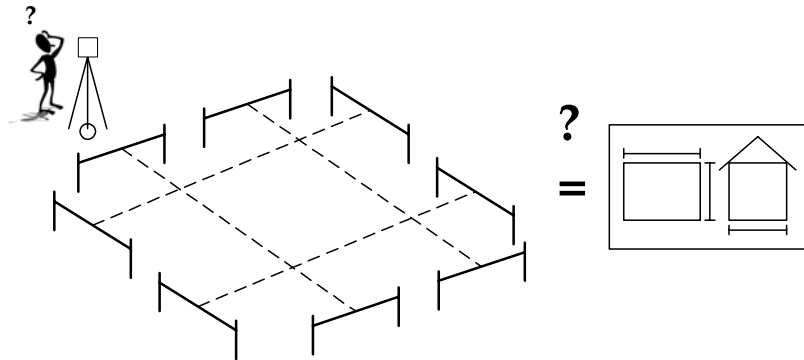
Gældende for både vurdering af fri opstilling og afsætning af modullinier er, at det skal bestemmes, hvilke størrelser vurderingen skal foregå på baggrund af. Dette vil betyde, at der til den fri opstilling, jf. 5. *Fri opstilling*, foretages en beregning af opstillingen samt bestemmelse af vurderingsstørrelser tilhørende denne. Til vurdering af afsætningen af modullinier samt kote opstilles der fejlteoretiske overvejelser samt vurderingsstørrelser, jf. 6. *Afsætning af modullinie samt kote*.



Figur 4.4: Vurdering af afsætning af modullinier samt kote.

4.2.2 Vurdering vedrørende kontrol af afsætning i marken

Efter at afsætningen er foretaget i marken, kontrolleres afsætningen for at undgå evt. fejl, jf. 2.1.3 *Kontrol af afsætning*. Kontrollen af afsætningen udføres oftest ved, at de afsatte punkter indmåles fra en ny fri opstilling med totalstation, og hjemme på kontoret kan der således udregnes koordinatforskelle mellem det afsatte og designkoordinater, jf. figur 4.5. Men hvis en sådan kontrol af afsætningen skal foregå i marken, skal det fastlægges, på hvilket grundlag kontrollen af afsætningen skal foretages. Metoden til kontrollen i marken samt hvilke størrelser kontrollen skal foregå på baggrund af beskrives i kapitel 7. *Kontrol af afsætning*. Hvorledes et system udvikles, og hvilke vurderingsstørrelser dette skal indeholde til brug ved kontrol af afsætning i marken, behandles i kapitel 8. *Programudvikling*, der efterfølgende testes i kapitel 9. *Afsætning med BAKK*.



Figur 4.5: Kontrol af afsætning i marken.

4.3 Betingelser og valg

Til gennemførelse af projektet er projektgruppen underlagt visse betingelser, og forud for løsningen af problemet skitseret i problemformuleringen skal der træffes visse grundlæggende valg. Disse betingelser og valg beskrives i det følgende.

4.3.1 Udstyr

Til dette projekt bliver der taget udgangspunkt i det udstyr, projektgruppen har adgang til på AAU. Udstyret er centralt i de tilfælde, hvor der skal opgives instrument afhængige værdier såsom grundfejl på afstandsobservation osv. til bl.a. beregninger og testnet. Udover beregninger og testnet vil en praktisk udførelse af en afsætning også være afhængig af det tilgængelige udstyr, ligesom evt. visualisering på totalstationen og betjeningspanelet på totalstationen.

Det tilgængelige udstyr er en Leica TCRA1105plus, som fremgår af figur 4.6. Det er muligt at måle reflektorløst, og der er automatisk prismesøgning med denne motoriserede totalstation. Specifikationerne for instrumentet fremgår af figur 4.7.



Figur 4.6: TCRA1105plus.

Specifikation	TCRA1105plus
Afstandsmålingsenhed (til prisme):	
Grundfejl (σ_g), mm	2
Afstandsafhængigfejl (σ_a), ppm	2
Vinkelmålingsenhed:	
Spredning horisontalretning (1 sats) (σ_r), mgon	1,0
Spredning på zenitdistance (1 sats) (σ_v), mgon	1,0

Figur 4.7: Specifikationer for TCRA1105plus [Jensen a, 2003, s. 182]

Til evt. programmering af totalstationen Leica TCRA1105plus eksisterer programmeringssproget GeoBasic, hvor det er muligt at programmere på en PC og derefter overføre programdelen til totalstationen. GeoBasic er ikke et hensigtsmæssigt programmeringssprog i en udviklingssituation grundet dets begrænsninger vedrørende matriceregneoperationer. Derfor vælger projektgruppen at benytte sig af muligheden med tilkobling af PC til totalstationen. Opkoblingen mellem totalstation og PC giver mulighed for at overføre observationer fra totalstation til PC og gennemføre beregninger på PC'en.

Udover programmeringssprogets begrænsninger indeholder den tilgængelige totalstation også en begrænset regnekraft, hvorfor det også er en fordel til udvikling af prototyper af programdele at udføre dette på en PC. Udvikling af programdele på PC'en udføres i programmet MatLab.

4.3.2 Tolerancedefinition

Som beskrevet i 2.1.1 *Før afsætning* er det sjældent, at der fra rekvirenten opgives tolerancekrav, som landinspektøren skal overholde. Præcisionen og nøjagtigheden af afsætningen beror på, at landinspektøren udfører et tilfredsstillende stykke arbejde med den nødvendige præcision og nøjagtighed til afsætningsopgaven. Til vurdering i dette projekt vælger projektgruppen at fastlægge en grænse for, om afsætningen er udført med den nødvendige præcision og nøjagtighed.

Til angivelse af præcisionen og nøjagtigheden arbejdes der fra Dansk Standardiseringsråds side med angivelser af tolerancer. En tolerance er en specificeret intervallængde på et længdemål eller målpunkt, med specificeret placering og relativt til det opgivne længdemål eller målpunkt [www.betonportal.dk]. Det vil eksempelvis sige, at længdemålet mellem to punkter skal være 5,232 m +/- 9 mm, hvor tolerancen T i dette tilfælde er 18 mm. I foregående eksempel er toleranceintervallet symmetrisk omkring længdemålet, hvilket det også oftest vil være.

I afsnit 2.1.1 *Før afsætning* beskrives tolerancekravene, som de er defineret af Dansk Standardiseringsråd i „Måling i byggeriet“. Disse tolerancekrav anses for at være for stramme og ikke virkelighedsnære. For præfabrikerede betonelementer, stålkonstruktioner og lign. er tolerancekravet ved afsætning af afstande mindre end 5 m +/- 2 mm. Sammenholdes dette tolerancekrav med tolerancekravene til fremstilling af betonelementer (Tolerancer for betonelementers hovedmål), er der uoverensstemmelse. Tolerancekravene i bredden for fremstilling af betonelementer er for elementer mindre end 7,2 m +/- 8 mm. I følge Dansk Standardiseringsråd skal der altså, efter projektgruppens mening, foretages en alt for præcis/nøjagtig afsætning i forhold til tolerancekravene til fremstilling af betonelementer. Tolerancekravene fra Dansk Standardiseringsråd vil således ikke benyttes i det følgende.

Begrebet tolerance er oftest ikke en del af landinspektørens definitioner, idet en tolerance er en absolut grænseværdi. I landinspektørverdenen arbejdes med spredning på et punkt, afstand, retning osv. For at få en entydig overgang mellem spredning og tolerance defineres følgende:

$$\sigma \leq \frac{T/2}{3} \quad (4.1)$$

hvor σ er spredning på en afstand, vinkel eller højdeforskel [Jensen b, 2003, s. 29]. Tolerancen T kan således overholdes med 99,7 % konfidens i en dimension. Hvis en given afstand har en tolerance på 18 mm, skal spredningen på afstanden være mindre end:

$$\sigma_s \leq \frac{18 \text{ mm}/2}{3} \Leftrightarrow \sigma_s \leq 3 \text{ mm}$$

I projektet forventes det, at der oplyses en tolerance fra rekvirenten, således at det kan fastslås, om afsætningen er tilfredsstillende eller ej. Selvom en landinspektør ikke får oplyst tolerancekrav fra rekvirenten, kan der som udgangspunkt for landinspektørens arbejde fastlægges en tolerance, som afsætningen skal udføres med.

4.3.3 Koordinatsystem

Forud for en afsætning skal det fastlægges, i hvilket referencekoordinatsystem der arbejdes og afsættes. Afhængigt af afsætningsopgaven kan der arbejdes i lokalt eller landsdækkende referencekoordinatsystem.

Arbejdes der i et landsdækkende referencekoordinatsystem skal landinspektøren være opmærksom på specielt afstandskorrekturen, der knytter sig til den valgte projektion. Afstandskorrekturen kan for System 34 i Jylland/Fyn området være op til +/- 5 cm pr. kilometer, og for UTM kan afstandskorrekturen være op til +/- 40 cm pr. kilometer. Retningskorrekturen som følge af den valgte projektion har ikke indflydelse, idet denne først har indflydelse ved lange sigter (over 5 km) afhængigt af afstanden til midtermeridianen. [Jensen c, 2003, s. 18]

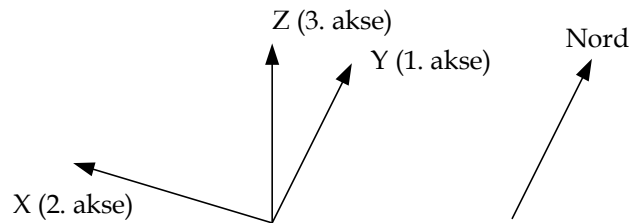
Der oprettes et lokalt koordinatsystem til afsætningen, hvorfor der ikke skal tages højde for afstandskorrekturen for projektionen. Såfremt at afsætningsdata efterfølgende skal præsenteres i et landsdækkende referencekoordinatsystem, kan der foretages en transformation på baggrund af kendte punkter i begge koordinatsystemer.

Der foretages korrektion for jordkrumning og refraction på afstands- og zenit-distanceobservationer. Dette gøres for også at kunne håndtere tilfælde, hvor sigtelængderne ikke nødvendigvis er korte. Korrekturen for refraction kan være

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

problematiske at udregne, netop fordi refraktionsforholdene kan variere meget afhængig af luftens temperatur, tryk og fugtighed [Jacobi, m.fl., 1989, s. 24]. Det antages dog, at der foretages korrekt korrektion for refraction.

I dette projekt vælges det at arbejde med et lokalt tre-dimensionalt referencekoordinatsystem, der er orienteret som System 34, jf. figur 4.8. Et koordinatsystem, hvor 1. akse (Y-aksen) peger mod nord, 2. akse (X-aksen) peger mod vest og 3. akse (Z-aksen) peger op ad, således at koordinatsystemet bliver højre-



Figur 4.8: Lokalt tre-dimensionalt referencekoordinatsystem orienteret som System 34.

Retninger angives i forhold til 2. akse (X-aksen) og zenitdistancer i forhold til lodlinien.

5

Fri opstilling

Formålet med dette kapitel er at redegøre for, hvorledes en fri opstilling beregnes, og hvilke størrelser der i denne forbindelse kan benyttes til at vurdere en fri opstilling vedrørende nøjagtighed, jf. 4.1.1 *Præcision og nøjagtighed*. I forbindelse med afsætning bestemmes opstillingspunktet ved fri opstilling og er koblingen/overgangspunktet mellem kendte punkter og punkter, der skal afsættes. Derfor er det vigtigt at få bestemt opstillingen samt vurderingsstørrelser til denne. Nøjagtigheden af afsætningen afhænger bl.a. af, hvor nøjagtigt opstillingspunktet er bestemt i forhold til de kendte punkter, jf. 4.1.1 *Præcision og nøjagtighed*.

Først beskrives opmålingssituationen i forbindelse med fri opstilling, samt hvilke observationer der indsamles. Herefter redegøres for, hvilke metoder der vælges til at bestemme den frie opstilling. Endelig beskrives, hvilke størrelser der kan benyttes til at vurdere den frie opstilling.

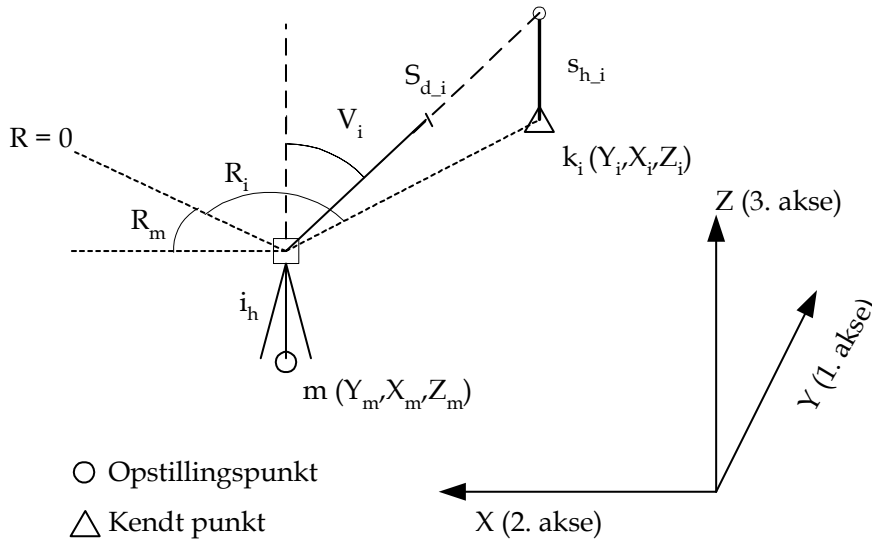
For en teoretisk gennemgang af de forskellige beregningsmetoder, opstilling af matricer samt bestemmelse af spredninger til observationer henvises til appendiks I.

5.1 Opmålingssituation

Opmålingssituationen i forbindelse med fri opstilling fremgår af figur 5.1, hvor der dog kun vises observationer til et kendt punkt (i). På baggrund af observa-

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

tioner til kendte punkter (trekant) bestemmes koordinater (Y_m, X_m, Z_m) til opstillingspunktet (cirkel) samt kredselementet (R_m). Disse størrelser bestemmes ved udjævning, jf. 5.2 *Beregningsmetode af fri opstilling*.



Figur 5.1: Opmålingssituationen ved fri opstilling.

Opmålingssituationen er beskrevet yderligere i 1.1 *Opmålingssituationen*, jf. appendiks I.

5.1.1 Observationer

Det antages, at der fra opstillingspunktet til kendte punkter altid observeres følgende råobservationer:

- Skrå afstand (S_d)
- Horisontalretning (R)
- Zenitdistance (V)
- Instrumenthøjde (i_h)
- Prismehøjde (s_h)

Det vælges at korrigere den skrå afstand (S_d) for atmosfæriske forhold, jordkrumning og refraction. Dette gøres selvom korrektionen er minimal i de fleste tilfælde og derfor oftest ikke vil have nogen reel indflydelse på bestemmelsen af opstillingspunktet. Ligeledes korrigeres zenitdistancen for jordkrumning og refraction. Skrå afstanden og zenitdistancen korrigeres, da det ikke på forhånd vides, i hvilken opmålingssituation beregningen af den frie opstilling skal indgå.

Råobservationer inkluderer instrumenthøjden til opstillingspunktet, som ved fri opstilling er nul ($i_h=0$), og prismehøjden (sigteskivehøjden) i de kendte punkter

(s_h). Ved observation til et kendt punkt observeres til prismet og ikke til selve punktet, derfor reduceres den skrå afstand (S_d) og zenitdistancen (V) for prisme-højden og instrumenthøjden. Således betegnes den reducerede skrå afstand S_k , og den reducerede zenitdistance V_k . Yderligere beskrivelse af reducere af observationerne findes i *1.1.1 Reducerede observationer*, jf. appendiks I.

Hver observation tildeles en spredning, som indgår ved beregning af vægte i den efterfølgende udjævning af elementerne. Disse er beskrevet i *1.3 Spredning på observationer*, jf. appendiks I.

Endvidere indgår de kendte punkters koordinater (Y_k, X_k, Z_k) som observationer. Årsagen til dette er, at de kendte punkter ikke er fejlfrie, og det derfor er ønskeligt at kunne tildele disse en spredning. Da kendte punkter kan have forskellig præcision, er det muligt at tildele forskellige spredninger til de kendte punkter.

5.2 Beregningsmetode af fri opstilling

I landinspektørverdenen er der tradition for at bestemme elementer ud fra et overbestemt observationssæt. Således at der er flere observationer end krævet for at bestemme elementerne. Dette gøres dels for at sikre mod grove fejl, og dels for at få en „bedre“ bestemmelse af elementerne. Det vælges her at bestemme den frie opstilling ved rumlig udjævning efter mindste kvadraters princip. I det følgende beskrives, hvorledes elementerne til den frie opstilling bestemmes ved rumlig udjævning efter mindste kvadraters princip, for yderligere beskrivelse henvises til appendiks I. Endelig beskrives, hvorledes elementerne til den frie opstilling kan bestemmes ved robust udjævning.

5.2.1 Rumlig udjævning efter mindste kvadraters princip

Det forudsættes, at bestemmelsen af den frie opstilling (Y_m, X_m, Z_m, R_m) bestemmes på baggrund af et overbestemt observationssæt, således observeres der til tre eller flere kendte punkter. Ønskes en udregning af elementer ud fra et overbestemt antal observationer, er en udjævning nødvendig for at bestemme en entydig løsning af elementerne. Da der, jf. *5.1 Opmålingssituation*, indgår forskellige observationstyper, skal disse igennem udjævningen vægtes forskelligt. Således bliver løsningen af elementerne den, hvor mindste kvadraters princip lyder:

„Summen af de kvadrerede og vægtede residualer skal være minimum“

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

Udtrykt matematisk ved:

$$\sum_i^n c_i \hat{r}_i^2 \rightarrow \text{minimum} \quad (5.1)$$

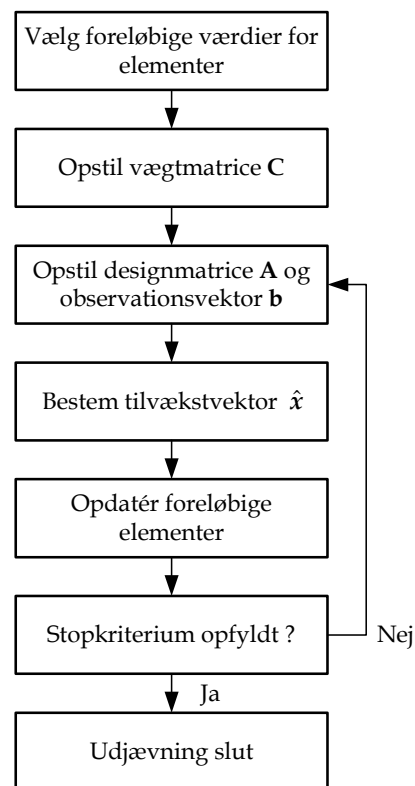
[Cederholm, 2000, s. 5]

En sådan udjævning kan udføres ved forskellige metoder, eksempelvis to-dimensional udjævning af plane koordinater (Y,X) samt kredselement (R) efterfulgt af en en-dimensional udjævning af koten (Z). Alternativt kan opstillingspunktet bestemmes ved transformation, henholdsvis tre-dimensional eller to-dimensional + en-dimensional efter mindste kvadraters princip. Ved transformationsmetoden bestemmes først transformationsparametrene ved udjævning, hvorefter opstillingspunktet beregnes ud fra disse parametre. Ved direkte at udjævne opstillingspunktet, bestemmes Y_m , X_m , Z_m og R_m direkte. I dette projekt beregnes den frie opstilling ved en rumlig tre-dimensional udjævning efter mindste kvadraters princip. Således bestemmes samtlige elementer samtidigt gennem udjævningen.

Observationsligningerne, der indgår i udjævningen af den frie opstilling, fremgår af appendiks I, jf. 1.2 *Observationsligninger og partielle afledte*. Nogle af observationsligningerne er ulineære og lineariseres til brug i udjævningen. Dette gøres ved Taylor-rækkeudvikling, hvor kun 0'te- og 1'te ordens led medtages. I denne forbindelse er det nødvendigt at vælge værdier, hvorfra der kan Taylorudvikles. Disse værdier betegnes som foreløbige værdier.

Da der i udjævningen foretages en linearisering af de ulineære observationsligninger begåes en fejl svarende til anden ordens led og højere. For at kompensere for dette gennemløber udjævningen et antal iterationer, indtil denne fejl er acceptabel. For hver iteration opdateres de foreløbige værdier med elementtilvæksterne bestemt ved mindste kvadraters princip. Dette gøres, indtil elementtilvæksterne er mindre end en fastsat tærskel - stopkriterium. Udjævningsforløbet fremgår af figur 5.2.

De endelige værdier for elementerne bliver således de foreløbige værdier plus summen af elementtilvæksterne.



Figur 5.2: Iterativ løsning af udjævningsproblem [Cederholm, 2000, s. 35].

Stopkriterium for bestemmelsen af elementerne til den frie opstilling er, når elementtilvæksterne til opstillingspunktets koordinater er mindre end 0,0001 m, og 0,0001 gon for kredselementet.

Indtil videre er det forudsat, at der til udjævningen er Y-, X- og Z-koordinater til alle kendte punkter. I en afsætningsituation kan det imidlertid forholde sig anderledes, hvis der f.eks. ikke er angivet en Z-koordinat til et af de kendte punkt. Denne situation løses i udjævningen ved, at der indgår en dummy Z-koordinat, som får tildelt en meget stor spredning, hvormed Z-koordinatobservationen tildeles en meget lille vægt til udjævningen. Således bliver Z-koordinaten bestemt gennem udjævningen, og antallet af overbestemmelser falder med en.

Da der i udjævningen indgår ulineære observationsligninger, er det nødvendigt til iterationsprocessen i udjævningen at bestemme foreløbige værdier til de elementer, der indgår i ulineære observationsligninger. Elementerne bestemmes bl.a. ud fra en Helmert-transformation, hvor der oprettes et hjælpe koordinatsystem, jf. *1.4 Foreløbige værdier*.

5.2.2 Robust udjævning

I enhver opmålingssituation er der risiko for, at de indsamlede observationer er behæftet med grove fejl. Eksempler på dette kan være benyttelsen af fejlagtig prismekonstant ved et punkt, observation til forkert punkt osv. I en almindelig udjævning efter mindste kvadraters princip vil indflydelsen af grove fejl ikke altid fremgå, fordi fejlen kan være overført til observationer, der ikke er fejlbehæftede. Denne ulempe ved mindste kvadraters princip kan undgås ved at benytte metoden robust udjævning. Der findes andre metoder til at finde grove fejl, eksempelvis Data Snooping, som frasorterer observationer på baggrund af normaliserede residualer [Cederholm, 2000, s. 95-103]. I dette projekt behandles dog udelukkende robust udjævning efter den danske metode.

Robust udjævning er en metode, der automatisk fjerner observationer med grove fejl. Dette gøres praktisk ved at vægtreducere observationer med grove fejl i udjævningen, således at disse observationer ikke får betydning for bestemmelsen af elementerne. Metoden er beskrevet yderligere i *1.6 Robust udjævning*, jf. appendiks I. Hovedidéen med metoden er at gennemløbe et antal iterationer, hvor observationernes vægte bliver reduceret ved hjælp af en vægtreduktionsfunktion, der udregnes på baggrund af observationernes normaliserede residualer. Ellers forløber udjævningen som en udjævning efter mindste kvadraters princip.

Metoden er udviklet i forbindelse med udjævning af aerotriangulationsblokke i fotogrammetrien, og er således tilpasset denne form for udjævning [Juhl, 1980, s. 23]. Denne problematik er behandlet i bilag C, hvor det fremgår, at det er svært at tilpasse metoden til udjævning af fri opstilling. Enten bliver der vægtreduceret for mange observationer, der ikke er behæftet med grove fejl, eller også har me-

toden svært ved at finde „små“ grove fejl. I tilfælde af at den frie opstilling bestemmes ud fra observationer til mange punkter (eksempelvis ti eller derover), kan det tillades, at der bliver vægtreduceret for mange observationer, og så er metoden et godt alternativ til den almindelige udjævning.

I bilag C er metoden anvendt på ti observationssæt uden tilfredsstillende resultat. Yderligere undersøgelser (f.eks. alternativ vægtreduktionsfunktion) kan muligvis frembringe andre resultater, som er bedre egnet til udjævning af landmålingsobservationer til bestemmelse af fri opstilling. Det vælges dog her ikke at gå videre med sådanne undersøgelser.

5.2.3 Kontrol af beregning af fri opstilling

Udjævningen af fri opstilling efter mindste kvadraters metode og robust udjævning er af projektgruppen programmeret i MatLab, jf. henholdsvis *friopsYXZalm.m* og *friopsYXZrobust.m*, jf. bilag A [:\Programmer\friopsYXZalm\] og [:\Programmer\friopsYXZrobust\].

Til kontrol af om disse beregninger foregår korrekt, er der i bilag B udført en sammenligning med beregninger udført i udjævningsprogrammet Turbo-Net og beregninger udført med Leica-software „Fri-station“.

Resultatet af denne kontrol viser, at den programmerede udjævning forventes at regne korrekt. Dette konkluderes på baggrund af, at koordinatforskellene ved de forskellige beregninger er små, og at spredningen på vægtenheden er ens. Uoverensstemmelserne kan skyldes, at der i de forskellige software vægtes forskelligt, og at det ikke er præcis samme observationstyper, der benyttes til udjævning, jf. bilag B.

5.3 Vurderingsstørrelser til fri opstilling

Efter endt udjævning, hvad enten denne foregår ved almindelig mindste kvadraters princip eller robust udjævning, er de ubekendte elementer bestemt. Herefter skal udjævningen vurderes, hvilket kan gøres ud fra, hvilke spredninger elementerne har, om udjævningen som helhed er forløbet tilfredsstillende, pålideligheden af spredninger, residualer osv.

I dette afsnit beskrives vurderingsstørrelser i forbindelse med udjævning af en fri opstilling. Dette gøres for, at der senere kan foretages en vurdering af, hvilke størrelser der skal medtages i den endelige vurdering af udjævningen af en fri opstilling i praksis. Vurderingsstørrelserne opdeles i tre kategorier:

- Vurderingsstørrelser vedrørende udjævningen globalt
- Vurderingsstørrelser vedrørende observationer
- Vurderingsstørrelser vedrørende elementer

Da størrelserne knytter sig til statistiske metoder forudsættes det, at observationerne er uafhængige og normalfordelte. Inden gennemgangen af vurderingsstørrelserne pointeres vigtigheden af antallet af overbestemmelser, samt hvorledes antallet af overbestemmelser giver større pålidelighed og dermed øget præcision af de bestemte spredninger.

5.3.1 Overbestemmelser og konfidensintervaller

I landmåling er det almindeligt kendt, at desto flere overbestemmelser der indgår i et udjævningsproblem des mere pålideligt er det. Dette forhold gør sig også gældende i forbindelse med bestemmelsen af vurderingsstørrelser, eksempelvis pålideligheden og dermed præcisionen af spredningen på vægtenheden σ_0 . σ_0 er ikke en endegyldig størrelse for en udjævning. Det er for eksempel ikke rimeligt at antage, at σ_0 beregnet på baggrund af to overbestemmelser skal tillægges lige så stor pålidelighed som σ_0 udregnet ud fra eksempelvis 100 overbestemmelser. Derfor benyttes der konfidensintervaller, der angiver, i hvilket interval σ_0 ligger indenfor. Konfidensintervaller afhænger i høj grad af antallet af overbestemmelser og udtrykker dermed pålidelighed af udjævningen. Et konfidensinterval for en aposteriori spredning σ beregnes ved to grænser $[K_1; K_2]$.

$$K_1 = \sqrt{\frac{d}{\chi^2(d)_{1-\alpha/2}}} \sigma, \quad K_2 = \sqrt{\frac{d}{\chi^2(d)_{\alpha/2}}} \sigma \quad (5.1)$$

Således bestemmes et konfidensinterval for aposteriori spredning σ baseret på d overbestemmelser. α -fraktilen angiver, med hvilken sandsynlighed σ ligger indenfor konfidensintervallet. Normalt arbejdes med 95 % konfidensintervaller, som også betegnes et interval med en konfidensgrad på 95 %. Således er $\alpha = 5\%$. Det ønskelige er små konfidensintervaller med høj konfidensgrad. Således kan aposteriori spredningen bestemmes med høj præcision og pålidelighed.

[Eriksen, m.fl., 2003, s. 19-25]

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

Lad os antage at en fri opstilling er beregnet på baggrund af observationer til tre kendte punkter, hvor σ_0 aposteriori bestemmes til $\sigma_0 = 0,9$. Antallet af overbestemmelser er 5. Således bliver et 95 % konfidensinterval for aposteriori spredningen σ_0 :

$$\left[K_1 = \sqrt{\frac{5}{\chi^2(5)_{0,975}}} 0,90; K_2 = \sqrt{\frac{5}{\chi^2(5)_{0,025}}} 0,90 \right] \Leftrightarrow [0,56; 2,21]$$

Hvis der derimod er beregnet en fri opstilling på baggrund af observationer til ti kendte punkter, der giver 26 overbestemmelser, bliver et 95 % konfidensinterval:

$$\left[K_1 = \sqrt{\frac{26}{\chi^2(26)_{0,975}}} 0,90; K_2 = \sqrt{\frac{26}{\chi^2(26)_{0,025}}} 0,90 \right] \Leftrightarrow [0,79; 1,23]$$

Af ovenstående eksempel fremgår det, at desto flere overbestemmelser der indgår i udjævningen des mere pålidelig er σ_0 . Eller sagt på en anden måde - man skal være forsigtig med at fæste sin lid til aposteriori spredninger, der er baseret på få overbestemmelser.

I en praktisk situation vil faktorer såsom tid, tilgængelighed, vejrforhold osv. have indvirkning på, hvor mange kendte punkter der bliver observeret til ved beregning af en fri opstilling. Der skal dog tænkes på, at vurderingsstørrelsernes pålidelighed bliver mindre ved observationer til et fåtal af kendte punkter.

5.3.2 Vurderingsstørrelser vedrørende udjævningen globalt

Efter endt udjævning kan variansfaktoren aposteriori estimeres som:

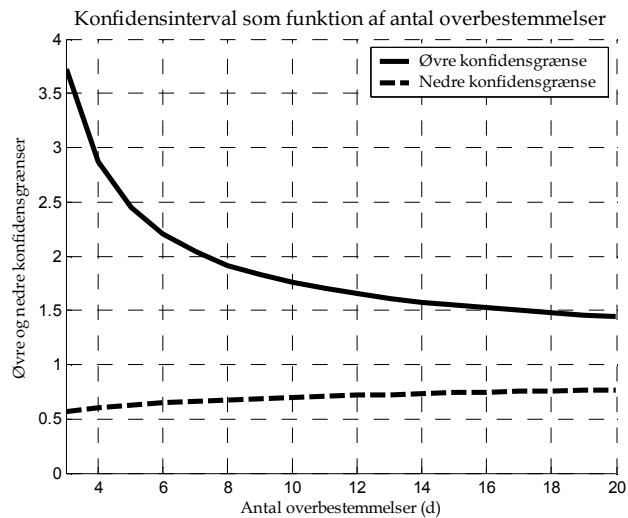
$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{\hat{\mathbf{r}}^T \mathbf{C} \hat{\mathbf{r}}}{d} \quad (5.2)$$

hvor $\hat{\mathbf{r}}$ indeholder residualerne, \mathbf{C} er vægtene og d er antallet af overbestemmelser. Variansfaktoren er apriori sat lig 1, hvorfor værdien aposteriori også skal være 1. Er dette ikke tilfældet, kan det skyldes, at observationerne er vægtet forkert, hvilket vil sige at den stokastiske model er forkert, eller at observationerne ikke er normalfordelte. Endelig kan det også skyldes, at den funktionelle model ikke er tilfredsstillende. Sidstnævnte er ingen reel mulighed, eftersom de funktionelle modeller, der benyttes i udjævningen, er benyttet før i landmålingen.

[Cederholm, 2000, s. 39-41]

Variansfaktoren er afhængig af antallet af overbestemmelser, jf. formel 5.2. Efter endt udjævning estimeres spredning på vægtenheden, men hvor pålidelig er spredningen på vægtenheden? Dette afhænger af antallet af overbestemmelser, som det fremgår af formel 5.1. Antages det, at σ_0 er 1 efter endt udjævning viser figur 5.3, konfidensintervallet ved 95 % konfidensgrad, jf. formel 5.1.

Af figur 5.3 fremgår det, at pålideligheden, af en estimeret spredning på vægtenheden ved få overbestemmelser, er lav. Oftest vil det således ikke være hensigtsmæssigt at vurdere en udjævning ud fra spredning på vægtenheden på grund af pålideligheden. Det kan således ikke afgøres, om der er vægtet korrekt eller om observationerne er normalfordelte.



Figur 5.3: Konfidensgrænser som funktion af antallet af overbestemmelser ved 95 % konfidens og $\sigma_0=1$.

Det vides, at den matematiske model som en udjævning består af indeholder en funktionel og stokastisk model. For at finde frem til om disse er korrekte, og om observationerne er normalfordelte, kan der udføres en global test. En global test udføres ved at fremsætte en nulhypotese (H_0) overfor en alternativ hypotese (H_A). Disse formuleres matematisk:

$$H_0 : \sigma_0^2 = \hat{\sigma}_0^2$$

$$H_A : \sigma_0^2 \neq \hat{\sigma}_0^2$$

Hvis nulhypotesen skal accepteres skal apriori variansfaktoren være lig aposteriori variansfaktoren. Det vil sige, at aposteriori variansfaktoren skal være lig 1, som apriori variansfaktoren bliver sat til. Teststørrelsen, der anvendes til at acceptere enten nulhypotesen eller den alternative hypotese, beregnes som:

$$u = \frac{d\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} \tag{5.3}$$

Teststørrelsen u , som er χ^2 -fordelt med d frihedsgrader, accepterer H_0 hvis denne ligger indenfor intervallet:

$$\chi^2(d)_{\alpha/2} < u < \chi^2(d)_{1-\alpha/2} \tag{5.4}$$

H_0 accepteres således på det valgte signifikansniveau α , hvis u ligger i det definerede interval. Dette betyder, at udjævningen accepteres og anses for korrekt.

[Cederholm, 2000, s. 87-89]

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

Udføres f.eks. en udjævning af en fri opstilling hvor der indgår observationer til tre kendte punkter ($d=5$), hvor spredningen på vægtenheden udregnes til 1,1 accepteres udjævningen (H_0) på et 5 % signifikansniveau, da u ligger indenfor intervallet:

$$0,83 < 6,05 < 12,83$$

Hvis ikke H_0 accepteres kan det skyldes:

- at der er grove fejl i observationssættet
- at der apriori ikke er tildelt de rigtige spredninger til observationerne
- at den funktionelle model ikke er korrekt

Disse punkter må således efterfølgende undersøges.

5.3.3 Vurderingsstørrelser vedrørende observationer

Observationerne til udjævningen er beskrevet i afsnit 5.1.1 *Observationer*. Efter endt udjævning kan der udregnes residualer til observationerne. Residualerne siger indirekte, om observationerne er tilfredsstillende. Residualerne kan efter endt udjævning udregnes efter følgende udtryk:

$$\hat{r} = A\hat{x} - b \quad (5.5)$$

Idet der i udjævningen indgår forskellige observationstyper, kan det være uoverskueligt at vurdere observationerne ud fra deres absolutte residualer. Derfor indføres normaliserede residualer, som udregnes ved hjælp af kovariansmatricen for residualerne, som på diagonalen indeholder residualernes varianser:

$$\Sigma_r = \hat{\sigma}_0^2 (C^{-1} - AN^{-1}A^T) \quad (5.6)$$

Det enkelte normaliserede residual udregnes efter følgende formel:

$$r'_i = \frac{\hat{r}_i}{\sqrt{\hat{\sigma}_{r_i}^2}} \quad (5.7)$$

Normaliserede residualer er standard normalfordelte, og kan derfor umiddelbart sammenlignes og overskues. Hvis det normaliserede residual er lig 1, har det absolutte residual en størrelse, der svarer til spredningen på residualet. Hvis det normaliserede residual er større end +/- 3 er den tilhørende observation sandsynligvis behæftet med en grov fejl.

[Cederholm, 2000, s. 46-48]

Et andet vigtigt aspekt indenfor vurderingsstørrelser vedrørende observationer er kendte punkters og observationers indbyrdes geometri i forhold til opstillingspunktet samt antallet af overbestemmelser. Overbestemmelser samt geometrien af observationer og opstillingspunktet er vigtig for at kontrollere observationernes pålidelighed. Størrelserne, der fortæller noget om disse aspekter i en udjævning, er redundanstal, som tilhører den enkelte observation. Redundanstal udregnes ved hjælp af kofaktormatricen for residualerne:

$$Q_{\hat{r}} = C^{-1} - AN^{-1}A^T \quad (5.8)$$

Redundanstal udregnes efter følgende udtryk:

$$R = Q_{\hat{r}}C \quad (5.9)$$

Hvor den i 'te observations redundanstal er det i 'te diagonalelement i R .

Redundanstal fortæller i hvor høj grad:

- den i 'te observation bidrager til det samlede antal overbestemmelser
- den i 'te observation kontrollerer og bliver kontrolleret af de andre observationer

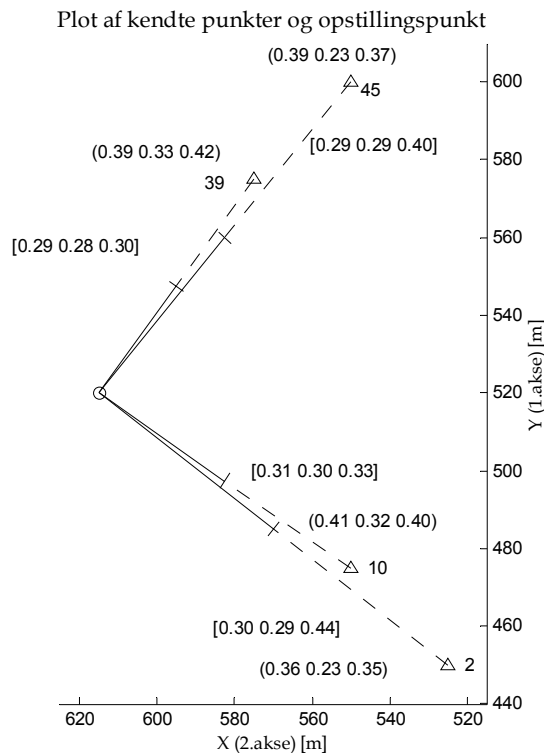
Endvidere gælder at antallet af overbestemmelser er lig summen af redundanstallene. Lave redundanstal indikerer svag geometri mellem observationer og opstillingspunktet. Til gengæld betyder redundanstal på samme niveau, at nettet er homogent. Da antallet af overbestemmelser er lig summen af redundanstallene bør det enkelte redundanstal ikke afvige væsentlig fra gennemsnittet af redundanstallene, som regnes som antal af overbestemmelser divideret med antallet af observationer.

[Cederholm, 2000, s. 103-110]

Figur 5.4-5.6 viser forskellige opmålingssituationer, hvor der er udregnet redundanstal for observationerne. Redundanstallene skrives i parentes med redundanstal for [afstand retning zenitdistance] og (Y X Z). Gældende for alle tre opmålingssituationer på figur 5.4-5.6 er, at der er observeret skrå afstand, retning og zenitdistance til alle kendte punkter, som også indgår med koordinatobservationer, og at zenitdistancen er mellem 100-105 gon.

Figur 5.4 illustrerer en opmålingssituation, hvor det er muligt at kontrollere den enkelte observation, idet observationerne kontrollerer hinanden parvis. I sådan en situation, vil der altså være gode muligheder for at lokalisere en grov fejl. De enkelte observationstyper antager tilnærmelsesvis samme værdi af redundanstal omkring antal overbestemmelser divideret med antal observationer (1/3).

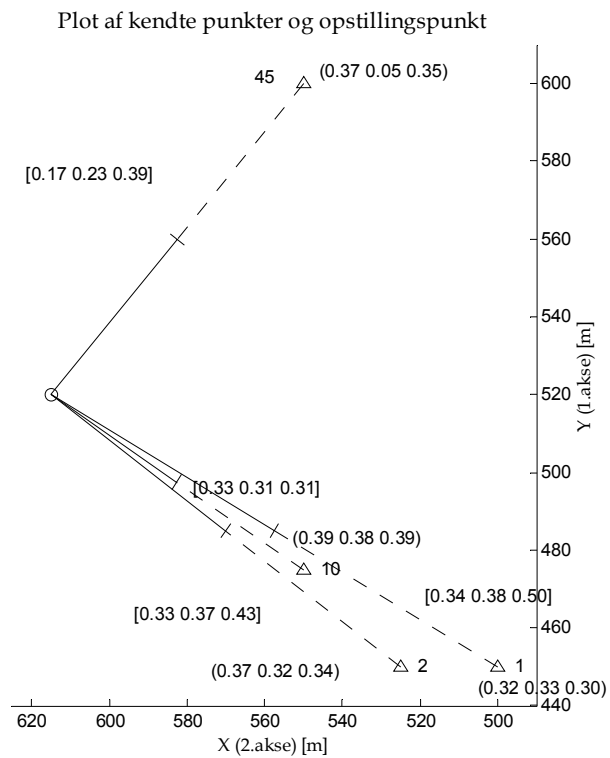
Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol



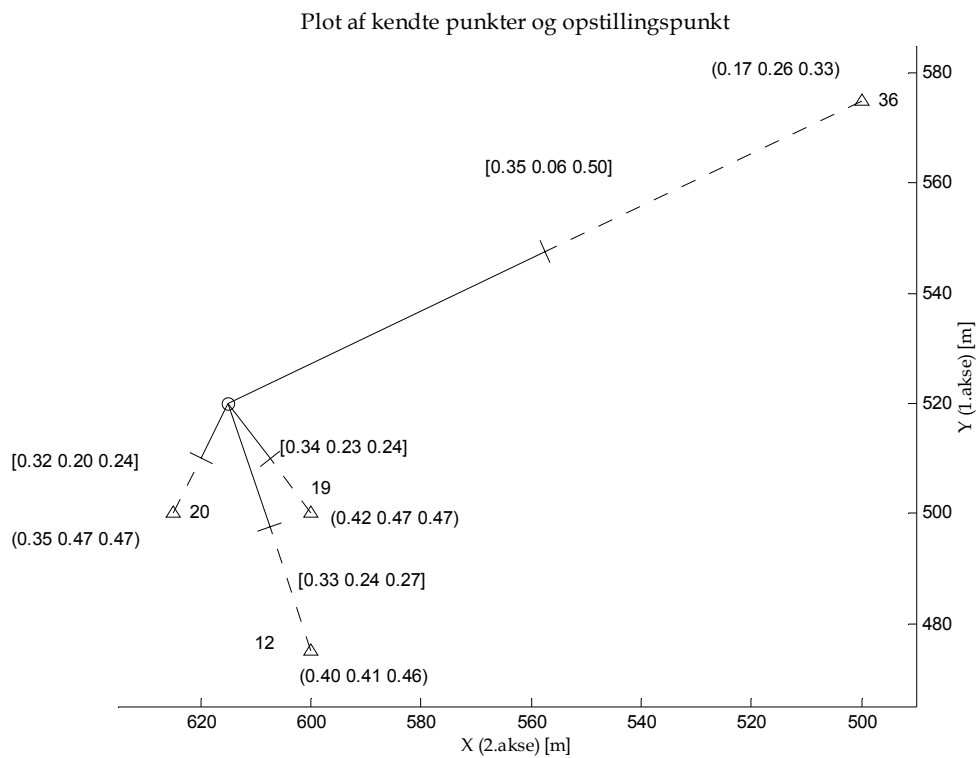
Figur 5.4: Opmålingssituation 1 med redundanstal for observationerne.

På figur 5.5 fremgår næsten samme opmålingssituation som på figur 5.4, blot er den ene observation flyttet. Herved ændrer redundanstallet sig for afstandsobservationen til punkt 45, idet denne ikke kontrolleres af andre afstandsobservationer. For at sikre, der kan findes en grov fejl på afstanden til punkt 45, bør der således observeres til et punkt, der kan styrke kontrollen af afstandsobservationen til punkt 45, eksempelvis som på figur 5.4. Endvidere er redundanstallet for X-koordinaten til punkt 45 blevet betydelig mindre i figur 5.5 end figur 5.4 hvilket skyldes at denne ikke kontrolleres. De øvrige observationer antager tilnærmelsesvis samme værdi for redundanstallene.

Opmålingssituationen, der er skitseret på figur 5.6, viser, at der kan være store forskelle i redundanstallene for retningen, hvis der er stor forskel i afstanden til punktet. Redundanstallet til retningen til punkt 36 er væsentlig lavere end til de andre kendte punkter. Såfremt der skulle være en grov fejl på retningen til punkt 36, vil denne således være svær at lokalisere, idet observationen har et lavt redundanstal. Bortset fra retningen til punkt 36 antager observationer tilnærmelsesvis samme værdi for redundanstallene.



Figur 5.5: Opmålingssituation 2 med redundanstal for observationerne.



Figur 5.6: Opmålingssituation 3 med redundanstal for observationerne.

Endelig vil et rent visuelt udtryk i form af en netskitse give operatøren et overblik over, hvilke og hvor mange observationer udjævningen bygger på, og om geometrien er fornuftig, jf. figur 5.4 - 5.6.

5.3.4 Vurderingsstørrelser vedrørende elementer

Elementer, som ønskes bestemt gennem udjævningen, er opstillingspunktets koordinater (Y_m, X_m, Z_m) og kredselementet (R_m). Efter endt udjævning kan deres varianser udregnes efter følgende udtryk:

$$\Sigma_L = \hat{\sigma}_0^2 N^{-1} \quad (5.10)$$

Varianserne for elementerne står på diagonalen af kovariansmatricen. Disse er udtryk for, med hvilken præcision elementerne i udjævningen er bestemt. Her er det igen vigtigt at have et vist antal overbestemmelser, således at varianserne har en høj pålidelighed, jf. 5.3.1 *Overbestemmelser og konfidensintervaller*.

For at få et visuelt indtryk af nøjagtigheden af opstillingspunktets koordinater (Y_m, X_m, Z_m) kan der fremstilles konfidensellipsoider. Disse fremstilles ud fra kovariansmatricen, jf. formel 5.10. Til visualisering på en to-dimensional flade (display/skærm) af opstillingspunktets nøjagtighed er det mere hensigtsmæssigt kun at fremstille konfidensellipser, som visualiserer nøjagtigheden vedrørende Y_m og X_m . Konfidensellipser beskriver nøjagtighedsforhold via deres størrelse og deres orientering.

5.4 Vurdering vedrørende fri opstilling.

Dette afsnit har til formål kort at skitsere, hvilke vurderingsstørrelser der i dette projekt anvendes til at vurdere en fri opstilling. Vurderingsstørrelserne opdeles i vurderingsstørrelser for den frie opstilling globalt, vurderingsstørrelser for observationerne som anvendes til bestemmelse af den frie opstilling og endelig vurderingsstørrelser for den frie opstillings koordinater og kredselement (udjævningens elementer).

Globale vurderingsstørrelser i forbindelse med bestemmelsen af den frie opstilling, er:

- antal overbestemmelser
- spredningen på vægtenheden
- global test (95 % konfidensgrad)

Vurderingsstørrelser vedrørende observationerne der bestemmer den frie opstilling:

- residualer
- normaliserede residualer
- redundanstal
- netskitse

Vurderingsstørrelser vedrørende elementer bestemt igennem udjævning, er:

- spredning på elementer
- konfidensellipse

Disse vurderingsstørrelser svarer ikke på, om opstillingspunktet er tilfredsstillende bestemt i forhold til de tolerancer, som afsætningen skal overholde. Denne problematik bliver behandlet i næste kapitel, jf. 6. *Afsætning af modullinie samt kote.*

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

6

Afsætning af modullinie samt kote

Dette kapitel har til formål at redegøre for, hvorledes en afsætning vurderes med hensyn til præcision og nøjagtighed. Først opstilles hvilken afsætningssituation der tages udgangspunkt i. Efterfølgende redegøres for, hvilke størrelser selve afsætningen vurderes på baggrund af. Det vælges at opdele disse vurderingsstørrelser i to henholdsvis for afsætning i planen og for afsætning af kote. Situationerne skitseres løbende med eksempler. Endvidere beskrives, hvor opstillingspunktet kan placeres, hvis givne tolerancer til det afsatte skal overholdes. Dette gøres ved at foretage testberegninger for en given afsætningssituation. Endelig redegøres for, hvilke vurderingsstørrelser der skal medtages til vurdering af afsætning i marken.

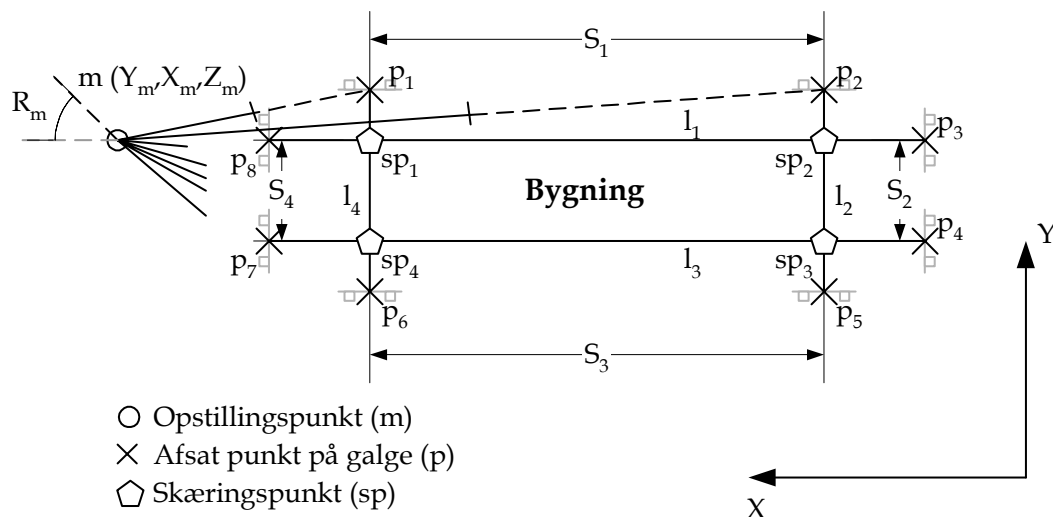
Igennem kapitlet illustreres forskellige eksempler. Disse figurers udseende dikteres af diverse spredninger og konstanter. Hvor ikke andet er angivet, er disse størrelser fastsat til:

- σ_a = 2 ppm
- σ_g = 0,002 m
- σ_r = 0,001 gon
- σ_v = 0,001 gon
- σ_c = 0,002 m
- σ_{sh} = 0,002 m
- n_r = 1/2 sats
- n_v = 1/2 sats

6.1 Afsætningsituation

I foranalysen er der redegjort for, at hovedparten af afsætningerne, der foregår i praksis, er afsætning af modullinier på galger, jf. 2.1 *Afsætning i praksis*. Det vælges på denne baggrund at tage udgangspunkt i en lignende situation. Afsætnings-situationen er skitseret på figur 6.1. Afsætningen foregår ud fra en fri opstilling m, der forudsættes kendt, jf. 5. *Fri opstilling*. Fra den frie opstilling benyttes metoden polær afsætning til at afsætte enkelte punkter p, der udgør modullinierne l.

Modullinierne afsættes forskudt i punkterne p på galger. Således udgør skæringspunkterne mellem modullinierne, det som afsætningen efterfølgende skal foregå ud fra, jf. figur 6.1.



Figur 6.1: Afsætningsituation set i planen.

For at bestemme om en afsætning overholder de angivne specifikationer, eksempelvis de fra rekvirenten fremsatte tolerancer, undersøges det om en afstand

mellem to modullinier overholder tolerancen. Dette gøres ved at undersøge, om spredningen på afstanden S mellem to skæringspunkter (σ_s) ligger indenfor tolerancekravene defineret jf. 4.3.2 *Tolerancedefinition*.

Hvis afsætningen sætter krav om afsætning af koter, undersøges det om Z-koordinaten for punkterne afsat på galgerne overholder tolerancekravet til Z. Dette gøres ved at undersøge, om σ_z for den afsatte kote ligger indenfor tolerancekravene defineret jf. 4.3.2 *Tolerancedefinition*.

Vedrørende præcision og nøjagtighed arbejdes der med begreberne, som de er defineret jf. 4.1.1 *Præcision og nøjagtighed*. Forskellen på præcision og nøjagtighed er, at ved præcision anses opstillingspunktet som fejlfrit. Derimod hvis nøjagtigheden af en størrelse ønskes bestemt, skal fejlbidraget fra opstillingspunktet indgå. Fejlbidraget fra opstillingspunktet, som beskrives i kovariansmatricen for opstillingspunktet, beregnes igennem udjævning af den frie opstilling (varianser og kovarianser for Y_m , X_m , Z_m og R_m). Hvis præcisionen ønskes beregnet, skal opstillingspunktets fejlbidrag sættes lig 0.

Det vælges at opdele afsætningssituationen i to dele. Første del er afsætning i planen (Y, X) og anden del er afsætning af koten (Z). I en praktisk afsætningssituation på galger kan det være nødvendigt at afsætte koten (Z) af tværbræderne inden afsætningen i planen. Dette gøres fordi, at tværbrættet skal fasttømmres på to stolper for at udgøre galgen. Denne fasttømring af tværbrættet repræsenterer koten, mens et søm i tværbrættet repræsenterer afsætningen i planen.

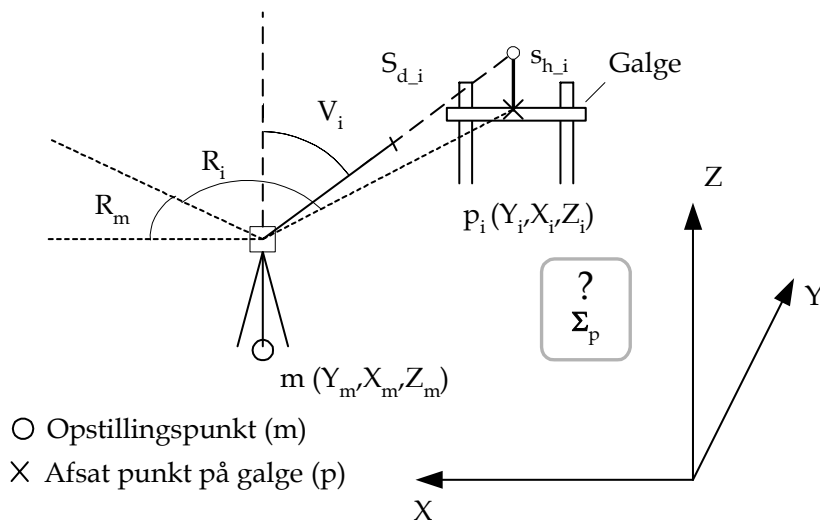
6.2 Afsætning i planen

I dette afsnit behandles, hvorledes præcisionen/nøjagtigheden af en afsætning i planen vurderes.

De i byggeriet fremsatte tolerancer for en afsætning behandler afstandene, der er mellem modullinierne, jf. figur 6.1. For at bestemme om en sådan afstand S overholder tolerancerne, skal σ_s beregnes. Dette gøres ved beregninger i fire trin:

1. Kovariansmatricen for et afsat punkt p
2. Kovariansmatricen for en modullinie gennem to afsatte punkter p
3. Kovariansmatricen for et skæringspunkt sp mellem to modullinier
4. Spredning på en afstand S mellem to skæringspunkter

Første trin er bestemmelse af kovariansmatricen for et afsat punkt p fra opstillingspunktet (den frie opstilling), jf. figur 6.2. Det vælges at bestemme kovariansmatricen for det afsatte punkt i tre dimensioner, således også σ_z bestemmes. Dette gøres, da denne størrelse skal benyttes i forbindelse med afsætning af koten.



Figur 6.2: Illustration vedrørende bestemmelsen af kovariansmatricen for et afsat punkt.

Fejlbidragene, som indgår i bestemmelsen af kovariansmatricen for et afsat punkt p , er:

- kovariansmatricen til opstillingspunktet samt kredselement (0 ved præcision)
- spredningen på den skrå afstand til punktet
- spredningen på horisontalretningen til punktet
- spredningen på zenitdistancen til punktet
- spredningen på prismehøjden i punktet
- spredningen på centrering af prisme

Igennem udjævningen er der bestemt, med hvilken nøjagtighed opstillingspunktet er bestemt. Udtryk for dette findes i kovariansmatricen Σ_L for elementerne. Hvis disse størrelser medtages i beregningen af kovariansmatricen for et afsat punkt, er der tale om nøjagtigheden af det afsatte punkt. Derimod hvis fejlbidraget fra opstillingspunktet sættes lig 0 er der tale om præcision.

Udregning af kovariansmatricen for et afsat punkt ved hjælp af den generelle fejlforplantningslov fremgår af appendiks II, jf. II.2 *Præcision og nøjagtighed af afsat punkt*.

Andet trin er bestemmelse af kovariansmatricen for modullinien Σ_{linie} , som går igennem to afsatte punkter, jf. figur 6.3. Linien er givet ved formlen:

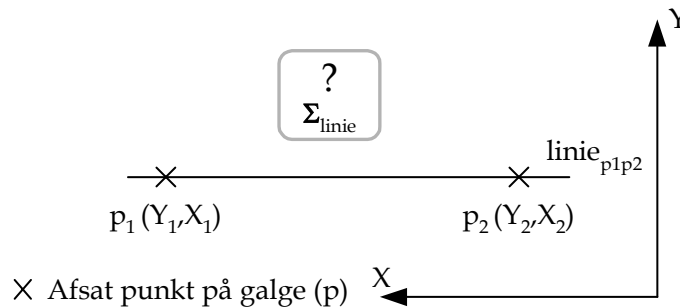
$$X = aY + b \quad (6.1)$$

hvor Y og X er koordinater til de afsatte punkter, og a samt b er liniens parametre.

Afsætning af modullinie og kote

Fejlbidragene, som indgår i beregningerne af kovariansmatricen for linien Σ_{linie} , er:

- kovariansmatricen for de afsatte punkter p



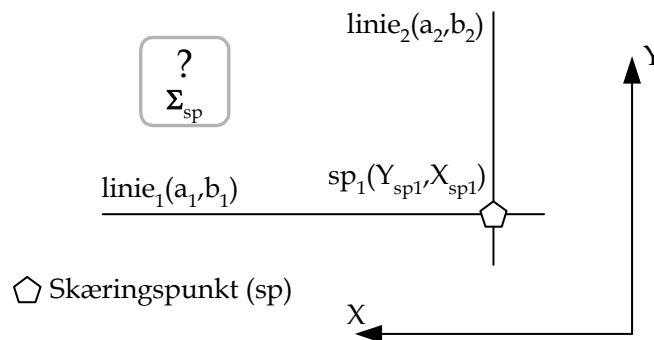
Figur 6.3: Illustration vedrørende bestemmelsen af kovariansmatricen for en modullinie.

Kovariansmatricen for linien bestemmes ved den generelle fejlforplantningslov, jf. II.3 *Præcision og nøjagtighed af linie gennem to afsatte punkter*.

Tredje trin er bestemmelsen af kovariansmatricen for et skæringspunkt sp mellem to modullinier, jf. figur 6.4.

Fejlbidragene som indgår i beregningen af kovariansmatricen for et skæringspunkt er:

- kovariansmatricen for modullinierne



Figur 6.4: Illustration vedrørende bestemmelse af kovariansmatricen for et skæringspunkt mellem to modullinier.

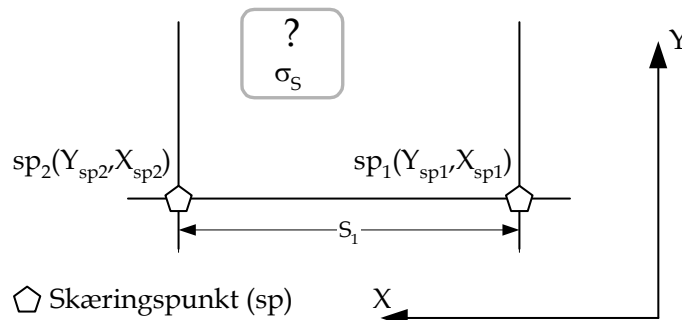
Skæringspunktet $(Y_{\text{sp1}}, X_{\text{sp1}})$ bestemmes ud fra to skærende modullinier bestemt ved deres parametre a og b. Kovariansmatricen for skæringspunktet Σ_{sp} bestemmes ved den generelle fejlforplantningslov, jf. II.4 *Præcision og nøjagtighed af skæring mellem to linier*.

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

Fjerde og sidste trin er bestemmelsen af spredningen på afstanden mellem to skæringspunkter, jf. figur 6.5.

Afstanden bestemmes ud fra skæringspunkternes koordinater (Y_{sp}, X_{sp}). Fejlbidragene, som indgår i beregningen af σ_s , er:

- kovariansmatricen for de to skæringspunkter som afstanden S vedrører



Figur 6.5: Illustration vedrørende bestemmelse af spredningen på afstanden mellem to skæringspunkter.

Spredningen på afstanden σ_s bestemmes ved den generelle fejlforplantningslov, jf. II.5 *Præcision og nøjagtighed af afstand mellem to skæringspunkter*.

Til at vurdere præcision/nøjagtighed i planen vælges det at vurdere på:

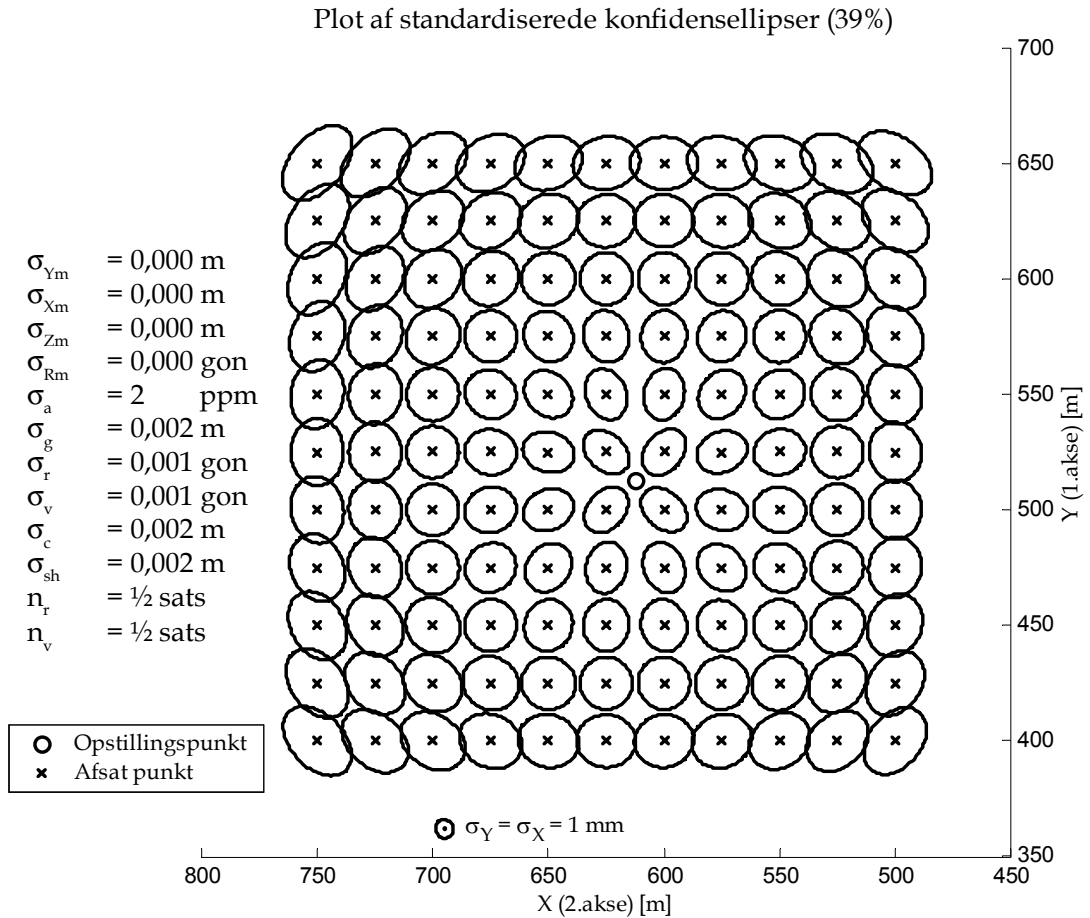
- kovariansmatricen for et afsat punkt (Σ_p)
- kovariansmatricen for et skæringspunkt (Σ_{sp})
- spredningen på en afstand mellem skæringspunkter (σ_s)

For at lette vurderingen af disse størrelser vælges det at fremstille konfidensellipser i planen for kovariansmatricen til et afsat punkt Σ_p og kovariansmatricen til et skæringspunkt Σ_{sp} . Konfidensellipserne fremstilles på baggrund af kovariansmatricerne fremstillet ved hjælp af den generelle fejlforplantningslov, jf. appendiks II. Selve beregningerne af konfidensellipserne er beskrevet i appendiks II, jf. II.6 *Visualisering af præcision og nøjagtighed*.

6.2.1 Konfidensellipser til afsat punkt i planen

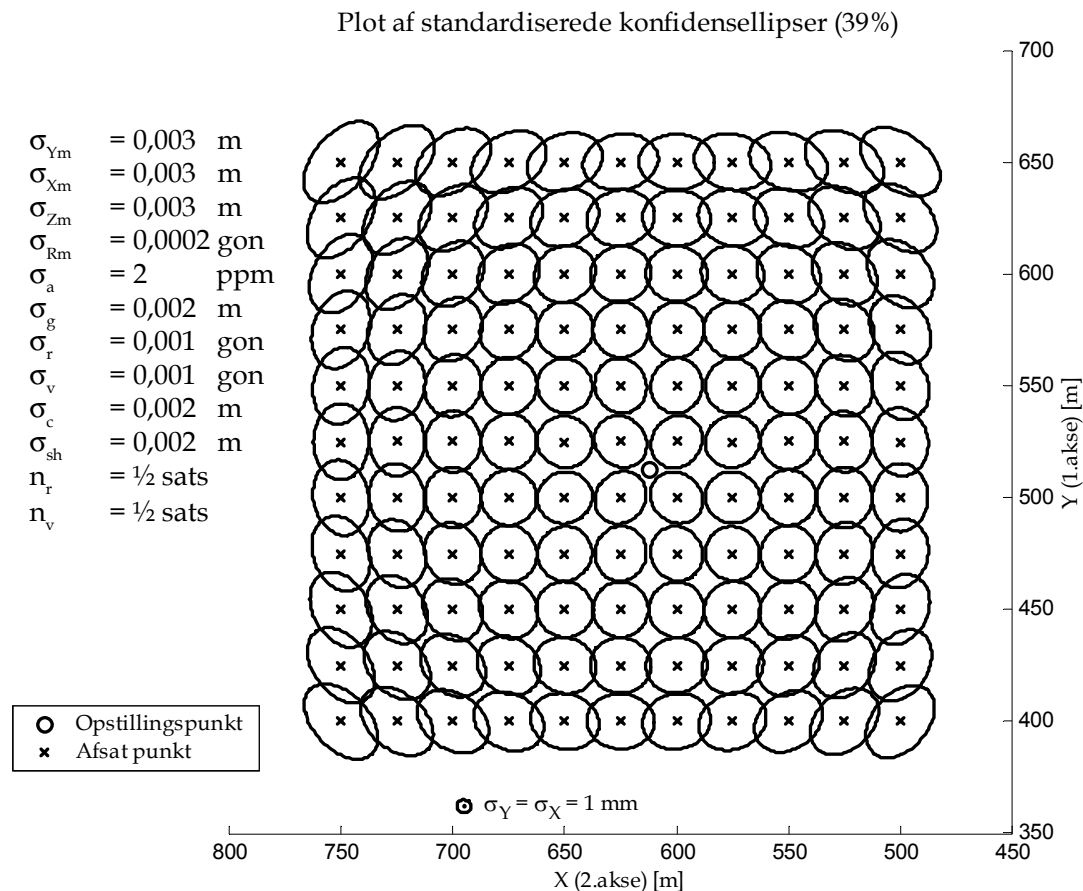
I dette afsnit vises, hvorledes præcisionen/nøjagtigheden på et afsat punkt varierer afhængigt af placeringen af det afsatte punkt i forhold til opstillingspunktet. Dette gøres visuelt ved fremstilling af konfidensellipser.

Af figur 6.6 fremgår det, hvorledes præcisionen af et afsat punkt i planen varierer afhængigt af placeringen i forhold til opstillingspunktet.



Figur 6.6: Plot af standardiserede konfidensellipser vedrørende præcision af afsat punkt i planen.

Figur 6.7 viser, hvorledes nøjagtigheden varierer i forhold til opstillingspunktet. Opstillingspunktet betragtes ikke som fejlfrit, og har fået tildelt spredningerne $\sigma_{Ym} = 0,003 \text{ m}$, $\sigma_{Xm} = 0,003 \text{ m}$ og $\sigma_{Rm} = 0,0002 \text{ gon}$. Ellers er der i figur 6.7 anvendt samme spredninger som ved figur 6.6.



Figur 6.7: Plot af standardiserede konfidensellipser vedrørende nøjagtighed af afsat punkt i planen.

Det fremgår, at konfidensellipserne giver et overblik over, hvorledes præcisionen/nøjagtigheden på et afsat punkt forandrer sig afhængigt af placeringen i forhold til opstillingspunktet. Af figur 6.6 fremgår det vedrørende præcision, at konfidensellipserne på de korte afstande drejer, så de ligger langs sigtet fra opstillingspunktet. Dette skyldes, at det på de korte afstande især er grundfejlen på afstandsmåleren, der har indflydelse på et afsat punkts præcision. Ved ca. 100 m bliver konfidensellipserne cirkulære, da spredningen på retningen begynder at have indflydelse. Vedrørende nøjagtighed fremgår det af figur 6.7, at konfidensellipserne også på de korte afstande er cirkulære. Dette skyldes, at opstillingspunktets fejlbidrag medtages i beregningerne af nøjagtigheden af de afsatte punkter.

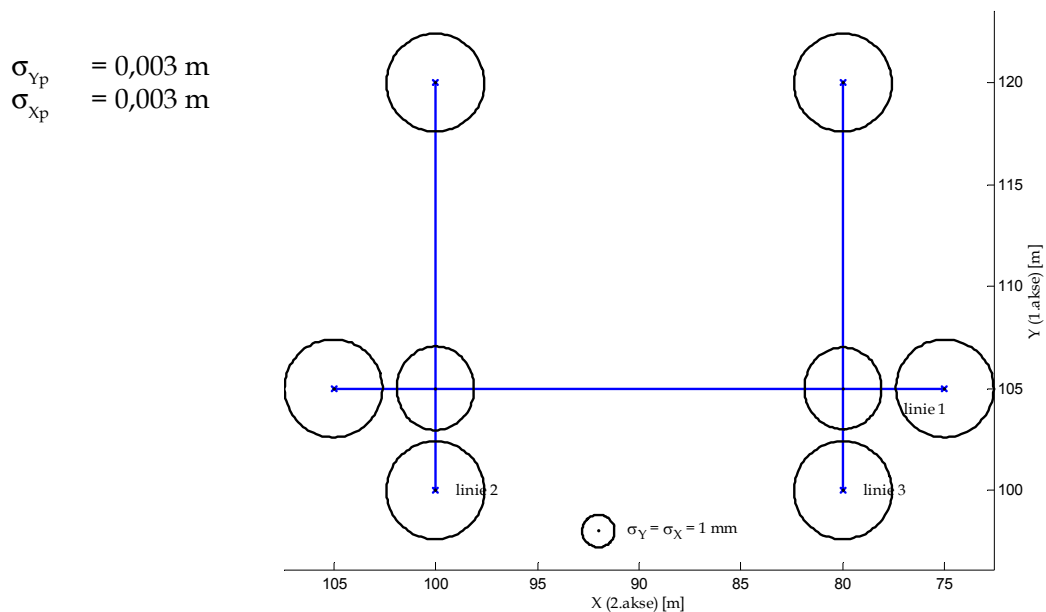
6.2.2 Konfidensellipser til skæringspunkter

I dette afsnit vises, hvorledes præcisionen/nøjagtigheden på et skæringspunkt (skæringen mellem to modullinier) varierer afhængigt af, hvorledes modullinierne er placeret i forhold til hinanden.

Afsætning af modullinie samt kote

Modullinierne defineres af afsatte punkter, som igennem disse eksempler er fastsat til $\sigma_{Yp} = 0,003$ m og $\sigma_{Xp} = 0,003$ m uden kovarianser.

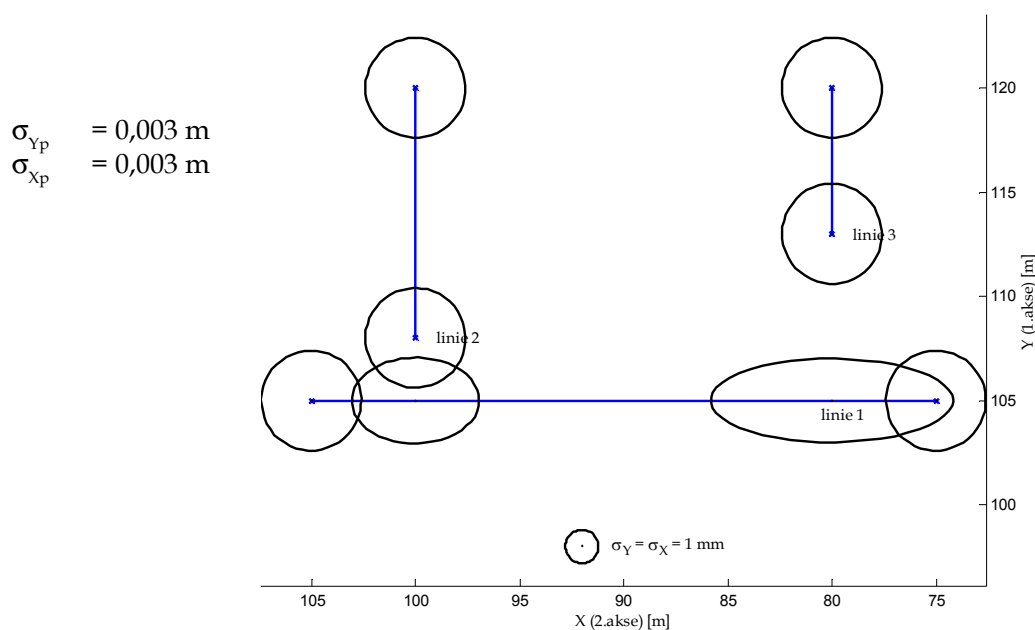
Figur 6.8 illustrerer Situation 1, hvor tre modullinier er defineret af seks afsatte punkter. De tre modullinier skaber to direkte skæringspunkter. Med et direkte skæringspunkt menes, at skæringspunktet befinder sig mellem modulliniernes endepunkter. Af figur 6.8 fremgår det, at skæringspunktets præcision/nøjagtighed i denne situation bliver bedre end de afsatte punkters præcision/nøjagtighed.



Figur 6.8: Situation 1, illustration af skæringspunktets præcision/nøjagtighed i forhold til de afsatte punkters præcision/nøjagtighed samt modulliniernes beliggenhed. Præcisions- og nøjagtighedsforhold er vist med standardiserede konfidensellipser (39 %).

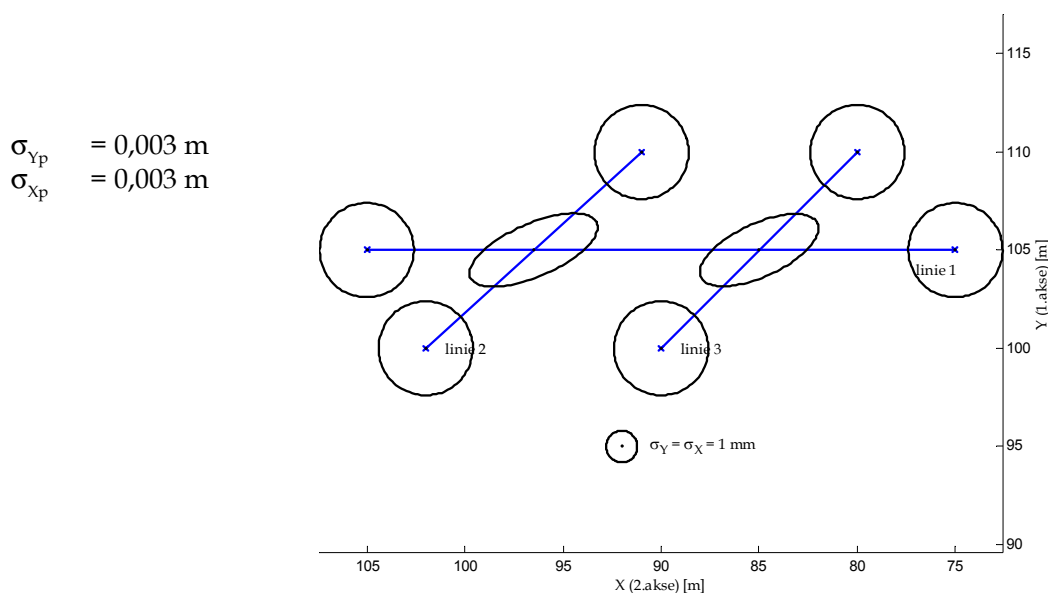
Af figur 6.9 fremgår Situation 2, som man i praksis sandsynligvis ikke vil komme ud for i forbindelse med afsætning af bygninger. Situation 2 understreger vigtigheden af, at modullinier i forbindelse med en afsætning direkte skærer hinanden som på figur 6.8. Ellers bliver præcision/nøjagtighed på de indirekte skæringspunkter, der skal flugtes til, væsentlig dårligere end præcision/nøjagtighed på punkterne, der afsættes.

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol



Figur 6.9: Situation 2, illustration af skæringspunkters præcision/nøjagtighed i forhold til de afsatte punkters præcision/nøjagtighed samt modulliniers beliggenhed. Præcisions- og nøjagtighedsforhold er vist med standardiserede konfidensellipser (39 %).

Situation 3 som fremgår af figur 6.10, viser hvorledes konfidensellipserne for skæringspunkterne drejer i takt med, at vinklen mellem modullinierne ikke længere er ret. Dette forhold skal således holdes for øje, hvis afsætningen kræver, at modullinierne ikke er vinkelrette på hinanden.



Figur 6.10: Situation 3, illustration af skæringspunkternes præcision/nøjagtighed i forhold til de afsatte punkters præcision/nøjagtighed samt modulliniers beliggenhed. Præcisions- og nøjagtighedsforhold er vist med standardiserede konfidensellipser (39 %).

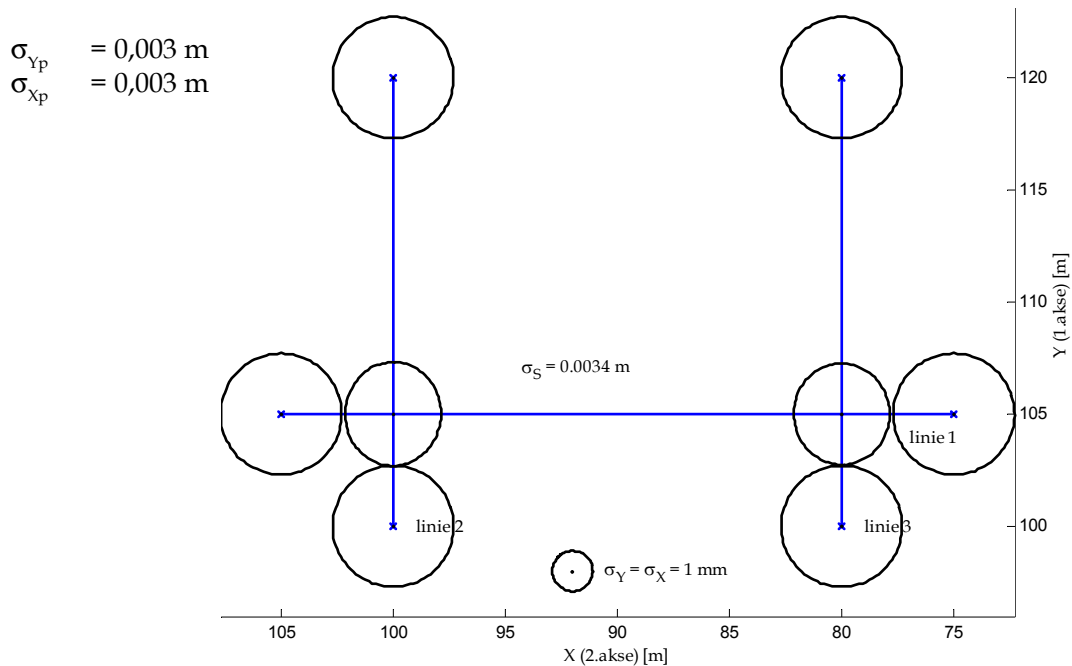
6.2.3 Spredning på afstand mellem skæringspunkter

I dette afsnit vises, hvorledes spredningen på afstanden S mellem to skæringspunkter varierer afhængigt af, hvorledes modullinierne er placeret i forhold til hinanden.

Spredningen på afstanden σ_S er netop mål for, om afsætningen kan overholde de angivende tolerancer eller ej.

Der tages udgangspunkt i de tre tidligere omtalte situationer, jf. 6.2.2 *Konfidensellipser til skæringspunkter*.

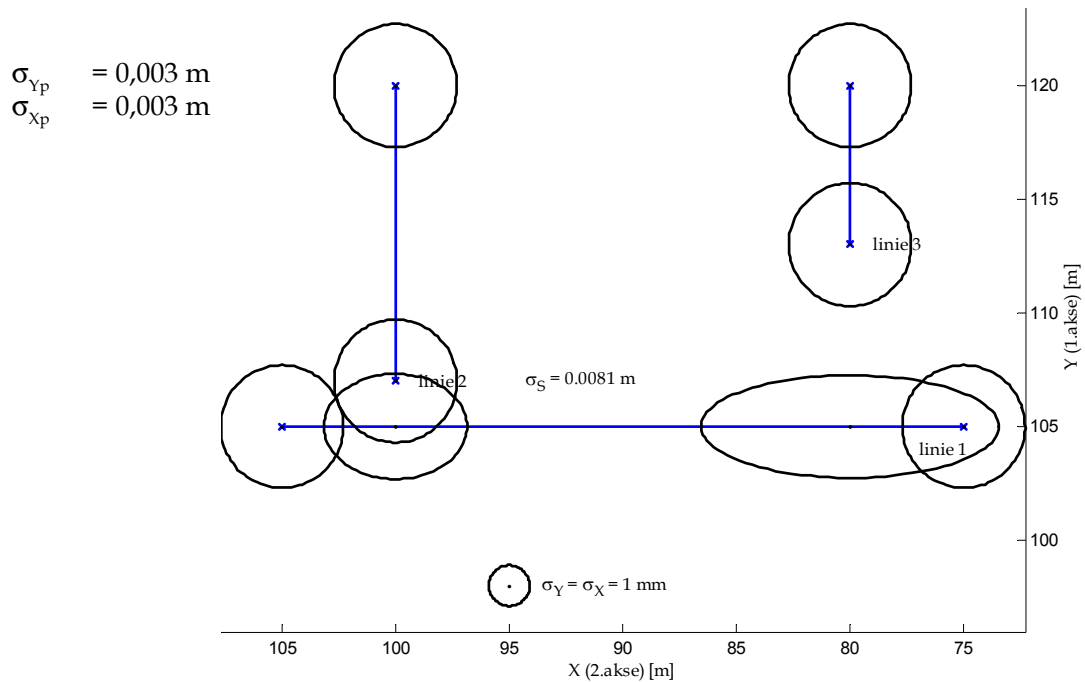
Situation 1 fremgår af figur 6.11, hvor skæringspunkterne defineres af to modullinier vinkelret på hinanden, og som direkte skærer hinanden, her bliver spredningen på afstanden S mellem skæringspunkterne tilnærmelsesvis lig spredningen på de afsatte punkter.



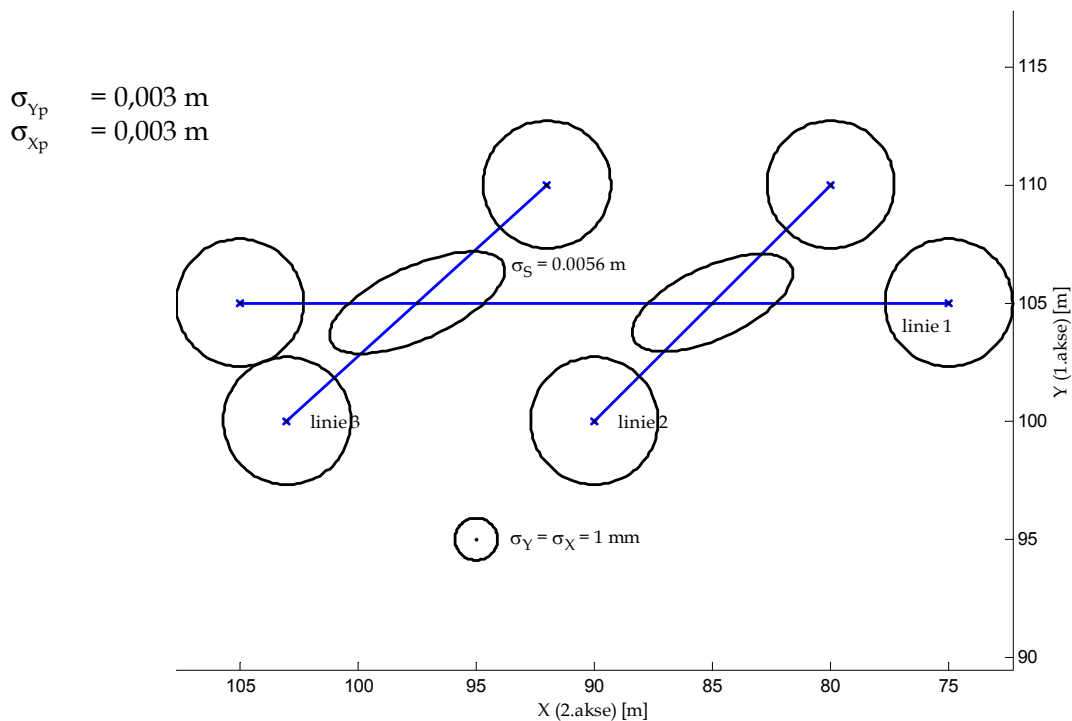
Figur 6.11: Situation 1, illustration af spredningen på afstanden S mellem skæringspunkter. Præcisions- og nøjagtighedsforhold for afsatte punkter og skæringspunkter er vist med standardiserede konfidensellipser (39 %).

Af figur 6.12, som illustrerer Situation 2, hvor modullinierne er vinkelrette på hinanden men skaber indirekte skæringspunkter, fremgår det, at spredningen på afstanden σ_S er væsentlig større, blot ved at modullinierne ikke direkte skærer hinanden.

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol



Figur 6.12: Situation 2, illustration af spredningen på afstanden S mellem skæringspunkter. Præcisions- og nøjagtighedsforhold for afsatte punkter og skæringspunkter er vist med standardiserede konfidensellipser (39 %).



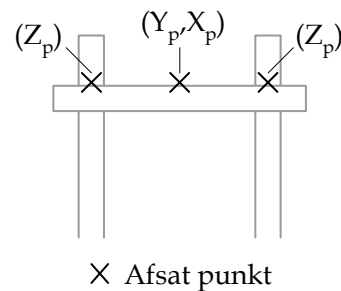
Figur 6.13: Situation 3, illustration af spredningen på afstanden S mellem skæringspunkter. Præcisions- og nøjagtighedsforhold for afsatte punkter og skæringspunkter er vist med standardiserede konfidensellipser (39 %).

Ved Situation 3, som fremgår af figur 6.13, hvor modullinierne direkte skærer hinanden, men hvor vinklen mellem modullinierne ikke er ret, bliver spredningen på afstanden S større, end hvis vinklen mellem modullinierne var ret som ved situation 1, jf. figur 6.11.

6.3 Afsætning af kote

I dette afsnit behandles, hvorledes præcisionen/nøjagtigheden af en afsætning af koten vurderes.

Hvis der til afsætningen er krav om afsætning af koten, kan denne afsættes først. Dette gøres ved at afsætte koten Z_p for overkanten af de tværbrædder som galgerne består af. Således bliver Z_p afsat ved galgerne stolper, mens Y_p og X_p bliver afsat på tværbrættet markeret med et søm. Dette forhold fremgår af figur 6.14.



× Afsat punkt

Figur 6.14: Forskellen på afsætning af koten og planen på galge.

Der skal således gøres opmærksom på, at Z_p ikke bliver afsat samme sted som Y_p og X_p , men på galgestolperne. Alligevel benævnes kotepunkterne Z_p .

For at undersøge om kotepunkterne afsættes tilfredsstillende, undersøges det om σ_{z_p} for alle afsatte koter er tilfredsstillende i forhold til et opsat tolerancekrav, jf. 4.3.2 *Tolerancedefinition*.

Udregningen af σ_{z_p} foregår som beskrevet, jf. 6.2 *Afsætning i planen* og II.2 *Præcision og nøjagtighed af afsat punkt*.

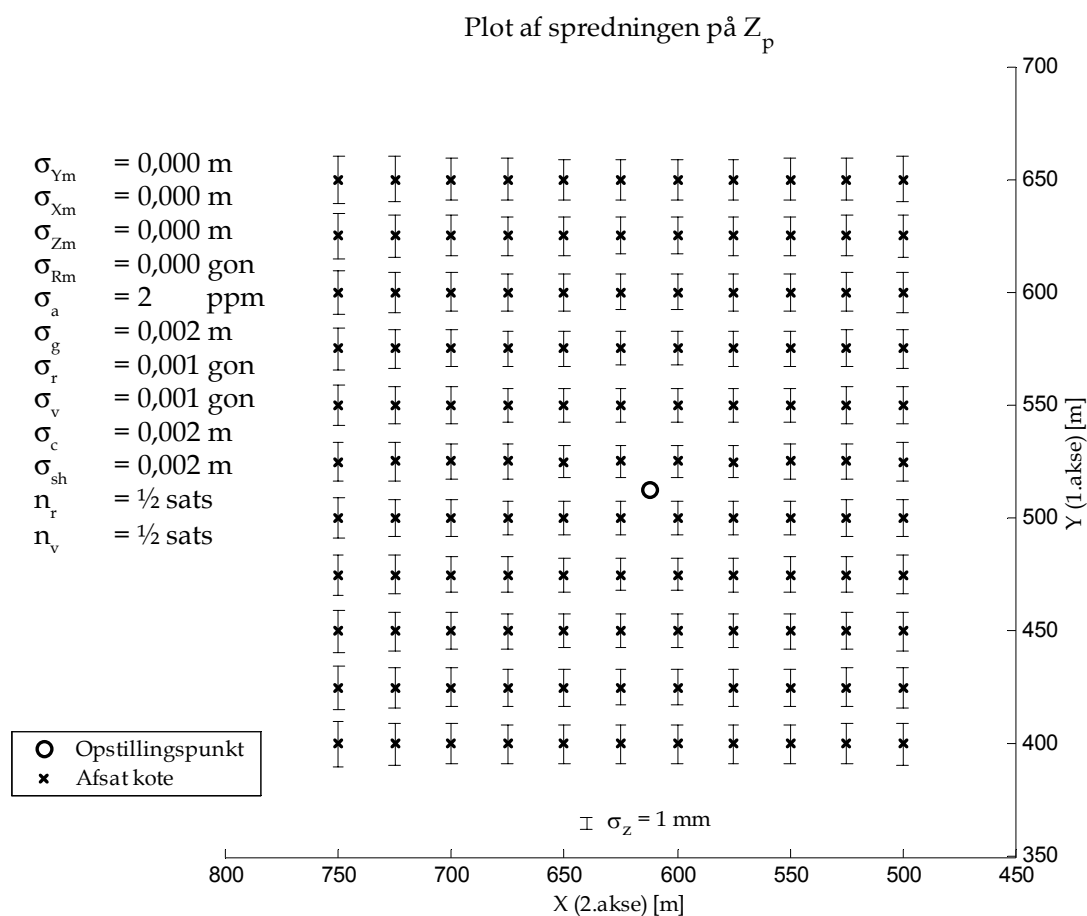
Vurderingsstørrelsen vedrørende præcision/nøjagtighed af afsatte koter er således:

- spredningen på koten af afsat punkt σ_{z_p}

6.3.1 Spredning på kote

Dette afsnit har til formål at redegøre for, hvorledes σ_{z_p} vedrørende præcision og nøjagtighed varierer i forhold til Z_p 's placering i forhold til opstillingspunktet.

Spredningen på Z_p vedrørende præcision fremgår af figur 6.15. Spredningen er udregnet på samme baggrund, som figur 6.6, jf. 6.2.1 *Konfidensellipser til afsat punkt i planen*.



Figur 6.15: Plot af præcisionen af Z af afsat kote ved sigter nær vandret.

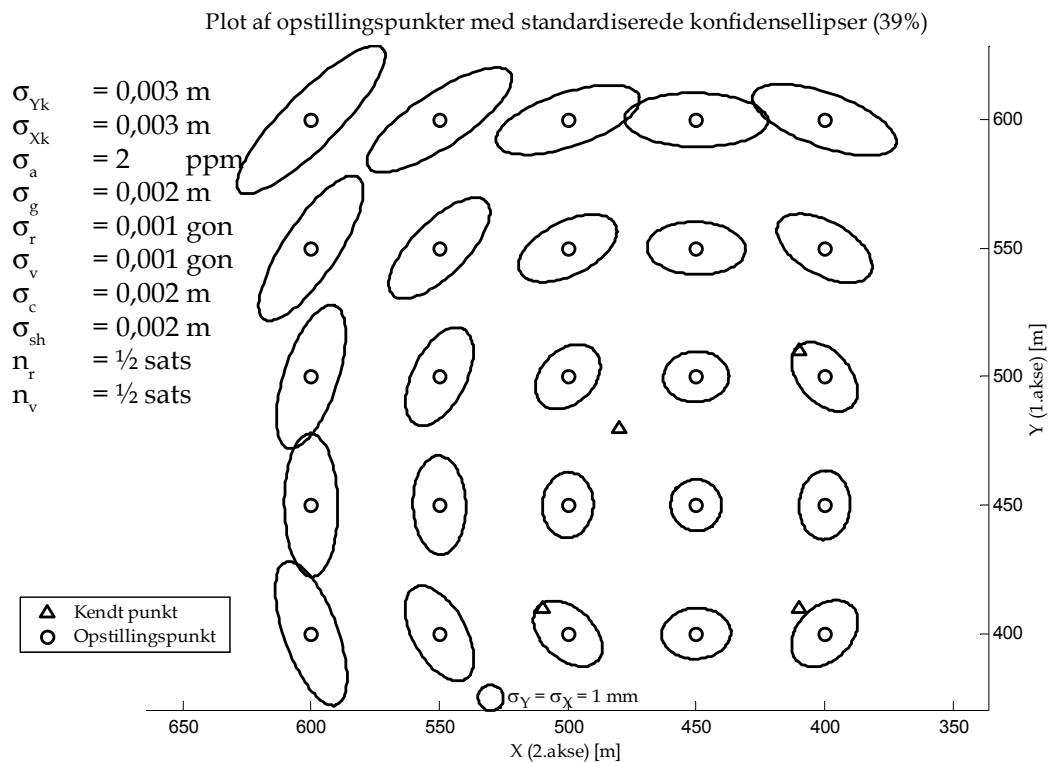
Af figur 6.15 fremgår det, at hvis den skrå afstand, ved sigter nær vandret, fra opstillingspunktet overstiger ca. 60 m, bliver spredningen på koten over 0,003 m. Spredningen på prismehøjden har den største indvirkning på σ_z på korte afstande, da denne er lig 0,002 m. Hvis ikke spredningen på prismehøjden indgår, kan den skrå afstand til en afsat kote være op til ca. 180 m inden σ_z overstiger 0,003 m med det anvendte udstyr. σ_z stiger ved stejle sigter i det fejlbidraget fra afstandsmåleren for betydning.

Nøjagtigheden af en afsat kote bliver større end præcisionen af koten, da der indføres et fejlbidrag fra den frie opstillings Z-koordinat. Dette forhold illustreres ikke her, men fremgår for et afsat punkt i planen af figur 6.6 og 6.7.

6.4 Placering af opstillingspunkt

Før end en afsætning foretages kan der med fordel overvejes, hvor den frie opstilling skal placeres både i forhold til de kendte punkter og i forhold til det som skal afsættes, for at afsætningen kan overholde givne tolerancekrav. I praksis udføres denne øvelse på baggrund af de erfaringer, som landinspektøren har oparbejdet gennem lignende afsætninger med instrumentet, jf. 2.1 *Afsætning i praksis*.

Det er ikke ligegyldigt for præcisionen og nøjagtigheden i en afsætningssituation, hvor den frie opstilling er placeret. Af figur 6.16 fremgår det, hvorledes nøjagtigheden af opstillingspunktet varierer i forhold til dennes placering i forhold til de kendte punkter. Alle kendte punkter har en spredning på 0,003 m i Y- og X-retning. Det fremgår, at opstillingspunktet bør være omkranset af de kendte punkter, for at nøjagtigheden af opstillingen er god. Desto længere opstillingspunktet ligger fra de kendte punkter desto dårligere nøjagtighed får opstillingspunktet.

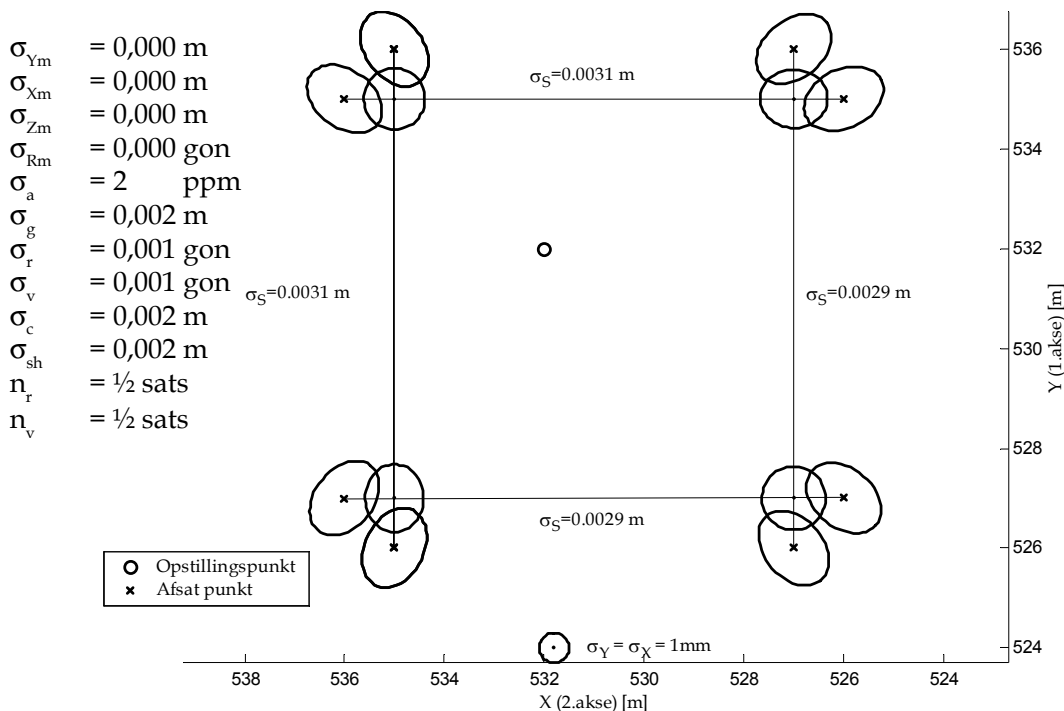


Figur 6.16: Illustration vedrørende betydningen af placeringen af den frie opstilling i forhold til de kendte punkter.

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

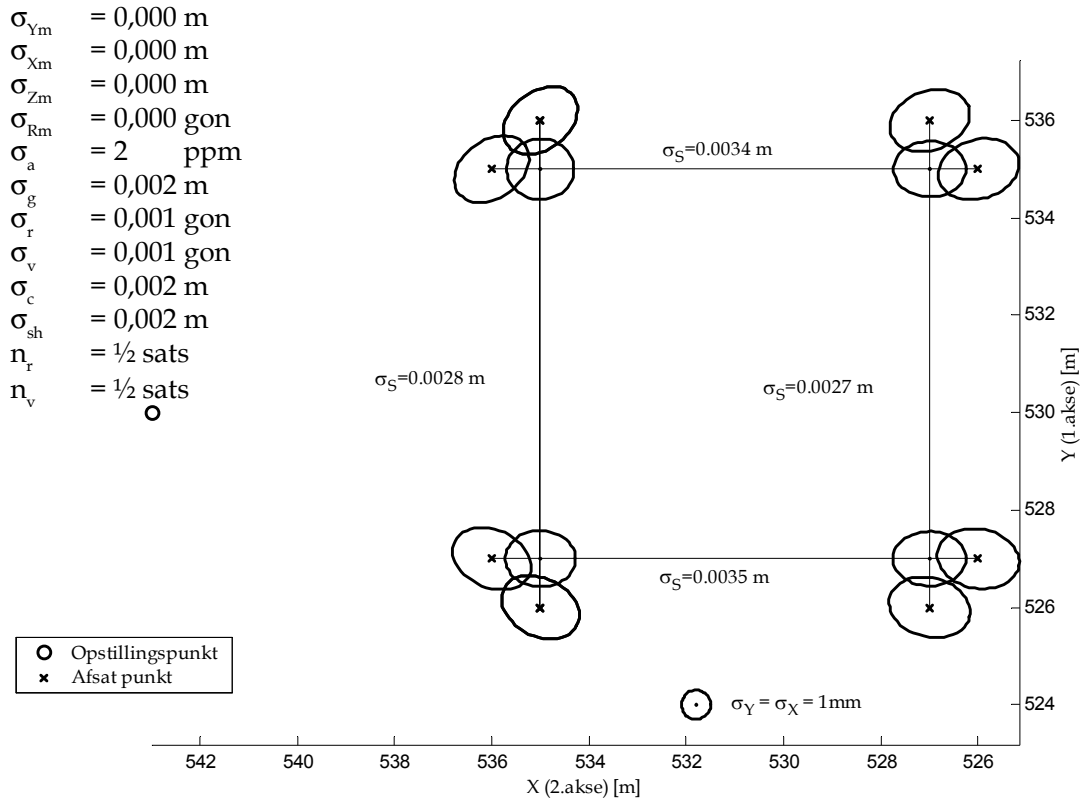
Betydningen af opstillingspunktets placering, i forhold til det som skal afsættes, fremgår af figur 6.17 og 6.18, hvor opstillingspunktet er placeret to forskellige steder. Dette bevirker f.eks., at spredningen på afstanden mellem to skæringspunkter σ_s varierer fra figur 6.17 til figur 6.18. Tilsvarende kan de samme overvejelser foretages vedrørende spredningen på koten σ_z .

I figur 6.17 og 6.18 fremgår det, hvorledes præcisionen af en afsætning er for σ_s ud fra to forskellige placeringer af den frie opstilling. For situationerne på figur 6.17 og 6.18 er sigtelængderne korte, hvorfor det specielt er grundfejlen vedrørende afstandsobservationerne til de afsatte punkter, der bevirker, at der fremkommer forskellige σ_s i situationerne. Hvis opstillingspunktet er placeret i en længere afstand fra afsætningen, vil spredningen på horisontalretningen og zenitdistancen samt den afstandsafhængige fejl bevirke, at præcisionen/nøjagtigheden på de afsatte punkter bliver mindre, og dermed bliver σ_s større. Fra figur 6.17 til figur 6.18 fremgår det endvidere, at kovariansmatricerne for de punkter, der afsættes, er forskellige afhængigt af opstillingspunktets placering. Dette bevirker, at konfidensellipserne har forskellig orientering i de to figurer, og dermed bliver spredningen på afstanden mellem to skæringspunkter forskellig.



Figur 6.17: Illustration vedrørende betydningen af placeringen af den frie opstilling i forhold til det, som skal afsættes.

Afsætning af modullinie samt kote



Figur 6.18: Illustration vedrørende betydningen af placeringen af den frie opstilling i forhold til det som skal afsættes.

For at give et mere generelt billede af disse forhold, er der udviklet et testprogram „TestNetHus“. TestNetHus kan via testberegninger inden en afsætning fortælle landinspektøren, hvor det er hensigtsmæssigt at placere en fri opstilling, hvis en tolerance på afstanden mellem to skæringspunkter σ_S eller koten σ_Z skal overholde en given værdi.

TestNetHus beskrives i bilag D.

TestNetHus angiver, hvor det er muligt at placere en fri opstilling på baggrund af kendskabet til:

- tolerance til afsætning (σ_S og σ_{Z_p})
- koordinater til modullinier af afsætning (geometri)
- koordinater til kendte punkter (geometri) samt deres nøjagtighed
- div. spredninger (instrumentspecifikationer, centrering, prismehøjde osv.)

Da det er et testprogram, er det ikke nødvendigt at indsamle observationer for at få et resultat. Dette skyldes, at kovariansmatricen Σ_L for de ubekendte elementer ved fri opstilling udelukkende opstilles på baggrund af designmatricen A , vægtmatricen C og antagelsen om, at variansfaktoren a posteriori er 1 [Jensen a, 2003, s. 135], [Cederholm, 2000, s. 59-60]. Yderligere kan kovariansmatricerne til afsatte punkter, skæringspunkter osv. bestemmes ved den generelle fejlforplant-

ningslov ved brug af kovariansmatricer for observationer og Jacobi-matricer, som beskrevet i appendiks II [Cederholm, 2000, s. 42].

Testprogrammet vedrørende placering af den frie opstilling i forhold til overholdelse af tolerancer til afsætningen, kan både benyttes hjemme på kontoret, men kan også medbringes i marken, hvor der er bedre mulighed for, at landinspektøren kan orientere sig i forhold til de aktuelle forhold i marken.

6.4.1 Eksempel på placering af opstillingspunktet

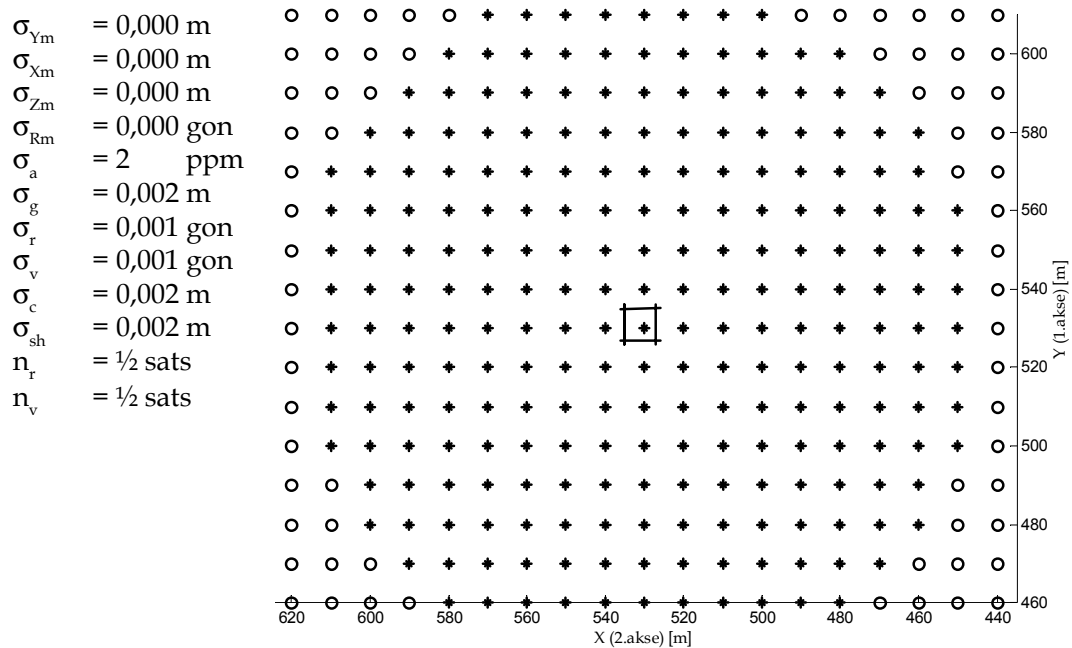
I dette afsnit redegøres for, hvor det er muligt at placere en fri opstilling til afsætning, således at en given tolerance på afstande mellem modullinier kan overholdes. Dette gøres ved hjælp af to eksempler. Første eksempel er afsætning af en kvadratisk bygning på 9 m x 9 m, hvor en tolerance på $T = 0,022$ m, jf. 4.3.2 *Tolerancedefinition*, ønskes overholdt. Andet eksempel er afsætning af en vinkelbygning på 14 m x 9 m, hvor der også ønskes overholdt en tolerance på $T = 0,022$ m. Begge afsætninger kan foretages ud fra hver deres frie opstilling, således der er tale om præcision. Afstandene skal således afsættes med en præcision mindre end $\sigma_s = 0,0037$ m. Landinspektøren er interesseret i at vide, hvor det er muligt at placere de frie opstillinger for at overholde tolerancekravene ved hver situation.

Figur 6.19 og 6.20 viser, i et grid på 10 m, mulige opstillingspunkter til hver opgave, hvorfra tolerancekravene kan overholdes. Opstillingspunkter markeret med cirkler indikerer, at det fra disse ikke er muligt at overholde tolerancekravene. Opstillingspunkter markeret med en stjerne indikerer, at det fra disse opstillingspunkter er muligt at overholde tolerancekravene. Figur 6.19 og 6.20 afhænger af instrumentspecifikationer og diverse spredninger. Ydermere viser figur 6.19 og 6.20, at afsætningens form og størrelse har indvirkning på, hvorfra en opstilling kan placeres.

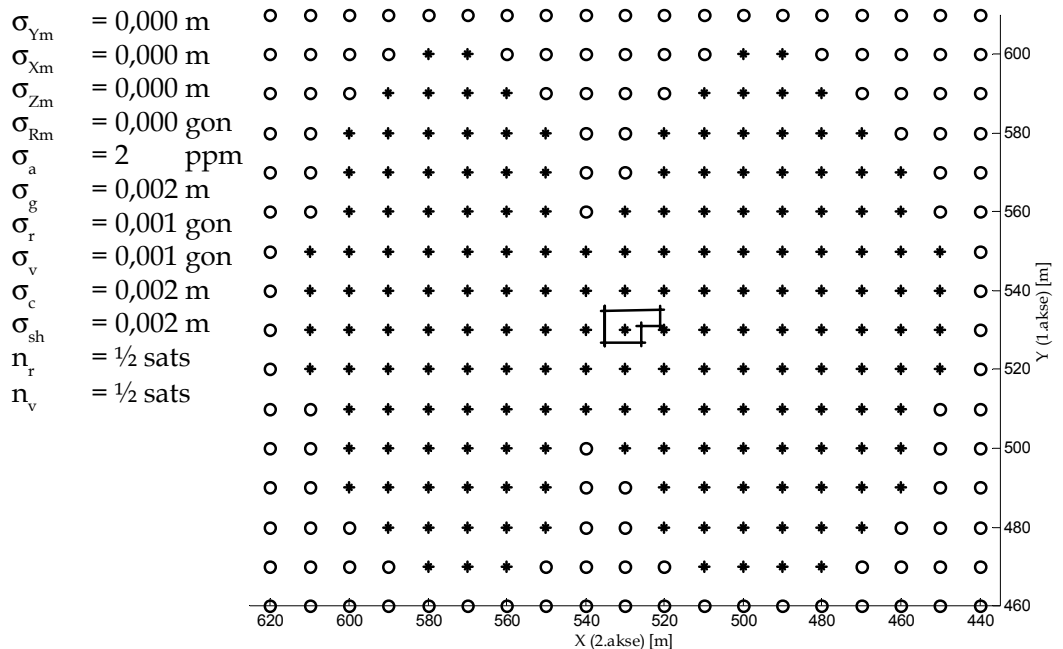
Yderligere eksempler fremgår af bilag D, hvor det fremgår, at anvendelsen af andre størrelser vedrørende grundfejlen på afstandsmåleren, centreringsspredningen samt placering og antal af kendte punkter, giver andre muligheder for placering af opstillingspunktet til overholdelse af tolerancekravene. Endvidere vises, hvorledes opstillingspunkter kan placeres for at overholde mindre tolerancer.

Testberegninger af lignende karakter er beskrevet i bilag D, og kan foretages med TestNetHus, som er beskrevet i bilag D. Her er det også muligt at udføre tilsvarende undersøgelser vedrørende σ_z .

Afsætning af modullinie samt kote



Figur 6.19: Plot i forbindelse med undersøgelse af overholdelse af tolerancekrav $T = 0,022$ m fra forskellige opstillingspunkter i forbindelse med afsætning af kvadratisk bygning (stjerner = opstillingspunkter hvorfra tolerancekrav kan overholdes).



Figur 6.20: Plot i forbindelse med undersøgelse af overholdelse af tolerancekrav $T = 0,022$ m fra forskellige opstillingspunkter i forbindelse med afsætning af vinkelbygning (stjerner = opstillingspunkter hvorfra tolerancekrav kan overholdes).

6.4.2 Afsætning fra flere opstillinger

I foregående afsnit og bilag D er det beskrevet, hvor en opstilling med totalstation skal placeres, til overholdelse af tolerancekrav i forbindelse med afsætning fra en opstilling. Hvis en afsætning udføres fra mere end en opstilling, er det ikke længere præcision, men derimod nøjagtighedsforhold der skal vurderes på. Testberegningerne, der kan foretages med programmet TestNetHus, er på denne måde ikke udtømmende, men indikerer hvorfra det er hensigtsmæssigt at placere flere opstillinger til brug ved samme afsætning.

Hvis der anvendes flere opstillinger til samme afsætning, er det ikke sikkert, at opstillingspunktet i de forskellige opstillinger, bliver bestemt med samme nøjagtighed, jf. figur 6.16. Endvidere er det ikke sikkert, at alle opstillingerne bliver bestemt ud fra de samme kendte punkter. Dette forhold vil også smitte af på nøjagtigheden af afsætningen.

6.5 Vurdering vedrørende afsætning af modullinie samt kote

Dette afsnit har til formål at skitsere, hvilke vurderingsstørrelser der fra dette kapitel vil blive anvendt til at vurdere en afsætning. Vurderingsstørrelserne opdeles i to dele, en omhandlende afsætningen i planen og en omhandlende afsætning af kote.

Vurderingsstørrelser vedrørende præcision og nøjagtighed af en afsætning i planen er:

- kovariansmatricen for et afsat punkt (Σ_p)
- kovariansmatricen for et skæringspunkt (Σ_{sp})
- spredningen på afstanden mellem to skæringspunkter (σ_s)

Vurderingsstørrelser vedrørende præcision og nøjagtighed af afsætning af koter er:

- spredningen på afsat kote (σ_z)

7

Kontrol af afsætning

Formålet med dette kapitel er at redegøre for, hvordan det er muligt at vurdere, om en afsætning er korrekt eller ej, gennem en hensigtsmæssig kontrol i marken. I det følgende forklares, hvad der skal opnåes gennem kontrol af afsætningen, hvorefter der opstilles fejlkilder til en afsætning. Herunder beskrives hvilke systematiske og grove fejl, der kan have indflydelse på en afsætning. Efterfølgende diskuteres mulige kontrolmetoder, hvor bl.a. fordele og ulemper behandles med henblik på detektering af grove fejl. Kontrolmetoderne behandles ud fra kontrol med totalstation, jf. 3.1 *Afgrænsning*. Yderligere opstilles vurderingsstørrelserne til kontrol af afsætningen i marken, samt hvorledes disse størrelser kan visualiseres sammen med et digitalt kort i marken.

Formålet med kontrol af en afsætning er at sikre, at afsætningen er foretaget med den ønskede præcision eller nøjagtighed, jf. 4.1.1 *Præcision og nøjagtighed*, og at der således ikke er fejl i afsætningen.

7.1 Fejl i afsætning

I dette afsnit redegøres for de systematiske og grove fejl, en afsætning kan være behæftet med. Dette gøres for at skabe overblik over, hvilke fejl der skal detekteres i forbindelse med kontrol af en afsætning.

Fejlene, som kan opstå i forbindelse med en afsætning, er:

- Tilfældige fejl
- Systematiske fejl
- Grove fejl

Oftest kan systematiske og grove fejl elimineres ved at foretage observationerne med omhu, fornuftig planlægning af observationer, korrektion for fejl osv. Efter elimination af systematiske og grove fejl vil der kun være tilfældige fejl tilbage, som ikke kan elimineres. Tilfældige fejl i forbindelse med afsætning af modullinier og kote er behandlet i kapitel 6. *Afsætning af modullinie samt kote*. For at den opstillede fejlteori i kapitel 6 kan afspejle virkeligheden, skal systematiske og grove fejl være elimineret. Formålet med en kontrolmåling af en afsætning er således at sikre, at der ikke er systematiske og grove fejl. Derfor skal kontrollen af afsætningen planlægges således, at denne type fejl detekteres. Indflydelsen af tilbageværende tilfældige fejl kan behandles gennem fejlteorien, hvor der kan opstilles udtryk for, hvor præcis eller nøjagtig en afsætning er, jf. 6. *Afsætning af modullinie samt kote*.

Kontrol af en afsætning kan foregå både under og efter selve afsætningen afhængigt af situationen, og hvilke kontrolmetoder der benyttes.

Systematiske og grove fejl ved afsætning behandles i de følgende afsnit.

7.1.1 Systematiske fejl

Systematiske fejl er fejl, hvis årsag er kendt, og disse fejl kan elimineres ved at kende størrelsen på den systematiske fejl eller planlægge målingerne således, at den systematiske fejl indgår to gange men med modsat fortegn [Frederiksen, m.fl., 1984, s. 9-10].

Ved observering fra en totalstation kan horisontalretnings- og zenitdistance-observationerne være behæftet med systematiske fejl fra teodolittens lovmæssige fejl, eksempelvis kollimationsfejl, horisontalakse skævhed, vertikalkredsens indeksfejl osv. [Jensen a, 2003, s. 8-9, 29] Oftest vil teodolittens lovmæssige fejl ikke have indflydelse på de indsamlede observationer, såfremt instrumentet er verificeret. Udover at totalstationen kan verificeres for teodolittens lovmæssige fejl, kan der på moderne instrumenter foretages en automatisk korrektion for disse fejl eksempelvis [Leica, 2000, s. 139].

Afstandsmåleren på totalstationen kan også være behæftet med systematiske fejl. Systematiske fejl som eksempelvis frekvensdrift og cyklisk fejl på afstandsmåleren kan kontrolleres ved at verificere instrumentet. Oftest vil afstandsobservationer være behæftet med systematiske fejl som forskydning af prisme (prismekonstant), atmosfæriske forhold samt jordkrumning og refraction. Prismekonstanten har betydning for alle afstandsobservationer med størrelsen af prismekonstanten, mens atmosfæriske forhold, jordkrumning og refraction oftest ikke har nævneværdig betydning ved korte afstande.

I forbindelse med klargøring af totalstationen til afsætning og under afsætningsforløbet, kan der med fordel anvendes en tjekliste over korrektionen for systematiske fejl. Figur 7.1 viser et eksempel på en sådan tjekliste, hvor der er taget udgangspunkt i, at totalstationen er verificeret tilfredsstillende, men hvor der alligevel automatisk korrigeres på totalstationen for de lov-mæssige fejl totalstationen kan være behæftet med. På tjeklisten vises også, hvilken enhed de forskellige observationer skal have. Tjeklisten på figur 7.1 kan således gennemløbes inden observation til kendte punkter, inden der afsættes, løbende under afsætning og efter afsætning til kontrol af værdier for korrektion af systematiske fejl.

Systematisk fejl	Indstilling samt værdi	OK
Diverse enheder	Valg af enheder gon, meter, zenitdistance, osv.	<input checked="" type="checkbox"/>
Teodolittens lovmæssige fejl	Automatisk korrektion	<input checked="" type="checkbox"/>
Afstandsmåleprogram	Valg af afstandmåleprogram til prisme eller reflektorløs	<input checked="" type="checkbox"/>
Prismekonstant	Korrektion Prismekonstant = 0,025 m	<input checked="" type="checkbox"/>
Atmosfæriske forhold	Korrektion Tryk = 1000 mbar Temperatur = 17 °C ppm _a = 8 ppm	<input checked="" type="checkbox"/>
Jordkrumning og refraction	Korrektion Refraktionskoefficient = 0,13 (Anbefalet: 0,13) Jordens radius = 6.386.000 m (Anbefalet 6.386.000 m)	<input checked="" type="checkbox"/>

Figur 7.1: Tjekliste til kontrol af systematiske fejl i en afsætningssituation.

Såfremt der i forbindelse med korrektion for systematiske fejl indtastes en forkert værdi til en korrektion, vil dette være en grov fejl, der behandles i næste afsnit.

7.1.2 Grove fejl

Grove fejl er fejl, som skyldes fejlagtig indstilling af instrumentet, betjeningsfejl, aflæsnings- og tastefejl osv. Grove fejl kan undgås ved at udvise omhu i opmålingssituationen, foretage dobbeltmålinger eller sørge for overbestemmelser. [Frederiksen, m.fl., 1984, s. 8-9]

Den følgende opstilling af mulige grove fejl er ikke fyldestgørende, da typerne af grove fejl kun begrænses af fantasien!

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

Betjening af udstyret til afsætningen kan være grundlag for grove fejl. Med udstyr menes den anvendte totalstation, prisme, afmærkning af afsatte punkter osv. Eksempelvis kan der på totalstationen blandt andet indtastes forkert prisme-konstant, korrektion for atmosfæriske forhold, fejl i indstilling på prismet med stregkorset eller læse- og tastefejl.

Grove fejl i tegningsmaterialet kan også være årsagen til fejl i afsætningen. Hermed menes, at tegningsmaterialet til afsætningen kan aflæses forkert, at et forkert tegningsmateriale er leveret, at et forkert punkt afsættes osv. Eksempler på forsikringsager hos LgE omhandlende disse fejl fremgår af 2.2 *Landinspektørernes gensidige Erhvervsansvarsforsikring*. Oftest kan sådanne fejl være svære at detektere, inden byggeriet er startet, eksempelvis kan to betonelementer ikke nå sammen, fordi der er afsat en forkert modullinie.

I forbindelse med bestemmelsen af den frie opstilling til bygningsafsætning, som foretages ud fra sigter til kendte punkter, kan der være grove fejl på de kendte punkters koordinater. Kendte punkter kan enten være flyttet i planen eller i højden, eksempelvis hvis punktet er påkørt. Derfor er det god skik, at prismeføreren kontrollerer de kendte punkters tilstand i forbindelse med observation til disse. Derudover kan der ved brug af kendte punkter ske en fejl i punktnummereringen, som dog burde blive opdaget ved observation til flere kendte punkter, der dermed giver overbestemmelser i udjævningen af den frie opstilling. Er der få eller ingen overbestemmelser, kan grove fejl på kendte punkter ikke altid detekteres.

Observationerne til kendte punkter kan være behæftet med grove fejl. Der kan være en grov fejl på afstands-, retnings- eller zenitdistanceobservationen. Derudover kan der opstå fejl ved observation til prismet, eks. centrering, libelle og måling af prismehøjde. Grove fejl på observationerne til de kendte punkter vil oftest kunne detekteres ved at observere til flere kendte punkter.

Efter den frie opstilling er bestemt, kan denne blive påvirket af grove fejl. Selve opstillingen med totalstationen kan flytte sig i planen eller sætte sig under selve afsætningsforløbet. Derudover kan der forekomme stativdrejning, som betyder, at afsætningspunkterne bliver afsat forkert. En stativdrejning kan delvist kontrolleres ved, at udgangsretningen med jævne mellemrum kontrolleres. Såfremt opstillingen er drejet, kan der korrigeres for dette. Flytninger kan evt. kontrolleres ved midlertidig afmærkning af opstillingspunktet på jorden.

På observationerne fra opstillingspunktet til afsætningspunkterne kan der også forekomme grove fejl. Udover fejl på selve observationerne fra totalstationen kan observering af prismehøjden også være fejlbehæftet. Fejl ved centrering af prismet kan også bevirke grove fejl. Afhængigt af valg af udstyr kan der til det enkelte prisme være tilknyttet en prismekonstant, som skal være korrekt indtastet på totalstationen. En forkert prismekonstant ved observering til kendte punkter vil formentlig kunne opdages, når observationerne udjævnes, men en forkert

anvendt prismekonstant til afsætningspunkterne vil kun detekteres ved efterfølgende kontrolmåling af afsætningen, jf. 7.2.3 Kontrol 3.

Mange af de foregående grove fejl vil kunne undgås, hvis der arbejdes med omtanke og omhu. Alligevel kan nogle af foregående fejl være svære at detektere, dels på grund af deres størrelse og dels på grund af, at fejlen kan ændre sig under selve afsætningsforløbet f.eks. stativdrejning eller flytning af opstillingspunktet.

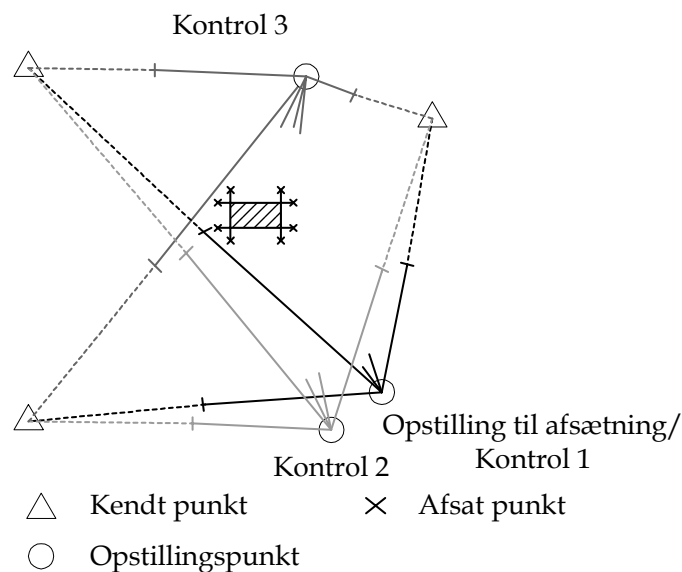
7.2 Kontrolmetoder

I dette afsnit redegøres for kontrolmetoder af en afsætning, som kan udføres med totalstation. Kontrolmetoderne tager udgangspunkt i metoder, som projektgruppen er blevet præsenteret for i forbindelse med samtaler eller anden kontakt til praktiserende landinspektører, jf. 2.1 Afsætning i praksis.

Der bliver taget udgangspunkt i tre kontrolmetoder af en afsætning, som er:

- Kontrol 1: Kontrol af udgangsretning under afsætning
- Kontrol 2: Efterfølgende kontrolmåling med lille eller ingen flytning af totalstation (samme geometri)
- Kontrol 3: Efterfølgende kontrolmåling med stor flytning af totalstation (anden geometri)

Figur 7.2 viser placeringen af opstillingspunktet til kontrolmetoderne. Forskellen på de tre kontrolmetoder (1-3) er tidspunktet for udførelse af kontrol samt placering af opstillingspunktet til kontrolmåling.



Figur 7.2: Illustration af kontrolmetoder.

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

Til vurdering af kontrolmetoderne bliver metoderne sammenlignet på, hvilke fejl der kontrolleres med den enkelte metode. Der sammenlignes på:

- fejl på opstillingspunktet samt kredselement til afsætning
- stativdrejning og flytning af opstillingspunktet under afsætningsforløbet
- fejl på observationer til afsætningspunkter (inklusiv fejl ved centrering af prisme, prismehøjde og prismekonstant)
- punktnummerfejl vedrørende afsætningspunkter

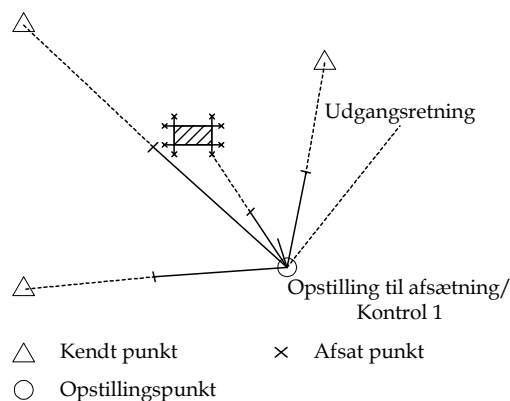
Selve afsætningen foregår som beskrevet i 2.1.2 *Afsætning*, hvor der efter markering af det afsatte punkt foretages en observation til punktet, som registreres.

Ligeegyldigt hvilke af førnævnte kontrolmetoder der benyttes, skal opstillingens placering samt kredselement bestemmes til afsætningen. I forbindelse med bestemmelse af opstillingspunktet og dets kredselement, kan kendte punkter og observationerne til de kendte punkter blive kontrolleret for grove fejl. Dette afhænger selvfølgelig af, hvor mange kendte punkter der er observeret til, idet flere overbestemmelser giver bedre kontrol af grove fejl. Der kan dog forekomme grove fejl, der ikke afsløres ved overbestemmelser, eks. på grund af u hensigtsmæssig geometri. Hvis for eksempel alle afstande fra opstillingspunktet til kendte punkter er for korte eller for lange på grund af forkert prismekonstant, og de kendte punkter samt opstillingspunktet har en u hensigtsmæssig geometri, bliver opstillingspunktet bestemt forkert.

Til korrektion for systematiske fejl kan der med fordel udarbejdes en procedure, der på en given måde sørger for, at der kontrolleres for systematiske fejl. Et eksempel på en tjekliste som en del af en fastlagt procedure fremgår af figur 7.1.

7.2.1 Kontrol 1

Kontrol 1 foregår under selve afsætningen. Det vil sige, at der efter selve afsætningen ikke udføres flere kontrolmålinger. Kontrollen af afsætningen med Kontrol 1 er, at der under afsætningen foretages en jævnlig kontrol af udgangsretning og evt. korrektion, jf. figur 7.3, hvor Kontrol 1 og afsætningen foregår fra samme sted. Figur 7.4 viser en oversigt over hvad Kontrol 1 kontrollerer helt og delvist for.



Figur 7.3: Illustration af Kontrol 1.

Kontrol af afsætning

Opstillingspunkt samt kredselement til afsætning	Opstillingspunktet til afsætning		Observationer til afsætningspunkter	Punktnummerfejl til afsætningspunkter
	drejning	flytning		
-	(X)	(X)	-	-

X=kontrol, (X)=delvis kontrol, - = ingen kontrol

Figur 7.4: Kontrolmuligheder af afsætning med Kontrol 1, hvor udgangsretningen kontrolleres løbende under selve afsætningsforløbet.

Kontrol af opstillingspunktet og kredselementet til afsætning bliver ikke nødvendigvis udført med Kontrol 1, medmindre udjævningen af observationerne til de kendte punkter afslører fejl. Såfremt der er fejl på bestemmelsen af opstillingspunktet til afsætning, eksempelvis at opstillingspunktet er bestemt 2 cm fra det korrekte, vil dette ikke blive detekteret ved denne kontrol.

Kontrol af udgangsretningen er en delvis kontrol mod, at der ikke sker en fejl i afsætning pga. stativdrejning eller flytning af opstillingen. Såfremt der konstateres en fejl i udgangsretningen, kan det ikke umiddelbart afgøres, om det er en stativdrejning eller om opstillingen er flyttet, hvorfor det kun er en delvis kontrol.

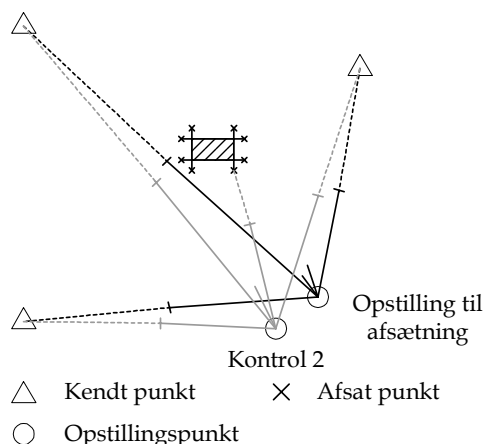
Fejl på observationerne til afsætningspunktet - herunder fejl i prismekonstant, prismehøjden samt centrering, bliver ikke opdaget med Kontrol 1. Der er kun en registrering til hvert afsætningspunkt, hvor en centreringsfejl med prismet ikke kan kontrolleres. Såfremt der fra start er indtastet forkert prismekonstant, vil denne ikke kunne kontrolleres med Kontrol 1. Værdien for prismekonstanten kan selvfølgelig kontrolleres på totalstationen, men anvendes et prisme til observation til kendte punkter og et andet prisme til afsætning, kan der ske fejl ved manglende skift af prismekonstant på totalstationen.

Fejl i punktnummeret på det afsatte punkt bliver ikke kontrolleret ved denne kontrol, idet punktet kun besøges en gang.

Eventuelt kan Kontrol 1 udbygges med at afmærke opstillingspunktet. Således kan en flytning af opstillingspunktet kontrolleres.

7.2.2 Kontrol 2

Kontrol 2 foregår efter selve afsætningen, hvor instrumentet ikke er flyttet eller ikke er flyttet væsentlig i forhold til opstillingspunktet ved afsætningen, eksempelvis 2 m. Figur 7.5 viser placeringen af opstillingspunktet til Kontrol 2 i forhold til opstillingspunktet til afsætning. Proceduren til Kontrol 2 er etablering af en ny opstilling med observationer til kendte punkter og beregning af fri opstilling, samt efterfølgende opmåling af alle afsatte punkter. Opstillingen til kontrolmålingen kan betragtes som uafhængig af opstillingen til afsætningen. Figur 7.6 giver et overblik over, hvad Kontrol 2 helt og delvist kontrollerer for.



Figur 7.5: Illustration af Kontrol 2.

Opstillingspunkt samt kredselement til afsætning	Opstillingspunktet til afsætning		Observationer til afsætningspunkter	Punktnummerfejl til afsætningspunkter
	drejning	flytning		
(X)	X	X	(X)	X

X=kontrol, (X)=delvis kontrol, - = ingen kontrol

Figur 7.6: Kontrolmuligheder af afsætning med Kontrol 2, hvor opstillingspunktet er tæt på eller sammenfaldende med opstillingspunktet til afsætningen.

Med Kontrol 2 kan opstillingspunktet til afsætning delvist kontrolleres for fejl angående bestemmelse af opstillingspunktet til afsætning. At det er en delvis kontrol skyldes, at der med opstilling til kontrolmåling i samme punkt eller tilnærmelsesvis samme punkt som til afsætning ikke sker en ændring af geometrien mellem kendte punkter og opstillingspunkterne, såfremt opstillingspunktet til kontrolmålingen bestemmes ud fra samme kendte punkter. Når der ikke er ændring i geometrien kan evt. grove fejl ikke altid lokaliseres, eksempelvis flytning/sætning af enkelte kendte punkter eller anvendelse af forkert prismekonstant. Modsat kan en ny beregning af opstillingspunktet ved kontrolmålingen være med til at afsløre en fejl på opstillingspunktet til selve afsætningen. Er der ved observationerne til kendte punkter fra opstillingen til afsætning anvendt en forkert prismekonstant, der ikke opdages i udjævning af observationerne, vil afsætningspunkterne også flyttes. Foretages en korrekt observering til kendte punkter ved opstilling til kontrolmåling, vil der formentlig vises et mønster grundet den grove fejl af prismekonstanten ved sammenholdelse af afsætningspunkternes designværdier og afsætningspunkterne indmålt ved kontrolmålingen.

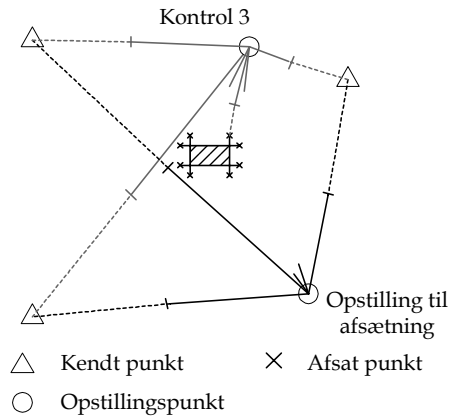
Kontrol 2 kan indeholde samme princip som Kontrol 1, og kan derfor kontrollere for samme fejl. Yderligere kan der ved en ny kontrolmåling sammenlignes koordinatforskelle mellem designværdier, der gør, at stativdrejning og flytning af opstillingspunktet kan detekteres.

Fejl på observationerne til afsætningspunkterne bliver delvist kontrolleret ved en ny opstilling til kontrolmåling. For det første skal der foretages en ny centrerung af prismet, der kan kontrolleres for grove fejl på centrerung under afsætningen. For det andet kan der til kontrolmålingen ændres på typen af prismet og prismehøjden, så ændringen skal registreres og på denne måde indtastes eller noteres på ny. Foretages der ikke kontrol af prismekonstanten kan en fejl på denne muligvis ikke detekteres, da placeringen af opstillingspunktet til kontrolmålingen er tæt på opstillingspunktet til afsætningen. Således vil en fejl på prismekonstanten, der giver en grov fejl på alle afsatte punkter ikke kunne detekteres, idet fejlen vil være den samme ved både afsætning og kontrolmåling.

Fejl på punktnummeret på det afsatte punkt bliver ved Kontrol 2 kontrolleret modsat ved Kontrol 1. Til Kontrol 2 skal alle punkter besøges to gange, og punktnummeret fra afsætning skal derfor være overensstemmende med punktnummeret fra kontrolmålingen.

7.2.3 Kontrol 3

Kontrol 3 er stort set den samme som Kontrol 2, hvor opstillingspunktet til kontrolmåling er flyttet længere væk fra opstillingspunktet til afsætningen, jf. figur 7.7. På denne måde opnåes samme fordele som ved Kontrol 2 og opstillingen til kontrolmåling kan betragtes som uafhængig af opstillingen til afsætningen. Figur 7.8 viser kontrolmulighederne med Kontrol 3.



Figur 7.7: Illustration af Kontrol 3.

Opstillingspunkt samt kredselement til afsætning	Opstillingspunktet til afsætning		Observationer til afsætningspunkter	Punktnummerfejl til afsætningspunkter
	drejning	flytning		
X	X	X	X	X

X=kontrol, (X)=delvis kontrol, - = ingen kontrol

Figur 7.8: Kontrolmuligheder af afsætning med Kontrol 3, hvor der udføres en kontrolmåling fra en opstilling, som er flyttet i forhold til opstillingspunktet til afsætningen.

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

Ved at flytte opstillingspunktet til kontrolmålingen længere væk fra opstillingspunktet til afsætningen opnåes en ny geometri mellem opstillingspunktet og de kendte punkter samt de afsatte punkter. Da der er større forskel mellem placeringen af opstillingspunkterne giver det mulighed for at kontrollere for yderligere fejl ved afsætningen. Den forandrede geometri mellem opstillingspunkterne og kendte punkter giver mulighed for at kontrollere bestemmelsen af opstillingspunktet til afsætningen. Hvis opstillingspunktet til kontrolmålingen er korrekt bestemt, vil en forkert bestemmelse af opstillingspunktet til afsætningen komme til udtryk, når der foretages koordinatsammenligning med punkterne indmålt ved kontrolmålingen og designværdierne. Såfremt der foretages en grafisk præsentation af afvigelserne, vil en flytning af opstillingspunktet ved afsætningen kunne vises med tilnærmelsesvis samme flytning på afsætningspunkterne. En ændring i geometrien kan også være med til at detektere fejl på de kendte punkter, som ikke kunne afsløres ved opstillingspunktet til afsætningen pga. geometrien.

En stativdrejning under afsætningsforløbet kan kontrolleres og korrigeres under afsætningsforløbet (Kontrol 1), men vil også detekteres efterfølgende ved kontrolmålingen, hvis der grafisk vises koordinatforskelle mellem afsætningspunkterne og designværdierne. Kontrol 3 kan på samme måde som Kontrol 2 kontrollere for flytning af opstillingspunktet.

Hvor Kontrol 2 giver delvis mulighed for kontrol af observationer til afsætningspunkterne, kan Kontrol 3 give kontrolmulighed for alle observationer, idet opstillingspunktet er flyttet. En placering af opstillingspunktet til kontrolmålingen eksempelvis vinkelret på sigtelinier fra opstillingspunktet til afsætningen, jf. figur 7.7, vil give mulighed for at kontrollere for fejl på afstandsobservationen. En fejl i prismekonstanten, stativdrejning eller flytning af opstillingspunktet til afsætningen vil dermed grafisk kunne illustreres med koordinatsammenligning.

Som ved Kontrol 2 bliver punktnumrene kontrolleret ved kontrolmålingen, hvilket kan være med til at detektere en evt. grove fejl.

7.2.4 Vurdering af kontrolmetoder

Afhængigt af hvilken af foregående kontrolmetoder (Kontrol 1-3) der benyttes til at kontrollere afsætningen med, vil der være hel eller delvis dækning af de omtalte grove fejl. Som kontrolmetoderne er skitseret, bør kontrollen af en afsætning foregå ved Kontrol 3, hvor der efter afsætning etableres en ny opstilling til kontrolmåling, der er flyttet i forhold til opstillingspunktet til afsætningen, jf. figur 7.2. Med Kontrol 3 vil der kunne kontrolleres for de fleste grove fejl.

Systematiske fejl bør kontrolleres ved, at der til en afsætningssituation udarbejdes en fastlagt procedure, der bl.a. kan indeholde en tjekliste som skitseret på figur 7.1. Med en fastlagt procedure bør der foretages den nødvendige korrektion af systematiske fejl.

Foregående diskussion af kontrolmetoder stemmer overens med forsikringsbetingelserne i LgE, ang. kontrol af afsætning, jf. 2.2 *Landinspektørernes gensidige Erhvervsansvarsforsikring*. Såfremt selvriskoen ikke skal fordobles, skal der efter afsætning udføres en uafhængig kontrol af det afsatte hvilket stemmer overens med Kontrol 2, når opstillingspunktet beregnes på ny. Yderligere skal kontrolmålingen kunne dokumentere afsætningens rigtighed, hvormed Kontrol 3 vil være nødvendig for at detektere eventuelle grove fejl.

Der er altid mulighed for, at to grove fejl kan ophæve hinanden, altså at en grov fejl i afsætningen ophæver en tilsvarende grov fejl i kontrolmålingen. Sådanne fejl er svære at eliminere, men med Kontrol 3 vil de fleste grove fejl blive detekteret.

Til en hensigtsmæssig kontrol i marken vælges det at kontrollere afsætningen undervejs (kontrol af udgangsretning, Kontrol 1) og efterfølgende foretage en kontrolmåling beskrevet som Kontrol 3, jf. 7.2.3 *Kontrol 3*.

7.2.5 Placering af opstillingspunkt til kontrolmåling

Ligesom at placeringen af opstillingspunktet til afsætningen kan være afgørende for opnåelig tolerance på afstanden mellem to skæringspunkter, er placeringen af opstillingspunktet til kontrolmålingen også af afgørende betydning. Kontrolmålingen af en afsætning bør foretages med minimum samme præcision/nøjagtighed, som afsætningen foretages med. Dette gøres for at kunne detektere grove fejl i afsætningen, der er større end de tilfældige fejl fra afsætningen samt kontrolmålingen.

Opstillingspunktet til kontrolmålingen skal placeres et sted, hvorfra det er muligt at opnå tilfredsstillende præcision og nøjagtighed af kontrolmålingen. I TestNetHus, jf. bilag D, foretages testberegninger, der viser placeringsmuligheder til afsætning, såfremt en given tolerance af afsætningen skal overholdes. Opstillingspunktet til kontrolmålingen bør ligeledes placeres indenfor samme placeringsmuligheder.

En kontrolmåling bør foregå efter Kontrol 3, hvor opstillingspunktet til kontrolmåling er flyttet i forhold til opstillingspunktet til afsætningen. Flytningen af opstillingspunktet til kontrolmåling kan give problemer, idet det ikke er sikkert, at hele afsætningen kan ses fra andre steder på byggepladsen på grund af maskiner, jord, andet byggeri osv. Såfremt dette ikke er muligt, bør afsætningen kontrolleres efter Kontrol 2. Foregår kontrollen af afsætningen efter Kontrol 2, bør der på anden måde sikres, at der ikke er fejl i opstillingspunkterne eller observationerne til afsætningspunkterne, jf. figur 7.6. Foretages kontrollen af afsætningen med kontrol 2, kan der evt. skiftes instrument, eller kontrolmålingen kan foretages af en anden person for på denne måde at undgå grove fejl.

7.3 Vurderingsstørrelser til kontrol af afsætning

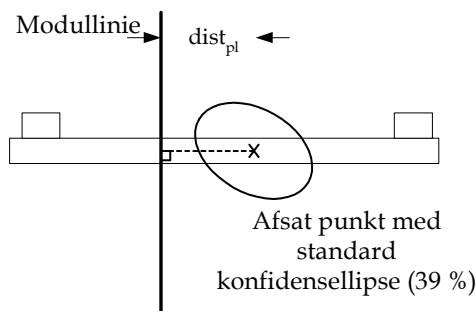
I dette afsnit opstilles, hvilke størrelser som skal bruges til kontrol af en afsætning. Der oplyses vurderingsstørrelser, der kan bruges under selve afsætningen, og vurderingsstørrelser som kan bruges ved den efterfølgende kontrolmåling.

Udgangspunktet for vurderingsstørrelserne til kontrolmålingen bygger på, at der foretages en kontrolmåling af afsætningen fra en ny opstilling (Kontrol 2/3). Som kontrol sammenlignes kontrolmålingen af det afsatte med designværdier, som er mål eller koordinater angivet på tegningsmaterialet.

7.3.1 Vurderingsstørrelser under afsætning

Under selve afsætningsforløbet flyttes prismet til afsætningspunktet, som for modulliniers vedkommende er et punkt på linien. Processen med bestemmelse af afsætningspunktet foregår iterativt, jf. 2.1.2 *Afsætning*, hvor prismet skal flyttes til afvigelsen mellem designværdier og det faktiske punkt er tilfredsstillende. Grundet de tilfældige fejl vil der oftest være en afvigelse mellem designværdier og det faktiske afsatte. Men hvornår en afvigelse mellem designværdier for modullinien og det faktiske afsatte punkt er tilfredsstillende behandles i det følgende, hvor der sluttelig opstilles en fejlgrænse, der kan bruges i marken til løbende kontrol under afsætning.

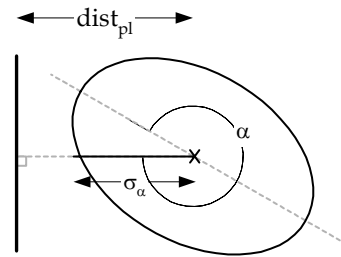
Ved afsætning af modullinier er der ikke givet et punkt til afsætning, men en linie der skærer med den opstillede galge. Derfor kan der ikke udregnes en koordinatafvigelse mellem designværdi og det afsatte punkt. Derimod kan den vinkelrette afstand ($dist_{pl}$) beregnes fra det afsatte punkt, og til modullinien der skal afsættes. Den vinkelrette afstand mellem modullinien og det afsatte punkt skal således overholde en given fejlgrænse, for at det afsatte punkt repræsenterer modullinien tilfredsstillende. På figur 7.9 illustreres et afsat punkt i forhold til modullinien givet ved designværdier samt den vinkelrette afstand fra det afsatte punkt til modullinien ($dist_{pl}$). Det afsatte punkt vises med dets standard konfidensellipse (39 %).



Figur 7.9: Afsat punkt i forhold til modullinie samt den vinkelrette afstand fra det afsatte punkt til modullinien.

Den vinkelrette afstand fra det afsatte punkt til modullinien skal således overholde en given fejlgrænse, for at der er grund til at tro, at det afsatte punkt kun er

behæftet med tilfældige fejl. Da det afsatte punkts konfidensellipses akser ikke nødvendigvis er lige store, og at den ene af konfidensellipsens akser ikke nødvendigvis er parallel med modullinien, vælges det at udregne en spredning for det afsatte punkt i retningen vinkelret på modullinien. Denne spredning vinkelret på modullinien betegnes σ_α og illustreres på figur 7.10. Spredningen for en given retning er oftest større end afstanden fra konfidensellipsens centrum til randen af konfidensellipsen, hvilket også illustreres på figur 7.10. Spredning i en given retning for et punkt beskrives ved hjælp af en støttekurve [Cederholm, 2000, s. 57].



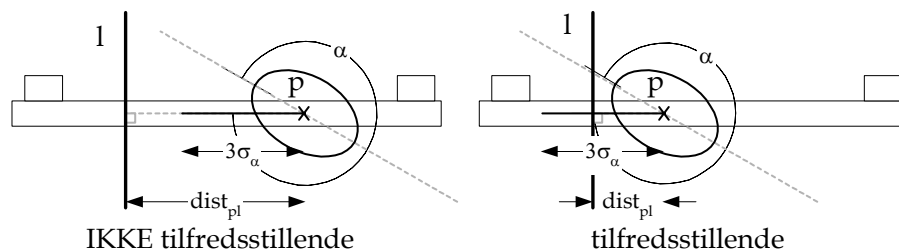
Figur 7.10: Illustration af spredning for et punkt i en given retning α i forhold til storaksen. Spredningen i en given retning er oftest større end konfidensellipsen.

Udgangspunktet, til at kontrollere om et punkt er afsat korrekt, er at udregne den vinkelrette afstand fra det afsatte punkt til modullinien samt spredningen for det afsatte punkt i denne retning. Hvorledes den vinkelrette afstand bestemmes samt spredningen for det afsatte punkt i denne retning beskrives i appendiks III.

Der fastsættes således en grænse for, hvor stor afvigelsen ($dist_{pl}$) mellem modullinien og det afsatte punkt må være, til:

$$fejlgrænse(dist_{pl}) = 3\sigma_\alpha \quad (7.1)$$

Figur 7.11 viser to eksempler, hvor det ene afsatte punkt overholder fejlgrænsen på $3\sigma_\alpha$, og det andet afsatte punkt ikke gør. For hver gang et punkt afsættes, skal der på baggrund af modulliniens designkoordinater og det afsatte punkt, beregnes, om afvigelsen er mindre end fejlgrænsen på $3\sigma_\alpha$. Er $dist_{pl}$ mindre end $3\sigma_\alpha$ forventes det, at der fra instrumentet afsættes med den forventede præcision, og at der ikke er grove fejl i selve afsætningen. Denne løbende kontrol tager ikke højde for evt. stativdrejning, flytning af opstillingspunktet, forkert prismekonstant osv. Dertil kræves der yderligere efterfølgende kontrol, der behandles i næste afsnit.



Figur 7.11: Ikke tilfredsstillende afsætning ($dist_{pl} > 3\sigma_\alpha$) og tilfredsstillende afsætning ($dist_{pl} < 3\sigma_\alpha$).

7.3.2 Vurderingsstørrelser ved kontrolmåling

Kontrolmålingen (Kontrol 3), der foregår efter afsætningen, udføres for at sikre mod grove fejl. Det vil sige, at selve kontrolmålingen skal sammenlignes med tegningsmaterialet, der netop indeholder designværdier til det afsatte. Kontrolmålingens sammenligning med designværdier bør derfor kunne afsløre evt. grove fejl i afsætningen. Disse fejl vil efterfølgende kunne rettes, så afsætningen bliver korrekt.

Ved bygningsafsætning, hvor der skal afsættes modullinier, vil der ikke være designværdier til punkterne på modullinien, der afsættes på galgen. Derimod vil der være punkter på modullinien ved selve bygningen, de punkter som er skæringen mellem modullinierne. Derfor bør det også være ved skæringspunkterne, der udføres kontrol af afsætningen, idet det er skæringspunkterne, som kommer til at udgøre bygningen, og som resten af bygningen placeres ud fra. Det er også mellem skæringspunkterne, der skal være en given afstand med en given tolerance, jf. 4.3.2 *Tolerancedefinition*. Afvigelsen mellem designværdier og kontrolmålingen vil altid være påvirket af de tilfældige fejl, hvorfor der skal opstilles en fejlgrænse.

Fejlgrænserne opstilles i det følgende for skæringspunktet, afstanden mellem skæringspunkter samt koten.

Fejlgrænse for skæringspunkt

Efter at alle afsatte punkter er kontrolmålt, kan der beregnes en afvigelse mellem skæringspunkterne af modullinierne fra kontrolmålingen og designværdier for skæringspunkterne. Såfremt afvigelsen mellem skæringspunkterne fra kontrolmålingen og designværdierne er mindre end en fastsat fejlgrænse fastlagt ud fra fejlteori, er der grund til at tro, at afsætningen ikke er behæftet med grove fejl. Afsætningen overholder dermed den ønskede tolerance.

Der gøres opmærksom på, at de afsatte punkter både er behæftet med tilfældige fejl fra afsætningen og de tilfældige fejl fra indmålingen ved kontrolmåling.

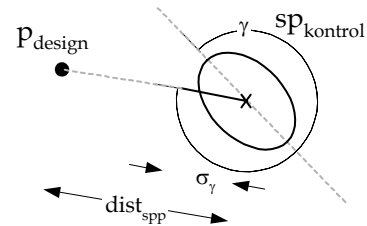
Hvorledes kovariansmatricen for et skæringspunkt bestemmes, fremgår af appendiks II, jf. II.4 *Præcision og nøjagtighed af skæring mellem to linier*. Til bestemmelse af fejlgrænsen for afvigelsen mellem skæringspunkter fra kontrolmålingen og designværdier antages det, at opstillingen til afsætning og opstilling til kontrolmåling er uafhængige. Når opstillingspunkterne er uafhængige kan kovariansmatricen for det enkelte skæringspunkt, der benyttes til bestemmelse af fejlgrænsen, beregnes som summen af kovariansmatricerne for skæringspunktet fra afsætning og kontrolmåling. Dette giver følgende udtryk:

$$\Sigma_{sp_{samlet}} = \Sigma_{sp_{afset}} + \Sigma_{sp_{kontrol}} \quad (7.2)$$

Med en kendt kovariansmatrice for det enkelte skæringspunkt, kan der mellem skæringspunktet fra kontrolmålingen og designværdierne beregnes en retning, hvor der udregnes en spredning (σ_γ) for skæringspunktet. For at skæringspunktet er korrekt afsat, skal afstanden $dist_{spp}$ mellem et skæringspunkt fra kontrolmålingen og dets designværdi være mindre end:

$$fejlgrænse(dist_{spp}) = 3\sigma_\gamma \quad (7.3)$$

hvor σ_γ er spredning for skæringspunktet fra kontrolmålingen i retning γ i forhold til konfidensellipsens storakse. Hvorledes retning γ samt $\Sigma_{sp,samlet}$ udregnes fremgår af appendiks III. Figur 7.12 illustrerer kontrol af et skæringspunkt med angivelse af σ_γ mellem $sp_{kontrol}$ og P_{design} , samt 39 % konfidensellipse for sp_{samlet} .



Figur 7.12: Spredning for et skæringspunkt i retning γ og afstanden mellem skæringspunkt fra kontrolmåling og designværdi ($dist_{spp}$).

Fejlgrænse for afstand mellem skæringspunkter

En naturlig størrelse at kontrollere ved afsætning af modullinier er afstanden mellem skæringspunkterne, hvortil der er opstillet en tolerance, jf. 4.3.2 *Tolerance-definition*. Det er muligt ud fra kontrolmålingen og designværdier at udregne ΔS , der er givet ved:

$$\Delta S = S_{design} - S_{kontrol} \quad (7.4)$$

Begge skæringspunkter, hvor ud fra $S_{kontrol}$ er givet, er behæftet med tilfældige fejl fra afsætningen og kontrolmålingen. $\sigma_{S,afsæt}$ og $\sigma_{S,kontrol}$ kan udregnes med formlerne givet i appendiks II, jf. II.5 *Præcision og nøjagtighed af afstand mellem to skæringspunkter*, ud fra antagelsen om, at der ikke er korrelation mellem skæringspunkterne. Antages det, at der ikke er korrelation mellem afsætning og kontrolmåling, kan den samlede spredning for afstanden S beregnes efter:

$$\sigma_{S,samlet}^2 = \sigma_{S,afsæt}^2 + \sigma_{S,kontrol}^2 \quad (7.5)$$

Fejlgrænsen for ΔS er således:

$$fejlgrænse(\Delta S) = \pm 3\sigma_{S,samlet} \quad (7.6)$$

Fejlgrænse for koten

I de afsætningssituationer, hvor koten afmærkes enten på galger eller bare et enkelt kotemærke, skal disse eller denne kontrolleres. Afsætning af koten vil være behæftet med de tilfældige fejl ved selve afsætningen og vil ved kontrolmålingen også være behæftet med tilfældige fejl. Der kan mellem koten indmålt

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

ved kontrolmåling og designværdier for koten udregnes en afvigelse (ΔZ), som skal ligge indenfor en fastsat fejlgrænse, for at afsætningen af koten ikke er behæftet med en grov fejl. ΔZ er givet ved:

$$\Delta Z = Z_{P_{\text{design}}} - Z_{P_{\text{kontrol}}} \quad (7.7)$$

Fejlgrænsen ved koten er givet ved de tilfældige fejl ved afsætning og de tilfældige fejl ved kontrolmåling. Når det antages, at opstillingen til afsætning og kontrolmåling er uafhængige, er den samlede spredning for koten:

$$\sigma_{Z_{\text{samlet}}}^2 = \sigma_{Z_{\text{afsæt}}}^2 + \sigma_{Z_{\text{kontrol}}}^2 \quad (7.8)$$

Fejlgrænsen for koten bliver således:

$$\text{fejlgrænse}(\Delta Z) = \pm 3\sigma_{Z_{\text{samlet}}} \quad (7.9)$$

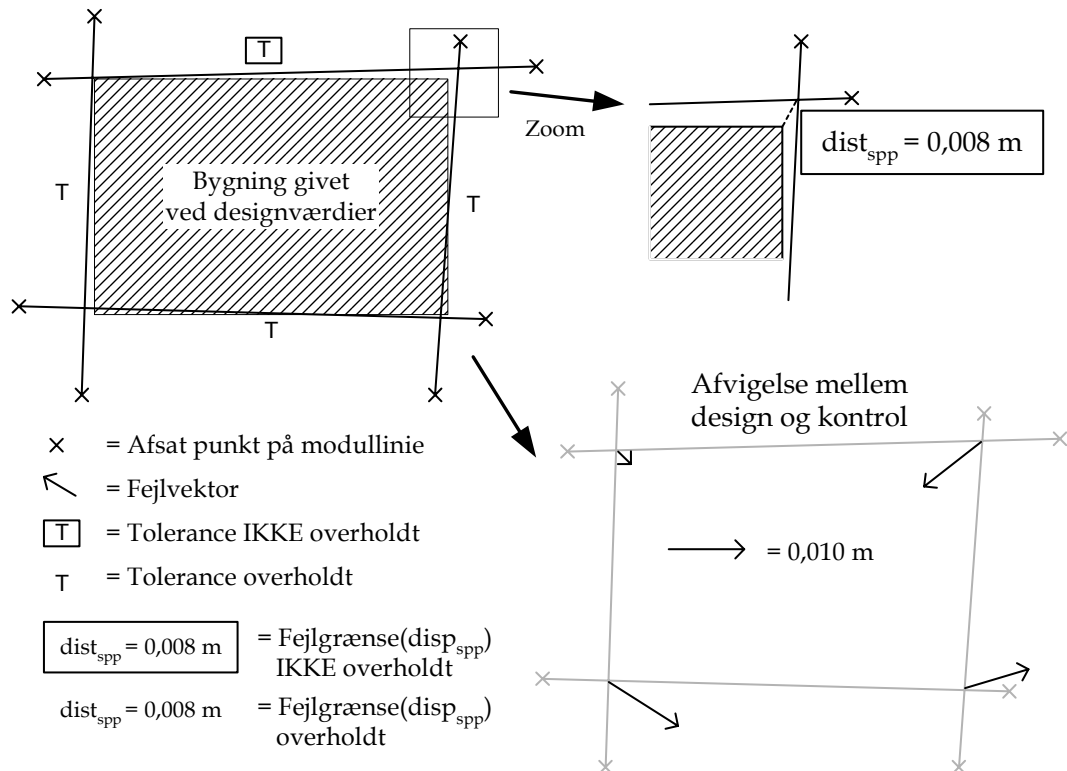
7.4 Digitalt kort til afsætning og kontrol

Som en hjælp for landinspektøren til afsætning og den efterfølgende kontrol kan der i marken medbringes et digitalt kort over afsætningen. Et kort som landinspektøren har på totalstationen eller en bærbar computer i tilknytning til totalstationen, hvor kortet vises på en skærm. Det digitale kort vil hele tiden være med til at give overblik over afsætningen, og hvorledes kontrolmålingen forløber, således at kortet er med til at give mulighed for kontrol af afsætningen visuelt. Det digitale kort kan indeholde bygningen, der skal afsættes, og kendte punkter, således at landinspektøren har overblik over situationen.

Til bestemmelse af den fri opstilling forud for en afsætning vil medbringelsen af et digitalt kort give flere muligheder for landinspektøren til at vurdere den frie opstilling. Det vil således i marken være muligt at fremstille en netskitse, hvorpå landinspektøren kan kontrollere om geometrien er tilfredsstillende eller ej.

Under selve afsætningen vil et kort være med til at bevare overblikket for landinspektøren, idet han hele tiden kan se på kortet, hvilket punkt han skal afsætte og ikke kun et punktnummer. Medbringelse af et digitalt kort giver også mulighed for på kortet at vælge det punkt eller den linie, der ønskes afsat. Efter at punktet er afsat og registreret, kan dette efterfølgende vises på kortet. For at de afsatte punkter kan vises på kortet, skal opstillingen være bestemt i samme koordinatsystem som det digitale kort. Dette vil oftest også være tilfældet, idet opstillingen bestemmes som en fri opstilling med observationer til kendte punkter. Ved medbringelse af et digitalt kort vil det også være muligt at vise kortet frem for bygherren, såfremt der opstår tvivl om, hvilke punkter eller linier bygherren vil have afsat.

Til kontrolmåling af en afsætning vil det digitale kort igen kunne bidrage med brugbar information. Det digitale kort indeholder designværdier for det afsatte og det indmålte ved kontrolmålingen og kan således vises sammen med tegningsmateriale. På det digitale kort kan der til kontrolmålingen vises de vurderingsstørrelser, som benyttes til at vurdere afsætningen. Eksempelvis vil det visuelt kunne konstateres, om afsætningen er tilfredsstillende eller ej ved at udtegne afvigelser mellem designværdier og det kontrol målte. Figur 7.13 viser en mulig fremstilling af brug af kort til kontrol af afsætning.



Figur 7.13: Mulige visuelle kontroller i marken i forbindelse med afsætning og kontrolmåling.

Med muligheden for visualisering i marken kan afsætningen vises på den måde landinspektøren ønsker det afhængigt af afsætningssituationen. Eksempelvis kan konfidensellipser være med til at give en vurdering af afsætningen. Med inddragelse af det digitale kort lettes vurderingsprocessen af afsætningen, og der vil være mulighed for at afsætte andre objekter fra det digitale kort afhængigt af bygherrens ønsker på byggepladsen.

7.5 Vurdering vedrørende kontrol af afsætning

I dette afsnit skitseres vurderingsstørrelser til kontrol af en afsætning. Vurderingsstørrelserne opdeles i to, en under selve afsætningen og en efter afsætningen og kontrolmålingen.

Under afsætning er det muligt at vurdere på:

- afvigelse mellem det afsatte punkt og designværdier (modullinien)

Efter afsætning og kontrolmåling er det muligt at vurdere på:

- afvigelse mellem skæringspunkt og dennes designværdi
- afvigelse på afstanden mellem skæringspunkter og designværdier
- afvigelsen mellem kote og dennes designværdi

Gældene for hele afsætningen vil inddragelse af et digitalt kort give overblik over afsætningssituationen.

8

Programudvikling

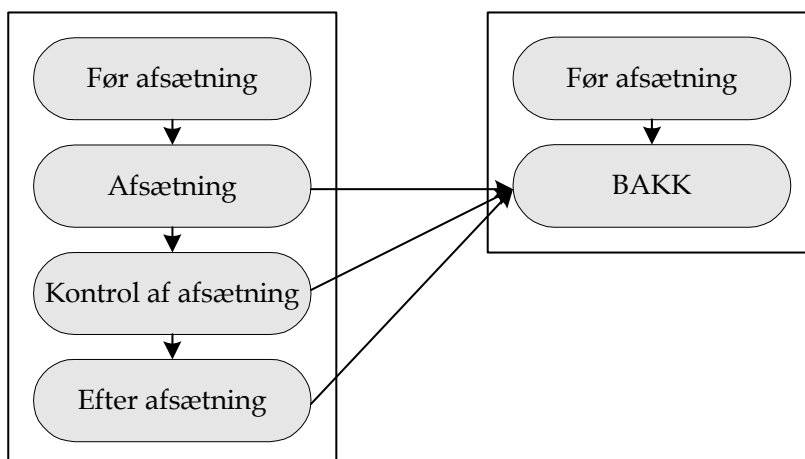
Dette kapitel har til formål at redegøre for udviklingen af et afsætningsprogram, der indeholder de i kapitlerne 5 - 7 beskrevet vurderingsstørrelser, således at der i marken kan udføres en hensigtsmæssig kvalitetskontrol af en udført afsætning. Et sådan program vil give landinspektøren vished om afsætningens rigtighed, inden han/hun forlader byggepladsen.

Prototypen, som udvikles til en hensigtsmæssig kontrol af en bygningsafsætning i marken, benævnes BAKK, som står for BygningsAfsætning - KvalitetsKontrol. For yderligere beskrivelse og detaljer ang. BAKK henvises til bilag E.

I foranalysen beskrives, hvorledes en bygningsafsætningsproces er inddelt i fire delprocesser, jf. 2. *Foranalyse*. Formålet med udviklingen af BAKK er at udvikle et program, der indeholder de tre sidste delprocesser af bygningsafsætningsprocessen:

- Afsætning
- Kontrol af afsætning
- Efter afsætning

På denne måde kan landinspektøren i marken afslutte sin afsætning med vished om afsætningens rigtighed, samt med hvilken præcision/nøjagtighed afsætningen er foretaget. På figur 8.1 illustreres de tre delprocesser, som BAKK indeholder fra bygningsafsætningsprocessen.



Figur 8.1: Illustration af hvorledes BAKK skal udvikles til at indeholde de tre delprocesser fra bygningsafsætningsprocessen.

BAKK skal indeholde de forskellige vurderingsstørrelser, som er præsenteret i kapitlerne 5, 6 og 7 i afsnit:

- 5.4 Vurdering vedrørende fri opstilling
- 6.5 Vurdering vedrørende afsætning af modullinie samt kote
- 7.5 Vurdering vedrørende kontrol af afsætning

Formålet med BAKK er, at:

- give operatøren flere vurderingsstørrelser til de forskellige delprocesser i bygningsafsætningsprocessen
- udtrykke vurderingsstørrelserne grafisk således det nemt og hensigtsmæssigt kan overskues, om de forskellige delprocesser er udført tilfredsstillende
- give operatøren et digitalt kort med i marken, som giver bedre overblik over situationen
- give operatøren et redskab, således at en afsætning kan kontrolleres og vurderes i marken

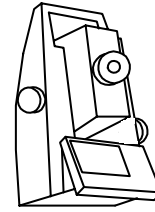
8.1 Teknisk platform (Hardware)

BAKK skal fungere i marken som et redskab for landinspektøren. I det følgende præsenteres to forskellige tekniske platforme, som BAKK kunne tænkes implementeret i. De to forskellige tekniske platforme er:

1. Totalstation
2. Totalstation + bærbar PC

8.1.1 Totalstation som teknisk platform

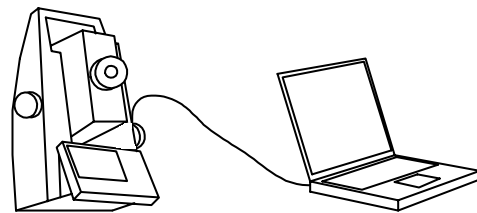
Med totalstationen som den tekniske platform for BAKK, skal programmet implementeres i totalstationen. Til brug i dette projekt benyttes en Leica TCRA1105plus - totalstation, som ikke har et tilfredsstillende grafisk display til visning af eksempelvis konfidensellipser eller plan for afsætningen. Derfor udvikles BAKK ikke til implementering på totalstationen. Det skal dog nævnes, at eksempelvis både Leica og Trimble har lanceret totalstationer med forholdsvis store displays, jf. 2.3 *Hard- og software til afsætning med totalstation*, som er i stand til at vise grafik på et detaljeret niveau. Totalstationen, som den tekniske platform, har den fordel, at det udelukkende er totalstationen, der skal medbringes i marken. Denne tekniske platform er således en „handy“ løsning.



Figur 8.2: Totalstation som teknisk platform

8.1.2 Totalstation + bærbar PC som teknisk platform

Ved denne tekniske platform inddrages en bærbar PC, som tilkobles totalstationen (m. kabel). Således kan BAKK udvikles til at blive benyttet fra den bærbare PC. Den bærbare PC inddrages som kompensation for totalstationens manglende regnekraft og evne til at vise grafik. Fordelen ved denne tekniske platform er, at der er gode muligheder for at vise grafik i form af eksempelvis plan for afsætning, netskitser, konfidensellipser osv. Ulempen er, at der skal medbringes en bærbar PC i marken. Bærbare PC'er er i forhold til en totalstation ikke modstandsdygtige over for vejrforhold og brug i marken. Dog skal det nævnes, at der eksisterer bærbare PC'er, som er specielt udviklet til udendørs brug.



Figur 8.3: Totalstation + bærbar PC som teknisk platform.

Denne tekniske platform kunne tænkes videreudviklet til, at data mellem totalstation og bærbar PC bliver transmitteret trådløst. Således bliver der større bevægelighed med den bærbare PC. Alternativt kunne PC'en være placeret i målebilen, hvor data/observationer trådløst transmitteres fra totalstationen til PC'en. Der vil således efterfølgende være mulighed for vurdering af afsætningen i målebilen.

8.2 Programudvikling af BAKK

I dette afsnit forklares, hvilke valg der tages i forbindelse med programudvikling af BAKK. Endvidere forklares i hvilken kontekst BAKK programudvikles, samt hvilke afgrænsninger der foretages i forbindelse med programudviklingen.

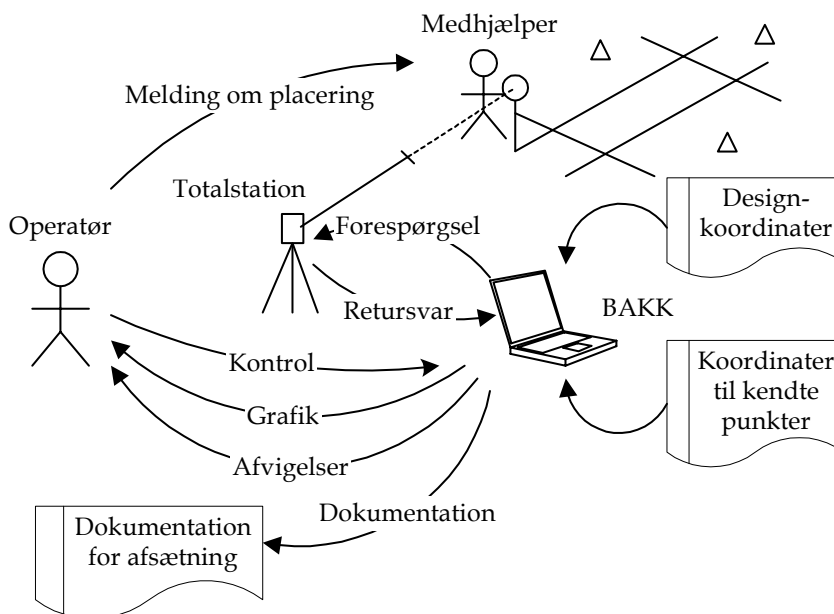
8.2.1 Valg i forbindelse med programudvikling af BAKK

Som teknisk platform hvori BAKK skal implementeres vælges „Totalstation + bærbar PC“. Denne løsning vælges grundet totalstationen TC1105's begrænsede grafiske display overfor den bærbare PC's gode muligheder for visualisering. Endvidere har den bærbare PC mere regnekraft end totalstationen.

MatLab vælges som det program, hvori BAKK udvikles. Årsagen til dette skal hovedsageligt findes i dette programmeringssprogs evne til at håndtere og regne med matricer, samt at det er kendt at projektgruppen. Endvidere besidder dette program gode muligheder for udvikling af brugergrænseflader.

8.2.2 Kontekstdiagram for BAKK

Konteksten, som BAKK skal indgå i, fremgår af kontekstdiagrammet figur 8.4.



Figur 8.4: Kontekstdiagram for BAKK.

Input til BAKK er filer indeholdende information om, hvad der skal afsættes i form af en designfil samt information om de kendte punkter i form af koordinater med tilhørende spredninger.

Output fra BAKK er igennem hele bygningsafsætningsprocessen dokumentation for, hvad der foretages. Endvidere skal BAKK løbende give operatøren grafisk og numerisk overblik over situationen.

Totalstationen tilkobles den bærbare PC, hvorpå BAKK er installeret. Med totalstationen udføres observationer til prismet, der efterfølgende overføres til BAKK.

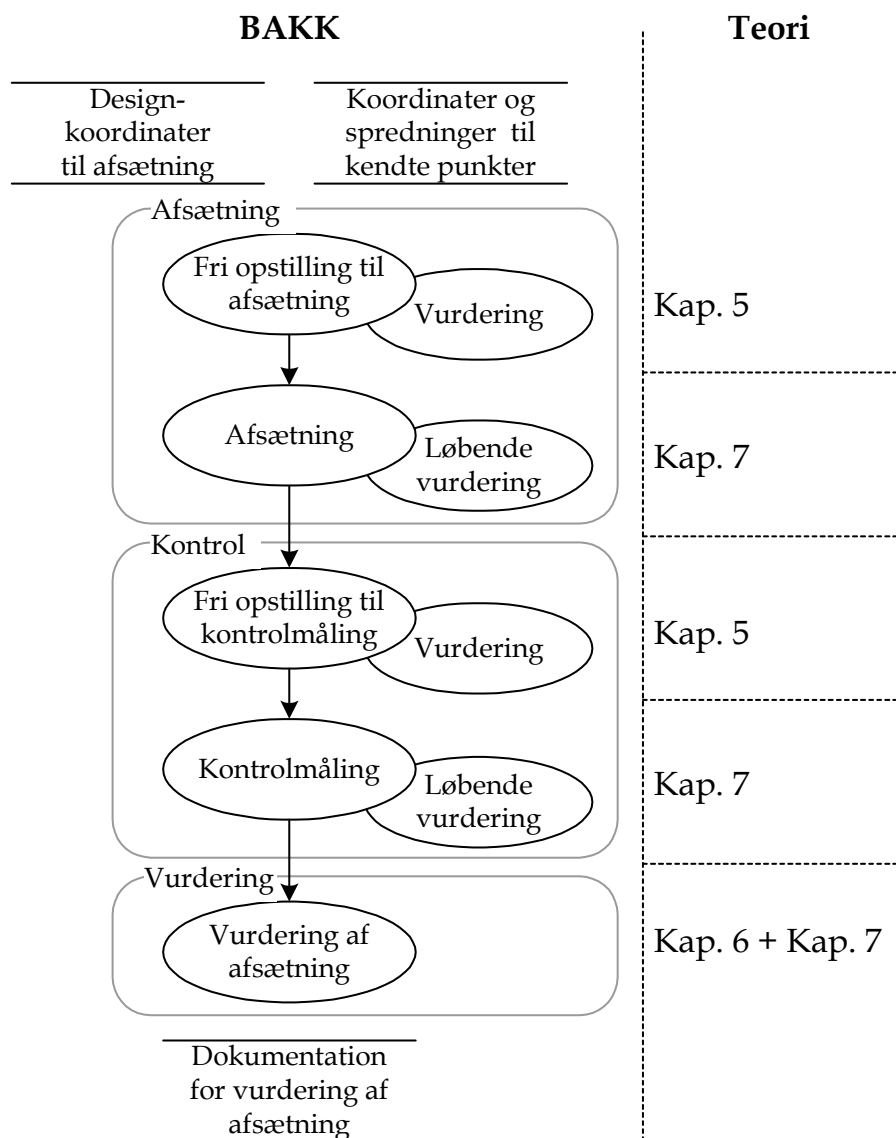
Operatøren skal igennem hele processen kunne foretage vurderinger af de enkelte delprocesser på baggrund af output fra BAKK. Endvidere skal operatøren kunne guide medhjælperen, således at afsætningen foretages tilfredsstillende.

8.2.3 Afgrænsning

Programudviklingen afgrænses til udelukkende, at indeholde afsætning af modullinier i planen fra en fri opstilling bestemt i tre dimensioner. Endvidere skal kontrolmålingen foretages fra ligeledes en fri opstilling bestemt i tre dimensioner.

8.3 Afsætningsproces med BAKK

Af figur 8.5 fremgår, hvorledes processen fra start til slut forløber i BAKK. Endvidere fremgår, hvorfra teorien til de enkelte delprocesser kan findes i projektet.



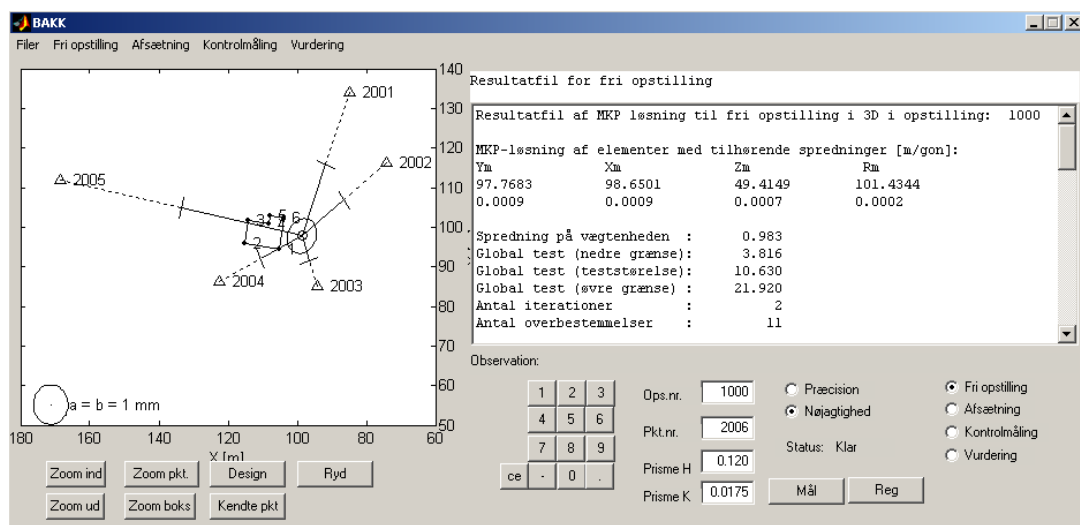
Figur 8.5: Bygningsafsætningsprocessen i BAKK, samt hvorfra teorien til hver enkelt delproces kan findes i projektet.

Først foretages en fri opstilling, som bestemmes på baggrund af observationer til kendte punkter. Den frie opstilling vurderes ved at undersøge, om opstillingspunktet samt kredselementet er bestemt tilfredsstillende ud fra vurderingsstørrelserne til fri opstilling, jf. 5.4 *Vurdering vedrørende fri opstilling*. Herefter foretages afsætningen, hvor der indgår en løbende vurdering af, om hvert afsat punkt er afsat tilfredsstillende. Om et punkt er afsat tilfredsstillende i forhold til en modullinie afhænger af vurderingsstørrelserne, jf. 7.3.1 *Vurderingsstørrelser under afsætning*. Kontrolmålingen af afsætningen starter også med en bestemmelse af den frie opstilling med efterfølgende vurdering af denne. Herefter foretages

en kontrolmåling af alle afsatte punkter. Vurderingen af afsætningen foretages på baggrund af designværdier for afsætningen, afsætningen og kontrolmålingen ud fra vurderingsstørrelserne, jf. 7.3.2 *Vurderingsstørrelser ved kontrolmåling*. Slutteligt genereres dokumentation for vurderingen af afsætningen, jf. 7.5 *Vurdering vedrørende kontrol af afsætning*.

Yderlig beskrivelse af BAKK's udvikling, funktionalitet og brugergrænseflade fremgår af bilag E.

Brugergrænsefladen for BAKK fremgår af figur 8.6, hvor der til venstre er et grafikvindue og til højre et tekstvindue.



Figur 8.6: Screenshot fra BAKK.

I BAKK er det muligt grafisk at få visualiseret samtlige delprocesser igennem en bygningsafsætningsproces i grafikvinduet. Endvidere er der mulighed for at få vist resultatfiler, koordinatfiler og observationsfiler i tekstvinduet. Øverst er der placeret en række menuer. Disse menuer afspejler, hvorledes bygningsafsætningsprocessen forløber i BAKK. Følges menuerne fra venstre mod højre gennemgås bygningsafsætningsprocessen, jf. figur 8.5. Denne rækkefølge af menuerne hjælper operatøren til at gennemgå samtlige delprocesser.

8.4 Proces for programudvikling af BAKK

Programudviklingen af BAKK foregår ved, at der inden selve programmeringen er gennemgået, hvilket indhold og hvilke funktioner programmet skal have. Endvidere udarbejdes et programudviklingsdokument, jf. bilag A [:\Bilag\E\

Programudviklingsdokument.pdf], som indeholder variabel navne, menuer, knapper, tekstbokse og grafikvindues funktioner. Endvidere fremgår det af programudviklingsdokumentet, hvilke funktioner der kaldes i programmet, samt hvilke scripts BAKK kalder som underfunktioner.

8.5 Mangler og udbygningsmuligheder ved BAKK

Prototypen af BAKK har efter projektgruppens mening visse mangler, der bør kommenteres. Endvidere ser projektgruppen visse udbygningsmuligheder af BAKK, der kan gavne arbejdsgangen i forbindelse med afsætningsprocessen.

8.5.1 Mangler ved prototypen BAKK

I forbindelse med visning af grafik i grafikvinduet mangler en signaturforklaring. Tilstedeværelsen af en signaturforklaring vil afhjælpe eventuelle fejltolkninger i grafikvinduet. Endvidere kan en yderligere tilpasning af grafikvinduet give et kosmetisk pænere udtryk eksempelvis implementering af ækvivalente akser.

Endvidere skal det kommenteres, at diverse udtegningsparametre og farvevalg i forbindelse med visning af grafik er valgt udelukkende af projektgruppen. Disse parametre kan videreudvikles, således disse vil blive vist på en mere hensigtsmæssig måde.

8.5.2 Udbygningsmuligheder til BAKK

I dette afsnit kommenteres, hvilke udbygningsmuligheder projektgruppen har reflekteret over i forbindelse med udviklingen af BAKK.

Første udbygningsmulighed er at udvikle BAKK i et andet sprog, således at programmet kan implementeres på en totalstation, og den tekniske platform udelukkende er totalstationen. Denne udbygningsmulighed kræver, at displays på totalstationer videreudvikles til bedre grafiske faciliteter, eller at BAKK tilpasses et sådan grafisk display. De grafiske muligheder totalstationer indeholder i dag, er beskrevet i foranalysen, jf. 2.3 *Hard- og software til afsætning med totalstation*. Denne udbygningsmulighed vil betyde, at den bærbare PC ikke skal medbringes i marken.

I forbindelse med bestemmelsen af den frie opstilling kan det være, at en enkelt eller flere observationer er behæftet med en grov fejl, og således skal udelukkes i bestemmelsen af opstillingen. I BAKK er der ikke mulighed for at fravælge enkelte observationer til kendte punkter, men der skal observeres forfra.

BAKK er udviklet til maksimalt at kunne afsætte en bygning indeholdende ni punkter. Årsagen til dette skal findes i den punktnummerstrategi, som ligger til grund for programudviklingen. Udvidelse af programmet, således der er mulighed for afsætning af mere end ni punkter, kan eventuelt løses ved at indføre et kodesystem, der angiver punkternes type og sammenhæng.

Mulighed for udprintning fra grafikvinduet samt generering af afsætningsplan i marken er applikationer, som BAKK kan udbygges med. For udprintning i marken ligger mulighedernes begrænsning i hvor stor en printer/plotter, der kan medbringes i målebilen. Udprintningen kan også foregå efterfølgende på kontoret.

Endvidere kan en udbygningsmulighed være at indlægge et baggrundskort til afsætningen. Eksempler på mulige baggrundskort kunne være et ortofoto, det tekniske kort eller en situationsplan. Mulighed for anvendelse af et baggrundskort vil betyde, at operatøren vil kunne overskue afsætningssituationen i forhold til allerede eksisterende forhold.

Til BAKK anvendes en Leica totalstation (TCRA-1105plus) til brug ved indsamling af observationer til prismet. Denne totalstation er en robot-totalstation, som kan styres udelukkende fra BAKK. Denne udbygningsmulighed vil betyde, at det ikke er nødvendigt for operatøren at indstille totalstationen på prismet for derefter at udføre observationer, men direkte udføre observationer fra BAKK. Endvidere kan BAKK videreudvikles til at kunne kommunikere med andre typer/mærker af totalstationer.

9

Afsætning med BAKK

Formålet med dette kapitel er at redegøre for en procedure til en bygningsafsætningsproces, hvor BAKK er en integreret del. Yderligere diskuteres fordele og ulemper ved benyttelse af BAKK i en afsætningssituation.

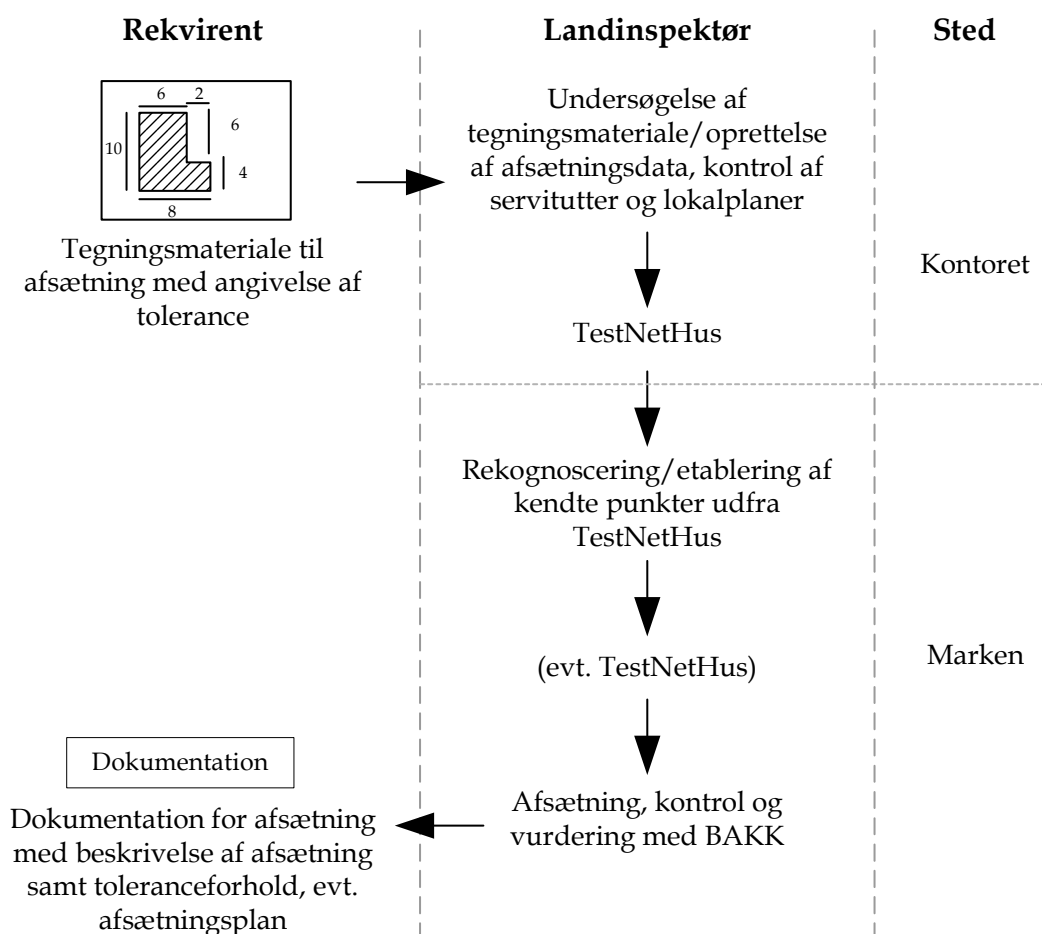
I det følgende opstilles en bygningsafsætningsprocedure for, hvorledes en afsætning kan udføres, fra rekvirenten kontakter landinspektøren med et tegningsmateriale, til selve afsætningen er afsluttet og vurderet i marken. Efterfølgende diskuteres fordele og ulemper ved benyttelsen af BAKK til afsætning, kontrolmåling og vurdering i marken. Disse fordele og ulemper bygger på praktiske tests af BAKK i tre afsætningssituationer, jf. bilag F.

I gennemgangen af afsætningsproceduren antages det, at der af rekvirenten angives tolerancekrav til afsætningen.

9.1 Procedure til bygningsafsætningsproces

I dette afsnit opstilles en afsætningsprocedure, for at vise hvorledes BAKK kan integreres i bygningsafsætningsprocessen, samt at illustrere hvor diverse opgaver i processen udføres - på kontoret eller i marken.

Figur 9.1 viser afsætningsproceduren med udgangspunkt i, at en rekvirent kontakter landinspektøren med et tegningsmateriale. Tegningsmaterialet består af det, som rekvirenten ønsker afsat, samt hvilke tolerancekrav afsætningen skal overholde. Af tegningsmaterialet skal det fremgå, om afsætningen skal foretages i forhold til andre objekter (nøjagtighed) eller om afsætningen indbyrdes skal overholde et krav (præcision). Til det videre forløb i afsætningsproceduren vil det være en fordel, hvis tegningsmaterialet leveres digitalt, således der ikke sker læse- eller skrivefejl fra analoge dokumenter.



Figur 9.1: Afsætningsprocedure, hvor BAKK er en integreret del af proceduren. Til højre fremgår, hvor de enkelte dele i proceduren udføres.

Efter landinspektøren har modtaget tegningsmaterialet af rekvirenten, skal tegningsmaterialet undersøges, og der skal oprettes afsætningsdata. Såfremt afsætningsdata skal anvendes i BAKK, skal der foreligge en designfil, der indeholder koordinater til bygningshjørnerne. Af ikke teknisk karakter skal servitutter, lokalplaner osv. ligeledes undersøges til kontrol af, om afsætningen overholder disse, jf. 2.1.1 Før afsætning.

Når landinspektøren har overblik over afsætningen, kan TestNetHus, jf. bilag D, med fordel benyttes, jf. figur 9.1. For at benytte TestNetHus skal der angives en tolerance, en designfil til afsætningen, samt bestemmelse af hvilket instrument der forventes at blive anvendt. Ud fra foregående viden kan placeringen af kendte punkter testes, samt hvor nøjagtigt de kendte punkter skal bestemmes, for at afsætningen vil overholde tolerancekravet. Det kan være, at der allerede er etableret kendte punkter i det område, hvor der skal afsættes. Allerede etablerede kendte punkter kan også indlæses i TestNetHus, og det kan visualiseres, hvor det er muligt at opstille til afsætning og kontrolmåling, eller om der er behov for etablering af yderligere kendte punkter. Efter testberegninger i TestNetHus har landinspektøren overblik over, hvor der evt. skal etableres kendte punkter, og hvor der kan etableres en opstilling til afsætning og kontrolmåling for at overholde tolerancekravet.

Efter at have foretaget testberegninger til afsætningen indeholdene placering af kendte punkter skal det vurderes, om resultatet af TestNetHus er muligt i marken. Såfremt den planlagte placering af kendte punkter fra TestNetHus ikke kan overholdes, bør der på ny foretages testberegninger med forholdene fra marken. Hvis der skal etableres nye kendte punkter, gøres dette i marken. Beregningen af nye kendte punkter kan evt. kræve arbejde på kontoret i forbindelse med udjævning af observationer.

I kapitel 8.3 *Afsætningsproces med BAKK* er der givet en beskrivelse af forløbet i BAKK med etablering af fri opstilling, afsætning osv. Fra afsætningen starter til afsætningen er kontrolleret og vurderet i marken benyttes BAKK.

Med BAKK kan den nødvendige dokumentation afleveres/præsenteres på stedet for rekvirenten, jf. figur 9.1, således at evt. tvivlsspørgsmål kan afklares i marken. Skal dokumentationen afleveres til rekvirenten, kan der foregå en udprintning af dokumentationen fra BAKK i målebilen. I BAKK er der udarbejdet et eksempel på dokumentation af en afsætning, der fremgår af bilag F, *F.5 Afsætning af Fib. 10b med BAKK*. Dokumentationen indeholder en oversigt over, hvilke modullinier der er afsat, samt hvilken tolerance afsætningen overholder.

Afsætningsproceduren skitseret på figur 9.1 er ikke en endelig procedure, der kan følges i alle afsætningsituationer, men et overblik over en afsætningsprocedure, som bygger på brugen af TestNetHus og BAKK. Specielt brugen af BAKK giver mulighed for at kontrollere og vurdere afsætningen i marken og

give dokumentation til rekvirenten som skitseret på figur 9.1. Figur 9.1 viser i højre side, hvor de forskellige delprocesser i den skitserede afsætningsprocedure finder sted enten på kontoret eller i marken.

9.2 Afsætningsprocedure anvendt i praksis

Afsætningsproceduren, skitseret på figur 9.1, med anvendelse af BAKK anvendes i praksis til afsætning af en bygning i forbindelse med test af BAKK, jf. bilag F. I forbindelse med test af BAKK afsættes samme bygning tre gange, hvor der på de to sidste afsætninger bevidst indføres fejl i afsætningen for at teste og vise funktionaliteten af BAKK. Der udføres tre afsætninger:

- Case 1: Ingen grove fejl i afsætning
- Case 2: Fejl i prismekonstanten i afsætning
- Case 3: Løbende fejl under afsætning

Alle tre afsætninger med BAKK forløber planmæssigt, og vurderingen af afsætningen med BAKK viser fejlene, som påføres afsætningerne i Case 2-3. I Case 1 fremgår det, at afsætningen foretages tilfredsstillende, og at afsætningen overholder en tolerance på 0,018 m. Gældende for alle tre cases er, at afsætningen på en hensigtsmæssig måde kontrolleres og vurderes i marken ved brug af grafik og numeriske værdier. Det konkluderes på baggrund af testene af BAKK, som redegøres for i bilag F, at BAKK virker efter hensigten. Med BAKK kan afsætningen kontrolleres i marken, og der gives et kvalificeret bud på præcisionen/nøjagtigheden af afsætningen i form af en tolerance, såfremt der ikke er grove fejl afsætningen.

Selve afsætningen, kontrolmålingen og vurderingen af afsætningen tog ca. en time for hver af de tre tests af BAKK, hvor hverken observatør eller målemedhjælper er øvede i afsætning. Dette tidsforbrug, til afsætning, kontrolmåling, og vurdering, vurderes af projektgruppen til ikke at være mere, end hvis afsætningen var foretaget med en traditionel afsætning med totalstation. Med BAKK er der endvidere foretaget en vurdering af afsætningen, hvor der på traditionel vis skal udføres beregninger hjemme på kontoret.

Figur 9.2 viser et billede af afsætningen ved test af BAKK. Til venstre på figur 9.2 fremgår galgerne, hvor på modullinierne afsættes, og til højre fremgår systemet, hvor totalstationen er tilkøbet en bærbar PC.



Figur 9.2: Afsætning i forbindelse med test af BAKK.

9.3 Fordele og ulemper ved BAKK

I dette afsnit beskrives fordele og ulemper ved at anvende BAKK som en integreret del af en afsætningsprocedure. Afsnittet bygger på erfaring med praktisk anvendelse og test af BAKK, jf. bilag F.

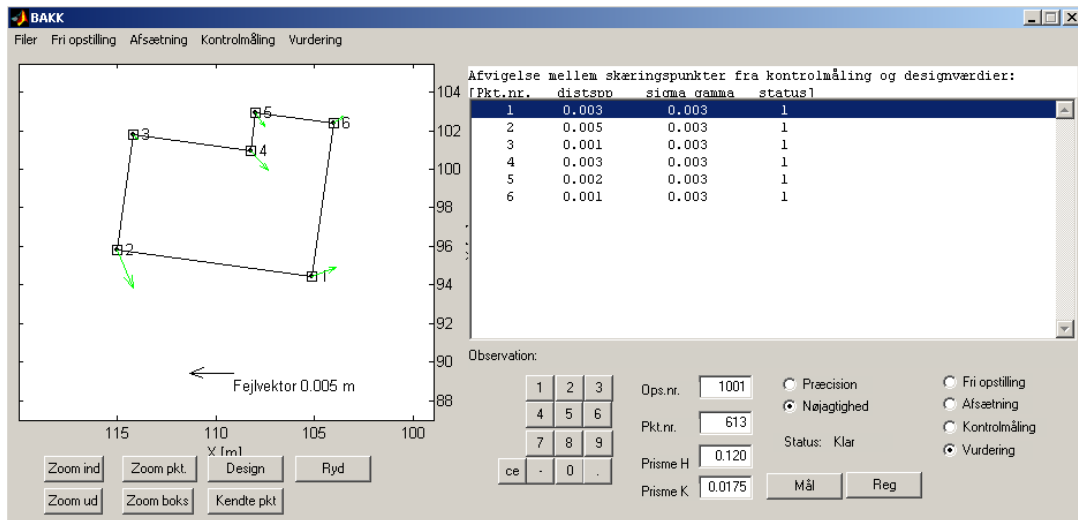
9.3.1 Fordele ved BAKK

Fordelen ved anvendelse af BAKK er, at der i marken kan foretages en vurdering af afsætningen, altså en undersøgelse af om der er grove fejl i afsætningen, og hvilken tolerance afsætningen overholder. Der skal således ikke foretages yderligere beregninger eller databehandling på kontoret, når afsætningen er vurderet i marken.

Vurderingen af afsætningen af modullinier kan foretages ud fra afvigelser ved skæringspunkterne af modullinier eller på afstande mellem skæringspunkterne.

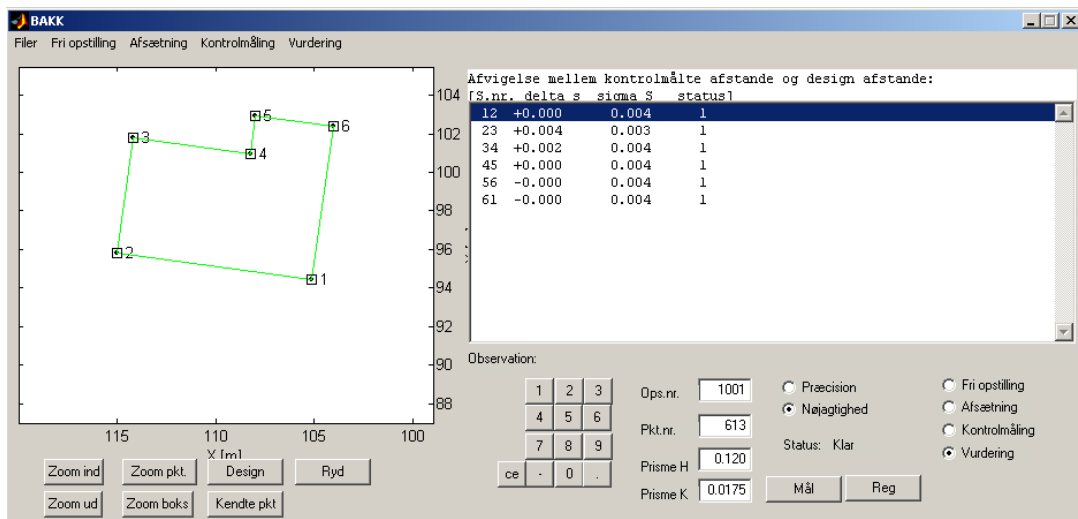
Figur 9.3 viser et eksempel på et screendump fra BAKK, hvor der foretages en vurdering af skæringspunkterne af en afsætning. Til venstre i figur 9.3 vises det grafiske vindue med fejlvektorer til skæringspunkterne, altså visualiseres afvigelserne grafisk for observatøren. Om afvigelserne (dist spp, som er afvigelsen mellem designkoordinater og koordinater fra kontrolmålingen) overholder den givne fejlgrænse ($3 \times \text{sigma_gamma}$, som er spredningen for skæringspunkter beregnet på baggrund af afsætning og kontrolmåling) for afvigelserne på skæringspunkter symboliseres med farver. Grøn fejlvektor betyder, at afvigelsen er under fejlgrænsen, mens rød fejlvektor betyder, at afvigelsen er større end fejlgrænsen. Alle fejlvektorer på figur 9.3 er grønne og overholder dermed fejlgrænsen for skæringspunkterne. Udover at vise vurderingen visuelt i det grafiske vindue fremgår vurderingen også numerisk til højre i tekstvinduet, hvor der også angives en status for det enkelte skæringspunkt. Status 1 betyder, at fejlgrænsen er overholdt, mens status 0 betyder, at afvigelsen er større end fejlgrænsen.

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol



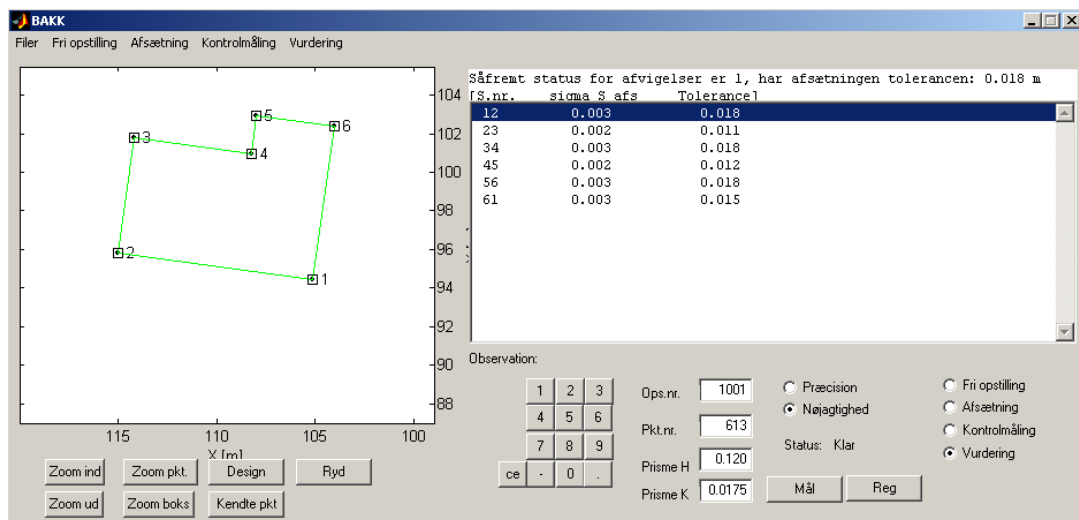
Figur 9.3: Vurderingsresultatet i BAKK til vurdering af afvigelserne på skæringspunkterne. Alle afvigelser er under fejlgrænsen, hvilket illustreres med grønne fejlvektorer i det grafiske vindue til venstre og med 1 ved status i tekstvinduet til højre.

Figur 9.4 angiver et eksempel på vurderingsmuligheden i BAKK med hensyn til vurdering af afstanden mellem skæringspunkterne. Igen vises der til venstre på figur 9.4 et grafisk overblik over afstandene mellem skæringspunkterne, og om afvigelserne på afstandene (delta_S, som er afvigelsen mellem afstande beregnet ud fra designkoordinater og afstande beregnet ud fra kontrolmålingens koordinater) overholder fejlgrænsen ($\pm 3 \times \text{sigma}_S$, som er spredningen på afstanden mellem to skæringspunkter beregnet på baggrund af afsætningen og kontrolmålingen). På figur 9.4 er alle afstande grønne, hvilket betyder, at alle afstande overholder fejlgrænsen. Til højre på figur 9.4 vises vurderingsresultatet numerisk samt status for afstandene.



Figur 9.4: Vurderingsresultat i BAKK til vurdering af afstandene mellem skæringspunkter. Alle afstande overholder fejlgrænsen og er derfor grønne i det grafiske vindue til venstre. Til højre i tekstvinduet er status for afstandene 1, hvilket betyder at afstandene overholder fejlgrænsen.

Såfremt at vurderingen af skæringspunkterne og afstandene mellem skæringspunkterne er tilfredsstillende, antages det, at der ikke er grove fejl i afsætningen. BAKK giver efterfølgende mulighed for at vise toleranceforholdene, og hvilket tolerancekrav afsætningen kan overholde. Figur 9.5 viser screendump af visualiseringen af toleranceforholdene, hvor det til højre i tekstvinduet fremgår, hvilken tolerance den enkelte afstand kan overholde, samt hvilken tolerance hele afsætningen overholder. Afsætningen på figur 9.5 kan overholde en tolerance på 0,018 m.



Figur 9.5: Illustration af toleranceforholdene for afsætningen, som kan vises i BAKK. Når der ikke er grove fejl i afsætningen, som figur 9.3-4 viser, vil afsætningen kunne overholde en tolerance på 0,018 m.

Fordelen i BAKK ved vurderingen er, som det fremgår af figur 9.3-5, at der både er mulighed for grafisk vurdering samt vurdering ud fra numeriske værdier. Men det grafiske og numeriske fremvisning foregår ikke kun i forbindelse med vurdering af hele afsætningen, men er også med til at give brugeren af BAKK vurderingsmuligheder under bl.a. selve afsætningen.

9.3.2 Ulemper ved BAKK

I kapitel 8.5 *Mangler og udbygningsmuligheder ved BAKK* er der opstillet udbygningsmuligheder til BAKK, som det er i sin nuværende form. Ulempen ved BAKK i sin nuværende form og systemopsætning er helt klart, at der skal bruges en bærbar PC til afsætning. Det vil næppe være muligt i praksis at medbringe en bærbar PC i marken til sammenkobling med totalstationen.

10

Konklusion

Formålet med dette kapitel er at præsentere resultater og konklusioner, der i forhold til den opstillede problemformulering er blevet analyseret og vurderet gennem projektet.

I indledningen formuleres et ønske om at undersøge, hvorledes en afsætning foregår i praksis, for at undersøge om bygningsafsætningsprocessen kan forbedres eller om der i dele af processen sker fejl.

Hvorledes bygningsafsætning forløber i praksis, undersøges ved henvendelse til en praktiserende landinspektør igennem et interview. Dette indblik, i hvorledes en bygningsafsætning forløber, bekræftes af andre praktiserende landinspektører for at dokumentere afsætningsforløbet. Igennem interviewet fremsættes et ønske om at kunne medbringe et digitalt kort i marken, samt muligheden for øjeblikkelig dokumentation af afsætningen. Dokumentationen skal indeholde afsætningen med hensyn til præcision/nøjagtighed samt rigtigheden af denne.

Endvidere gennemlæses og studeres forsikringsager ved LgE for at undersøge karakteren af fejl i forbindelse med bygningsafsætning. Det viser sig, at flere forsikringsager omhandler tilfælde, hvor afsætninger er foregået fejlagtigt, og landinspektøren for sent opdager fejlen. For sent opdagelse af fejl betyder, at både landinspektøren og LgE må betale for udbedring af skaden.

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

Foranalysen omhandlende det praktiske afsætningsforløb og gennemgangen af forsikringsagerne ved LgE resulterer i problemformuleringen:

„Hvordan vurderes præcision/nøjagtighed af en afsætning og hvordan kontrolleres en afsætning hensigtsmæssigt i marken?“

Der afgrænses til afsætning af modullinier og koter med totalstation, samtidig med at der fastsættes overordnede betingelser og valg for, under hvilke omstændigheder afsætningen foregår. Eksempelvis foregår afsætningen i et lokalt koordinatsystem og der anvendes totalstationen Leica - TCRA1105plus. Endvidere behandles den af Dansk Standardiseringsråd i „Måling i byggeriet“ fremsatte tolerance til afsætning. Denne tolerance opfattes som praktisk uopnåelig ved afsætning og anvendes derfor ikke. For det videre arbejde beskrives sammenhængen mellem tolerancedefinitionen og landinspektørens fejlteori. I denne forbindelse konkluderes det, at et fastsat (realistisk) tolerancekrav til afsætning vil være en hjælp for både rekvirent og landinspektør, så at der på dette område er afklarede forhold i stedet for, at rekvirenten „regner med“, at landinspektøren afsætter tilfredsstillende.

Herefter præsenteres hvilken teori, og hvilke vurderingsstørrelser der benyttes til at vurdere henholdsvis fri opstilling, præcision/nøjagtighed af afsatte modullinier og kote, samt hvorledes en hensigtsmæssig kontrol af en afsætning bør forløbe i marken.

Den frie opstillings elementer bestemmes via udjævning efter mindste kvadraters princip. Alternativt undersøges muligheden for automatisk frasortering af grove fejl i landmålingsobservationerne. Dette gøres ved metoden robust udjævning efter den danske metode. Det viser sig i undersøgelserne udført i dette projekt, at denne metode ikke tilfredsstillende frasorterer grove fejl.

Der fremstilles et testprogram „TestNetHus“, for at få et indblik i hvorledes tilfældige fejl har indvirkning på afstanden mellem skæringspunkter. Skæringspunkterne bestemmes ud fra modullinier afsat fra en fri opstilling etableret på baggrund af observationer til kendte punkter.

TestNetHus angiver, hvorfra en bygningsafsætning kan foretages for at overholde et givent tolerancekrav. Dette gøres på baggrund af statistiske overvejelser, fejlteori, instrumentspecifikationer, kendte punkters placering, diverse spredninger samt måleindsats. TestNetHus giver et overskueligt og lærerigt indblik i, hvorledes tilfældige fejl har indvirkning på opnåelig tolerance ved afsætning af modullinier.

Igennem kapitel 7 diskuteres forskellige kontrolmetoder af en bygningsafsætning med totalstation, jf. 7. *Kontrol af afsætning*. Her vurderes det, at hvis der skal

sikres mod grove fejl, er det nødvendigt at udføre en ny uafhængig kontrolopmåling af det afsatte, hvor der skabes en anden geometri (Kontrol 3), jf. 7.2 *Kontrolmetoder*. Endvidere redegøres for, at indførelsen af en tjekliste vedrørende fjernelse af systematiske fejl og sikring mod grove fejl vil være med til at kvalitets-sikre afsætninger. Ydermere beskrives anvendeligheden af et digitalt kort i forbindelse med visuelle kontroller af en afsætnings-situation. Endelig redegøres for, hvorledes en afsætning vurderes ved at undersøge:

- afvigelse mellem skæringspunkt og dennes designværdi
- afvigelse på afstande mellem skæringspunkter og designværdier
- afvigelse mellem kote og dennes designværdi

Vurderingsstørrelserne, præsenteret igennem de tre teoretiske kapitler (5-7), samt overvejelser vedrørende, hvilke af disse vurderingsstørrelser der hensigtsmæssigt kan anvendes i marken, bliver anvendt til udvikling af en prototype til et afsætningsprogram - „BAKK“ (BygningsAfsætning - KvalitetsKontrol). BAKK indgår i et system bestående af en bærbar PC og en totalstation. BAKK indeholder tre delprocesser; afsætning, kontrol og vurdering, hvortil der hører vurderingsstørrelser, som gør, at landinspektøren kan vurdere om hver enkelt delproces er tilfredsstillende eller ej. Brugen af grafik i form af netskitser, konfidens-ellipse, visualisering af bygningen, som skal afsættes osv., er gode værktøjer/ vurderingsstørrelser for landinspektøren til overblik og vurdering af afsætningen. Udviklingen af prototypen afgrænses til udelukkende at indeholde afsætning af modulliner i planen fra en fri opstilling samt kontrolmåling fra en fri opstilling. Det konkluderes, at BAKK på en hensigtsmæssig måde kan være med til at afsætte og kontrollere en bygningsafsætning i marken. Umiddelbart efter kontrolmålingen kan BAKK dokumentere for det afsatte med tilhørende præcision eller nøjagtighed.

I forbindelse med udviklingen af BAKK er der også redegjort for, hvilke udbygningsmuligheder projektgruppen ser i fremtiden. Her er den væsentligste, at principperne og overvejelserne fra BAKK implementeres på de nye totalstationer, der har indbygget grafiske displays. Inden for dette felt er der konstant udvikling, og derfor anses det i den nærmeste fremtid som en brugbar løsning.

Med et værktøj som BAKK konkluderes det, at landinspektøren, umiddelbart efter afsætning i marken, kan svare på, om afsætningen er foretaget tilfredsstillende, og hvilken præcision/nøjagtighed afsætningen har. Et sådan program vil være med til, at fejl der opstår, grundet at landinspektøren for sent kontrollerer sin afsætning, forsvinder. Endvidere vil BAKK være med til at spare tid for landinspektøren, da det på stedet kan vurderes, om afsætningen er tilfredsstillende eller ej.

Igennem testen af BAKK hvor der i forskellige situationer afsættes samme bygning fremgår vigtigheden af, at en bygningsafsætning bliver kontrolleret ved enten Kontrol 2 eller Kontrol 3, jf. 7.2 *Kontrolmetoder*. Hvis ikke en sådan kontrol

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

udføres, vil fejlene ikke blive opdaget, og der vil være risiko for, at bygningsafsætningen ender som endnu en sag ved LgE.

Igennem dette projekt er der redegjort for forskellige fejlkilder i forbindelse med afsætning af modullinier. Specielt behandles fejlteoretiske konsekvenser vedrørende de tilfældige fejl. I forbindelse med at totalstationer bliver fremstillet til at kunne udføre mere og mere præcise observationer, bliver vigtigheden af de tilfældige fejl mindre. Således er det oplagt, at det videre arbejde med at kvalitets sikre bygningsafsætning i marken omhandler, hvorledes det sikres, at der bliver korrigeret korrekt for de systematiske fejl, og hvorledes grove fejl undgås.

11

Perspektivering

På baggrund af foregående kapitel 10. *Konklusion*, må det konstateres, at det gennem BAKK er muligt at foretage en hensigtsmæssig kontrol af en afsætning i marken samt vurdere præcisionen/nøjagtigheden af afsætningen. Men som løsningen til problemformuleringen er opstillet gennem projektet, vil denne næppe kunne anvendes i praksis grundet den tekniske platform (totalstation + bærbar PC). Hvorledes et afsætningsprogram kan videreudvikles, og hvilken procedure en afsætning bør følge skitseres i det følgende, hvorefter betydningen af et afsætningsprogram i marken behandles med hensyn til økonomi samt landinspektørens profession.

11.1 Videreudvikling af afsætningsprogram

BAKK viser muligheden for at afsætte, kontrollere og vurdere en afsætning i marken. I de følgende to afsnit opstilles videreudviklingsmulighederne med hensyn til tekniske muligheder samt procedure til afsætning. Videreudviklingsmulighederne opstilles på baggrund af projektgruppens viden og erfaring omkring afsætning opnået gennem projektførelsen. Angående udbygningsmuligheder til BAKK, henvises til kapitel 8.5 *Mangler og udbygningsmuligheder ved BAKK*.

11.1.1 Tekniske muligheder

For at benytte et afsætningsprogram til afsætning med totalstation og vurdering af afsætningen bør afsætningsprogrammet være integreret i totalstationen. Som BAKK er udviklet gennem projektet, kan dette ikke umiddelbart overflyttes til en totalstation grundet grafik og visning af numeriske værdier. Til videreudvikling af et afsætningsprogram bør der således være en tilpasning af både totalstationen og afsætningsprogrammet. BAKK er en prototype af et afsætningsprogram, hvor der udelukkende benyttes muligheden for udvikling og eksekvering på tilhørende PC. For fuld udnyttelse af et afsætningsprogram bør der således være et samspil mellem producenten af totalstationen og programudvikler for at opnå den optimale udnyttelse af den tekniske platform.

Som beskrevet i 2.1.1 *Før afsætning* påhviler det landinspektøren at sikre sig, at der er et entydigt grundlag til afsætningen, og at det er klart, hvad der skal afsættes. Med nutidens mulighed for hurtig udveksling af data digitalt over Internettet, kan der sommetider opstå tvivl om, hvilket tegningsmateriale der er det gældende. I sådanne situationer kan der med fordel oprettes en hjemmeside til byggeriet på Internettet, der indeholder det gældende tegningsmateriale. På denne måde kan landinspektøren inden afsætning altid hente sidste nye tegningsmateriale og på senere tidspunkt dokumentere tidspunktet for rekvirering af dette. Et eksempel på en sådan hjemmeside fremgår af www.byggeweb.dk. Ligeledes kan landinspektøren efter afsætning videregive afsætningsplanen digitalt fra kontoret til hjemmesiden. Evt. kan der fra totalstationen opbygges en internetforbindelse, så der i marken kan hentes tegningsmateriale til afsætning og leveres afsætningsplan.

Med en evt. internetforbindelse til totalstationen kan der også fra diverse Web Map Services (WMS) hentes digitale kort, der kan bruges under planlægning af placering af kendte punkter, placering af opstillingspunkter, oversigtsformål, forhold til andre bygninger osv. Brugen af WMS vil være med til at give overblik for landinspektøren, der skal forestå en afsætning. Skal WMS anvendes, kræves det, at der arbejdes i samme referencekoordinatsystem.

11.1.2 Procedure til afsætning

En fastlagt procedure for udførelse af bygningsafsætning vil være en standardisering af bygningsafsætninger. Det vurderes, at en sådan standardisering vil være med til at kvalitetssikre afsætninger, da det i en fastlagt procedure er muligt at indlægge kontrolposter, som skal kontrolleres inden en afsætning er tilfredsstillende udført. En fastlagt procedure kan efterfølgende indbygges i et afsætningsprogram, hvor der først skal indtastes diverse parametre, og hvor det ikke er muligt at afsætte, inden en tjekliste er udfyldt. Et eksempel på en tjekliste til indstilling af totalstationen med hensyn til systematiske fejl fremgår af figur 7.1, jf. 7.1.1 *Systematiske fejl*.

I BAKK er der arbejdet med bygningsafsætning af modullinier, hvor der gennem programudviklingen og designet af brugergrænsefladen er forsøgt at gøre det nemt og logisk for brugeren at følge et fastlagt forløb. Men der findes andre typer af afsætninger, hvor det ikke nødvendigvis er linier, der skal afsættes. Alligevel er der fælles træk for alle afsætninger, bl.a. valg af parametre, således at der kan laves en procedure, hvor fejl i en afsætning kan minimeres. En fastlagt procedure kan evt. kræves af LgE, således at der ikke er tvivl om, hvorledes en kontrol/vurdering af en afsætning bør foregå, samt hvilken dokumentation der skal foreligge.

11.2 Økonomi og profession

Selvom der udvikles et afsætningsprogram, der kan kontrollere en afsætning i marken, vil afsætningsprogrammet så blive anvendt i praksis? Dette afhænger af flere faktorer. For det første benyttes forskellige totalstationer i de praktiserende landinspektørfirmaer, eks. Trimble og Leica, hvilket vil kræve, at der udvikles programmer, der er platforms uafhængige eller kan tilpasses det enkelt instrument. Dernæst har det enkelte landinspektørfirma formentlig deres egen måde at tilrettelægge en afsætning på, samt hvorledes en afsætning skal kontrolleres og vurderes.

Men som overordnet betragtning fra projektgruppen bør der med fordel kunne anvendes et program, der kan kontrollere en afsætning i marken. Dette vil have den fordel, at forretningsgangen omkring en afsætning effektiviseres/ optimeres og evt. fejl i afsætningen rettes på stedet. Der vil således kunne spares tid og dermed penge på en afsætning. Desuden vil en kvalitetssikring af afsætninger, evt. gennem en fastlagt procedure og program, være med til at styrke og gavne et af landinspektørfagets kerneområder og dermed troværdigheden overfor andre faggrupper og rekvirenter.

Desuden er en kvalitetssikring af afsætninger vel i alle landinspektørers interesse, idet der gennem LgE er et fælles ansvar for hinanden!

Litteraturliste

Bøger

[Andersen, 2002]

Ib Andersen

Den skindbarlige virkelighed - om valg af samfundsvidenskabelige metoder

Samfundslitteratur, 2002

[Borre, 1993]

Kai Borre

Landmåling, 2. udgave

Aalborg, 1993

[Cederholm, 2000]

Peter Cederholm

Udjævning, 2. udgave, 1. revision

Aalborg Universitet, 2000

[Cederholm, 2003]

Peter Cederholm

Artikler omkring GPS

Aalborg Universitet, 2003

[DS, 1987]

Dansk Standardiseringsråd

DS/ISO 4463

Måling i byggeriet

DS-tryk, København, 1987

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

[Eriksen, m.fl., 2003]

Poul S. Eriksen og Steffen L. Lauritzen
Teknisk Måling - Statistik
Institut for Matematiske Fag, Aalborg Universitet
Aalborg, februar 2003

[Frederiksen, 2000]

Helle Frederiksen
Databasesdesign med Access 2000
1. udgave, 1. oplag 2000
IDG Danmark A/S
Trykcentralen Fyn
ISBN: 87-7843-409-2

[Frederiksen, m.fl., 1984]

Poul Frederiksen og Else Mærsk-Møller
Landmåling: Elementudjævning
Den private ingeniørfond, Danmarks tekniske Højskole, 1984
ISBN: 87-7381-009-6

[Jacobi, m.fl., 1989]

Ole Jacobi, Jørgen Risager, Klaus Thiesen
Landmåling - Instrumenter og Metoder, 2. oplag
Danmarks Tekniske Universitet 1989

[Jensen a, 2003]

Karsten Jensen
Landmåling i teori og praksis
Institut for Samfundsudvikling og Planlægning
Aalborg Universitet, august 2003
ISBN 87-90893-42-5

[Jensen b, 2003]

Karsten Jensen
Kvalitetskontrol ved opmåling og afsætning
Den danske Landinspektørforenings efteruddannelseskursus
Aalborg Universitet, 20.11.2003

[Jensen c, 2003]

Karsten Jensen
Transversal afbildning
Laboratoriet for Geoinformatik
Institut for Samfundsudvikling og Planlægning
Aalborg Universitet, august 2003

[Juhl, 1980]

Jens Juhl

Det analytiske stråleudjævningsprogram sANA

Laboratoriet for fotogrammetri og landmåling

Aalborg Universitet, september 1980

ISSN: 0105-2241

[Krarup, m.fl., 1980]

Torben Krarup, Jens Juhl og Kurt Kubik

Götterdämmerung over Least Squares Adjustment

14th Congress of the International Society of Photogrammetry

Vol B3, s. 369-378

Hamburg, 1980

[Leica, 2000]

TPS1100 Professional Series, Brugervejledning

Leica Geosystems AG, Heerbrugg

Schweiz 2000

Oversat fra originalen (710476-2.0.0de)

[Nielsen, m.fl., 1975]

Knud Nielsen og Klaus Thiesen

Bygningsafsætning - Grundprincipper

Erhvervsskolernes Forlag - Odense, oktober 1975

[Thiesen, 1974]

Klaus Thiesen

Landmåling 4. del. Afsætning

Polyteknisk Forlag, Lyngby 1974

ISBN: 87 502 0360 6

Internetsider

[www.betonportal.dk]

http://www.betonportal.dk/bind3/8_5.htm

Besøgt: 16.03.2004

[www.ddl.org]

<http://www.ddl.org/ddl/love/ddl/virksomhed.htm>

Besøgt: 03.03.2004

[www.dst.dk]

<http://www.dst.dk/Vejviser/Portal/byggeindeks.aspx>

Besøgt: 02.03.2004

[www.faqs.org]

<http://www.faqs.org/faqs/graphics/algorithms-faq/>

Besøgt: 28.04.2004

[www.leica-geosystems.com]

<http://www.leica-geosystems.com/surveying/product/totalstations/tps1200/index.htm>

Besøgt: 02.03.2004

[www.multimediekontoret.dk]

<http://www.multimediekontoret.dk/programmer/byg/FramePa1a.html>

Besøgt: 06.02.2004

[www.trimble.com]

http://www.trimble.com/survey_scrnsvrreq.asp

besøgt: 02.03.2004

Diverse

[Aalborg]

Ophavsrettigheder: Aalborg Kommune

Teknisk kort

[Interview, 2004]

Interview med Mads Hvolby og Frank E. Kristensen fra landinspektørfirmaet Nellemann og Bjørnkjær i Aalborg omkring afsætning i praksis

Tilstedeværende: Mads Hvolby, Frank E. Kristensen, Karsten Jensen, Jesper B.

Stisen og Kim N. Madsen

Aalborg d. 12.02.2004

[LgE]

Landinspektørernes gensidige Erhvervsansvarsforsikring

Afsluttede skadessager 1991 - 2003

Udleveret af tidligere formand for LgE: Jørgen Staunskjær

[LgE, 2004]

Landinspektørernes gensidige Erhvervsansvarsforsikring

Oversigt over selvrisiko og tingskadesum for LgE

Udleveret af tidligere formand for LgE: Jørgen Staunskjær

[LgE-forsikringsbetingelser, 2002]

Landinspektørernes gensidige Erhvervsansvarsforsikring

Forsikringsbetingelser

Hillerød 21.08.2002

[LgE-vedtægter, 2002]

Landinspektørernes gensidige Erhvervsansvarsforsikring

Vedtægter for foreningen

Hillerød 21.08.2002

Programmer

MatLab 6.5

Version 6.5.0 180913a Release 13

The MathWorks, Inc., USA 2002

Turbo-Net

GeoComp, Inc. 1989-1991

Fri-Station

Leica Geosystems

AG Heerbrugg, 2000

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

Begrebliste

Begreb	Beskrivelse	Signatur
Afstand		S
Afstandsafhængig fejl	Afstandsafhængig fejl på afstandsmåleren	σ_a
Afstand korrigeret for atmosfæriske forhold		$S_{d,a}$
Afsætningsplan	Plan for hvad landinspektøren har afsat, som fremsendes til rekvirent/bygherre	
Afsætningspunkt		$p (Y_p, X_p, Z_p)$
Antal elementer		w
Antal kendte punkter		n
Antal observationer		q
Antal overbestemmelser		d
Antal satser	n_r : antal satser ved horisontalretning n_v : antal satser ved zenitdistance	n_r, n_v
Beregnet skrå afstand		$S_{d,b}$
Beregnet vandret afstand		S_v
Designmatrice	Matrice med partielle afledte til udjævning	A
Designværdier	Værdier for det som skal afsættes, eksempelvis koordinater til bygningshjørner	
Fri opstilling	Givet ved opstillingspunkt samt opstillingens kredselement	$m (Y_{mv}, X_{mv}, Z_{mv}, R_m)$
Foreløbige værdier	Foreløbige værdier til eksempelvis opstillingspunkt samt kredselement til udjævning	$Y_m^0, X_m^0, Z_m^0, R_m^0$
Funktionelle model	Model der beskriver de geometriske sammenhænge mellem observationer og de søgte elementer	
Galge	Træskellet, hvor punkter afsættes	
Grov fejl	Eksempelvis fejlagtig aflæsning, tastefejl, betjeningsfejl	
Grundfejl	Grundfejl på afstandsmåleren	σ_g
Horisontalretning		R
Højdeforskel		ΔH
Hypotese	H_0 : nulhypotese, H_A : alternativ hypotese	H_0, H_A
Instrumenthøjde	Den lodrette afstand fra kendt punkt til instrumentets horisontalakse	i_h
Jacobi-matrice	Matrice med partielle afledte	J
Jordens radius	Jordens radius = 6.386.000 m	R

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

Kendte punkter	Punkter hvis koordinater er kendte i et givent koordinatsystem	$k (Y_k, X_k, Z_k)$
Konfidensellipse	Konfidensellipse for et punkt, givet ved halve storakse (s), halve lille akse (t) og vinkel til 2. akse (θ)	s, t, θ
Konfidensinterval		K
Koordinater	I lokalt kartesisk koordinatsystem, hvor Y er 1. akse, X er 2. akse og Z er 3. akse, koordinatsystemet er et højrehåndssystem	(Y, X, Z)
Kofaktormatrise for residualer		Q_f
Korrigerede observationer	Observationer der er korrigeret for atmosfæriske forhold, jordkrumning og refraktion	$S_{v, kor}, \Delta H$
Kovariansmatrice for afsat punkt		Σ_p
Kovariansmatrice for liniens parametre		Σ_{linie}
Kovariansmatrice for løsningsvektor		Σ_L
Kovariansmatrice for observationer		Σ_{obs}
Kovariansmatrice for residualer		Σ_f
Kovariansmatrice for skæringspunkt		Σ_{sp}
Kredselement	Retning mellem koordinatsystemets 2. akse og horisontalkredsens nulretning	R_m
LgE	Landinspektørernes gensidige Erhvervsansvarsforsikring	
Linie	Linie givet ved hældning a og skæring med 2. akse b. $X = aY + b$	a, b
Lufttryk		p
Løsningsvektor	Vektor med udjævnede elementer, eksempelvis opstillingspunktet	L
Løsning til udjævning	x-hat	\hat{x}
Modullinie	Linie der bliver afsat til byggeri	l
N	Kompakt skrivemåde i forbindelse med udjævning ($N = A^T C A$)	N
Normaliseret residual	Residual divideret med dets spredning	r^l
Nøjagtighed	Absolut nøjagtighed, forholdet mellem afsætning og kendte punkter/objekter	
Observationer		b_{Sk1}, b_{R1}, b_{Vkl}
Observationsligning	Udtrykker sammenhængen mellem observation og elementer, en observation per ligning	
Observationsvektor	Vektor med observationer til udjævning	b

Begrebliste

Omega	Omregningstal fra radianer til gon ($200/\pi$)	ω
Partiel afledt		$\frac{\partial \arctan(f)}{\partial f}$
Prismehøjde	Også kaldet sigteskivehøjde, lodret afstand fra prisme til spids af stok	s_h
Prismekonstant	Også kaldet additionskonstant, tillæg til afstandsobservation	
Projiceret punkt	Punkt projiceret på modullinie	p'
Præcision	Relativ nøjagtighed, forholdet indenfor afsætningen fra en opstilling	
Redundanstal	Redundanstal for det enkelte observation står på diagonalen af matricen	R
Reducerede observationer	Observationer, der er korrigeret for atmosfæriske forhold, jordkrumning og refraktion samt reduceret for prismehøjden og instrumenthøjden	S_k, V_k
Refraktionskonstant		k_{ref}
Relativ luftfugtighed		h
Residualvektor		\hat{r}
Råobservationer	Observationer som indsamles i marken inden der foretages korrektion eller reduktion	
Skrå afstand		S_d
Skæringspunkt	Skæringspunkt mellem to modullinier	sp
Spredning på afstanden mellem to skæringspunkter		σ_s
Spredning på centrering med prisme		σ_c
Spredning på horisontalretning	Spredning på horisontalretnings observation fra totalstation	σ_R
Spredning på horisontalretning	Spredning på horisontalretning ved 1 sats	σ_r
Spredning på højdeforskel		$\sigma_{\Delta H}$
Spredning på instrumenthøjde		σ_{ih}
Spredning på kendte punkter		$\sigma_{Yp}, \sigma_{Xp}, \sigma_{Zp}$
Spredning på korrigeret vandret afstand		$\sigma_{Sv, kor}$
Spredning på koten af afsat punkt		σ_{Zp}
Spredning på prismehøjde		σ_{sh}
Spredning på refraktionskoefficient	$\sigma_{kref} = 1$	σ_{kref}
Spredning på skrå afstand		σ_{Sd}
Spredning på vægtenheden	Kvadratrod af variansfaktoren	σ_0
Spredning på zenitdistance	Spredning på zenitdistance observation fra totalstation	σ_v

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

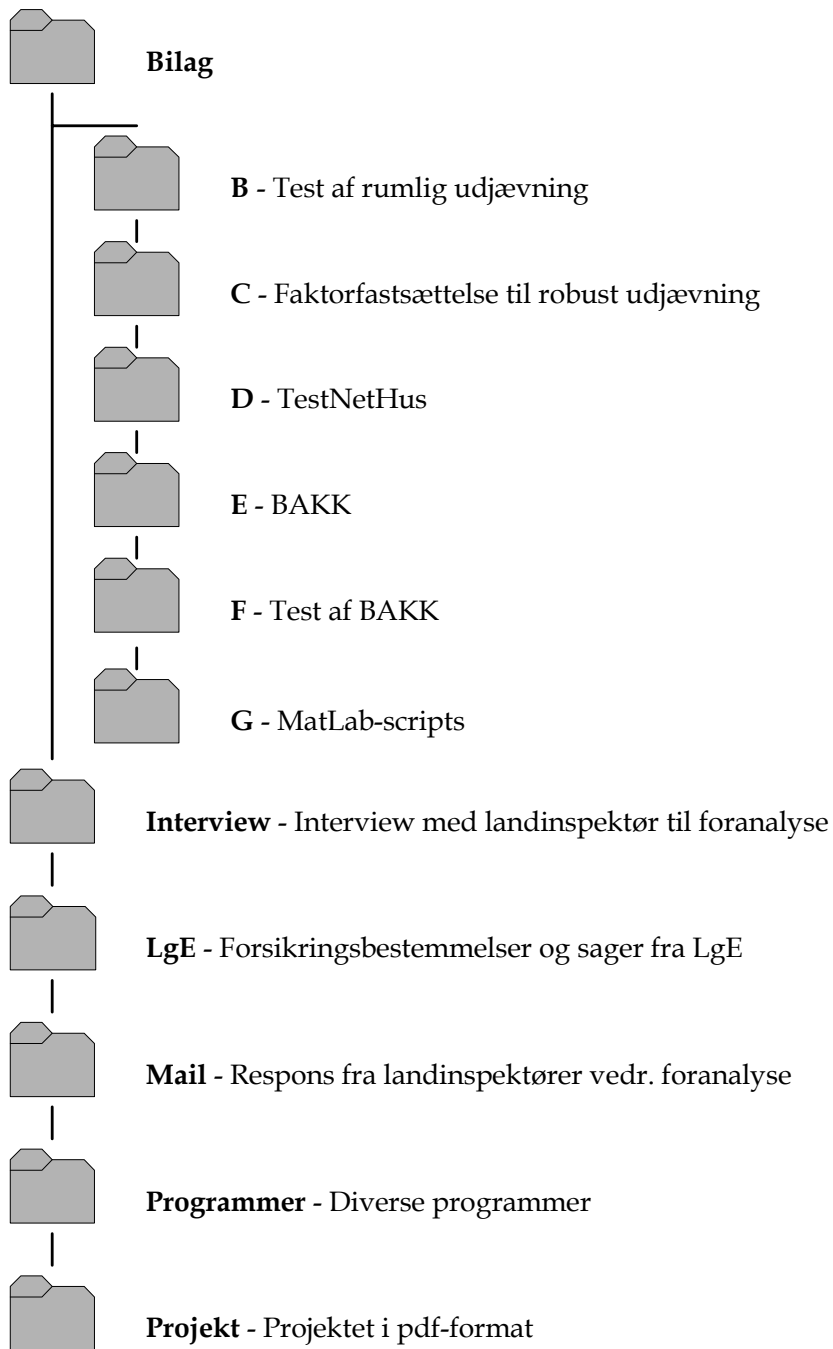
Spredning på zenitdistance	Spredning på zenitdistance ved 1 sats	σ_v
Stokastisk model	Model der beskriver summen af statistiske antagelser, der knytter sig til observationer og de søgte elementer.	
Systematisk fejl	Fejl der kan korrigeres eller er ens på alle observationer	
Tegningsmateriale	Materiale, oftest i form af en CAD-tegning, som landinspektøren fremstiller afsætningsdata ud fra	
Temperatur		t
Teststørrelse til Global test		u
Tilfældige fejl	Fejl der er normalfordelte og ikke kan elimineres	
Tolerance	Absolut afvigelse fra ideal mål, opfattes som $\pm 3\sigma$	T
Vandret afstand		S_v
Variansfaktor		σ_0^2
Vægtfaktor	Vægtfaktor til robust udjævning	cr
Vægtmatrice	Matrice med vægte til udjævning	C
Vægtreduktions konstanter	Faktorer til robust udjævning	xr, kr
Zenitdistance		V

A

Data-CD

Figur A.1 indeholder en oversigt af indholdet på bilag A, som er en data-CD. Data-CDén er placeret bagerst i projektrapporten.

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol



Figur A.1 Oversigt af indholdet på data-CD.

B

Test af rumlig udjævning

Formålet med dette bilag er at dokumentere rigtigheden af den opstillede og programmerede rumlig udjævning. Den rumlige udjævning, der foretages af projektgruppen, sammenlignes med udjævning på baggrund af samme observationer i Leica's „Fri-station“ og udjævning i Turbo-Net.

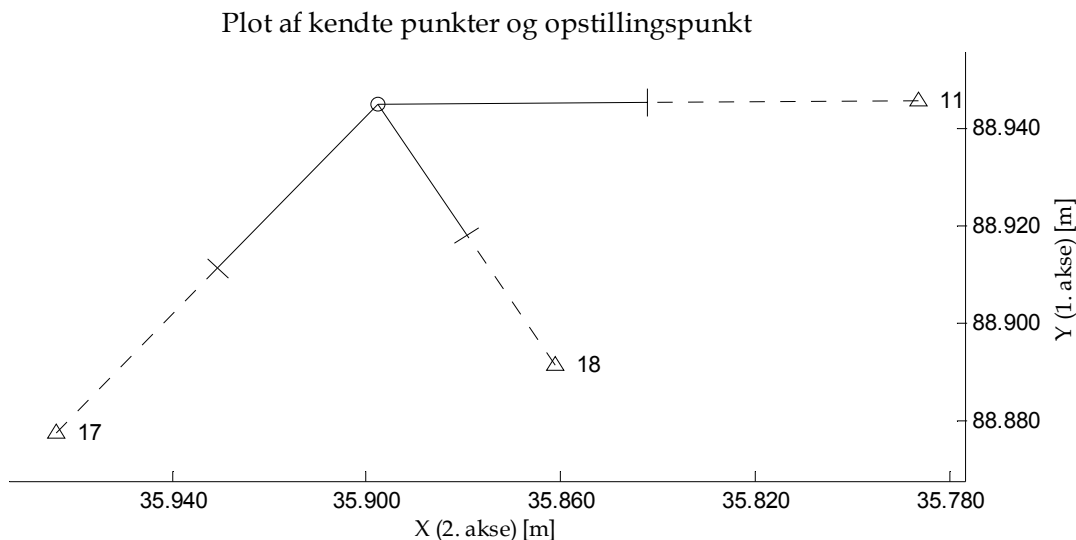
B.1 Opmålingsituation til test

På figur B.1 fremgår en skitse af observationerne til udjævningen. Der er fra opstillingspunktet til alle tre kendte punkter observeret skrå afstand, horisontalretning, zenitdistance samt prismehøjde. På figur B.2 er observationerne oplyst samt de kendte punkters koordinater og spredninger. Spredningerne på de anvendte kendte punkter ved golfbanen i Aalborg er oplyst af lektor i landmåling ved AAU Karsten Jensen. Alle observationer er korrigeret for atmosfæriske forhold.

De instrument afhængige specifikationer fremgår af figur 4.7, jf. 4.3.1 *Udstyr*, og centreringsspredningen (σ_c) med prismet samt spredningen på prismehøjden (σ_{sh}) sættes til 2 mm. Spredningen til observationerne i projektgruppens udjæv-

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

ning beregnes efter formlerne i I.31, I.40 og I.41. Spredningerne på observationerne til Turbo-Net beregnes efter formlerne side 64 i [Cederholm, 2000, s. 64].



Figur B.1: Skitse af observationer til test af udjævning.

Observationer	Kendte punkter		
	11	17	18
Skrå afstand [m]	111,206	94,480	65,022
Horisontalretning [gon]	149,6015	299,3225	211,9220
Zenitdistance [gon]	100,7225	102,9290	100,7710
Prismehøjde [m]	1,600	1,600	1,600
Y-koordinat [m]	88945,690	88877,560	88891,260
X-koordinat [m]	35786,490	35963,730	35861,070
Z-koordinat [m]	48,279	45,205	48,752
Spredning i Y [m]	0,010	0,010	0,010
Spredning i X [m]	0,010	0,010	0,010
Spredning i Z [m]	0,015	0,015	0,015

Figur B.2: Observationer, koordinater til kendte punkter samt spredning på kendtepunkter.

B.2 Udjævningsmetoder

Projektgruppens rumlig udjævning sammenlignes med to andre udjævningsprogrammer, som antages at udjævne korrekt og efter mindste kvadraters princip. Der anvendes et tilgængeligt og fælles observationsæt, der fremgår af bilag A [:\Bilag\B\observationer].

Projektgruppens rumlig udjævning foretages med scriptet *friopsYXZalm.m*, der fremgår af bilag A [:\Bilag\B\Resultat fra projektgruppen\friopsYXZalm.m]. Udjævningen, med reducerede observationer og bestemmelsen af vægte, forlø-

ber som beskrevet i appendiks I. Resultatet af projektgruppens udjævning fremgår af bilag A [:\Bilag\B\Resultat fra projektgruppen\Res_friops.txt].

Der sammenlignes med Leica's „Fri-station“, som foretager en udjævning i planen (2-D) og efterfølgende for koten (1-D). Observationerne reduceres og korrigeres før selve udjævningen. Vægttildelingen foregår efter bestemte opgivne formler, hvor der tages højde for nøjagtigheden af de kendte punkter. For uddybning af „Fri-station“ henvises til [Jensen a, 2003, s. 197-198]. Resultatet af „Fri-station“ fremgår af bilag A [:\Bilag\B\Resultat fra Leica\free_sta.txt], hvor udjævningen menes at være forløbet tilfredsstillende. Der indgår et målforhold i „Fri-station“.

Yderligere sammenlignes med Turbo-Net, der er et rumlig udjævningsprogram. I Turbo-Net udjævnes på råobservationerne, bortset fra retninger, hvor der skal udregnes en vinkel. Det menes, at der i Turbo-Net foretages tilnærmelses samme vægttildeling, som der foretages i projektgruppens rumlig udjævning. I Turbo-Net kan der, modsat „Fri-station“, foretages koordinatobservationer, således at de kendte punkter kan tildeles en spredning. Input til Turbo-Net og resultatet af udjævningen fremgår af bilag A [:\Bilag\B\Resultat fra Turbo-Net\resultat.txt], hvor der er forløbet en tilfredsstillende udjævning, som det fremgår af resultatrapporten. I Turbo-Net kan der ikke foretages udjævning i et lokalt system, hvorfor der udjævnes i System 34jf. Derfor tillægges alle X-koordinater til udjævning i Turbo-Net 165.000,0 m, således at der kan ses bort fra afstandskorrektionen for projektionen. Af bilag A [:\Bilag\B\ppm_sys\ppm_sys_system34jf.tif] vises ppm_{sys} for System 34jf, hvor det fremgår, at ppm_{sys} er omkring nul ved 200.000 m for X-koordinaten. Yderligere tillægges Y-koordinaten 200.000 m, hvilket dog ikke har indflydelse på resultatet. Turbo-Net beregner ikke et kredselement for den frie opstilling.

B.3 Sammenligning

Sammenligningen af projektgruppens udjævning med de to andre udjævningsprogrammer foretages på baggrund af de udjævnede elementer. Figur B.3 viser resultatet fra udjævningerne og forskellen mellem disse. Afvigelserne er på millimeter-niveau og det forudsættes derfor, at projektgruppens beregninger er korrekte. Afvigelserne kan skyldes, måden hvorpå der vægtes, observationer der anvendes til udjævning, samt om det er en eller to udjævninger (3-D / 2-D+1-D). Afvigelsen mellem projektgruppens og „Fri-station“ kan også skyldes, at der i „Fri-station“ indgår et målforhold. Projektgruppens beregninger stemmer bedst overens med Turbo-Net, hvilket også er forventet på grund af udjævningsmetoden og vægttildelingen.

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

Metode	Y_m [m]	X_m [m]	Z_m [m]	R_m [gon]
Projektgruppen	88944,9977	35897,6885	51,1430	50,0048
Leica "Fri-station"	88945,001	35897,691	51,143	50,0045
Afvigelse Leica	-0,003	-0,003	0,000	0,0003
Turbo-Net	88944,9968	35897,6882	51,1430	-
Afvigelse Turbo-Net	0,0009	0,0003	0,0000	-

Figur B.3: Udjævningsresultater og afvigelser.

Udover, at der er overensstemmelse mellem elementerne fra projektgruppens udjævning og Turbo-Net, er spredning på vægtenheden også næsten den samme. Dette er med til at indikere, at projektgruppens udjævning overordnet stemmer overens med Turbo-Net. Spredning på vægtenheden er 0,896 i Turbo-Net og 0,864 i projektgruppens.

På baggrund af foregående sammenligning med allerede eksisterende udjævningsprogrammer mener projektgruppen, at det udarbejde rumlig udjævning foretager en korrekt udjævning.

C

Faktorfastsættelse til robust udjævning

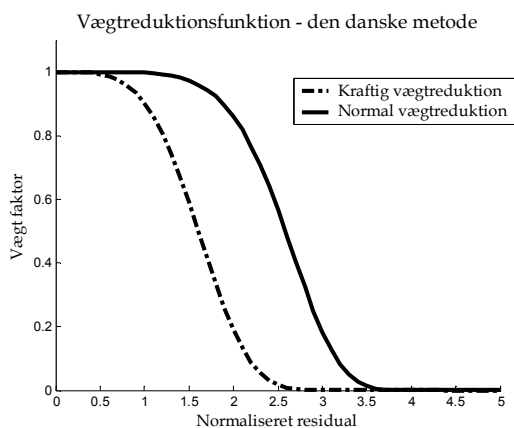
Robust udjævning efter den danske metode forløber i tre trin jf. appendiks I, hvor udjævningen tilføjes vægtreduktionsfunktionen:

$$cr = \exp(-0,05 \cdot (kr \cdot r')^{xr}) \quad (C.1)$$

Vægtreduktionsfunktionen bestemmes af faktorerne kr og xr , som er fastsat empirisk ud fra udjævning af aerotriangulationsblokke [Juhl, 1980, s. 23]. Vægtreduktionsfunktionen fremgår grafisk af figur C.1 ved henholdsvis kraftig og normal vægtreduktion. Angivelsen af kraftig og normal referer til værdierne af kr og xr .

Formålet med dette bilag er at redegøre for, om de af [Juhl, 1980] fastsatte værdier for kr og xr kan anvendes i forbindelse med landmålingsobservationer, eller om der skal estimeres nye, og i det tilfælde hvilke værdier kr og xr skal antage. Endvidere skal det besvares, om robust udjævning med fordel kan benyt-

tes til at eliminere grove fejl i landmålingsobservationer til bestemmelse af fri opstilling.



Figur C.1: Vægtreduktionsfunktion ved robust udjævning.

C.1 Observationer

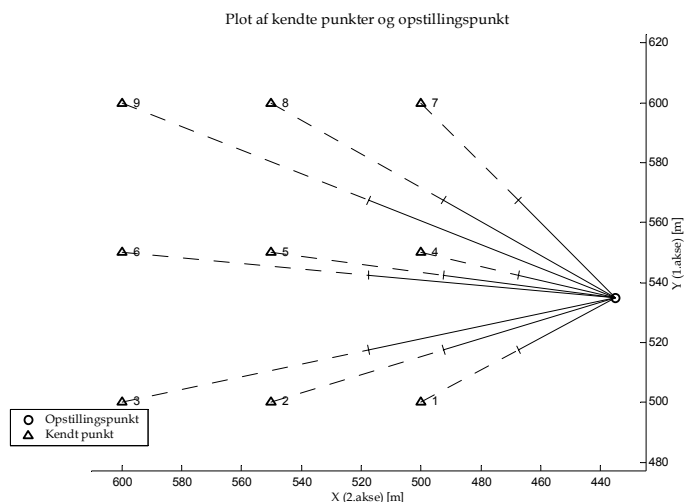
For at undersøge ovenstående problematik er der fremstillet ti observationssæt med observationer (skrå afstand, horisontalretning og zenitdistance) til ni kendte punkter (Y_k, X_k, Z_k).

Observationssættene fremstilles med MatLab-scriptet *rnd_observationer.m*, jf. bilag A [:\Bilag\C\observationer\rnd_observationer.m], som fremstiller observationer fra et opstillingspunkt til kendte punkter på baggrund af en koordinatfil. Scriptet tildeler observationer og koordinater til kendte punkter en normalfordelt tilfældig fejl fastsat ud fra koordinatspredning og instrument-specifikationer. Spredninger, som anvendes, fremgår af figur C.2.

Spredninger	
Grundfejl (σ_g), mm	2
Afstandsafhængigfejl (σ_a), ppm	2
Spredning horisontalretning (1 sats) (σ_r), mgon	1
Spredning på zenitdistance (1 sats) (σ_v), mgon	1
Spredning på centrering (σ_c), mm	2
Spredning på prismehøjde (σ_{sh}), mm	2
Koordinatspredning ($\sigma_Y, \sigma_X, \sigma_Z$), mm	3

Figur C.2: Diverse spredninger anvendt i forbindelse med fremstilling af observationssæt.

Af figur C.3 fremgår et eksempel på et observationssæt. Alle ti observationssæt fremgår af bilag A [:\Bilag\C\observationer*_pkt*\koorfil.txt og obs.txt].



Figur C.3: Plot af observationsæt 1.

C.2 Faktorer fastsat af [Juhl, 1980]

For at undersøge om de allerede empiriske bestemte værdier for k_r og x_r kan anvendes i forbindelse med robust udjævning af en fri opstilling, bestemmes fri opstilling ti gange ud fra ti forskellige observationssæt, som er fri for grove fejl. Resultatet af den almindelige udjævning sammenlignes med resultatet af den robuste udjævning. Når der ikke er grove fejl i observationssættet, bør der fremkomme samme resultat. Til robust udjævning anvendes de af [Juhl, 1980] fastsatte værdier for k_r og x_r til bestemmelse af den frie opstilling.

Resultatet af denne test fremgår af figur C.4.

Observationssæt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bestemmelse af fri opstilling ved udjævning efter mindste kvadraters princip.										
σ_0	0,99	0,98	0,98	0,83	0,88	1,02	0,89	0,78	0,96	0,98
Normaliserede residualer > 3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bestemmelse af fri opstilling ved robust udjævning (k_r og x_r fastsat jf. [Juhl, 1980]).										
σ_0	0,69	0,65	0,38	0,49	0,47	0,39	0,49	0,32	0,70	0,75
Normaliserede residualer > 3	1	5	8	5	8	10	4	8	4	3

Figur C.4: Udjævning af fri opstilling ud fra ti forskellige observationssæt.

Af figur C.4 fremgår det, at bestemmelsen af den frie opstilling ved almindelig udjævning forløber tilfredsstillende. Dette udtrykkes ved, at spredningen på vægtenheden antager værdier omkring 1, og at der kun ved observationssæt 1 er normaliserede residualer over 3. Normaliserede residualer over 3 betegnes som grove fejl. Resultatfilerne tilhørende udjævningerne kan findes på bilag A [:\Bilag\C*_pkt*\Res_*.txt].

Af figur C.4 fremgår endvidere, at der i forbindelse med bestemmelse af den frie opstilling ved robust udjævningen er mange normaliserede residualer, der er større end 3, samtidigt med at spredningen på vægtenheden i samtlige tilfælde er væsentlig forskellig fra 1.

Således konkluderes det, at værdierne jf. [Juhl, 1980] bevirker, at for mange observationer betragtes som værende behæftede med grove fejl, hvilket ikke er tilfældet. Der skal således fastsættes nye værdier for kr og xr , der ikke i samme omfang vægtreducerer observationer, som ikke er behæftet med grove fejl.

C.3 Fastsættelse af nye værdier for faktorerne kr og xr

I det foregående fremgår det, at der vægtreduceres for mange landmålingsobservationer ved de af [Juhl, 1980] fastsatte værdier for kr og xr . I dette afsnit fastsættes nye værdier for kr og xr . Dette gøres ud fra antagelsen om, at observationer i et observationssæt uden grove fejl ikke bør vægtreduceres som tidligere, jf. figur C.4, hvor for mange observationer blev vægtreduceret.

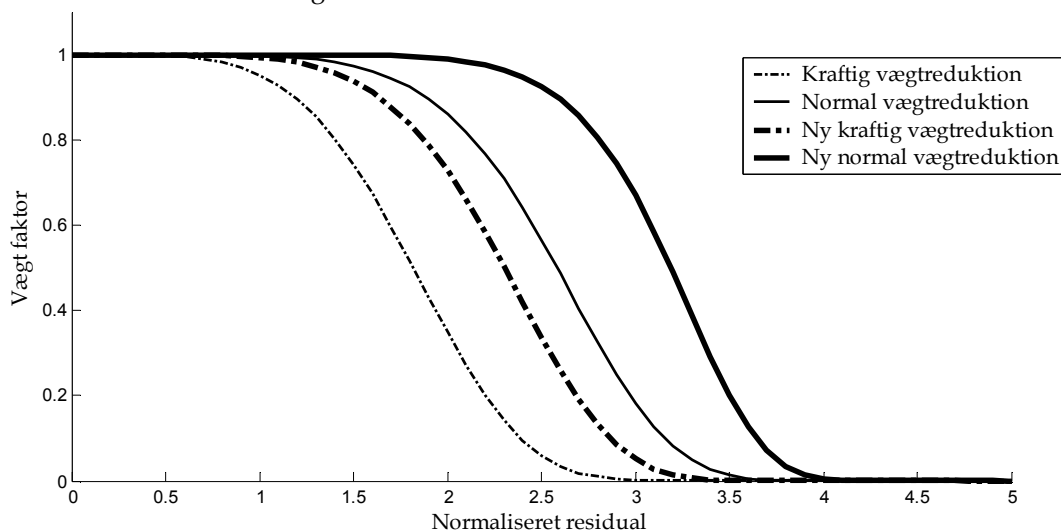
Det er tilfredsstillende, hvis der kun vægtreduceres enkelte observationer, og at spredningen på vægtenheden er omkring 1 a posteriori.

C.3.1 Ny værdier for kr og xr

For at fastsætte nye værdier for kr og xr er der forsøgt empirisk med forskellige størrelser for kr og xr , og afprøvet om disse værdier giver bedre resultater end de allerede fastsatte, samt om resultatet er tilfredsstillende. Et tilfredsstillende resultat er således, at spredningen på vægtenheden a posteriori er tæt på 1, og antallet af normaliserede residualer med værdi over 3 er nul. Generelt er det hensigten at flytte vægtreduktionsfunktionen længere ud af akserne med normaliserede residualer. Dette bevirker, at vægtreduktionen ikke foregår så kraftigt som tidligere. I figur C.5 fremgår det grafisk, hvorledes de nye værdier for kr og xr har indvirkning på vægtreduktionsfunktionen.

Bilag C: Faktorfastsættelse til robust udjævning

Vægtreduktionsfunktion - den danske metode



Figur C.5: Grafisk fremstilling af vægtreduktionsfunktionen med de nye værdier for kr og xr .

Værdierne for kr og xr fremgår af tabellen figur C.6. Til bestemmelse af kr og xr forsøges der med et observationssæt (nr. 10). I det følgende afsnit afprøves værdierne på flere observationssæt (10 stk.) for at undersøge, om værdierne er universelle i forbindelse med udjævning af fri opstilling.

Vægtreduktion	xr	kr
Kraftig	7	0,6
Normal	9	0,4

Figur C.6: Nye værdier for kr og xr .

C.4 Test af nye værdier

For at teste om de nye fastsatte værdier for kr og xr er bedre til at håndtere landmålingsobservationer end de tidligere fastsatte, udføres igen en test på de i afsnit C.2 *Faktorer fastsat af [Juhl, 1980]* 10 observationssæt. Resultatet af denne test fremgår af tabellen figur C.7. Resultatfiler fra udjævningerne fremgår af bilag A [:\Bilag\C*_pkt*\Res_*.txt].

Observationssæt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bestemmelse af fri opstilling ved robust udjævning med nye værdier for kr og xr										
σ_0	0,75	0,90	0,76	0,83	0,62	1,03	0,81	0,61	0,96	0,99
Normaliserede residualer > 3	1	1	2	0	3	0	1	2	0	0

Figur C.7: Bestemmelse af fri opstilling ved robust udjævning med nye værdier for kr og xr .

Af figur C.7 fremgår det, at med de nye værdier for kr og xr bliver observationer, der ikke er behæftet med grove fejl, i mindre grad vægtreduceret. Antallet af normaliserede residualer med en værdi over 3 er faldet med 80 % til i alt 10 stk.

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

Yderligere er spredning på vægtenheden forbedret i forhold til resultatet på figur C.4, således at spredningen på vægtenheden aposteriori antager værdier omkring 1.

Efterfølgende er der indført grove fejl på observationerne (skrå afstand, horisontalretning og zenitdistance). Således er der først adderet en grov fejl på afstandsobservationen efterfølgende er den grove fejl subtraheret. Hver gang er udjævningen gennemført for at undersøge, om den robuste udjævning vægtreducerer observationen, der er blevet tilført en grov fejl. Samme øvelse er udført for horisontalretninger og zenitdistancer. Hver gang er den grove fejl tilført første observation af pågældene type i observationssættet. Størrelserne for de grove fejl der er påført observationerne er:

- Grov fejl påført skrå afstand: 0,020 m
- Grov fejl påført horisontalretning: 0,008 gon
- Grov fejl påført zenitdistance: 0,008 gon

Tabellen figur C.8 viser resultatet af denne test. Tallene i tabellen angiver, hvor mange normaliserede residualer der er større end 3, og * angiver de tilfælde, hvor observationen der er blevet tilført en grov fejl ikke får et normaliseret residual over 3. Det ønskelige antal af normaliserede residualer med en værdi over 3, er altså 1. Således bliver observationen, der er behæftet med en grov fejl korrekt vægtreduceret igennem den robuste udjævning. Mange af de tilfælde hvor der

Observationssæt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Type										
Afstand + grov fejl	2	1	7	1	2	1	2	2	2	2
σ_0	0,75	1,00	0,45	0,85	0,79	1,05	0,67	0,70	0,93	0,99
Afstand - grov fejl	2	2	4	1	2	1	1	1	2	2
σ_0	0,75	0,98	0,61	0,85	0,74	1,05	0,90	0,80	0,96	0,97
Horisontalretning + grov fejl	2	1*	0*	0*	2*	0*	0*	2	1	2*
σ_0	0,75	0,96	0,94	0,89	0,64	1,06	0,94	0,69	0,93	0,76
Horisontalretning - grov fejl	1*	0*	2*	0*	2*	0*	0*	1	0*	1
σ_0	0,79	1,05	0,74	0,87	0,70	1,02	0,98	0,80	1,00	0,97
Zenitdistance + grov fejl	3	1	3*	0*	2	0*	0*	2	1	1
σ_0	0,76	0,96	0,57	0,80	0,71	1,08	0,99	0,80	1,04	0,98
Zenitdistance - grov fejl	1*	0*	5	3	1*	0*	0*	2	1*	0*
σ_0	0,81	0,95	0,60	0,68	0,69	1,02	0,97	0,69	0,95	1,06
* Gennemført udjævning hvor den grove fejl ikke vægtreduceres i udjævningen.										
Heltal angiver antallet af normaliserede residualer over tre										

Figur C.8: Robust udjævning med nye værdier for k_r og x_r . Ved hver udjævning er der tilført en grov fejl (grov fejl skrå afstand = 0,020 m, grov fejl horisontalretning = 0,008 gon, grov fejl zenitdistance = 0,008 gon).

Bilag C: Faktorfastsættelse til robust udjævning

er to normaliserede residualer større end 3, skyldes det, at koordinaten, som den fejlbehæftede observation knytter sig til, også bliver vægtreduceret.

Af tabellen figur C.8 fremgår det, at ikke alle grove fejl i den robuste udjævning bliver „opdaget“ og dermed vægtreduceret. Dog bliver alle grove fejl påført den skrå afstand „opdaget“ i alle ti observationssæt. Endvidere fremgår det, at stadig for mange observationer bliver betragtet som behæftet med grove fejl uden at være det. Umiddelbart kan det konkluderes, at der med de nye værdier for kr og xr ikke er så mange observationer, der bliver vægtreduceret som med de tidligere værdier for kr og xr . Resultatet er dog ikke tilfredsstillende, da der i nogle tilfælde bliver vægtreduceret observationer uden grove fejl, mens observationen med den grove fejl i op til 45 % af udjævningerne ikke opdages.

Da der allerede bliver vægtreduceret for mange observationer uden grove fejl, undersøges om resultatet bliver mere tilfredsstillende, hvis størrelserne af de grove fejl er større.

Testen af de nye faktorer kr og xr gennemføres således endnu engang med større grove fejl (dobbelte fejl af tidligere undersøgelser), for at undersøge indvirkningen af den grove fejls størrelse. Størrelserne af de grove fejl, der påføres observationerne er:

- Grov fejl påført skrå afstand: 0,040 m
- Grov fejl påført horisontalretning: 0,016 gon
- Grov fejl påført zenitdistance: 0,016 gon

Resultatet af denne test fremgår af tabellen figur C.9. Her fremgår det, at resultatet er bedre end tidligere, jf. figur C.9. Dog udføres der stadig udjævninger, hvor den grove fejl ikke vægtreduceres. Alle grove fejl påført afstandsobservationer findes ved metoden og de nye værdier for kr og xr . Dog bliver der også vægtreduceret for mange observationer i enkelte tilfælde. Grove fejl påført horisontalretning og zenitdistance findes ikke i alle tilfælde, henholdsvis 6 ud af 20 gange for horisontalretning, og 4 ud af 20 gange for zenitdistance.

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

Observationssæt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Type										
Afstand + grov fejl	2	1	5	1	3	1	2	2	2	1
σ_0	0,75	0,98	0,46	0,85	0,83	1,05	0,82	0,70	0,91	1,01
Afstand - grov fejl	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2
σ_0	0,75	0,98	0,96	0,85	0,74	1,05	0,90	0,80	0,96	0,97
Horisontalretning + grov fejl	2	1	3	2	3*	0*	1	2	2	1
σ_0	0,75	1,01	0,74	0,77	0,57	1,10	0,88	0,69	0,94	0,95
Horisontalretning - grov fejl	2	1*	2	1	3*	0*	1*	1	2	1
σ_0	0,75	0,98	0,90	0,85	0,63	1,03	0,89	0,80	0,94	0,97
Zenitdistance + grov fejl	2	2	2*	1	1	1	1	2	2	1
σ_0	0,75	0,95	0,70	0,82	0,84	1,14	0,91	0,80	0,97	0,98
Zenitdistance - grov fejl	2	1*	3	1	2*	0*	3	2	2	1
σ_0	0,75	0,95	0,61	0,82	0,67	1,04	0,76	0,68	0,97	0,98

* Gennemført udjævning hvor den grove fejl ikke vægtreduceres i udjævningen.

Heltal angiver antallet af normaliserede residualer over tre

Figur C.9: Robust udjævning med nye værdier for kr og xr . Ved hver udjævning er der tilført en grov fejl (grov fejl skrå afstand = 0,040 m, grov fejl horisontalretning = 0,016 gon, grov fejl zenitdistance = 0,016 gon).

C.5 Opsamling

Konkluderende må det erkendes, at robust udjævning af landmålingsobservationer med den fremlagte metode er en tvivlsom metode til automatisk fjernelse af grove fejl. Enten bliver grove fejl ikke vægtreduceret, eller også vægtreduceres for mange observationer, hvilket ikke er hensigtsmæssigt ved udjævning af fri opstilling, hvor der typisk er et fåtal af overbestemmelser.

Det anskueliggøres, at de nye fastsatte værdier for kr og xr er bedre egnet til udjævning af fri opstilling end de tidligere fastsatte. Dette begrundes med, at der ikke i så høj grad som tidligere vægtreduceres observationer uden grove fejl. Dette har dog den ulempe, at grove fejl, af den størrelsesorden beskrevet i dette bilag, i nogle tilfælde ikke bliver vægtreduceret.

Testene udført i dette bilag er ikke udtømmende, men indikerer, at metoden robust udjævning i forbindelse med landmålingsobservationer med få observationer ikke er hensigtsmæssig. Endvidere er metoden udviklet til udjævning af en type observationer, hvor antallet af overbestemmelser er stort - udjævning af atriangulationsblokke. I sådanne udjævninger har det ikke den store betydning, at et antal observationer uden grove fejl bliver vægtreduceret, da der i disse udjævninger typisk er mange overbestemmelser.

D

TestNetHus

Formålet med dette bilag er at forklare TestNetHus, som er et testprogram, der viser mulige opstillingspunkter med totalstation til en afsætning, når en given tolerance i forbindelse med bygningsafsætning skal overholdes for planen eller koten. Det er muligt i TestNetHus at vælge mellem præcision og nøjagtighed, således at de kendte punkters spredning også kan inddrages i vurderingen af placeringen af opstillingspunktet og dermed afsætningen. Først forklares baggrunden for testberegninger, hvorefter der redegøres for TestNetHus med henblik på brugen af programmet. Yderligere analyseres betydningen af størrelsen af enkelte parametre samt placeringen og antallet af kendte punkter.

D.1 Testnet

Inden der køres i marken til en afsætning, er det oftest kendt:

- hvilke punkter (koordinater) der skal afsættes (geometrien)
- krav omkring præcision og nøjagtighed af afsætningen (tolerance)
- afsætningsmetode eks. polært samt måleindsats
- valg af instrument
- hvilke kendte punkter (koordinater) der er i området samt deres nøjagtighed

På baggrund af foregående viden kan der inden afsætning i marken foretages

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

testberegninger af afsætningssituationen med henblik på placering af opstillingspunkt i forhold til det, der skal afsættes. Testberegningerne er mulige med udgangspunktet i udjævningsteorien og fejlforplantningsloven. Til udjævninger kan designmatricen (\mathbf{A}) og vægtmatricen (\mathbf{C}) opstilles inden afsætning og til fejlforplantningsloven kan kovariansmatricer ($\mathbf{\Sigma}$) og Jacobi-matricer (\mathbf{J}) opstilles inden afsætning.

Kovariansmatricen for elementer bestemt gennem udjævning (Y_m, X_m, Z_m, R_m) er givet ved:

$$\mathbf{\Sigma}_L = \hat{\sigma}_0^2 (\mathbf{A}^T \mathbf{C} \mathbf{A})^{-1} \quad (\text{D.1})$$

hvor det til testberegninger antages, at a posteriori variansfaktoren ($\hat{\sigma}_0^2$) er 1 [Jensen a, 2003, s. 135].

Endvidere kan kovariansmatricen for de søgte størrelser bestemmes ved den generelle fejlforplantningslov f.eks.:

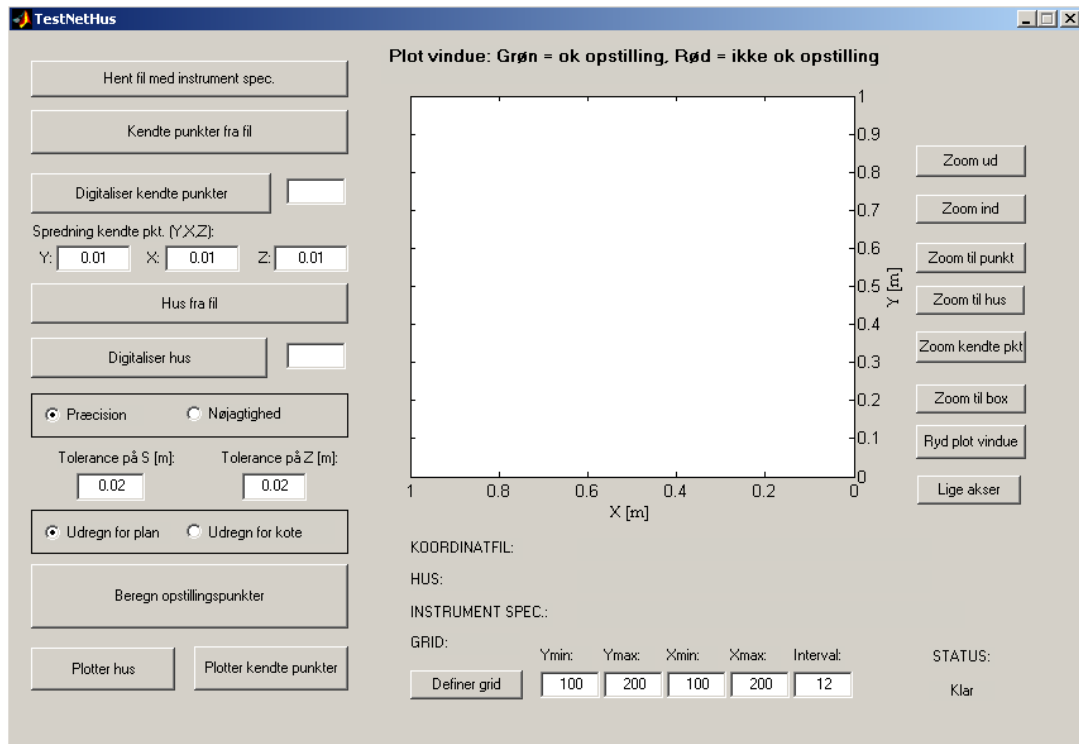
$$\mathbf{\Sigma}_p = \mathbf{J}_p \mathbf{\Sigma}_{obs} \mathbf{J}_p^T \quad (\text{D.2})$$

[Cederholm, 2000, s. 42]

D.2 TestNetHus

Programmet TestNetHus omhandler placering af opstillingspunkt, såfremt en given tolerance skal overholdes for afstanden mellem modullinier eller tolerance for koten. Det er således muligt med TestNetHus at få bestemt placeringen af opstillingspunkter, der overholder givne tolerancer for afsætningen. Testberegningerne bygger på teorien omkring rumlig udjævning af fri opstilling beskrevet i appendiks I samt præcision og nøjagtighed af afsætning beskrevet i appendiks II.

Programmet startes gennem MatLab ved at eksekvere m-filen *TestNetHus.m*, der fremgår af bilag A [:\Bilag\D\TestNetHus.m]. Inden eksekvering af *TestNetHus.m* skal der fra MatLab henvises til biblioteket indeholdende alt i bilag A [:\Bilag\D\]. I bilag A [:\Bilag\D*.txt] er der enkelte filer, som kan indhentes i TestNetHus. Figur D.1 viser et screendump fra opstart af programmet.



Figur D.1: Screenshot af opstart af TestNetHus.

Figur D.2 viser et screenshot, hvortil der er markeret sammenhængende knapper og tekstbokse samt plotvinduet. Den følgende gennemgang af TestNetHus knytter sig til figur D.2.

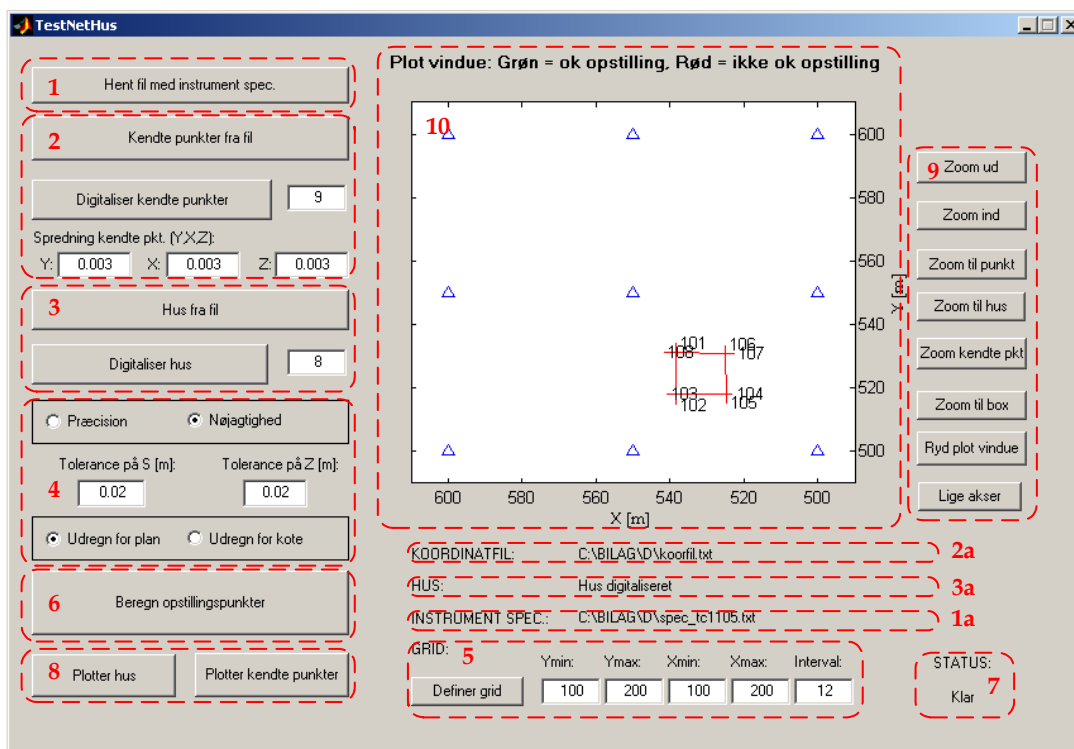
For at TestNetHus kan vise mulige opstillingspunkter, skal der angives følgende:

- fil med specifikationer for instrument samt øvrige spredninger og konstanter
- koordinatliste til kendte punkter
- koordinatliste til den ønskede afsatte bygning
- valg af præcision eller nøjagtighed
- valg af tolerancer
- valg af udregning i forhold til tolerancer vedrørende planen (modullinier) eller kote (Z)
- grid for opstillingspunkter

Tallene fremhævet med fed i det følgende henviser til tallene på figur D.2.

1) Her vælges fil med specifikationer for det valgte instrument, samt øvrige spredningerne og konstanter. Specifikationer for instrumentet er grundfejl på afstandsmåleren, afstandsafhængig fejl osv. Øvrige spredninger er centrerings-spredning, spredning på prismehøjden osv. Konstanter er antallet af satser til

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol



Figur D.2: Screenshot til forklaring af TestNetHus, hvor røde stiplede linier udgør en gruppen med nummer, der forklares i teksten.

retning og zenitdistancen. Et eksempel på en specifikationsfil fremgår af bilag A [:\Bilag\D\spec_tc1105.txt]. **1a)** viser stien til den valgte specifikationsfil.

2) Koordinatliste til de kendte punkter kan enten vælges fra en fil eller digitaliseres direkte i plotvinduet **10)**. Vælges en koordinatliste fra en fil, vises de kendte punkter i **10)** og i **2)** fremgår spredningerne på koordinaterne, hvor det antages at der er samme spredning for alle koordinater. Vælges det at digitalisere kendte punkter, skal det angives, hvor mange kendte punkter der ønskes i tekstfeltet, som derefter digitaliseres i **10)**. Digitaliseres koordinater til kendte punkter, vælges spredninger i Y, X og Z, som de står i tekstfelterne, og Z-koordinaten for alle kendte punkter er 28 m. Prismehøjden i alle kendte punkter er 0,1 m. I **2a)** fremgår stien til hvilken koordinatfil, der er valgt, eller om de kendte punkter er digitaliseret. Et eksempel på en koordinatfil til kendte punkter fremgår af bilag A [:\Bilag\D\koorfil.txt].

3) Koordinatlisten til bygningen, som ønskes afsat, kan også vælges fra en fil eller digitaliseres i plotvinduet **10)**. En koordinatliste til en bygning skal være opbygget således, at punkterne to og to danner en modullinie, og første modullinie danner skæring med den næste osv. Sidste modullinie danner skæring med første modullinie. Hentes en fil med koordinater til modullinierne til bygningen vises denne automatisk i **10)**. Digitaliseres en bygning, skal det angives, hvor mange punkter denne består af, typisk otte for en firkantet bygning med fire

modullinier. Ved digitalisering af en bygning er Z-koordinaten altid 28 m og prismehøjden er 0,1 m. Et eksempel på en koordinatfil til en bygning fremgår af bilag A [:\Bilag\D\hus_firkantet.txt]. I 3a vises om bygningen er hentet fra en koordinatfil og i givet fald hvilken, eller om bygningen er digitaliseret.

4) I denne gruppe skal det vælges, om der arbejdes med præcision eller nøjagtighed. Ved præcision er opstillingspunktet fejlfrit, og ved nøjagtighed beregnes opstillingspunktets nøjagtighed ud fra de kendte punkter. Herudover kan der ændres på tolerancen for afstanden S mellem to skæringspunkter og tolerancen på koten (Z). Desuden skal det angives, om testberegningerne skal foretages for planen (afstanden mellem skæringspunkter) eller for koten (Z).

5) Her angives størrelsen af det grid, hvori der skal beregnes opstillingspunkter samt intervallet mellem opstillingspunkterne. Der kan enten skrives grænser og interval i tekstfelterne, eller det kan angives med tryk på knappen „Definer grid“ og derefter angive grænserne i 10). Det angivne grid bestemmer opstillingspunkternes placering i Y og X , opstillingspunktets Z er altid 30 m.

6) Efter det foregående er som ønsket, kan der her foretages testberegningerne, som vises i 10). Opstillingspunkterne vises med grønt, hvis de kan overholde de givne tolerancer, og rødt hvis de ikke kan overholde tolerancerne.

7) Her vises om TestNetHus er klar til beregning eller om der udføres beregninger. Der kan forekomme forholdsvis lang beregningstid, såfremt der arbejdes med et lille interval for opstillingspunkternes grid.

8) Såfremt de kendte punkter eller den ønskede afsatte bygning ikke er plottet i 10), kan dette foretages her.

9) Disse knapper giver mulighed for zoom, panorering og tilpasning af 10).

10) Dette er plotvinduet, som viser kendte punkter, bygning og opstillingspunkter efter behov. Afhængigt af valg i andre grupper vises resultatet her.

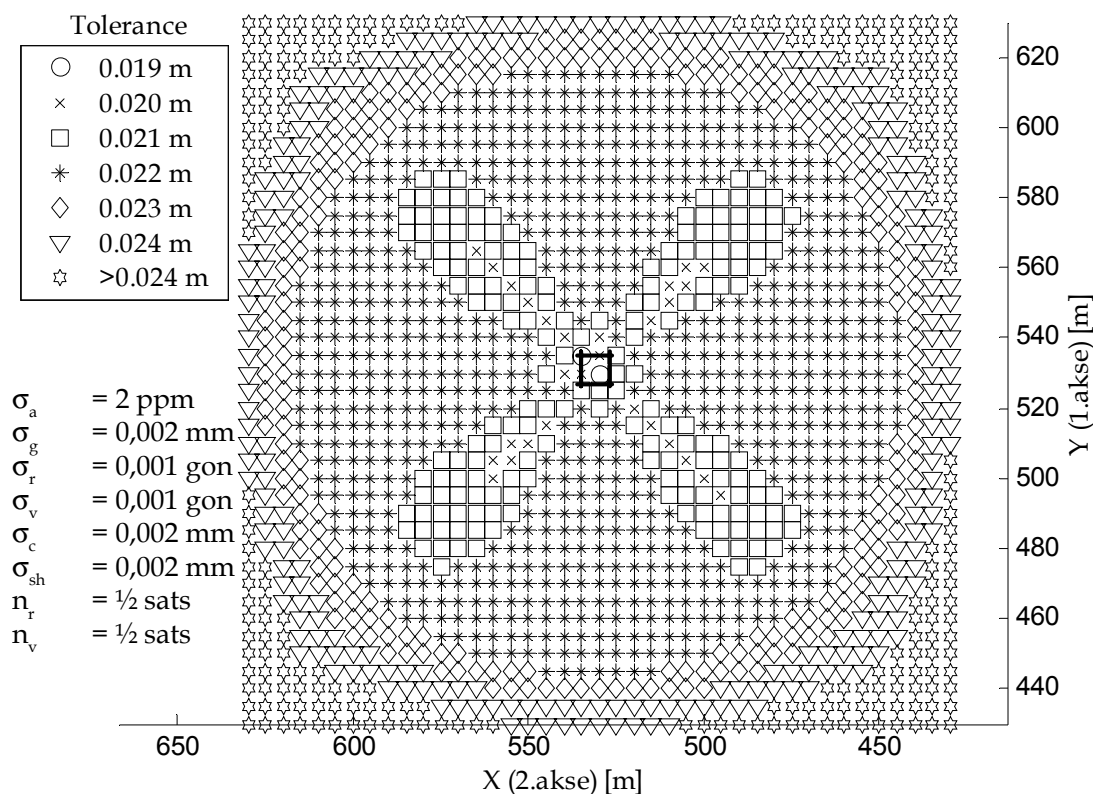
D.3 Parametrenes indflydelse i TestNetHus

Hvorledes resultatet bliver af TestNetHus afhænger meget af værdierne for spredningerne på instrumentet, centrering osv. I det følgende illustreres betydningen af testresultatet, når blot enkelte parametre ændres. Det viser sig, at ændres der blot på en parameter opnåes andre tolerancer, hvilket kan være hensigtsmæssigt eller uhensigtsmæssigt i den givne afsætningssituation.

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

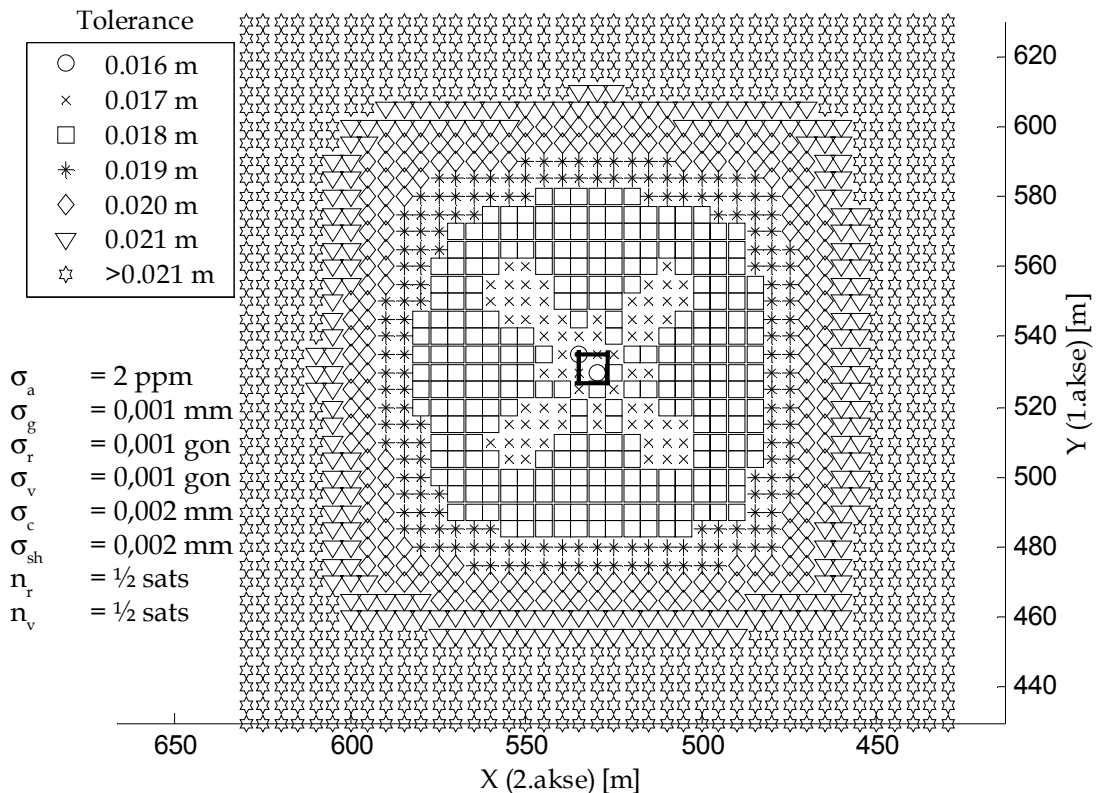
Som udgangspunkt for illustrering af parametrene indflydelse anvendes afsætningspunkter til en kvadratisk bygning, der således er fælles for de følgende figurer. Såfremt der anvendes andre bygningsformer (rektangulære, vinkel), vil der opnåes andre resultater. Der arbejdes med præcision i det følgende, og der tages derfor ikke højde for nøjagtigheden af de kendte punkter.

Figur D.3 viser opstillingspunkterne for afsætning af en kvadratisk bygning, hvor det med signaturer vises, hvorfra givne tolerancer kan overholdes. Figur D.3 viser et firkløver lignende forhold, hvor mindre tolerancer opnåes ved at stå omkring diagonalerne på bygningen, eller helt tæt ved bygningen. Dette skyldes, at konfidensellipserne til de afsatte punkter er ovale ved korte afstande grundet grundfejlen på afstandsmåleren, jf. figur 6.6. Netop det, at konfidensellipserne er ovale samt deres orientering i forhold til det afsatte, har stor betydning for, om en afstand mellem to skæringspunkter kan overholde en given tolerance, hvilket figur D.3 illustrerer. Ved større tolerancer bliver mulighederne for placering af opstillingspunktet cirkulært omkring bygningen, som skal afsættes. Selv på korte afstande i forhold til den afsatte bygning kan der være forskel på, hvilken tolerance afstanden mellem skæringspunkterne kan overholde.



Figur D.3: Opstillingspunkter med angivelse af opnåelig tolerance på afstanden mellem skæringspunkter.

Ved afsætning er sigtelængderne oftest korte, og konfidensellipserne for de afsatte punkter er derfor oftest domineret af spredningen på afstandsmålere, i forhold til spredningen på retningen. På figur D.3 vises et eksempel, hvor grundfejlen på afstandsmåleren er 2 mm. Anvendes der et instrument med en grundfejl på 1 mm, ændrer forholdene sig. På figur D.4 fremgår testnet resultatet, hvor grundfejlen er ændret til 1 mm. På denne måde kan der opnåes andre tolerancekrav i forhold til resultatet på figur D.3, hvilket fremgår af den ændrede skala for tolerancerne. På figur D.3, hvor grundfejlen er 2 mm, fremgår det, at der ikke kan afsættes en bygning med $T = 0,018$ m, mens det med en grundfejl på 1 mm er muligt at afsætte bygningen i en afstand af ca. 50 m. Figur D.4 viser, at det ikke er uvæsentligt, hvilket instrument der anvendes til afsætningsopgaven.

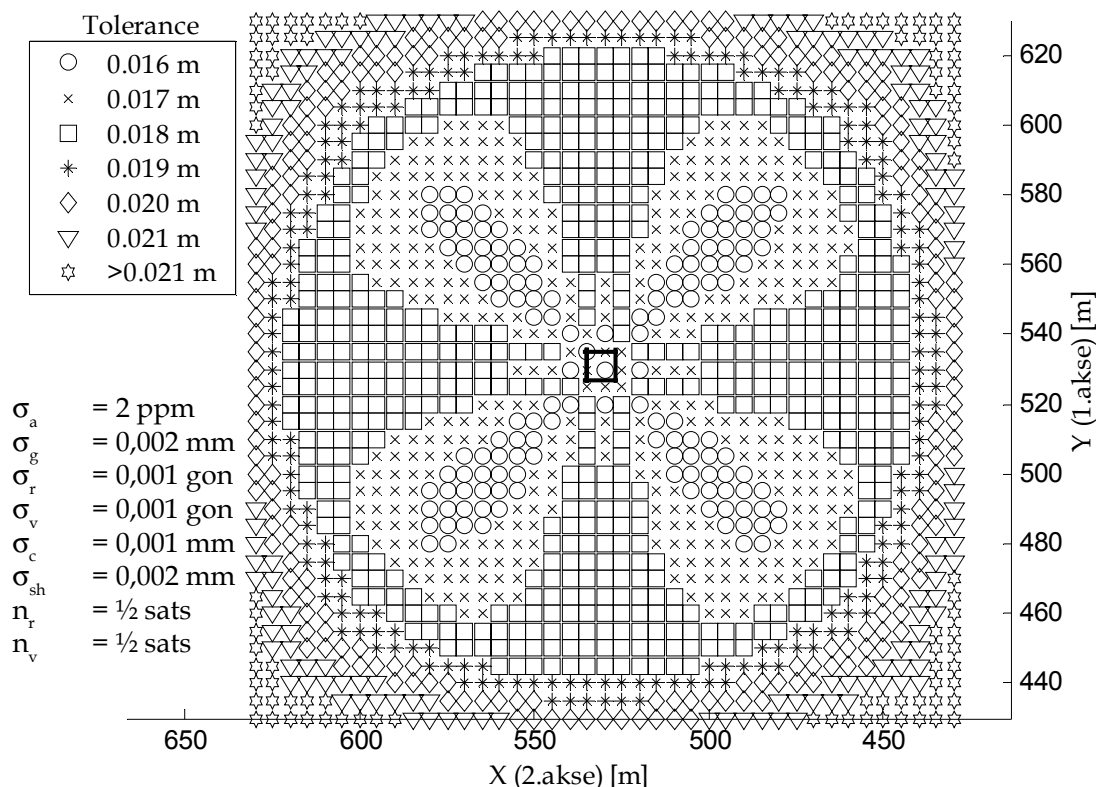


Figur D.4: Opstillingspunkter med angivelse af opnåelig tolerance på afstanden mellem skæringspunkter. Bemærk at grundfejlen på afstandsmåleren er 1 mm, og at toleranceskalaen er ændret i forhold til figur D.3.

Til testberegningerne skal det vides, med hvilken præcision der kan centreres med et prisme altså størrelsen af centreringsspredningen. Oftest estimeres denne størrelse ud fra erfaring. Figur D.5 viser betydningen af størrelsen på centreringsspredningen, hvor centreringsspredningen - modsat figur D.3 - er ændret til 1 mm i stedet for 2 mm. Overordnet er billedet af mulige opstillingspunkter det samme som på figur D.3, men hvilke tolerancekrav der kan opnåes er ændret. Med en centreringsspredning på 1 mm bliver det, i forhold til eksemplet på figur

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

D.3, muligt at afsætte bygningen i en afstand er ca. 75 m, hvor det ikke var muligt før.



Figur D.5: Opstillingspunkter med angivelse af opnåelige tolerancer på afstanden mellem skæringspunkter. Bemærk centreringsspredningen er 1 mm, og at toleranceskalaen er ændret i forhold til figur D.3.

Figur D.3 og D.5 viser, at det kan være svært at vide, hvilken tolerance en afsætning kan overholde, netop fordi centreringsspredningen har afgørende betydning.

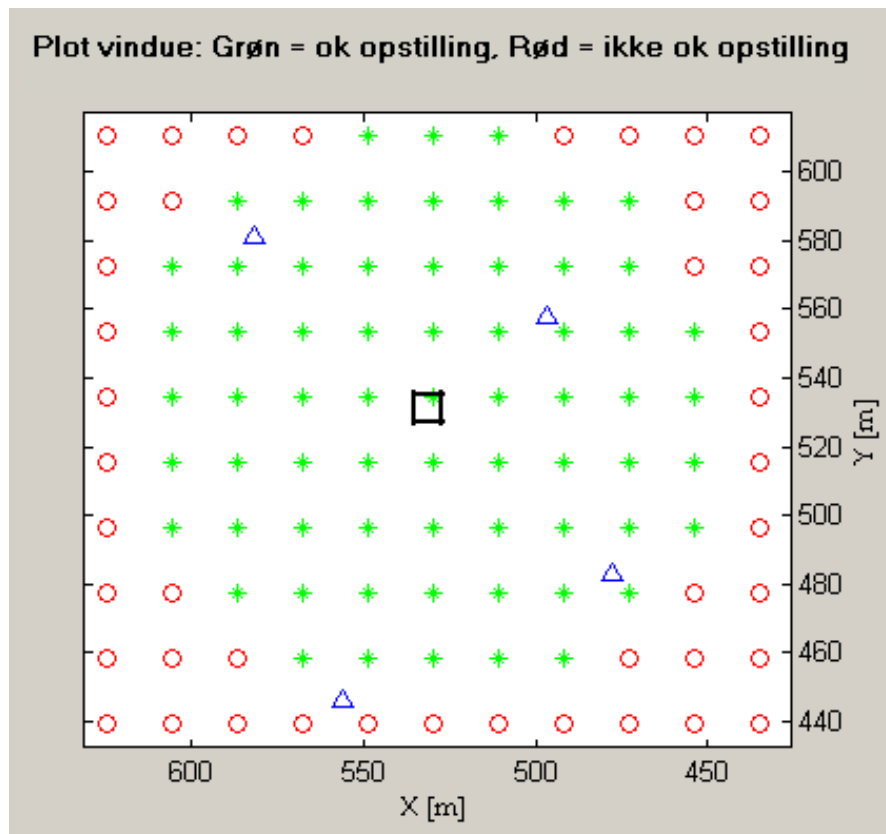
Testberegninger, som det foregående, viser vigtigheden af at kende sit instrument med hensyn til specifikationer, og kvaliteten af det arbejde der udføres (centrering af prisme). Med testberegninger kan det afklares, om et givent instrument kan benyttes til afsætningsopgaven.

D.4 Kendte punkters placering og antal

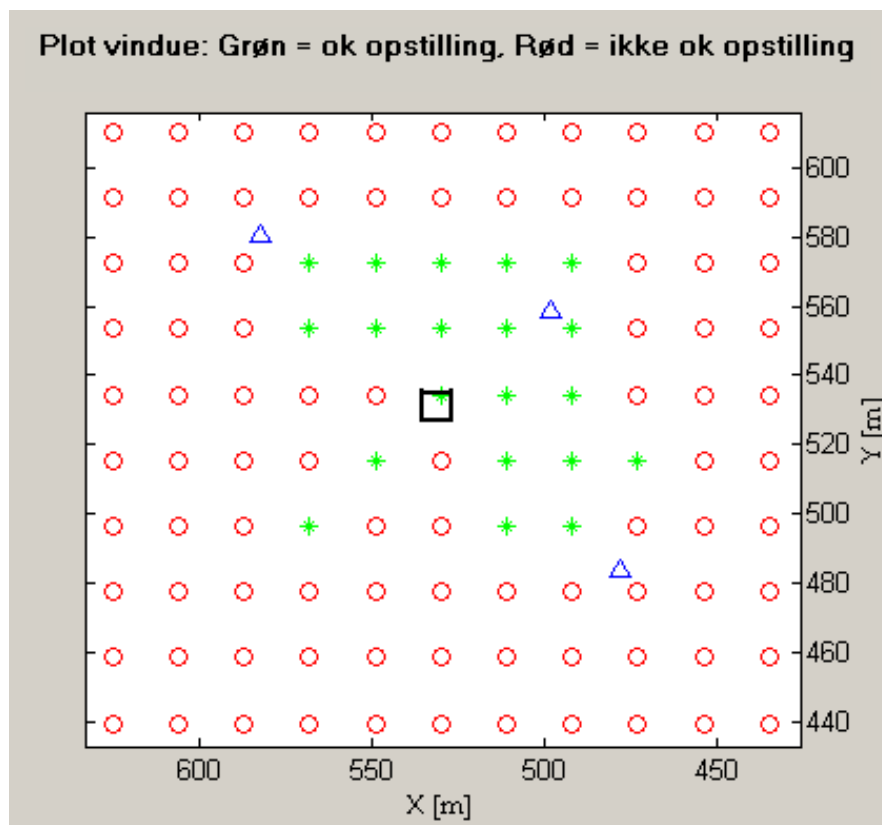
Som skitseret i det foregående afsnit har spredningen på afstandsmåleren og centrering af prismet betydning for resultatet af TestNetHus. I det følgende vises betydningen af placeringen af de kendte punkter samt antallet af dem. Der arbejdes således med nøjagtighed i det følgende, når kendte punkter inddrages.

Alle instrumentspecifikationer samt spredning på prismer har i de følgende figurer samme værdi som oplistet i figur D.3. Spredningen på kendte punkter er 2 mm og der testes på en tolerance på 0,026 m.

Til illustrering af kendte punkters indflydelse på opnåelig tolerance på afstandene mellem skæringspunkterne anvendes samme bygning til afsætning, som under figur D.3-5. Figur D.6 viser testnet forholdene, når der indgår fire kendte punkter. Ved observation til de fire kendte punkter, kan der til afsætning opstilles i op til 70 m fra selve bygningen. Men det er ikke sikkert, at forholdene i marken er ligesom det opstilles i testberegningerne. Figur D.7 viser forholdene, hvis der kun observeres til tre af de kendte punkter. Fra figur D.6 til figur D.7 fremgår en klar begrænsning af mulige opstillingspunkter til afsætning. Der bør derfor være overensstemmelse mellem anvendte kendte punkter til testberegninger og forholdene i marken.



Figur D.6: Screenshot fra TestNetHus med illustration af mulige opstillingspunkter ved observation til fire kendte punkter. Spredningerne på de kendte punkter er 0,002 m, og tolerancen er 0,026 m.



Figur D.7: Screendump fra TestNetHus med illustration af mulige opstillingspunkter ved observation til tre kendte punkter. Spredningerne på de kendte punkter er 0,002 m, og tolerancen er 0,026 m.

E

BAKK

Formålet med dette bilag er at forklare BAKK (BygningsAfsætning - Kvalitetskontrol), som er det udviklede program til udførelse af afsætning, kontrolmåling og efterfølgende vurdering af en bygningsafsætning. I dette bilag forklares den overordnede proces for BAKK, hvorefter delprocesser uddybes. Efterfølgende beskrives filstrukturen, som skal anvendes til BAKK, og som BAKK producerer. Herefter beskrives BAKK's brugergrænseflade og funktionalitet. Endelig beskrives punktnummerstrategien, samt hvilke tekniske betingelser der skal være til stede for at anvende BAKK til brug for en praktisk afsætning. Hvis det ønskes at afprøve BAKK uden disse tekniske betingelser beskrives slutteligt, hvorledes det er muligt at afprøve BAKK til demonstrationsformål.

E.1 Proces for BAKK

Den overordnede proces for BAKK er illustreret i oversigtsdiagrammet, jf. figur E.1. Her fremgår det, at BAKK overordnet er opdelt i tre delprocesser:

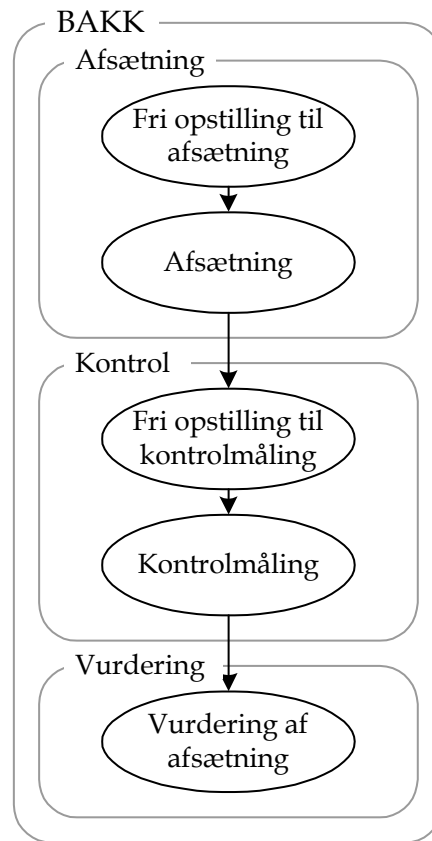
- afsætning
- kontrol
- vurdering

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

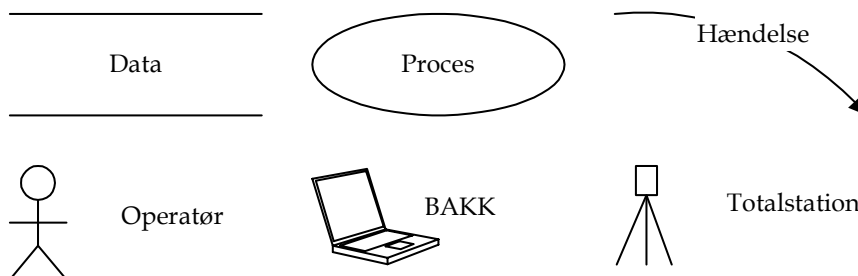
For at gennemføre en total bygningsafsætning med BAKK skal disse tre delprocesser gennemgås. Afsætning er en delproces, hvor der først etableres en fri opstilling, som bestemmes på baggrund af observationer til kendte punkter. Efterfølgende foretages selve afsætningen, hvor modullinierne repræsenteret ved designkoordinater bliver afsat på galger (afsætningspunkter) fysisk i marken. Anden delproces er kontrol. Denne delproces indebærer etablering af en ny fri opstilling, som igen bestemmes på baggrund af observationer til kendte punkter. Efterfølgende foretages en kontrolopmåling af afsætningspunkterne på galgerne. Sidste delproces er vurdering. Her foretages en sammenligning af designkoordinater med de koordinater, som afsætningspunkterne har ved kontrolmålingen. Endvidere udregnes afstande mellem modullinierne, der sammenlignes med afstande udregnet på baggrund af designværdier. Slutteligt udregnes hvilket tolerancekrav de afsatte afstande kan overholde.

Efter udførelse af disse tre delprocesser er den pågældende bygning afsat (ved modullinier), kontrolmålt og vurderet. Herefter er det op til landinspektøren at afgøre, om bygningsafsætningen er forløbet tilfredsstillende på baggrund af de vurderingsstørrelser, som BAKK producerer.

I de næste tre afsnit forklares de tre delprocesser mere detaljeret ved hjælp af flowdiagrammer, jf. *Struktureret Analyse* [Frederiksen, 2000, s. 39-50]. I disse flowdiagrammer benyttes forskellige symboler, jf. figur E.2.



Figur E.1: Oversigtsdiagram for processen bygningsafsætning med BAKK.



Figur E.2: Symboler anvendt i flowdiagrammer.

Data: Data repræsenterer datalagre - steder hvor data er eller bliver lagret. Eksempler på dette er filer indeholdende koordinater til kendte punkter og filer eller matricer indeholdende koordinater til afsatte punkter.

Proces: En proces er en funktion, som enten BAKK, operatøren eller totalstationen udfører. Et eksempel på dette kan være, at totalstationen udfører observation til et kendt punkt.

Hændelse: En hændelse er når der skal „ske noget“. I flowdiagrammerne vises disse udelukkende, når operatøren skal foretage sig noget i forhold til systemet. Et eksempel på en hændelse er, at operatøren skal indtaste punktnummer inden der foretages observationer til kendte punkter. Endvidere er en hændelse, når operatøren skal foretage en beslutning på baggrund af vurderingsstørrelser leveret af BAKK.

Operatør: Symbolet for operatøren angiver, at det er operatøren, der skal igangsætte en hændelse eller en proces. Et eksempel kan være, at operatøren (landinspektøren) skal foretage en vurdering af, om en fri opstilling er bestemt tilfredsstillende eller beslutte, om der skal foretages yderligere observationer til kendte punkter.

BAKK: Symbolet for programmet BAKK er en bærbar PC. Dette skyldes at BAKK er placeret på en bærbar PC, som medbringes i marken. Dette symbol angiver, at det er programmet BAKK, der udfører en proces. Et eksempel på dette er, at BAKK udfører processen med at beregne den frie opstilling og fremstiller dokumentation for denne. Endvidere er data altid placeret på den bærbare PC.

Totalstation: Dette symbol angiver, at det er totalstationen, der udfører en proces. Et eksempel er, at totalstationen foretager observationer til kendte punkter, afsatte punkter osv.

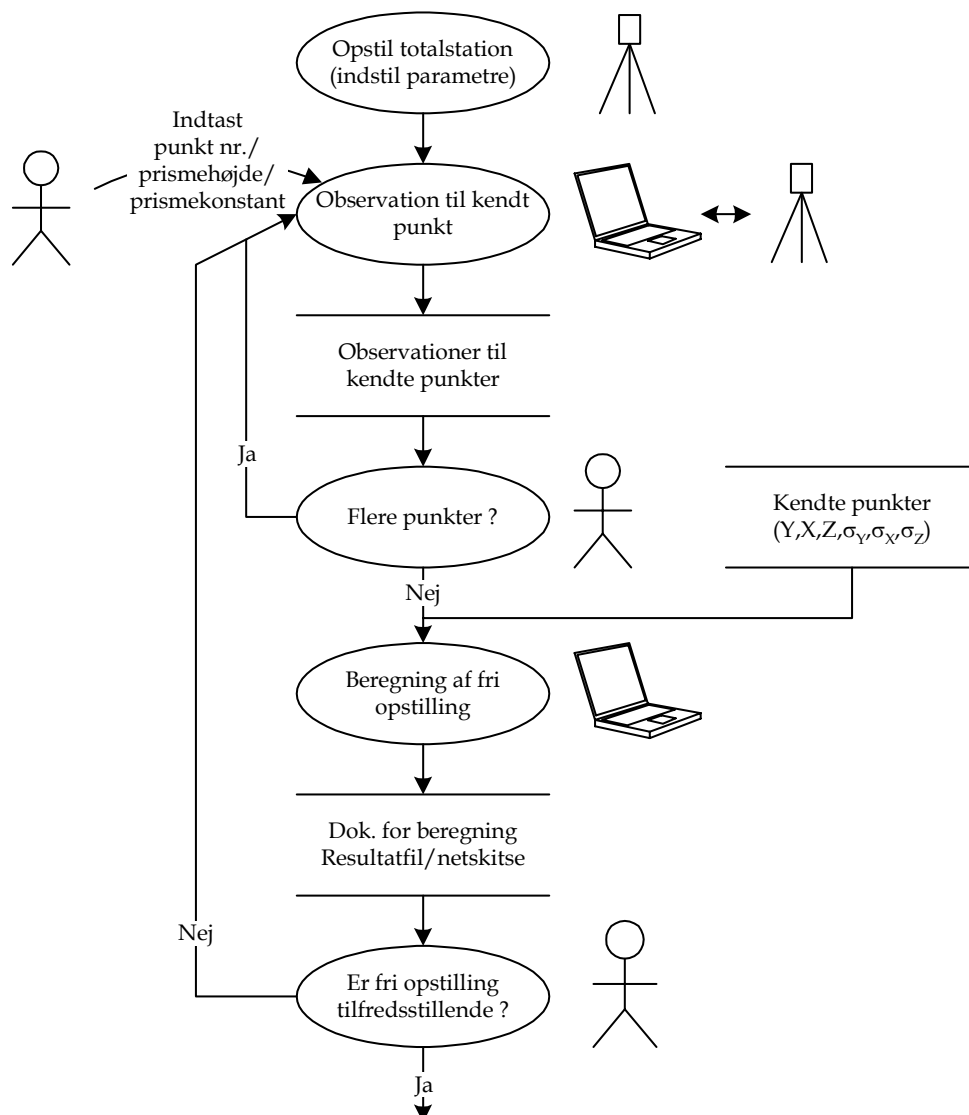
E.1.1 Delprocessen afsætning i BAKK

Delprocessen afsætning i BAKK er opdelt i to. Først bestemmes opstillingspunktets koordinater og dets kredselement ved „Fri opstilling til afsætning“. Efterfølgende udføres selve afsætningen af modullinier repræsenteret ved afsatte punkter på galger.

Fri opstilling til afsætning

Hvorledes fri opstilling til afsætning udføres med BAKK illustreres i flowdiagrammet, jf. figur E.3.

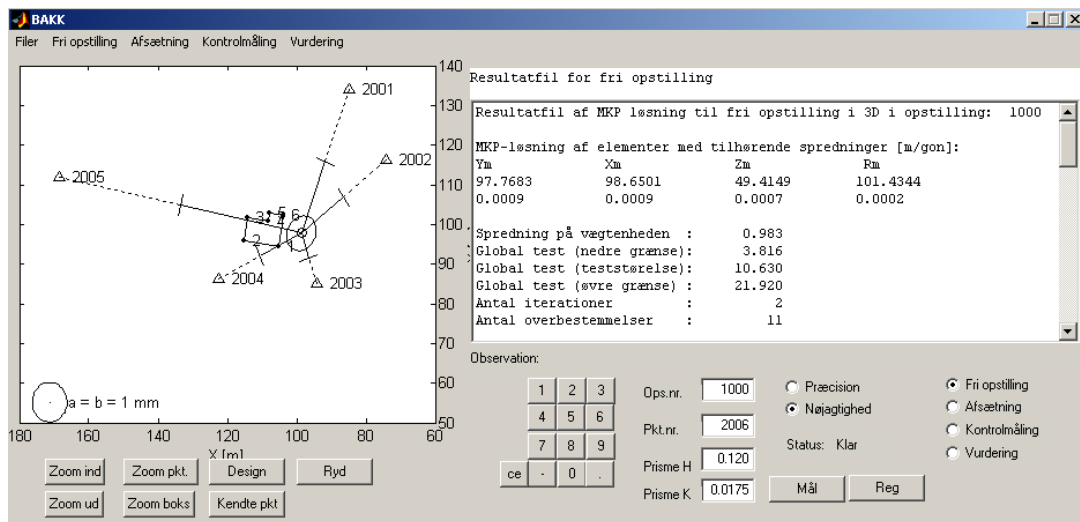
Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol



Figur E.3: Flowdiagram for fri opstilling i delprocessen afsætning.

Først opstilles totalstationen og forbindes med den bærbare PC, hvorpå BAKK er installeret. Til bestemmelse af opstillingspunktets koordinater og dets kredselement ved en fri opstilling foretages der observationer (skrå afstand, horisontalretning, zenitdistance) til de kendte punkter. Fra BAKK (PC) udføres en forespørgsel gennem en seriel port via ascii-formatet i GeoCom til totalstationen om udførelse af observation til prismet. Retursvaret til BAKK fra totalstationen i ascii-format er den skrå afstand (korrigeret for tryk og temperatur), horisontalretningen og zenitdistancen til prismet. Ved denne proces indtaster operatøren punktnummer, prismehøjde og evt. prismekonstant i BAKK. Hvis observationerne til det enkelte punkt er tilfredsstillende registreres disse og lagres i en observationsfil (*.obs). Efter der er udført observationer til alle de ønskede kendte punkter foretages en beregning (udjævning) af opstillingspunktets koordinater og kredselement. Herefter genereres en resultatfil (*.res) som dokumentation for

den frie opstilling. Samtidig vises for operatøren en grafisk netskitse indeholdende konfidensellipse for opstillingspunktet. Denne netskitse udtegnes i sort, hvis de normaliserede residualer til observationerne er mindre end 3. Hvis nogle af de normaliserede residualer er større end 3, udtegnes den tilsvarende observation som rød. På grundlag af resultatfilen og den grafiske netskitse, jf. figur E.4, kan operatøren vurdere om den frie opstilling er bestemt tilfredsstillende.



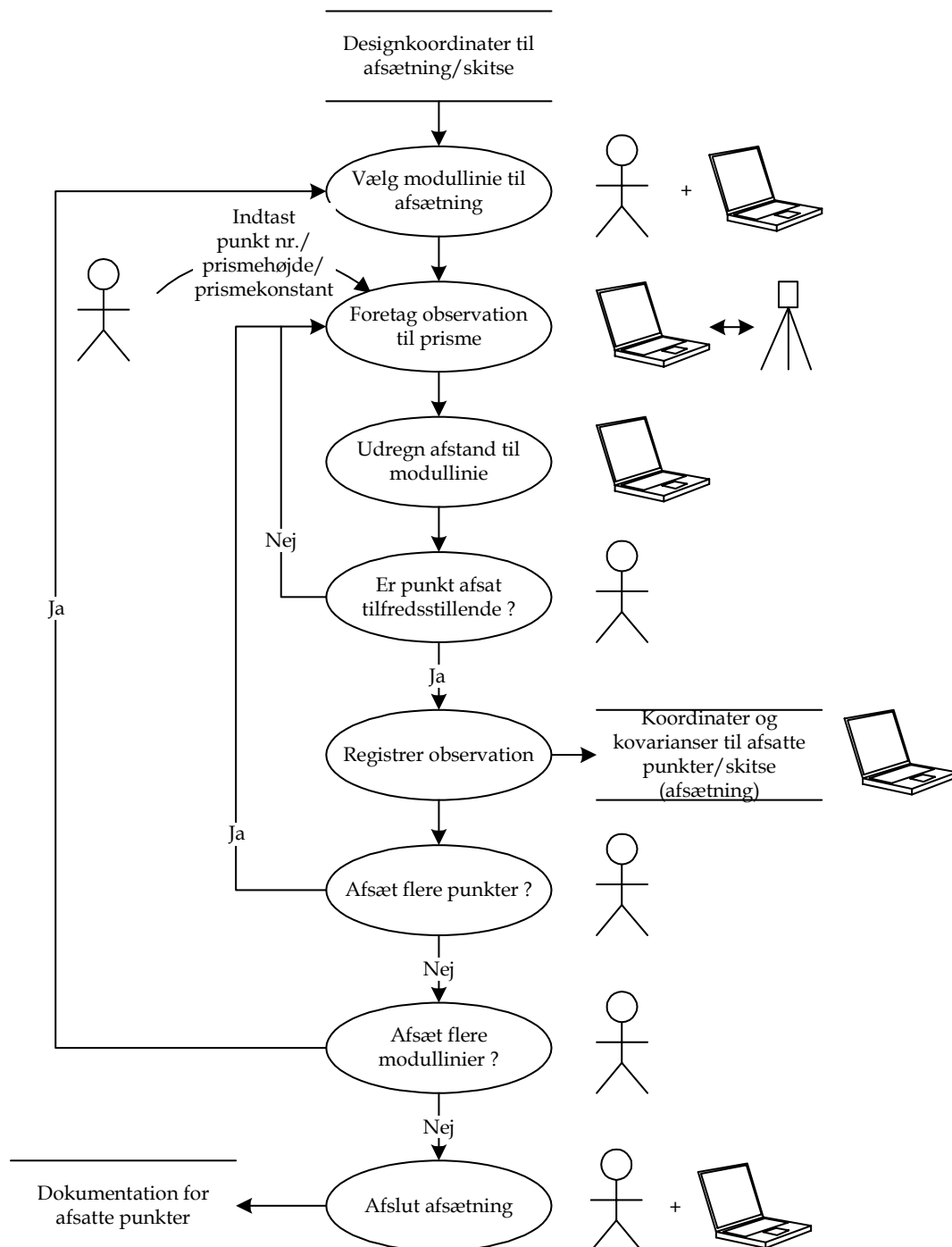
Figur E.4: Screenshot fra BAKK med netskitse og resultatfil til vurdering af den frie opstilling.

Afsætning

Hvorledes afsætning udføres med BAKK illustreres i flowdiagrammet, jf. figur E.5.

Afsætningen af modulliner i planen foregår ud fra et sæt designkoordinater, der definerer modullinierne. Endvidere forudsættes den frie opstilling bestemt, som beskrevet i foregående afsnit. Designfilen (*.des) indeholdende designkoordinater kan inden selve afsætningen vises grafisk for operatøren. For at afsætte en modullinie skal operatøren vælge, hvilken modullinie der ønskes afsat. Dette gøres i det grafiske vindue ved, at operatøren udpeger de to punkter, som udgør modullinien. Herefter foretages en observation med totalstationen. Denne observation resulterer i, at BAKK udregner og viser den vinkelrette afstand fra punktet, der er udført en observation til, og til modullinien, som ønskes afsat. Endvidere vises punktet grafisk i grafikvinduet, således at operatøren kan overskue punktets placering i forhold til det, som skal afsættes. Punktet vises enten med rødt eller grønt afhængigt af afstanden til modullinien. Hvis afstanden til modullinien er mindre end den opstillede fejlgrænse, accepterer operatøren det afsatte punkt og dette afmærkes. Fejlgrænsen er givet ved $3 \times$ spredningen på punktet vinkelret på modullinien, jf. 7.3.1 *Vurderingsstørrelser under afsætning*. Efter at punktet er afmærket, udføres endnu en observation til det afsatte punkt. Hvis også dette punkts placering er tilfredsstillende, registreres det afsatte punkts koordina-

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

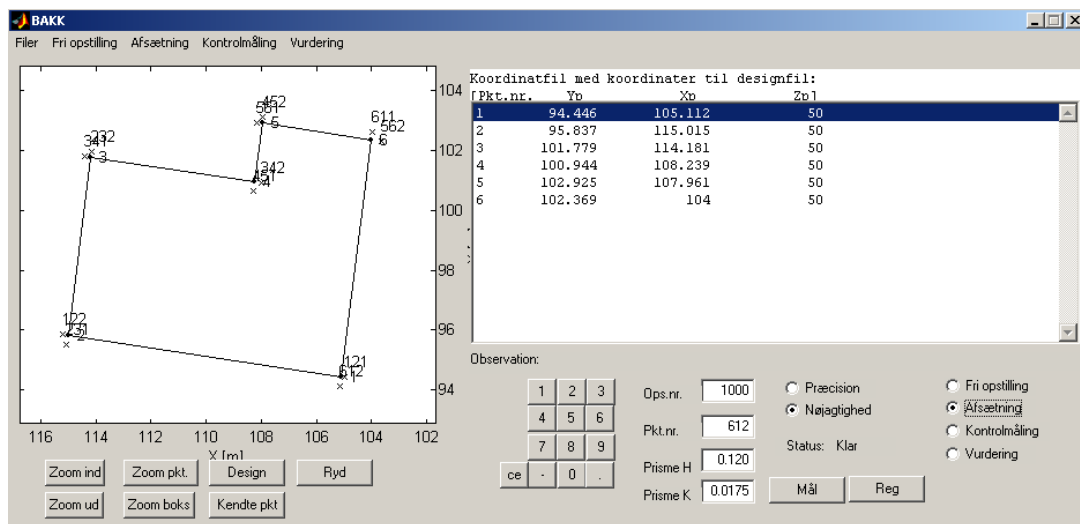


Figur E.5: Flowdiagram for afsætning i delprocessen afsætning.

ter og kovarianser. Herefter kan der udføres endnu en afsætning af det andet punkt, der udgør modullinien, eller det kan vælges at afsætte en ny modullinie. Efter at modullinierne er afsat afsluttes afsætningen. Ved afslutningen genereres en dokumentationsfil for afsætningen (*.afs) indeholdende for hvert punkt, der er afsat, et punktnummer, koordinater, afstand vinkelret til modullinen defi-

neret ved designkoordinater, spredning i punktet vinkelret på modullinien og en status for om punktet er afsat tilfredsstillende.

Under hele afsætningen kan operatøren følge med i afsætningen visuelt i grafikvinduet. I figur E.6 fremgår et screendump fra BAKK, som viser en bygning, der skal afsættes, samt hvilke punkter (krydsr) der er blevet afsat.



Figur E.6: Screendump fra BAKK hvor det i grafikvinduet fremgår, hvorledes afsætningen (ud fra designkoordinater) ser ud, samt hvilke punkter der er blevet afsat. Der er selvfølgelig mulighed for udførelse af zoom til det ønskede niveau i grafikvinduet.

E.1.2 Delprocessen kontrol i BAKK

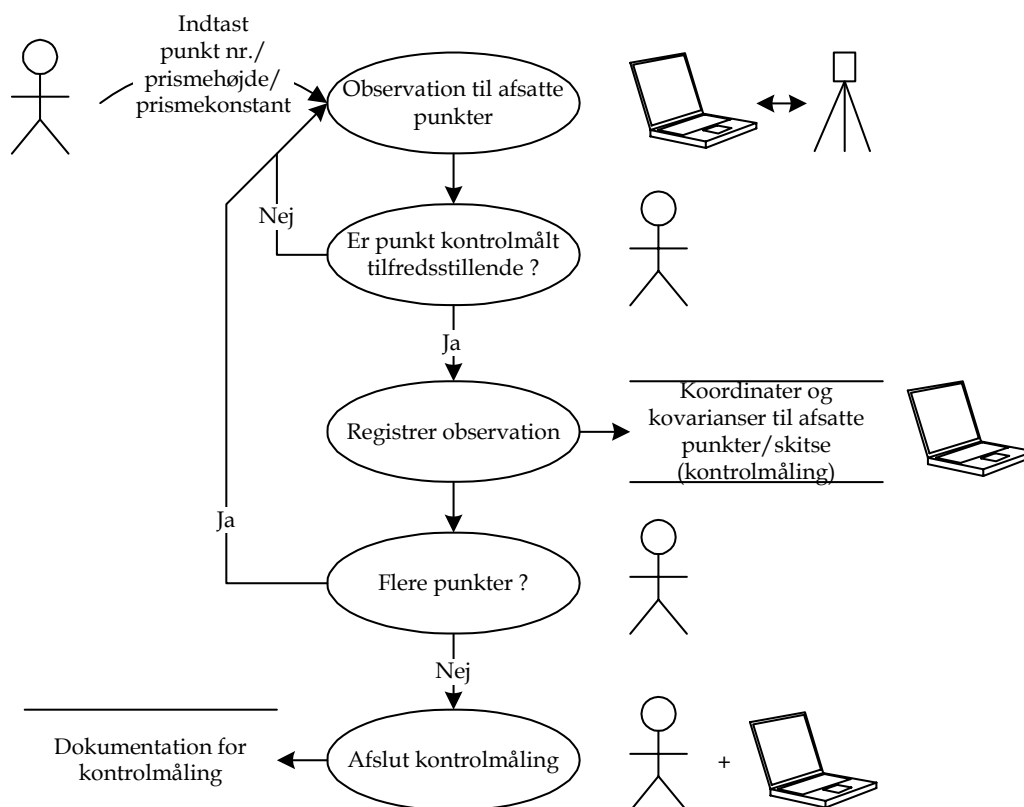
Delprocessen kontrol i BAKK er opdelt i to. Først bestemmes opstillingspunktets koordinater og dets kredselement ved „Fri opstilling til kontrol“. Efterfølgende udføres selve kontrolmålingen af de afsatte punkter. Hvis kontrollen skal udføres som Kontrol 3, jf. 7.2 *Kontrolmetoder*, skal totalstationen flyttes inden kontrolmålingen foretages.

Fri opstilling til kontrolmåling

Den frie opstilling til kontrolmåling bestemmes ved samme fremgangsmåde og samme beregningsmetode som ved bestemmelsen af den frie opstilling til afsætning, jf. figur E.3. I BAKK benyttes de samme funktioner som ved bestemmelsen af den frie opstilling til afsætningen. Dog skal det nævnes, at der i BAKK er en funktion, der sletter de observationer, som måtte være lagret i BAKK fra tidligere bestemmelser af andre opstillingspunkter.

Kontrolmåling

Hvorledes kontrolmåling udføres med BAKK illustreres i flowdiagrammet, jf. figur E.7.

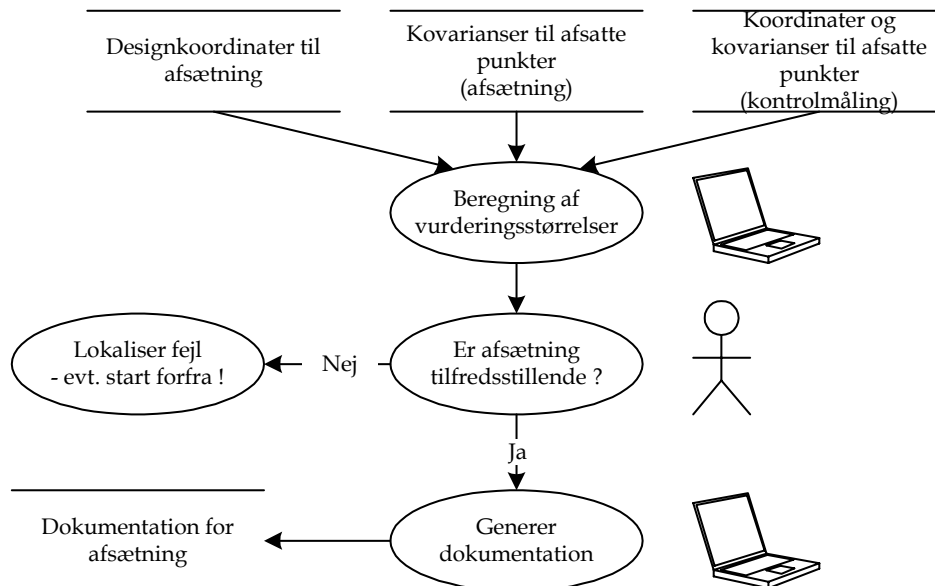


Figur E.7: Flowdiagram for kontrolmåling i delprocessen kontrol.

Kontrolmåling af de afsatte punkter foregår ved, at der foretages observationer til de afsatte punkter. Hvis operatøren er tilfreds med observationen til et afsat punkt, registreres denne, og koordinater samt kovarianser til de kontrolmålte punkter lagres. Når der observeres til et punkt, bliver punktet grafisk vist i grafikvinduet med en firkant som symbol. Denne grafiske funktion har det formål, at operatøren løbende kan følge med i kontrolmålingen. Således kan operatøren hele tiden vurdere, om punkterne, der kontrolmåles, er sammenfaldende med de afsatte punkter, og om alle punkter, der er afsat også er kontrolmålt. Efter at alle afsatte punkter er kontrolmålt, afsluttes kontrolmålingen, hvor der genereres dokumentation (*.kon) for kontrolmålingen. Denne dokumentation indeholder for hvert kontrolmålt punkt et punktnummer med tilhørende koordinater.

E.1.3 Delprocessen vurdering i BAKK

Delprocessen vurdering er den sidste delproces i bygningsafsætningsprocessen i BAKK. Hvorledes vurderingen udføres i BAKK illustreres i flowdiagrammet, jf. figur E.8.



Figur E.8: Flowdiagram for delprocessen vurdering.

Igennem de tidligere processer af bygningsafsætningsprocessen med BAKK er der lagret følgende informationer, som skal indgå i vurderingen:

- designkoordinater til afsætning
- kovarianser til afsatte punkter bestemt ved afsætningen
- koordinater og kovarianser til afsatte punkter bestemt ved kontrolmålingen

I BAKK beregnes til vurdering:

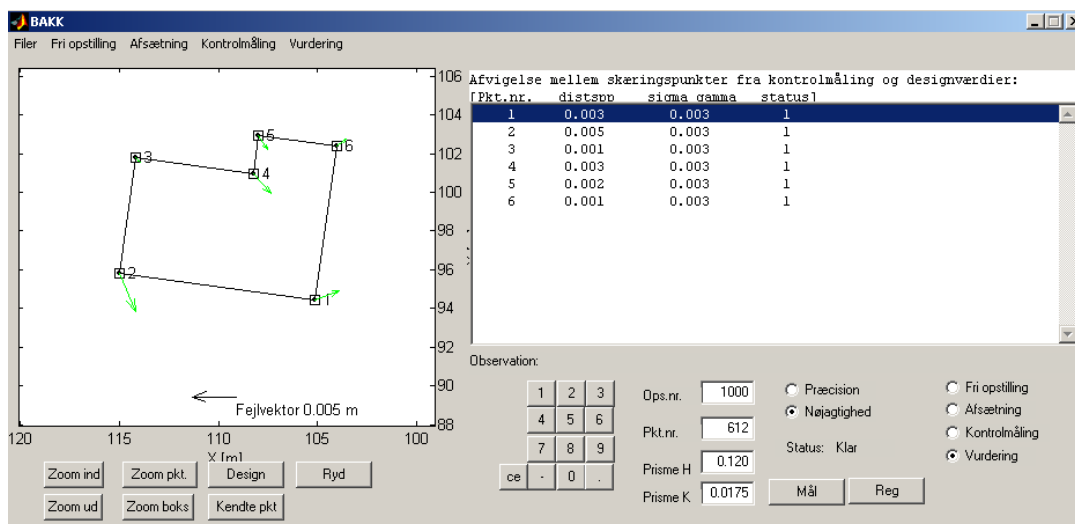
- afvigelse mellem designkoordinater og koordinater til skæringspunkter bestemt ved kontrolmålingen
- fejlgrænse for afvigelse ved skæringspunkter
- afvigelse på afstande mellem designkoordinater og afstande mellem skæringspunkter bestemt ved kontrolmåling
- fejlgrænse for afvigelse på afstande

Endvidere bestemmes en status til henholdsvis afvigelse ved skæringspunkter og afstandene. Denne status afhænger af, om afvigelserne ved skæringspunkterne er mindre end fejlgrænsen for koordinatforskelle, og om forskellen på afstande ligger indenfor fejlgrænsen for forskel på afstande. Endelig bestemmes, hvilken tolerance den enkelte afstand mellem modullinierne har. Den største af disse tolerancer angiver, hvilken tolerance hele afsætningen kan overholde. Tolerancen udregnes på baggrund af spredningen på afstanden. Yderligere om disse

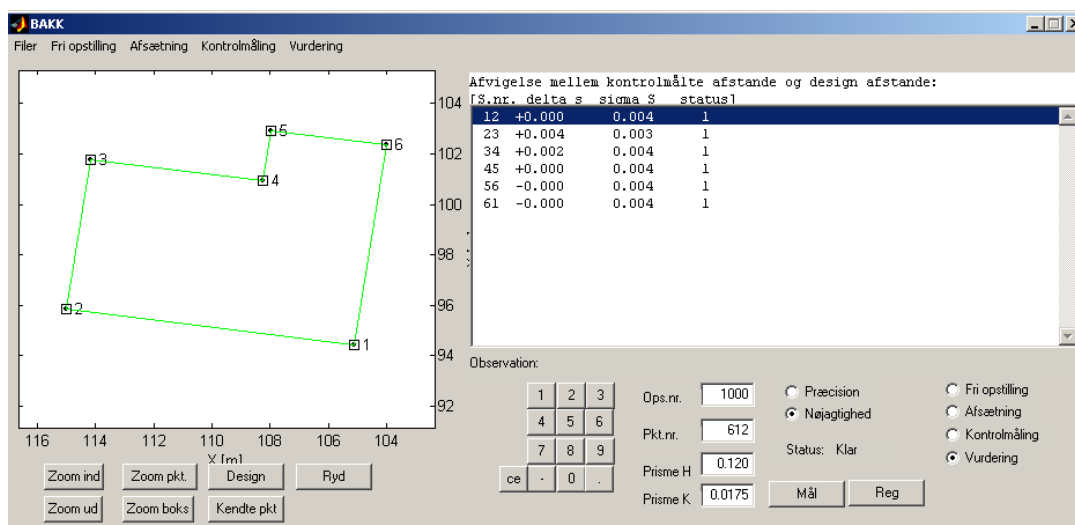
Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

beregninger, jf. 7.3.2 *Vurderingsstørrelser ved kontrolmåling* og III.2 *Kontrol ved kontrolmåling*.

Beregningerne i BAKK kan endvidere præsenteres grafisk. Koordinatforskellene vises med fejlvektorer, jf. figur E.9. Fejlvektorerne vises enten som grønne eller som røde afhængigt af, om den pågældende afvigelse ved skæringspunktet er mindre end fejlgrænsen eller ej. Afvigelser på afstande mellem modullinierne bestemt ved designværdier og afstande mellem modullinier bestemt ved kontrolmålingen vises også grafisk. Her vises ligeledes afstandene som enten grønne eller røde afhængigt af, om den pågældende afvigelse på afstanden ligger indenfor fejlgrænsen eller ej, jf. figur E.10



Figur E.9: Screendump fra BAKK hvor det i grafikvinduet er visualiseret med fejlvektorer, hvorledes skæringspunkterne fra kontrolmålingen afviger fra designkoordinaterne. Den grønne farve symboliserer, at afvigelserne er acceptable.



Figur E.10: Screendump fra BAKK hvor det i grafikvinduet fremgår, om afvigelserne på afstandene ud fra designværdier og kontrolmålingen er acceptable.

E.2 Filstruktur for BAKK

I dette afsnit redegøres for de forskellige filer/datalagre, som BAKK benytter som input og producerer som output. Der skal gøres opmærksom på, at alle filer tilhørende BAKK kan åbnes og editeres i en teksteditor.

Input filer til BAKK er:

- Specifikationsfil (*.spe)
- Koordinatfil til kendte punkter (*.koo)
- Designfil til afsætning (*.des)

Specifikationsfilen indeholder oplysninger om instrumentspecifikationer, diverse spredninger samt enkelte konstanter. Et eksempel på en specifikationsfil fremgår af bilag A [:\Bilag\E\spec_TC1105BAKK.spe]. Koordinatfilen til de kendte punkter indeholder punktnummer og koordinater til de kendte punkter i tre dimensioner (Y,X,Z) med tilhørende spredninger. Et eksempel på en koordinatfil til kendte punkter fremgår af bilag A [:\Bilag\E\fibiger.koo]. Designfilen til afsætningen indeholder designkoordinater. En designfil indeholder punktnummer til designkoordinaterne samt deres koordinater, et eksempel på en designfil fremgår af bilag A [:\Bilag\E\fibi10b.des].

Output filer fra BAKK er:

- Observationsfil til kendte punkter til bestemmelse af den frie opstilling („opstillingspunkt“.obs)
- Resultatfil fra bestemmelsen af den frie opstilling („opstillingspunkt“.res)
- Dokumentationsfil for afsætning („opstillingspunkt“.afs)
- Dokumentationsfil for kontrolmåling („opstillingspunkt“.kon)
- Dokumentationsfil for vurdering af afsætning (*.dok)

Observationsfilen til de kendte punkter fra den frie opstilling indeholder punktnummer, skrå afstand (korrigeret for tryk og temperatur), horisontalretning, zenitdistance og prismehøjden til hvert kendt punkt. Et eksempel fremgår af bilag A [:\Bilag\E\1000.obs]. Den tilhørende resultatfil til den frie opstilling indeholder de i kapitel 5 omtalte vurderingsstørrelser, jf. 5.4 *Vurdering vedrørende fri opstilling*. Et eksempel på en resultatfil fremgår af bilag A [:\Bilag\E\1000.res]. Disse to filer bliver der i bygningsafsætningsprocessen med BAKK fremstillet to af, en til hver fri opstilling (fri opstilling til afsætning og fri opstilling til kontrolmåling). Dokumentationsfilen for afsætningen indeholder for de afsatte punkter et punktnummer, koordinater (Y_p, X_p, Z_p), afstand til modullinien bestemt ved designkoordinater ($dist_{pl}$), spredning i punktet vinkelret på modullinien (σ_w) og en status for om punktet er afsat tilfredsstillende. Et eksempel på en sådan fil fremgår af bilag A [:\Bilag\E\1000.afs]. Dokumentationsfilen for kontrolmålingen indeholder punktnummer til de kontrolmålte punkter samt deres ko-

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

ordinater. Et eksempel på en dokumentationsfil for kontrolmålingen fremgår af bilag A [:\bilag\E\1001.kon]. Endelig fremstilles en dokumentationsfil for vurderingen af afsætningen. Et eksempel på en sådan fil fremgår af figur E.11 og bilag A [:\Bilag\E\10001001.dok].

Endvidere er det muligt at producere to ekstra filer med BAKK, disse er:

- Afsætningsfil („opstillingspunkt“.afv)
- Kontrolmålingsfil („opstillingspunkt“.kov)

Disse to filer fremstilles hovedsageligt til demonstrationsformål til brug ved beregning af vurderingen af afsætningen. Men er også hensigtsmæssige at kunne generere, hvis det ikke er muligt at udføre hele bygningsafsætningsprocessen samme dag. Således at afsætningen foregår en dag og kontrolmålingen en anden dag. Afsætningsfilen indeholder for hvert afsat punkt et punktnummer, koordinater samt kovarianser. Indholdet af kontrolmålingsfilen er det samme. Eksempler på disse filer fremgår af bilag A [:\Bilag\E\1000.afv og 1001.kov].

```
Dokumentation for afsætning af modullinier -
herunder skæringspunkter og afstande mellem
modullinier

Skæringspunkter:
Pkt.nr.  Dist spp  sigma_gamma  status_spp
  1      0.0030   0.0027       1
  2      0.0049   0.0025       1
  3      0.0008   0.0027       1
  4      0.0030   0.0025       1
  5      0.0019   0.0027       1
  6      0.0014   0.0027       1
NB !: Forhold vedr. skæringspunkter er kun relevant
i forbindelse med nøjagtigheden af afsætningen

Afstande mellem modullinier:
Snr.      Delta_S  sigma_S      status_S
  12      0.0001   0.0041       1
  23      0.0037   0.0034       1
  34      0.0017   0.0037       1
  45      0.0004   0.0039       1
  56     -0.0002   0.0036       1
  61     -0.0005   0.0039       1

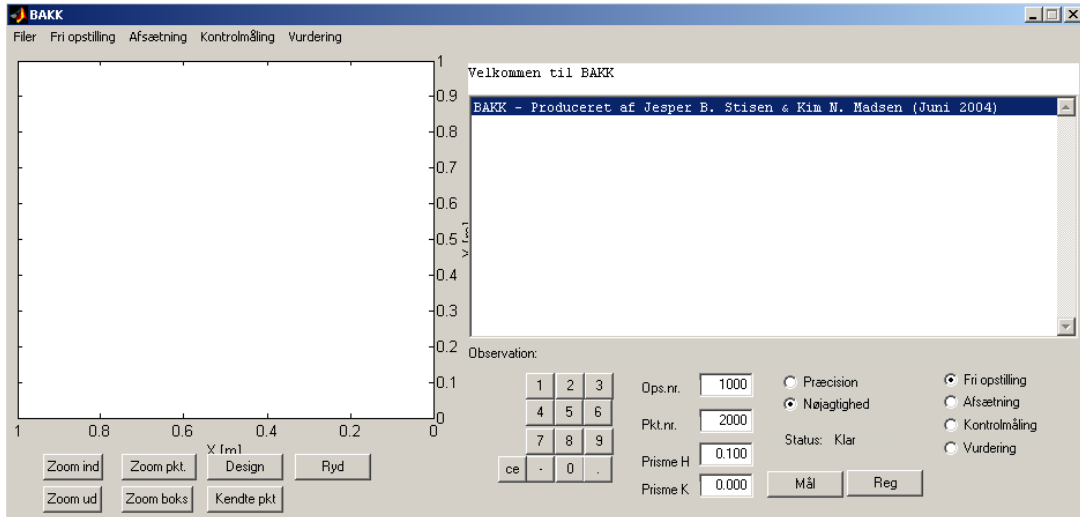
Tolerance forhold vedrørende afsætning:
Snr.      sigma_S_afs  Tolerance
  12      0.0030      0.0182
  23      0.0019      0.0115
  34      0.0030      0.0181
  45      0.0020      0.0119
  56      0.0030      0.0180
  61      0.0025      0.0152

Såfremt status for afvigelser er 1,
vil afsætningen overholde en tolerance på: 0.018 m
```

Figur E.11: Dokumentationsfil fra vurdering af afsætningen.

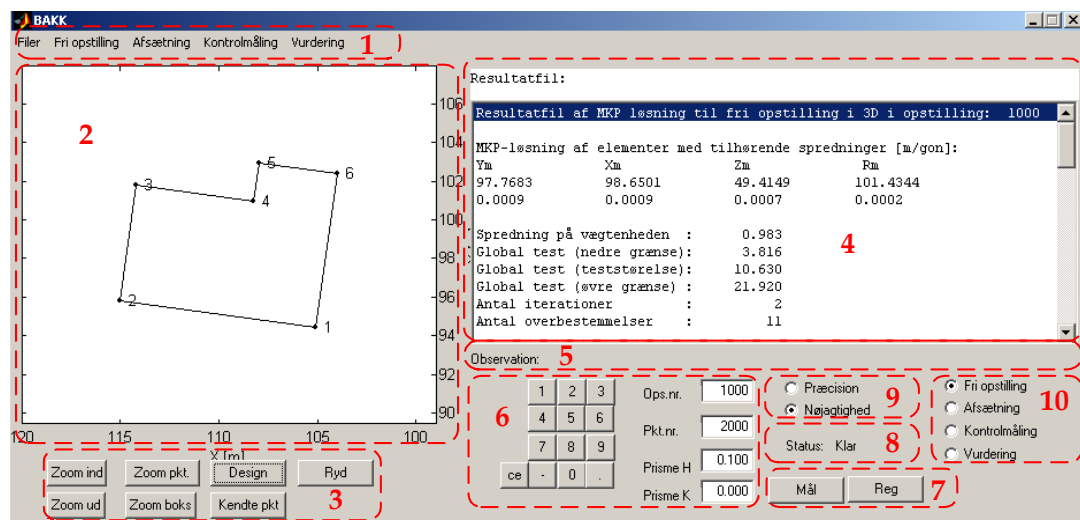
E.3 Brugergrænseflade og funktionalitet i BAKK

Brugergrænsefladen i BAKK efter opstart fra MatLab fremgår af figur E.12.



Figur E.12: Screenshot fra opstart af BAKK.

Forklaring af brugergrænsefladen og funktionaliteten af BAKK tager udgangspunkt i figur E.13. Tallene fremhævet med fed i det følgende henviser til tallene i figur E.13.



Figur E.13: Screenshot til forklaring af funktionaliteten og brugergrænsefladen af BAKK.

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

1) Øverst i brugergrænsefladen er en række menuer, som afspejler bygningsafsætningsprocessen. Ved at gennemgå samtlige menuer er bygningsafsætningsprocessen gennemført. Rækkefølgen og funktionaliteten af menuerne er forklaret tidligere, jf. E.1 *Proces for BAKK*. Menuerne fremgår af figur E.14. Undermenuerne, der er placeret under stregerne, er udelukkende til brug for demonstration af BAKK, jf. E.6 *Demonstration af BAKK*. Menuen „Filer“ indgår ikke i bygningsafsætningsprocessen. Denne menu benyttes til at indlæse og vise input filer.

Filer	Fri opstilling	Afsætning	Kontr	Afsætning	Kontrolmåling	Vurdering	Kontrolmåling	Vurdering	Vurdering
Hent Specifikationsfil	Beregning af Fri opstilling	Vis Designfil	Vis punkter til kontrolmåling	Hent afsætningsfil	Vis Resultatfil	Afset modullinie	Vælg punkt til kontrolmåling	Hent kontrolfil	Hent afsætningsfil
Hent Designfil	Vis observationer	Afslut afsætning	Afslut kontrolmåling	Beregning af vurdering	Vis netskitse	Vis afsætning	Afslut kontrolmåling	Afvigelse på skæringspunkter	Beregning af vurdering
Vis Specifikationsfil	Slet observationer	Gem afsætningsfil til vurdering	Vis kontrolmåling	Afvigelse på afstande	Vis Koordinatfil	Gem afsætningsfil til vurdering	Vis kontrolfil til vurdering	Tolerance forhold	Generer dokumentation
Vis Designfil	Hent observationer fra fil	Vis afsætning fra fil	Vis kontrolmåling fra fil	Hent afsætning fra fil	Vis Designfil og Koordinatfil				

Figur E.14: Menuer i BAKK.

2) Grafikvinduet i BAKK har til formål at visualisere både den frie opstilling (netskitse), afsætningen, kontrolmålingen og vurderingen af afsætningen for operatøren.

3) Denne gruppe af knapper giver mulighed for, at operatøren kan tilpasse grafikvinduet 2).

4) Tekstvinduet i BAKK har til formål at vise forskellige filer for operatøren. Eksempelvis koordinater til de kendte punkter eller resultatfilen fra bestemmelsen af opstillingspunktet. Derudover bliver der i tekstvinduet under afsætning vist, om punktet er afsat tilfredsstillende eller ej, sammen med hvilken modullinie og hvilket punkt der bliver afsat. Ved kontrolmålingen vises, hvilket punkt der er kontrolmålt.

5) Her vises hvilke observationer BAKK modtager fra totalstationen.

6) Denne gruppe af knapper og tekstfelter kan operatøren benytte sig af, hvis opstillingsnummeret, punktnummeret, prismehøjden eller prismekonstanten ændrer sig i forhold til default-værdierne.

7) Knappen „Mål“ sender en forespørgsel til totalstationen om udførelse af en observation, efterfølgende returneres observationer, der vises i 5). Knappen „Reg“ registrerer den sidst udførte observation.

8) Her angives status for BAKK. Status kan enten være „Klar“, „Beregner“ eller „Måler“.

9) Her angives om fejlbidraget fra opstillingspunktet skal inddrages i beregningen af kovarianser for afsatte og kontrolmålte punkter. Hvis ikke fejlbidraget indgår beregnes præcisionen, hvis det indgår beregnes nøjagtigheden.

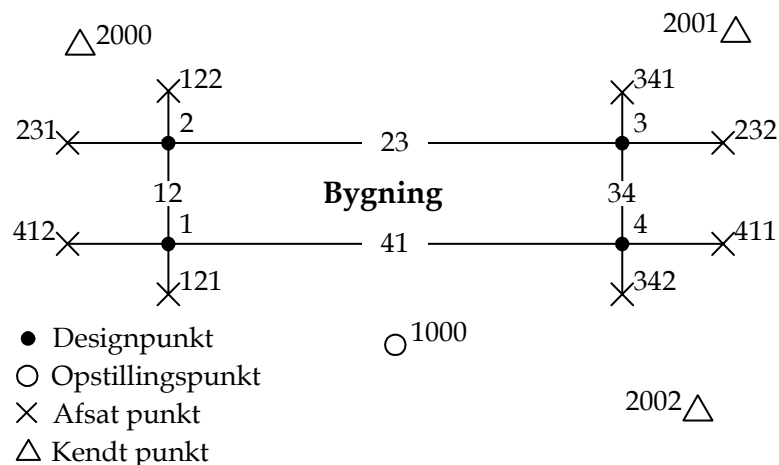
10) Her angives hvilken delproces af bygningsafsætningsprocessen BAKK er i.

E.4 Punktnummerstrategi i BAKK

Udviklingen af BAKK afhænger af punktnummerstrategien for diverse punkter og modulliner i bygningsafsætningen. Af figur E.15 fremgår punktnummerstrategien, som anvendes i BAKK. Endvidere fremgår af figur E.16 et eksempel på punkter og modulliner med tilhørende punktnumre.

Punktnummerstrategi	
Designpunkt	1-9
Modullinie	10-99
Afsat punkt	100-999
Opstillingspunkt	1000-1999
Kendt punkt	2000-2999

Figur E.15: Punktnummerstrategi i BAKK.



Figur E.16: Eksempel på anvendelse af punktnummerstrategien i BAKK.

E.5 Tekniske betingelser for anvendelse af BAKK

For at anvende BAKK til en afsætningsøvelse er det nødvendigt at visse tekniske betingelser er opfyldt - den tekniske platform. Tilstedeværelsen af følgende er nødvendig for at kunne anvende BAKK.

- Computer
 - Seriel port
 - MatLab 6.5 med serial patch, jf. bilag A
[:\Programmer\Patch\serial_patch.zip]
- Totalstation TC1105

BAKK er udviklet i og til brug via MatLab. Derfor er dette program en forudsætning for anvendelsen af BAKK. Endvidere er det nødvendigt, at computeren har en seriel port, som skal anvendes til forbindelsen mellem BAKK og totalstationen. Endvidere er sproget der udveksles mellem BAKK og totalstationen beregnet til Leica totalstationer. Hvis der anvendes en anden totalstation, er det nødvendigt at ændre i forespørgslen fra BAKK og svaret fra totalstationen.



Figur E.17: Billede af det system som BAKK indgår i.

Af billedet figur E.17 fremgår det system, BAKK indgår i.

E.6 Demonstration af BAKK

Hvis ikke de førnævnte tekniske betingelser er opfyldt, og det ønskes at afprøve BAKK, kan dette lade sig gøre ved at benytte nogle af BAKK's almindelige funktioner sammen med de undermenuer, der i menuerne er placeret under strengen, jf. figur E.14. Inden gennemgangen kopieres biblioteket [:\Bilag\E], jf. bilag A, til en valgfri sti på computeren. Herefter startes MatLab.

Følgende etaper gennemgås ved demonstration af BAKK.

1. BAKK eksekveres fra MatLab - skriv „BAKK“
2. I menuen „Filer“ indlæses de tre inputfiler
 Specifikationsfil (spec_TC1105BAKK.spe)
 Koordinatfil til kendte punkter (fibiger.koo)
 Designfil til afsætning (fib10b.des)
3. I menuen „Fri opstilling“ vælges „Hent observationer fra fil“
 Observationsfil (1000.obs)
4. I menuen „Fri opstilling“ vælges „Beregning af fri opstilling“
5. I menuen „Afsætning“ indlæses og vises en fil med de punkter, som er blevet afsat - vælg „Vis afsætning fra fil“.
 Afsætningsfil (1000.afs)
6. I menuen „Kontrolmåling“ indlæses og vises en fil med de punkter som er blevet kontrolmålt - vælg „Vis kontrolmåling fra fil“.
 Kontrolmålingsfil (1001.kon)
7. I menuen „Vurdering“ indlæses filer fra afsætning og kontrolmåling, efterfølgende vælges „Beregning af vurdering“.
 Afsætningsfil til vurdering (1000.afv)
 Kontrolmålingsfil til vurdering (1001.kov)
8. Visning af vurdering ved „Afvigelse på skæringspunkter“, „Afvigelse på afstande“ og „Tolerance forhold“.
9. Slutteligt kan der genereres dokumentation for vurdering af afsætningen ved at vælge „Generer dokumentation“ i menuen „Vurdering“.
 Valgfri.dok (10001001.dok)

NB! Hvis det ikke er muligt at indlæse filer i BAKK, skyldes det, at der indlæses tekst fra den pågældende fil. Denne fejl afhjælpes ved at sætte „%“ foran tekstlinierne i de filer, der skal indlæses. Hvis der opstår en fejlmeddelelse om, at der ikke kan skrives til en fil, fjernes skrivebeskyttelsen til denne fil.

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

F

Test af BAKK

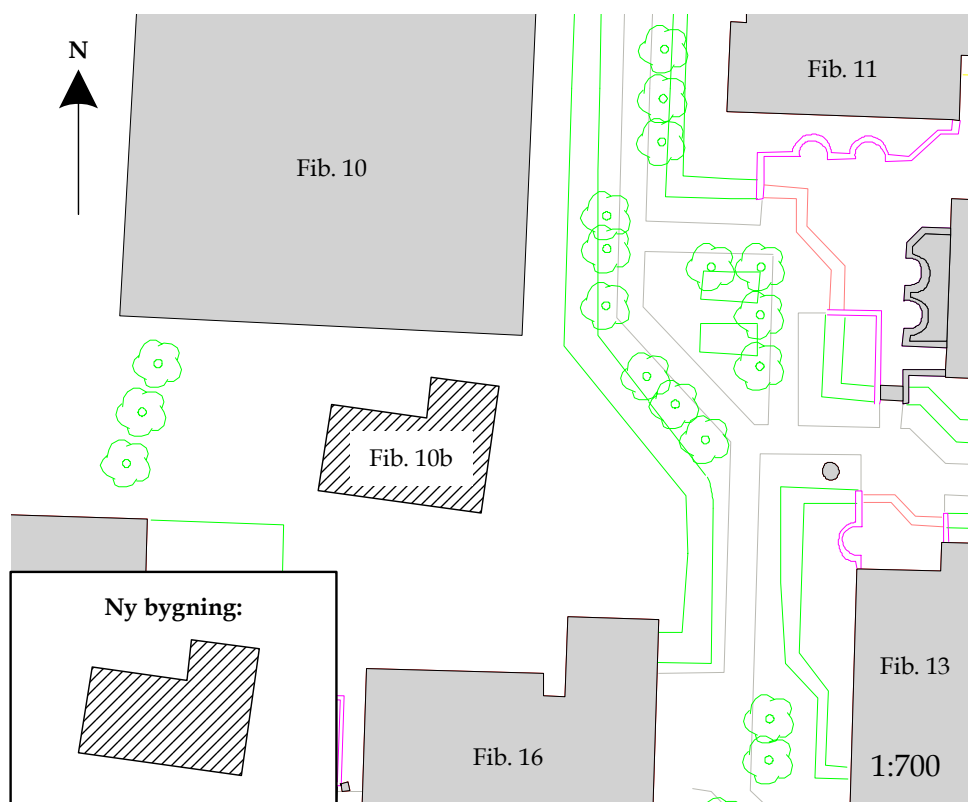
Formålet med dette bilag er at teste og vise funktionaliteten af det udviklede afsætningsprogram BAKK (BygningsAfsætning - KvalitetsKontrol), jf. bilag E. Til test af BAKK opstilles en fiktiv afsætningssituation, med start fra rekvirering af tegningsmateriale til bygningen er afsat samt kontrolleret i marken. For at vise BAKK's funktionalitet afsættes samme bygning tre gange (tre cases), hvor der første gang ikke er fejl i afsætningen, anden gang er der forkert prisme-konstant, og i sidste afsætning er der en løbende fejl (flytning af instrumentet under selve afsætningen).

I det følgende beskrives bygningen (Fib. 10b), der skal afsættes, etableringen af kendte punkter og indmåling af disse, samt hvilket udstyr der anvendes. Efterfølgende opstilles forudgående testberegninger af afsætningen med TestNetHus, jf. bilag D, hvorefter selve afsætningen af bygningen foretages med BAKK, hvor der afsættes og kontrolmåles i tre cases.

F.1 Fib. 10b

Fib. 10b er navnet på den bygning, som afsættes til test af BAKK. Fib. 10b er en selvstændig bygning placeret syd for Fib. 10 (Fibigerstræde 10 ved AAU). På figur F.1 vises placeringen af Fib.10b i forhold til de eksisterende bygninger.

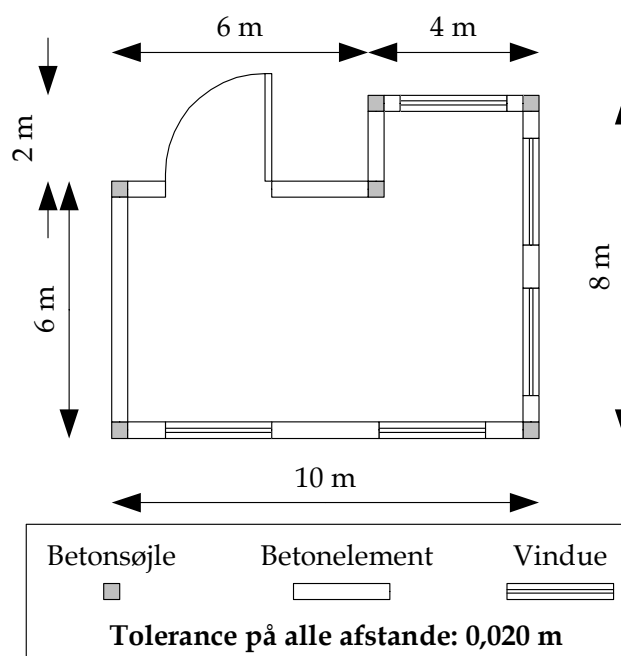
Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol



Figur F.1: Placering af Fib. 10b i forhold til de eksisterende bygninger ved AAU. [Aalborg]

Figur F.2 viser plantegningen af Fib. 10b, hvor det fremgår, at Fib. 10b er en vinkelbygning med betonsøjler i bygningens seks hjørner. Mellem betonsøjlerne skal der placeres betonelementer. På alle opgivne mål på plantegningen på figur F.2, skal der afsætte med en tolerance på 0,020 m. Det vil sige, at spredningen på alle seks afstande (σ_s) på figur F.2 skal være mindre end 0,0033 m, jf. 4.3.2 Tolerancedefinition.

Fib. 10b skal placeres i forhold til kendte punkter, det vil sige, at der er arbejdes med nøjagtig-

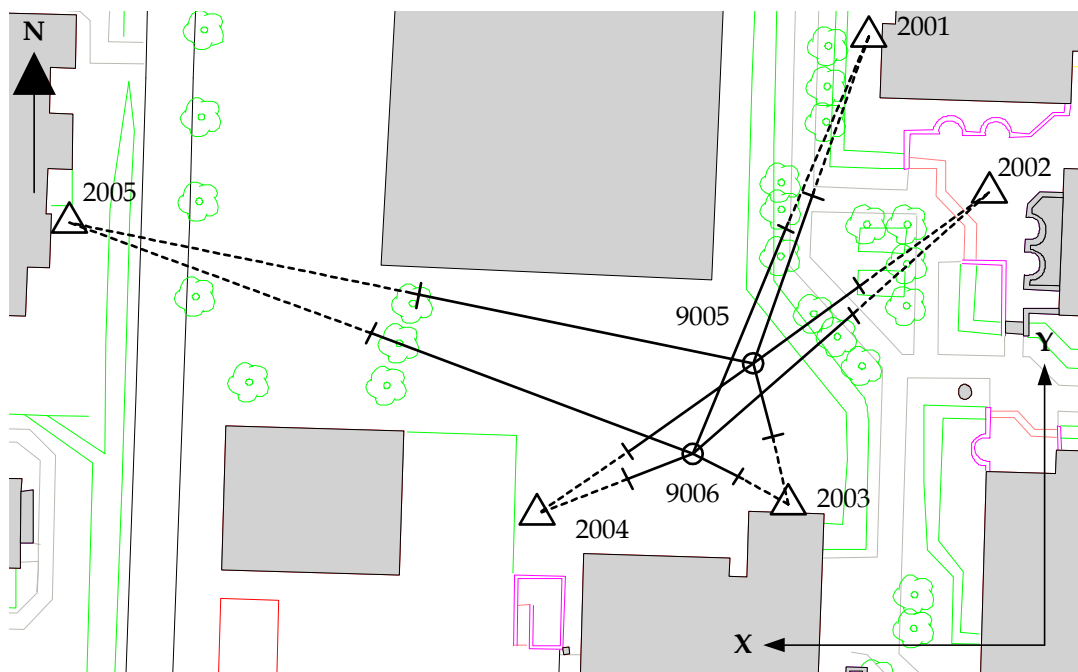


Figur F.2: Plantegning af Fib. 10b med angivelse af afstande samt tilhørende tolerance.

hed, jf. 4.1.1 *Præcision og nøjagtighed*. Koordinaterne til Fib. 10b fremgår af bilag A [:\Bilag\F\TestafBAKK\fib10b.des].

F.2 Kendte punkter

Til afsætning af Fib. 10b oprettes et lokalt tre-dimensionalt koordinatsystem, jf. 4.3.3 *Koordinatsystem*. Dette lokale koordinatsystem bestemmes ved fem kendte punkter, der skal bruges til afsætning af Fib. 10b. Alle fem kendte punkter indmåles fra to opstillinger med totalstation. Figur F.3 viser en skitse af de fem kendte punkters placering i forhold til eksisterende bygninger, punktnummer samt placeringen af begge opstillingspunkter til indmåling af de kendte punkter. Opstillingspunkterne til indmåling af de kendte punkter betegnes 9005 og 9006.



Figur F.3: Skitse af placering af de kendte punkter samt opstillingspunkterne (9005 og 9006), hvorfra de kendte punkter indmåles. [Aalborg]

Koordinaterne til de kendte punkter bestemmes efterfølgende på baggrund af observationerne fra totalstationen ved en minimal fastholdt udjævning i TurboNet. Til den minimale fastholdte udjævning fastholdes punkt 2001, og der angives en azimuth fra kendt punkt 2001 til opstillingspunkt 9005, således at koordinatsystemet akkurat er defineret. Der tildeles vægte til observationerne efter formlerne i [Cederholm, 2000 s. 64], hvor instrumentspecifikationerne er angivet i 4.3.1 *Udstyr*, spredning på centreringen af prismet er 1 mm og spredning på prisme højden er 1 mm. Der er fra begge opstillinger observeret med $\frac{1}{2}$ sats.

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

Idet Turbo-Net ikke kan foretage udjævning i lokalt koordinatsystem tildeles det fastholdte punkt (2001) til udjævningen koordinaterne (200.134,000 ; 200.085,000 ; 47,000). Ved at tildele punkt 2001 disse koordinater undgås korrektion for projektion i System 34jf, og koordinatsystemet kan derfor betragtes som lokalt, idet den største sigtelængde er 65 m.

Resultatet af den minimale fastholdte udjævning er tilfredsstillende og fremgår af bilag A [:\Bilag\F\Turbonet_BAKK\resultat.tex], dog er spredning på vægtenheden 0,6, hvilket indikerer, at der er observeret bedre end forventet. Yderligere er ingen af observationernes normaliserede residualer over 3. Efter udjævning subtraheres 200.000 fra alle Y og X-koordinater af bekvemligheds årsager, og de endelige koordinater til de kendte punkter fremgår af figur F.4, samt bilag A [:\Bilag\F\Turbonet_BAKK\fibiger.koo]. I udjævningen i Turbo-Net beregnes en spredning til de kendte punkter, der antager værdier mellem 0-2 mm. Til det videre forløb anvendes der for alle koordinater en spredning på 1 mm, som det fremgår af figur F.4.

Pkt. nr	Y [m]	X [m]	Z [m]	σ_Y [m]	σ_X [m]	σ_Z [m]
2001	134,000	85,000	47,000	0,001	0,001	0,001
2002	116,194	74,148	46,283	0,001	0,001	0,001
2003	85,171	94,278	48,084	0,001	0,001	0,001
2004	86,335	122,640	48,072	0,001	0,001	0,001
2005	111,896	168,385	49,088	0,001	0,001	0,001

Figur F.4: Koordinater til kendte punkter samt deres spredning fastsat ud fra udjævning af observationer til kendte punkter.

Alle observationer fra totalstationen til kendte punkter, opsætningen af filer til udjævning i Turbo-Net samt resultatet af den minimale fastholdte udjævning fremgår af bilag A [:\Bilag\F\Turbonet_BAKK].

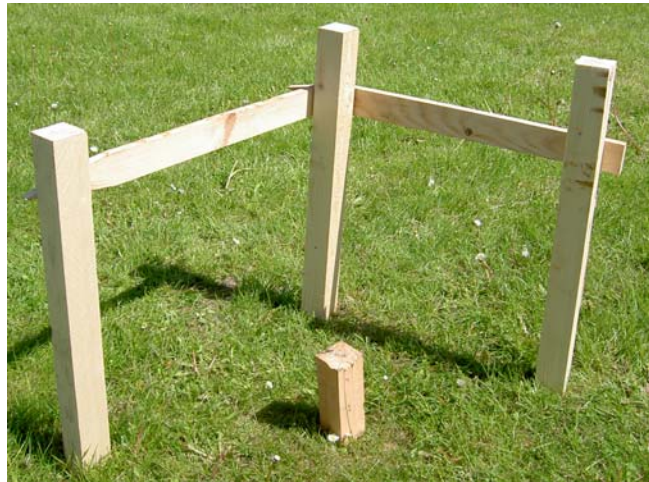
F.3 Udstyr til afsætning

Til test af BAKK anvendes totalstationen TCRA1105plus, jf. 4.3.1 Udstyr, der kobles sammen med en bærbar PC, hvor BAKK køres fra. Under etablering af kendte punkter samt under afsætning anvendes et miniprisme fastmonteret på en stok, der fremgår af figur F.5. Fordelen ved et miniprisme er, at der kan opnåes en lille centreringsspredning samt en lille spredning på prismehøjden.

Til afsætningen anvendes der galger, som fremgår af figur F.6. Det er på tværbrædderne af galgerne, at modullinien skal afsættes med søm.



Figur F.5: Miniprisme monteret på en stok.



Figur F.6: Galger til afsætning.

F.4 TestNetHus af Fib. 10b

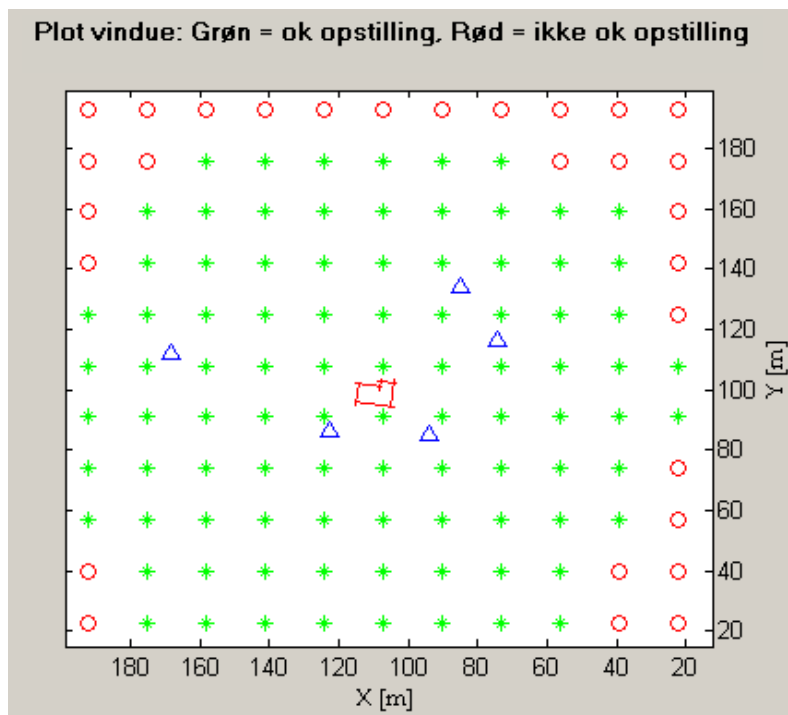
Som beskrevet i 6.4 *Placering af opstillingspunkt* kan der inden afsætning i marken udføres testberegninger. Til dette formål er der udviklet et testprogram TestNetHus, jf. bilag D, der kan angive mulige opstillingspunkter på baggrund af den foregående viden om tolerance, bygningens placering, kendte punkter, udstyr osv.

Til afsætning af Fib. 10b, skal der på alle afstande mellem skæringspunkterne overholdes en tolerance på 0,020 m. Udstyret til afsætningen er beskrevet i F.3 *Udstyr*. Desuden kendes placeringen af de kendte punkter samt deres spredning, jf. F.2 *Kendte punkter*. Designkoordinater angivet til Fib. 10b er givet ved selve bygningens hjørner, mens der til TestNetHus skal anvendes afsætningspunkter på galger. Det forventes, at der afsættes på galger ca. en meter fra selve bygningshjørnerne. Således konstrueres et koordinatsæt indeholdende disse koordinater.

På baggrund af foregående viden udføres testberegninger i TestNetHus, som fremgår af bilag A [:\Bilag\F\testnetBAKK\]. Figur F. 7 viser det grafiske vindue fra TestNetHus, hvor mulige opstillingspunkter til afsætning af Fib. 10b fremgår som grønne stjerner. Det fremgår af figur F.7, at der med en tolerance på

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

0,020 m kan afsættes fra opstillingspunkter, der blot er i nærheden af Fib. 10b (< 70 m). Dette skyldes dels, at spredningen på de kendte punkter er 1 mm, at centreringsspredningen er 1 mm samt det valgte instrument. Til kontrolmåling af afsætningen skal der igen blot opstilles i nærheden af Fib. 10b.



Figur F.7: Det grafiske vindue fra TestNetHus ved testberegninger til Fib. 10b. Grønne stjerner er opstillingspunkter, hvor tolerancen på 0,020 m kan overholdes, røde cirkler er opstillingspunkter, der ikke kan overholde tolerancen. Blå trekanter er kendte punkter, mens Fib. 10b er tegnet i midten af vinduet.

Af bilag A [:\Bilag\F\TestnethusBAKK\] fremgår TestNetHus samt specifikationsfil (spec_TC1105.txt), koordinatfil til kendte punkter (fibi10b_testnethus.txt) samt koordinatfil til Fib. 10b med punkter på galger (fibi10b_testnethus.txt). Den interesserede læser kan således selv afprøve TestNetHus til afsætning af Fib. 10b, og har også mulighed for at ændre på diverse parametre.

Afprøves TestNetHus til afsætning af Fib. 10b kan det visualiseres, hvilken betydning placeringen af de kendte punkter har i forhold til placeringsmuligheder af opstillingspunktet til afsætning. I bilag D, jf. D.4 Kendte punkters placering og antal, fremgår to eksempler på dette forhold.

F.5 Afsætning af Fib. 10b med BAKK

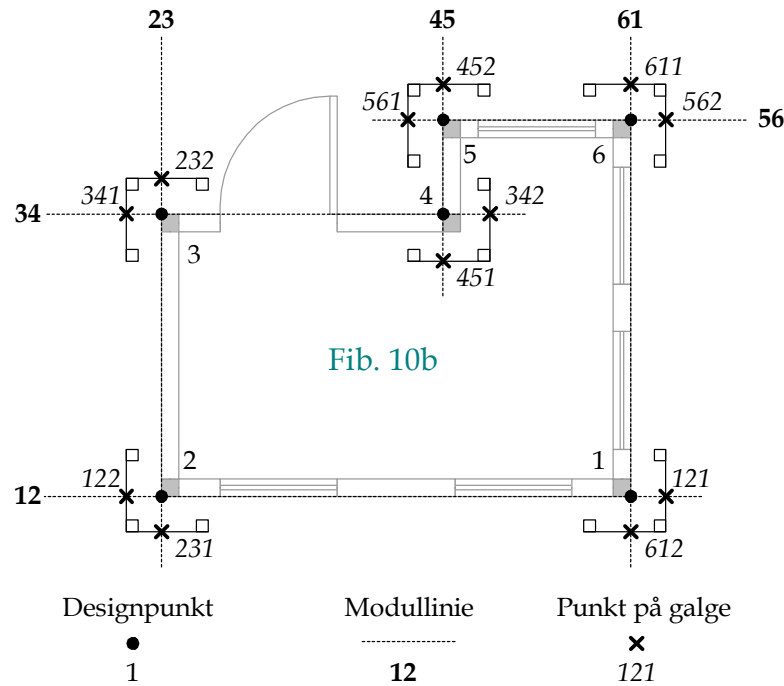
Til afsætning af Fib. 10b er der udarbejdet en punktnummerstrategi, der skal følges til afsætningen. Punktnummerstrategien fremgår af figur F.8.

Nummeret på en modullinie består af numrene af de to punkter, som modullinien er givet ved, eks. 12, 23. Hvis der er 6 punkter til afsætning er sidste modullinies nummer 61. Punkterne på galgerne er givet ved, hvilken modullinie de repræsenterer efterfulgt af 1 eller 2, eks. 121, 122, 231, 232. Der er således entydig sammenhæng mellem punkterne på bygningen, modullinien samt punkterne på galgerne.

Punktnummerstrategi	
Designpunkt	1-9
Modullinie	10-99
Afsat punkt	100-999
Opstillingspunkt	1000-1999
Kendt punkt	2000-2999

Figur F.8: Punktnummerstrategi.

Figur F.9 viser Fib. 10b, med dens nummerering af punkter på bygningen, modullinier og punkter på galger. Denne nummerering anvendes i det følgende til identificering.



Figur F.9: Fib. 10b med nummerering af designpunkter, modullinier samt punkter på galger.

Til at teste og vise funktionaliteten af BAKK til afsætning opstilles der tre cases. De tre cases er:

- Case 1: Ingen grove fejl ved afsætning (opstilling 1000-1001)
- Case 2: Fejl i prismekonstant ved afsætning (opstilling 1002-1003)
- Case 3: Løbende fejl under afsætning (opstilling 1004-1005)

De tre cases gennemgås hver for sig i de følgende afsnit, hvor formålet med den enkelte case begrundes. Til hver case vises vurderingsresultatet af afsætningen

lag\F\billeder fra test af BAKK (16.05.2004)*.jpeg] fremgår yderligere billeder fra testen af BAKK.



Figur F.11: Opstilling samt afsætning af Fib. 10b på galger.

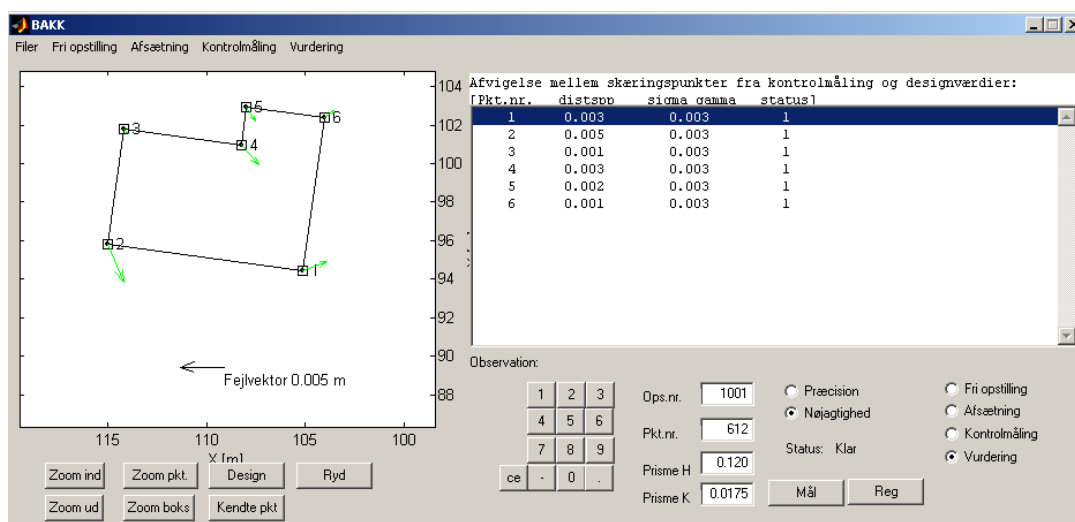


Figur F.12: Opstilling samt afsætning af Fib. 10b på galger.

F.5.1 Case 1:

Case 1 indeholder ingen grove fejl i afsætningen eller kontrolmålingen. Formålet med denne case er at illustrere den situation, som er ønskelig for en landinspektør, der har afsat en bygning. Alle filer til Case 1 fra BAKK med observationer til kendte punkter, resultatfil, osv. fremgår af bilag A [:\Bilag\F\Testaf-BAKK\Case1\].

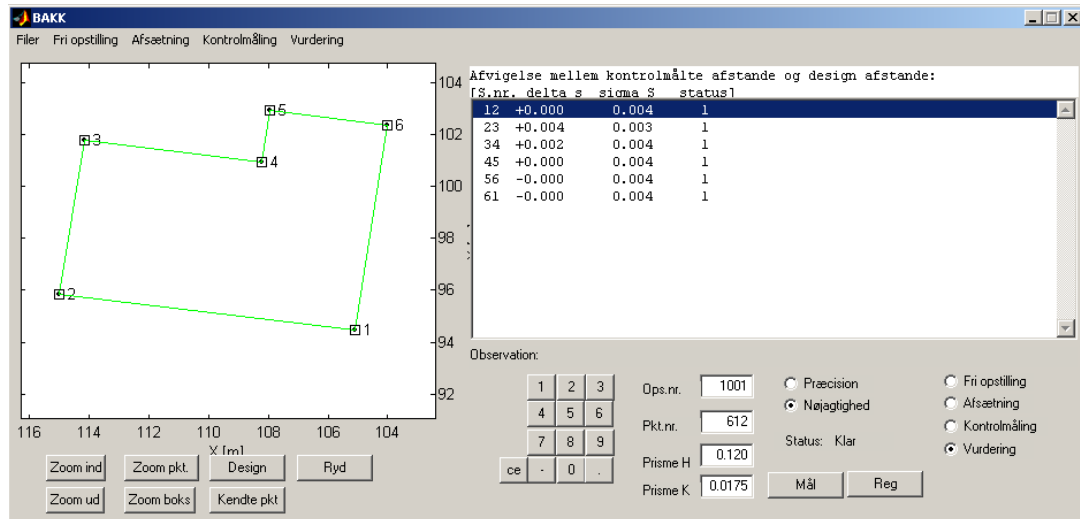
Figur F.13 viser vurderingsresultatet for skæringspunkterne af modullinierne. Her fremgår det, at alle afvigelser mellem det afsatte og designværdierne, symboliseret med grønne fejlvektorer, er tilfredsstillende ud fra det valgte instrument, kendte punkter osv. Der er således ikke grund til at tro, at der er grove fejl i afsætningen eller kontrolmålingen. Til højre i figur F.13 er alle skæringspunkter oplistet med deres nummer samt deres afvigelse fra designværdier (distspp). Derudover er spredningen for skæringspunktet givet (sigma_gamma) samt status for skæringspunktet, hvor 1 angiver, at afvigelsen er mindre end fejlgrænsen for skæringspunkter, jf. 7.3.2 *Vurderingsstørrelser ved kontrolmåling*, og dermed er tilfredsstillende. Alle skæringspunkter er dermed afsat korrekt.



Figur F.13: Afvigelse på skæringspunkter ved Case 1.

Udover vurdering af afvigelse på skæringspunkterne kan der også vurderes på afstandene mellem skæringspunkterne. Figur F.14 viser vurderingsresultatet for afstandene mellem skæringspunkterne, hvor det i det grafiske vindue til venstre i figur F.14 fremgår, at alle afstande er grønne. Dermed overholdes den opstillede fejlgrænse for afvigelsen mellem afstande ud fra designværdier samt afstande beregnet ud fra de afsatte punkter, jf. 7.3.2 *Vurderingsstørrelser ved kontrolmåling*. Til højre i figur F.14 vises i tekstvinduet afstandsnummer, afvigelsen på afstanden (delta_S), spredningen for afstanden (sigma_S) numerisk samt status for afstanden. Status angiver, om afstanden mellem skæringspunkterne over-

holder fejlgrænsen eller ej, hvor 1 betyder, at fejlgrænsen er overholdt, mens 0 betyder, at fejlgrænsen er overskredet. Alle afstande mellem skæringspunkterne i Case 1 har status 1, og afstandene er således afsat korrekt.



Figur F.14: Afvigelse på afstande mellem skæringspunkter ved Case 1.

Som det fremgår af figur F.13-14, er alle skæringspunkter og afstande mellem skæringspunkter afsat korrekt, og figur F.15 viser den dokumentation, som BAKK genererer. Af figur F.15 fremgår status for skæringspunkterne samt afstanden mellem skæringspunkterne, og når status til disse er tilfredsstillende, fremgår det nederst på figur F.15, med hvilken tolerance Fib. 10b er afsat. Fib. 10b er i Case 1 afsat med en tolerance på 0,018 m på afstandene, og overholder dermed den opstillede tolerance til afsætningen.

Figur F.13-15 er alt sammen vurderingsstørrelser, der kan vises i marken i forbindelse med afsætning med BAKK. Dette giver i marken den fordel at kunne vurdere afsætningen, lige efter kontrolmålingen er udført. Der skal med andre ord ikke køres hjem på kontoret og foretages databehandling af det afsatte og kontrolmålte i forhold til designværdier, men det kan i marken konstateres, om afsætningen er korrekt, og hvilken tolerance afstandene overholder!

Dokumentation for afsætning af modullinier - herunder skæringspunkter og afstande mellem modullinier

Skæringspunkter:

Pkt.nr.	Dist_spp	sigma_gamma	status_spp
1	0.0030	0.0027	1
2	0.0049	0.0025	1
3	0.0008	0.0027	1
4	0.0030	0.0025	1
5	0.0019	0.0027	1
6	0.0014	0.0027	1

NB !: Forhold vedr. skæringspunkter er kun relevant i forbindelse med nøjagtigheden af afsætningen

Afstande mellem modullinier:

Snr.	Delta_S	sigma_S	status_S
12	0.0001	0.0041	1
23	0.0037	0.0034	1
34	0.0017	0.0037	1
45	0.0004	0.0039	1
56	-0.0002	0.0036	1
61	-0.0005	0.0039	1

Tolerance forhold vedrørende afsætning:

Snr.	sigma_S_afs	Tolerance
12	0.0030	0.0182
23	0.0019	0.0115
34	0.0030	0.0181
45	0.0020	0.0119
56	0.0030	0.0180
61	0.0025	0.0152

Såfremt status for afvigelse er 1, vil afsætningen overholde en tolerance på: 0.018 m

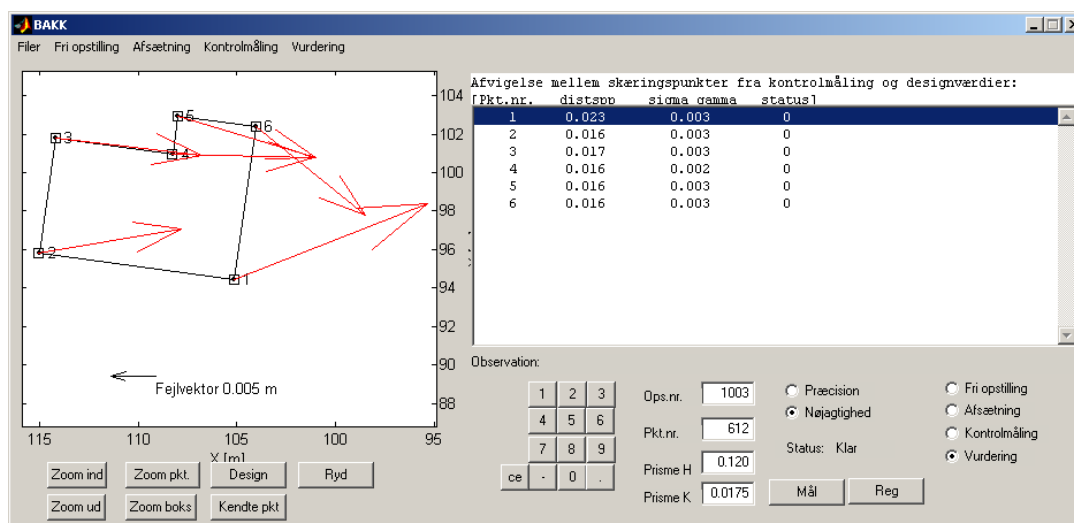
Figur F.15: Dokumentation for afsætning af Fib. 10b ved Case 1.

F.5.2 Case 2

Formålet med Case 2 er at teste og illustrere, hvorledes en fejl vedrørende prisme-konstanten under afsætningen kan kontrolleres i marken. En fejl vedrørende prismekonstanten forekommer som en grov fejl, der kan skyldes forkert indtastning på instrumentet/BAKK. Eksempelvis kan der ved observering til kendte punkter anvendes et prisme og til afsætning et andet prisme med forskellige prismekonstanter, som ikke bliver rettet. Tilsvarende kan der med reflektorløse instrumenter også forekomme en fejl svarende til forkert prismekonstant ved forkert valg af måleprogram, idet måleprogrammet til reflektorløs observation ikke er det samme som observation til prismet.

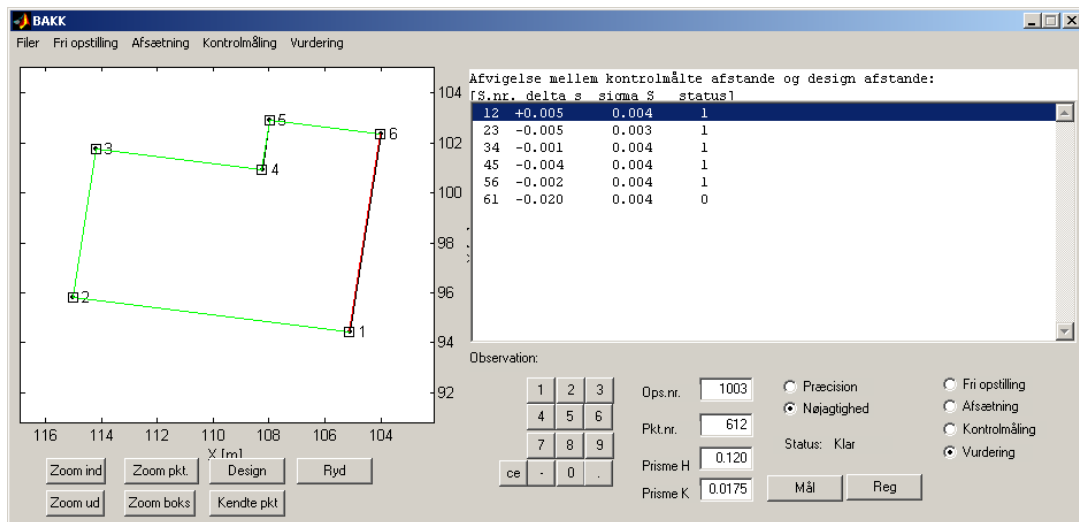
Til afsætning af Fib. 10b anvendes et miniprisme med prismekonstant på 0,0175 m. I denne case indtastes en prismekonstant til 0,000 m, for at vise en afsætning afsat med forkert prismekonstant. En fejl af denne type kan under selve afsætningen kun detekteres, såfremt observatøren kontrollerer værdien på instrumentet. Men som det vil vise sig i det følgende, kan vurderingsmulighederne i BAKK efter kontrolmålingen vise denne fejl, når kontrolmålingen udføres korrekt.

Figur F.16 viser vurderingen af skæringspunkterne i Case 2, hvor det af fejlvektorerne i det grafiske vindue klart fremgår, at der er en grov fejl på afstandene fra opstillingspunktet til afsætningen og afsætningspunkterne. Alle fejlvektorerne er røde, hvilket angiver, at fejlgrænsen for skæringspunkterne er overskredet. Til højre i figur F.16 i tekstvinduet fremgår det også, at status for alle skæringspunkter er 0, hvilket angiver at fejlgrænsen er overskredet. I denne case fremgår klart fordelene ved at have et grafisk vindue, hvor der kan udtegnes fejlvektorer. I denne situation er det oplagt, at der er begået en grov fejl på afstanden til afsætningen, idet alle fejlvektorer peger mod opstillingspunktet til afsætningen. Samme konklusion kan ikke udledes direkte af de numeriske værdier i tekstvinduet.



Figur F.16: Afbøjelse på skæringspunkter ved Case 2.

Selvom at der er begået en grov fejl med forkert indtastning af prismekonstanten, er det ikke sikkert, at dette har betydning for afstandene mellem skæringspunkterne. Figur F.17 viser vurderingen af afstandene mellem skæringspunkterne i Case 2, hvor kun afstand 61 overskrider fejlgrænsen, selvom der er forkert prismekonstant. At det kun er afstand 61, som ikke overholder fejlgrænsen, skyldes geometrien mellem det afsatte og opstillingspunktet til afsætning. En fejl i prismekonstanten forskyder afsætningen, men det er ikke sikkert, at det har betydning for afstanden mellem to skæringspunkter.



Figur F.17: Afvigelse på afstande mellem skæringspunkter ved Case 2.

Til vurdering af en afsætning er det ikke tilstrækkelig at vurdere på afstanden mellem skæringspunkterne, idet en fejl i prismekonstanten ikke nødvendigvis fremgår, jf. figur F.17. Det anbefales således, at der til vurdering både vurderes ud fra skæringspunkterne og ud fra afstande mellem skæringspunkter, hvilket også er vurderingsmulighederne i BAKK.

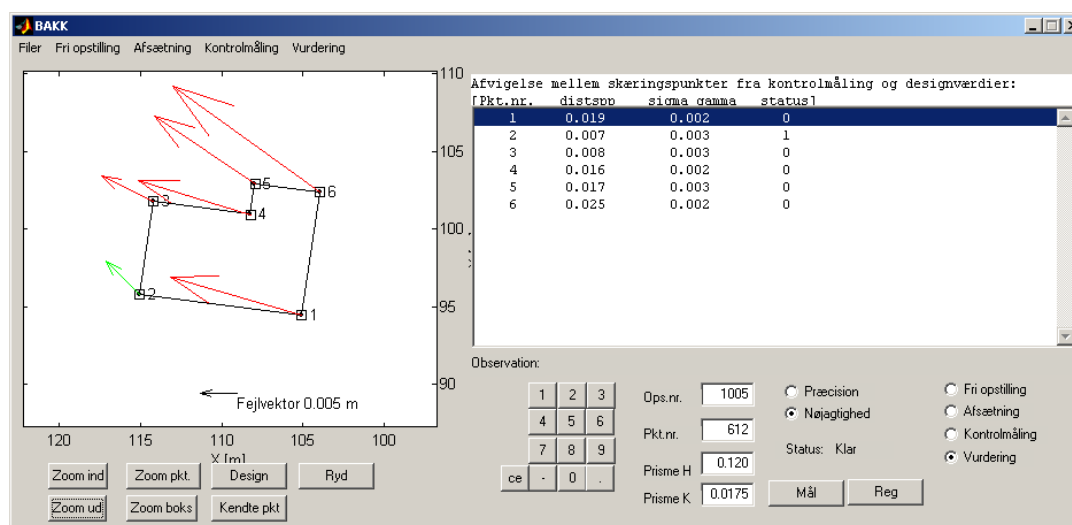
Når der er fejl i afsætningen, som følge af forkert prismekonstant, giver det ikke mening at studere toleranceforholdene for afsætningen. Dette skyldes, at tolerancerne til afsætningen bygger på, at der ikke er grove fejl i afsætningen, men kun tilfældige fejl tilbage. Eksempelvis vil en vurdering af toleranceforholdene i Case 2 vise, at afsætningen kan overholde en tolerance på 0,019 m, hvilket åbenlyst ikke er tilfældet.

Det skal bemærkes, at figur F.16-17 er vurderingsmuligheder i marken, hvor ud fra landinspektøren kan vurdere afsætningen. I denne situation vil det kræve en genafsætning af hele Fib. 10b.

F.5.3 Case 3

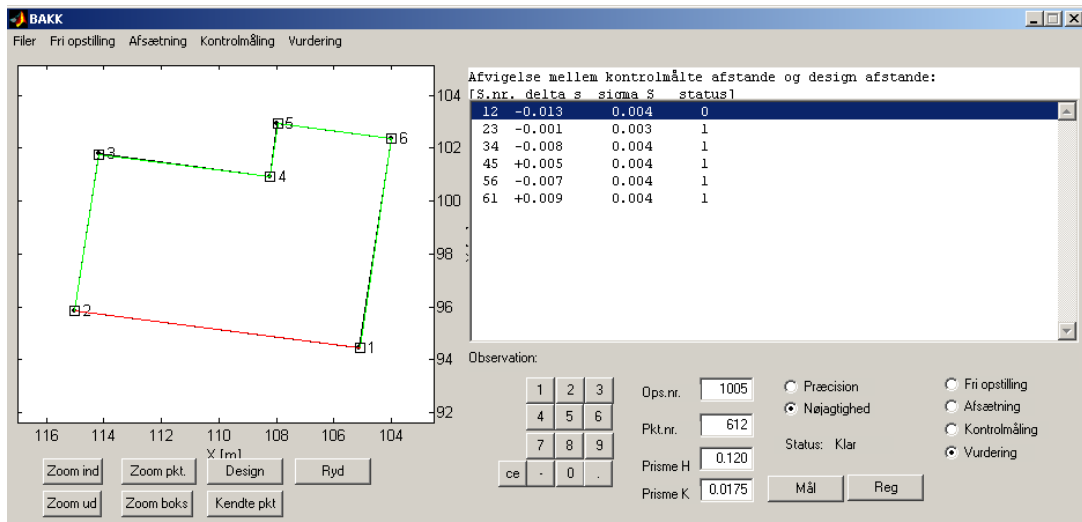
I Case 3 er formålet at teste og illustrere, hvorledes en løbende fejl under afsætningen har indflydelse på selve afsætningen, og hvorledes dette visualiseres og vurderes gennem BAKK. En løbende fejl under en afsætning kan være at opstillingen flytter sig eller evt. drejer under afsætningen (stativdrejning). En løbende fejl kan forekomme for observatøren, der ikke kontrollerer opstillingen til afsætningen under selve afsætningen. Til at illustrere dette forhold i Case 3 afsættes første modullinie korrekt, hvorefter prismekonstanten tillægges 0,005 m efter afsætning af en modullinie. Det vil sige, at sidste modullinie afsættes med et til-læg på 0,025 m til prismekonstanten.

Figur F.18 viser afvigelserne på skæringspunkterne i Case 3, hvor det fremgår af både det grafiske vindue til venstre og tekstvinduet til højre, at det kun er skæringspunkt 2, der overholder fejlgrænsen. Igen viser det grafiske vindue mulighederne for at kunne konstatere, at der er en grov fejl på opstillingspunktet til afsætningen. Alle fejlvektorer peger væk fra opstillingspunktet til afsætningen, og fejlvektorerne bliver større desto senere i afsætningsforløbet en modullinie er afsat. Skæringspunkt 1 har også en stor fejlvektor, hvilket skyldes, at skæringspunkt 1 også bestemmes ud fra den sidst afsatte modullinie. Vurderingen af skæringspunkterne af afsætningen viser, at der er en grov fejl under afsætningen, og at det sandsynligvis er en fejl, som bliver større under afsætningsforløbet.



Figur F.18: Afvigelse på skæringspunkter ved Case 3.

Vurdering af afstandene mellem skæringspunkterne fremgår af figur F.19. Selvom der er en løbende fejl i afsætningen, er det kun afstanden mellem skæringspunkt 1 og 2, som overskrider fejlgrænsen. At der under afsætningen er en løbende fejl fremgår ikke af de øvrige afstande på figur F.19, idet den løbende fejl ikke er stor nok til at blive detekteret. Men afstand 12 er bestemt ud fra de første afsatte punkter og de sidste afsatte punkter, hvorfor den løbende fejl fremgår der.



Figur F.19: Afvigelse på afstande mellem skæringspunkter ved Case 3.

Som ved Case 2 kan afvigelsen på afstandene ikke altid lokalisere en grov fejl i afsætningen, mens fejlvektorerne for skæringspunkterne, jf. figur F.18, viser en løbende fejl, der bliver større under afsætningen. I Case 3 giver det, som i Case 2, ikke mening at studere toleranceforholdene til afsætningen, idet afsætningen er behæftet med en grov fejl.

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

G

MatLab-scripts

Dette bilag indeholder en oversigt over MatLab-scripts, der er udviklet og benyttet i forbindelse med projektet. Alle MatLab-scripts fremgår af bilag A [:\Bilag\G*.m]. For at gøre brug af diverse scripts kræves der et kendskab til teorien, der er beskrevet gennem projektet, samt en forståelse for programkode i MatLab. Enkelte scripts er ikke udviklet af projektgruppen, og ved disse scripts vil der være en henvisning til kilde. Alle scripts oplistes alfabetisk.

aabnfil.m	Åbner filer [www.land.auc.dk/~pce/]
BAKK.fig	GUI til programmet BAKK, jf. bilag E og F
BAKK.m	Programmet BAKK, jf. bilag E og F
forekoor.m	Beregner foreløbige elementer til opstillingspunkt
friopsYXZalm.m	Udjævning af fri opstilling (almindelig)
friopsYXZrobust.m	Udjævning af fri opstilling (robust)
gemfil.m	Gemmer filer [www.land.auc.dk/~pce/]
kovarafs.m	Beregner spredningen på en afstand mellem to skæringspunkter
kovarlinie.m	Beregner kovariansmatrice til liniens parametre a, b
kovarskar.m	Beregner kovariansmatrice til skæring mellem to linier
maal.m	Foretager observation med totalstation
plot2d.m	Plotter konfidensellipser [www.land.auc.dk/~pce/]
plot_netskitse.m	Plotter netskitse til den frie opstilling
plothus.m	Plotter hus til afsætning

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

redundanstal.m	Beregner redundanstal til observationer og kendte punkter
rnd_observationer.m	Genererer 3D-observationer fra totalstation med tillæg af normalfordelte tilfældige fejl
robustplot.m	Plotter vægtreduktionsfunktionen til robust udjævning
skar.m	Beregner skæringspunkt mellem to linier bestående af to punkter
spr_afstand.m	Spredning på en skrå afstand
spr_kor_afstand.m	Spredning på korrigeret vandret afstand
spr_kor_deltaH.m	Spredning på korrigeret højdeforskel
spr_red_afstand.m	Spredning på reduceret skrå afstand
spr_red_zenit.m	Spredning på reduceret zenitdistance
spr_retning.m	Spredning på horisontalretning
spr_zenit.m	Spredning på zenitdistance
testhus10.m	Beregner mulige opstillingspunkter i programmet TestNetHus
testhusflereT1.m	Beregner mulige opstillingspunkter ved flere tolerancer, jf. bilag D
TestNetHus.fig	GUI til programmet TestNetHus, jf. bilag D
TestNetHus.m	Programmet TestNetHus, jf. bilag D

I

Beregning af fri opstilling

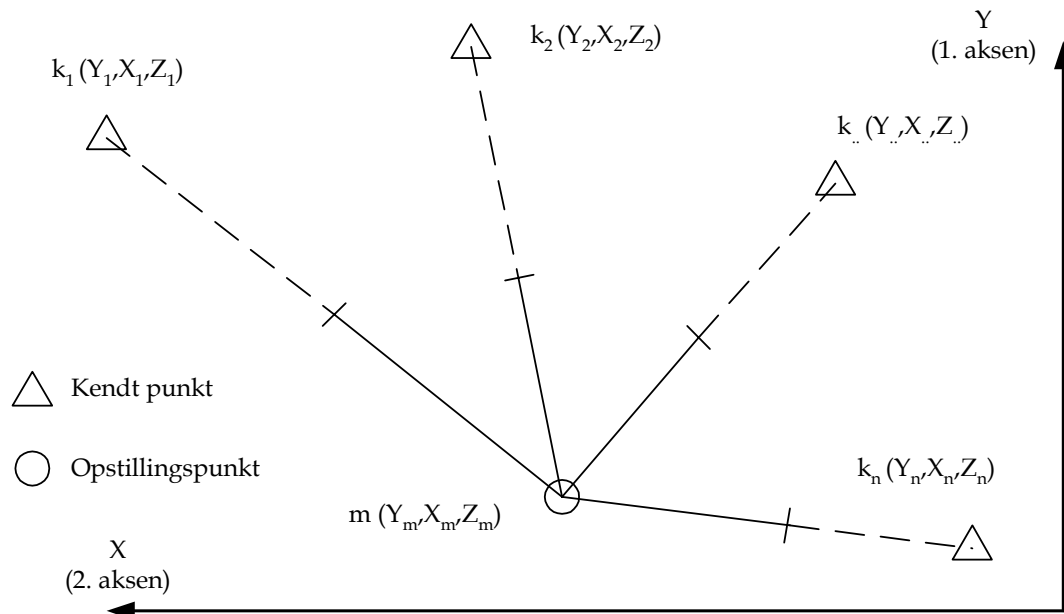
Dette appendiks indeholder beskrivelsen af, hvorledes opstillingspunktet til den frie opstilling samt dets kredselement bestemmes gennem udjævning efter mindste kvadraters princip. Først beskrives opmålingssituationen for opstillingen, både for planen og koten. Efterfølgende opstilles de lineære og ulineære observationsligninger, hvor de ulineære observationsligninger lineariseres til brug i udjævningen. Det skal være muligt at tildele en spredning til de kendte punkter, hvorfor der inddrages koordinatobservationer. Yderligere beskrives bestemmelsen af foreløbige værdier, som skal bruges i udjævningen. Herefter opstilles spredningerne til observationerne, der skal bruges til at foretage en vægttildeling af observationerne til udjævningen. Derefter opstilles udjævningsproblemet, og hvorledes matricer og vektorer opstilles til udjævningen. Endelig beskrives, hvorledes opstillingspunktet alternativt kan bestemmes ved robust udjævning.

I.1 Opmålingssituationen

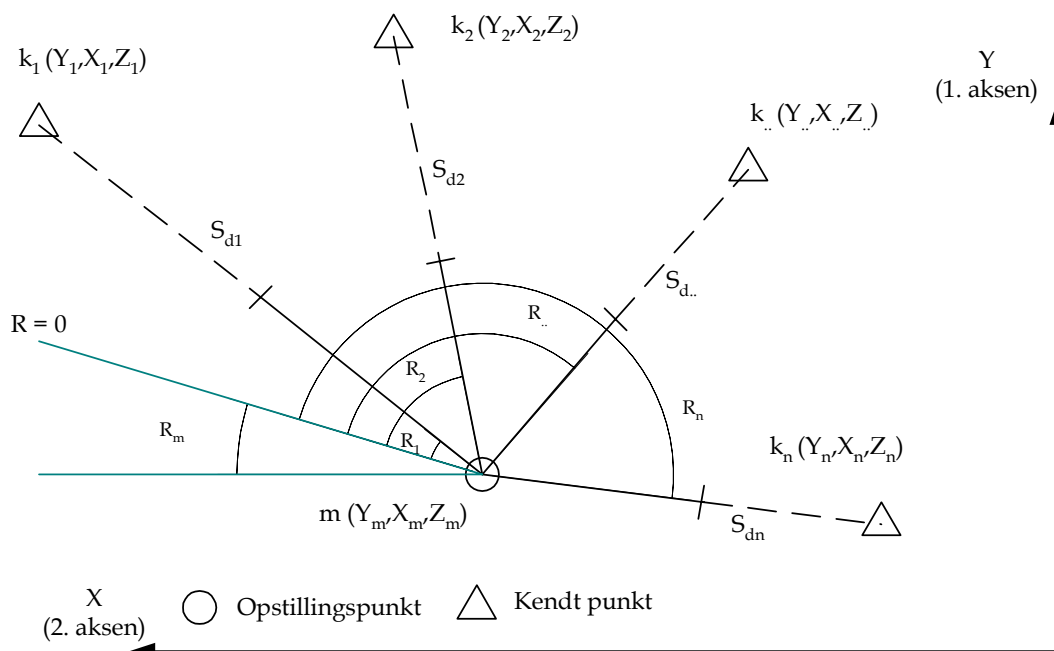
På figur I.1 er opmålingssituationen skitseret, hvor kendte punkter er angivet med en trekant og opstillingspunktet er angivet med en cirkel. Kendte punkter betegnes med k_1, k_2, \dots, k_n og opstillingspunktet betegnes med m . Angående ob-

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

servationer antages det, at der fra opstillingspunktet altid observeres skrå afstand (S_d), horisontalretning (R) og zenitdistance (V). Figur I.2 viser observationerne i planen, hvor alle kendte punkter har koordinater i tre dimensioner (Y, X, Z). Koordinatsystemet er orienteret som System 34, hvor Y er 1. akse, X er 2. akse og Z er 3. akse.



Figur I.1: Opmålingssituationen med kendte punkter og opstillingspunktet set i planen.

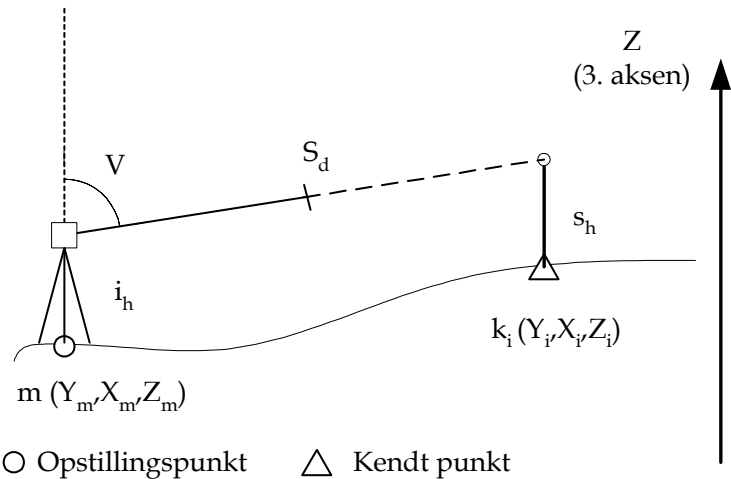


Figur I.2: Observationer i planen.

Appendiks I: Beregning af fri opstilling

På figur I.2 fremgår indsamlingen af observationerne i planen, hvor S_d angiver skrå afstanden fra opstillingspunktet til det kendte punkt og R angiver retningsobservationen fra horisontalkredsens nulretning til det kendte punkt. For at kunne beskrive retningsobservationen i reference koordinatsystemet skal der tillægges en vinkel, der angiver vinklen mellem X -aksensretning og horisontalkredsens nulretning. Denne vinkel kaldes for kredselementet og betegnes R_m . [Frederiksen, m.fl., 1984, s. 53-54]

Figur I.3 viser observationerne i forbindelse med bestemmelsen af koten. Der er opstillet med totalstationen og zenitdistancen samt den skrå afstand observeres. For senere at referere til Z -koordinaten til det kendte punkt skal der yderligere observeres en prismehøjde (sigteskivehøjde) s_h . Der kan også observeres en instrumenthøjde i_h , der bruges ved opstilling i kendt punkt, men til fri opstilling vil i_h typisk være 0 m medmindre punktet afmærkes.



○ Opstillingspunkt △ Kendt punkt

Figur I.3: Observationer i forbindelse med bestemmelsen af koten.

I.1.1 Reducerede observationer

Afstands- og zenitdistanceobservationer er behæftet med systematisk fejl, der er forårsaget af atmosfæriske forhold, jordkrumning og refraktion. Inden at afstands- og zenitdistanceobservationerne benyttes til bestemmelse af elementer for opstillingspunktet, bør disse således korrigeres for de systematiske fejl. Formlerne til korrektionen af atmosfæriske forhold, jordkrumning og refraktion opstilles i det følgende. Korrigerede observationer er i det følgende observationer, hvor der er korrigeret for førnævnte systematiske fejl.

Oftest er kendte punkter markeret med søm, jernrør osv. Til signalering af disse anvendes der oftest et prisme samt prismestok opstillet i lod, hvortil der foretages observationer. Der er således en vertikal forskydning fra det kendte punkt og til prismet, hvortil der observeres. Prismehøjden har indflydelse på observation af afstanden og zenitdistancen. Til senere brug i udjævning af observationer til bestemmelse af opstillingspunktets koordinater samt opstillingens kredselement vælges det at reducere afstands- og zenitdistanceobservationerne, således at prismehøjden og instrumenthøjden ikke indgår som observationer i

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

observationsligningerne. Reducerede observationer er i det følgende korrigerede observationer, hvor der reduceres for prismehøjde og instrumenthøjde.

I det følgende opstilles reducerede observationer for skrå afstand samt zenitdistance, hvor der først korrigeres for atmosfæriske forhold samt jordkrumning og refraction. Instrumenthøjden medtages som en observation, selvom instrumenthøjden ved fri opstilling er nul.

Korrigeret og reduceret afstands- og zenitdistanceobservation

Til opstilling af korrigeret og reducerede observationer af afstande og zenitdistancer benyttes figur I.4 som udgangspunkt. Råobservationerne er S_d , V , i_h og s_h .

Først korrigeres den skrå afstand for atmosfæriske forhold, der foregår efter følgende formel (I.1):

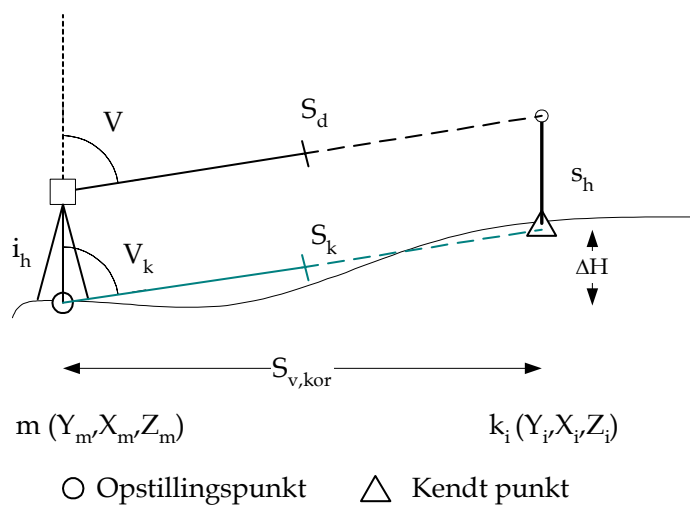
$$S_{d,a} = S_d(1 + ppm_a \cdot 10^{-6})$$

hvor $S_{d,a}$ er skrå afstanden korrigeret for atmosfæriske forhold og ppm_a er atmosfærisk korrektion [Leica, 2000, s. 143-145]. Den atmosfæriske korrektion er instrumentafhængig og for Leica TCRA1105plus infrarøde afstandsmåler gælder følgende:

$$ppm_a = 283,04 - \left(\frac{0,29195 \cdot p}{\left(1 + \frac{t}{273,16}\right)} - \frac{0,0004126 \cdot h}{\left(1 + \frac{t}{273,16}\right)} 10^{\frac{7,5 \cdot t}{273,3+t} + 0,7857} \right) \quad (I.2)$$

hvor p er lufttrykket i millibar, t er temperaturen i celsius og h er den relative luftfugtighed i procent. [Leica, 2000, s. 143-144]

Til korrektion for jordkrumning og refraction vælges det at udregne en korrigeret vandret afstand og en korrigeret højdeforskel på baggrund af zenitdistance og skrå afstand korrigeret for atmosfæriske forhold. Korrektionen for jord-



Figur I.4: Illustration af observationer, korrigerede observationer og reducerede observationer.

krumning og refraction samt udregning af korrigeret vandret afstand foretages ved følgende tilnærmede formel:

$$S_{v,kor} = S_{d,a} \sin V - \left(\left(\frac{1 - k_{ref}}{2R} \right) S_{d,a}^2 \sin V \cos V \right) \quad (I.3)$$

hvor $S_{v,kor}$ er den korrigerede vandrette afstand, k_{ref} er refraktionskonstanten der sættes lig 0,13, og R er jordens radius (6.386.000 m) [Jensen a, 2003, s. 214-216].

Korrektion for jordkrumning og refraction samt udregning af den samlede korrigerede højdeforskel mellem totalstationen og det kendte punkt foregår efter følgende tilnærmede formel:

$$\Delta H = S_{d,a} \cos V + \left(\left(\frac{1 - k_{ref}}{2R} \right) S_{d,a}^2 \sin^2 V \right) + i_h - s_h \quad (I.4)$$

[Jensen a, 2003, s. 217-219]

Der er således udregnet korrigerede observationer for den vandrette afstand samt den samlede højdeforskel. Udfra de korrigerede observationer beregnes de reducerede observationer S_k og V_k , som fremgår af figur I.4. Reduceret afstandsobservation udregnes således:

$$S_k = \sqrt{S_{v,kor}^2 + \Delta H^2} \quad (I.5)$$

og reduceret zenitdistance udregnes efter formel (I.6):

$$V_k = \arctan\left(\frac{S_{v,kor}}{\Delta H}\right) \quad (I.6)$$

I I.2 *Observationsligninger og partielle afledte* opstilles observationsligningerne for reducerede afstande samt zenitdistancer, hvor i_h og s_h ikke indgår som observationer, når der arbejdes med reducerede observationer.

I.2 Observationsligninger og partielle afledte

For at opstille udjævningsproblemet skal observationsligningerne opstilles. Observationsligningerne er både lineære og ulineære, og de ulineære lineariseres til udjævnningen. I det følgende fremgår, hvilke observationsligninger der benyttes, og de partielle afledte med hensyn til de ubekendte elementer i observationsligningerne. De ubekendte elementer i forbindelse med observationsligningerne er koordinater til kendte punkter (Y_k, X_k, Z_k), koordinater til opstillingspunktet (Y_m, X_m, Z_m) og kredselementet R_m . Idet koordinater til opstillingspunktet

samt kredselementet indgår i nogle af observationsligningerne, skal disse bestemmes foreløbigt til udjævningen, jf. I.4 Foreløbige værdier.

I.2.1 Koordinatobservation

Når det skal være muligt at tildele spredninger til kendte punkter, skal der i udjævningen indgå koordinatobservationer. Observationsligningen for koordinatobservationer af Y, X og Z fremgår af formel (I.7-I.9).

$$b_{Y_k} = Y_k \quad (I.7)$$

$$b_{X_k} = X_k \quad (I.8)$$

$$b_{Z_k} = Z_k \quad (I.9)$$

Idet koordinatobservationerne er lig med den enkelte koordinat, bliver den partielle afledte med hensyn til det ubekendte element altid 1, som det også fremgår af formel (I.10).

$$\frac{\partial b_{Y_k}}{\partial Y_k} = \frac{\partial b_{X_k}}{\partial X_k} = \frac{\partial b_{Z_k}}{\partial Z_k} = 1 \quad (I.10)$$

I.2.2 Afstandsobservation

Som beskrevet i I.1.1 Reducerede observationer, arbejdes der med reducerede observationer for afstande. Observationsligningen for reduceret afstandsobservation S_k i tre dimensioner fremgår af formel (I.11).

$$b_{s_k} = \sqrt{(Y_k - Y_m)^2 + (X_k - X_m)^2 + (Z_k - Z_m)^2} \quad (I.11)$$

Denne observationsligning er ulineær og lineariseres med hensyn til de ubekendte elementer. Der gælder følgende:

$$\frac{\partial \sqrt{f}}{\partial f} = \frac{1}{2\sqrt{f}}$$

$S_{d,b}$ er den beregnede skrå afstand.

Det vil sige, at:

$$\frac{\partial b_{s_k}}{\partial Y_k} = \frac{2(Y_k - Y_m)}{2\sqrt{(Y_k - Y_m)^2 + (X_k - X_m)^2 + (Z_k - Z_m)^2}} = \frac{(Y_k - Y_m)}{S_{d,b}} \quad (I.12)$$

$$\frac{\partial b_{s_k}}{\partial Y_m} = \frac{-2(Y_k - Y_m)}{2\sqrt{(Y_k - Y_m)^2 + (X_k - X_m)^2 + (Z_k - Z_m)^2}} = \frac{-(Y_k - Y_m)}{S_{d,b}} \quad (I.13)$$

$$\frac{\partial b_{s_k}}{\partial X_k} = \frac{2(X_k - X_m)}{2\sqrt{(Y_k - Y_m)^2 + (X_k - X_m)^2 + (Z_k - Z_m)^2}} = \frac{(X_k - X_m)}{S_{d,b}} \quad (I.14)$$

$$\frac{\partial b_{s_k}}{\partial X_m} = \frac{-2(X_k - X_m)}{2\sqrt{(Y_k - Y_m)^2 + (X_k - X_m)^2 + (Z_k - Z_m)^2}} = \frac{-(X_k - X_m)}{S_{d,b}} \quad (\text{I.15})$$

$$\frac{\partial b_{s_k}}{\partial Z_k} = \frac{2(Z_k - Z_m)}{2\sqrt{(Y_k - Y_m)^2 + (X_k - X_m)^2 + (Z_k - Z_m)^2}} = \frac{(Z_k - Z_m)}{S_{d,b}} \quad (\text{I.16})$$

$$\frac{\partial b_{s_k}}{\partial Z_m} = \frac{-2(Z_k - Z_m)}{2\sqrt{(Y_k - Y_m)^2 + (X_k - X_m)^2 + (Z_k - Z_m)^2}} = \frac{-(Z_k - Z_m)}{S_{d,b}} \quad (\text{I.17})$$

I.2.3 Retningsobservation

Observationsligningen til en retningsobservation er:

$$b_R = \arctan\left(\frac{(Y_k - Y_m)}{(X_k - X_m)}\right) - R_m \quad (\text{I.18})$$

Der også skal lineariseres med hensyn til de ubekendte elementer. Der gælder, at:

$$\frac{\partial \arctan(f)}{\partial f} = \frac{1}{1 + f^2}$$

$$\frac{\partial \frac{1}{f}}{\partial f} = -\frac{1}{f^2}$$

S_v er den beregnede vandrette afstand.

Det vil sige, at:

$$\frac{\partial b_R}{\partial Y_k} = \frac{1}{1 + \left(\frac{(Y_k - Y_m)}{(X_k - X_m)}\right)^2} \left(\frac{1}{X_k - X_m}\right) = \frac{X_k - X_m}{S_v^2} \quad (\text{I.19})$$

$$\frac{\partial b_R}{\partial Y_m} = \frac{1}{1 + \left(\frac{(Y_k - Y_m)}{(X_k - X_m)}\right)^2} \left(\frac{1}{X_k - X_m}\right) (-1) = \frac{-(X_k - X_m)}{S_v^2} \quad (\text{I.20})$$

$$\frac{\partial b_R}{\partial X_k} = \frac{1}{1 + \left(\frac{(Y_k - Y_m)}{(X_k - X_m)}\right)^2} \left(-\frac{(Y_k - Y_m)}{(X_k - X_m)^2}\right) = \frac{-(Y_k - Y_m)}{S_v^2} \quad (\text{I.21})$$

$$\frac{\partial b_R}{\partial X_m} = \frac{1}{1 + \left(\frac{(Y_k - Y_m)}{(X_k - X_m)} \right)^2} \left(-\frac{(Y_k - Y_m)}{(X_k - X_m)^2} \right) (-1) = \frac{Y_k - Y_m}{S_v^2} \quad (\text{I.22})$$

$$\frac{\partial b_R}{\partial R_m} = -1 \quad (\text{I.23})$$

I.2.4 Zenitdistanceobservation

Som beskrevet i I.1.1 *Reducerede observationer*, arbejdes der med reducerede observationer for zenitdistancer. Observationsligningen for reduceret zenitdistanceobservation er:

$$b_{V_k} = \arctan \left(\frac{\sqrt{(Y_k - Y_m)^2 + (X_k - X_m)^2}}{Z_k - Z_m} \right) \quad (\text{I.24})$$

Det vil sige, at:

$$\frac{\partial b_{V_k}}{\partial Y_k} = \frac{1}{1 + \left(\frac{S_v}{Z_k - Z_m} \right)^2} \frac{1}{(Z_k - Z_m)} \left(\frac{Y_k - Y_m}{S_v} \right) = \frac{Y_k - Y_m}{S_v (Z_k - Z_m) + \frac{S_v^3}{(Z_k - Z_m)}} \quad (\text{I.25})$$

$$\frac{\partial b_{V_k}}{\partial Y_m} = -\frac{\partial b_{V_k}}{\partial Y_k} \quad (\text{I.26})$$

$$\frac{\partial b_{V_k}}{\partial X_k} = \frac{1}{1 + \left(\frac{S_v}{Z_k - Z_m} \right)^2} \frac{1}{(Z_k - Z_m)} \left(\frac{X_k - X_m}{S_v} \right) = \frac{X_k - X_m}{S_v (Z_k - Z_m) + \frac{S_v^3}{Z_k - Z_m}} \quad (\text{I.27})$$

$$\frac{\partial b_{V_k}}{\partial X_m} = -\frac{\partial b_{V_k}}{\partial X_k} \quad (\text{I.28})$$

$$\frac{\partial b_{V_k}}{\partial Z_k} = \frac{1}{1 + \left(\frac{S_v}{Z_k - Z_m} \right)^2} S_v \left(-\frac{1}{(Z_k - Z_m)^2} \right) = -\frac{S_v}{(Z_k - Z_m)^2 + S_v^2} \quad (\text{I.29})$$

$$\frac{\partial b_{V_k}}{\partial Z_m} = -\frac{\partial b_{V_k}}{\partial Z_k} \quad (\text{I.30})$$

I.3 Spredning på observationer

Observationerne, som skal indgå i udjævningen, er koordinatobservationer, reducerede afstandsobservationer, retningsobservationer og reducerede zenitdistanceobservationer. For at der kan foregå en fornuftig udjævning, skal observationerne vægtes i forhold til hinanden. Dette gøres ved at udregne en spredning for den enkelte observation og efterfølgende udfra spredningerne på observationerne opstille en vægtmatrice.

I.3.1 Spredning på koordinatobservationer

Når der arbejdes med koordinatobservationer, skal de kendte punkters spredninger være kendte. Alternativt kan spredningerne sættes lig nul, således at koordinaterne fastholdes gennem udjævningsforløbet. Spredningerne på de kendte koordinater kan stamme fra en foregående udjævning eller viden om de kendte punkters nøjagtighed.

I.3.2 Spredning på reducerede afstandsobservationer

Til udjævning anvendes reducerede observationer for afstande, derfor skal spredningen også opstilles til den reducerede afstandsobservation. Den reducerede skrå afstand beregnes efter formel I.5, hvor der er korrigeret for atmosfæriske forhold samt jordkrumning og refraction. Antages det, at $S_{v,kor}$ og ΔH er uafhængige stokastiske variable i formel I.5, kan den simple fejlforplantningslov anvendes til beskrivelse af spredningen på den reducerede afstandsobservation. Der gælder, at:

$$\sigma_{S_k}^2 = \left(\frac{\partial S_k}{\partial S_{v,kor}} \right)^2 \sigma_{S_{v,kor}}^2 + \left(\frac{\partial S_k}{\partial \Delta H} \right)^2 \sigma_{\Delta H}^2 \quad (I.31)$$

hvor der gælder, at:

$$\left(\frac{\partial S_k}{\partial S_{v,kor}} \right) = \frac{1}{2\sqrt{S_{v,kor}^2 + \Delta H^2}} 2S_{v,kor} = \frac{S_{v,kor}}{S_k} \quad (I.32)$$

$$\left(\frac{\partial S_k}{\partial \Delta H} \right) = \frac{1}{2\sqrt{S_{v,kor}^2 + \Delta H^2}} 2\Delta H = \frac{\Delta H}{S_k} \quad (I.33)$$

Til bestemmelsen af $\sigma_{S_{v,kor}}$ antages det, at:

$$S_{v,kor} \approx S_d(1 + ppm_a \cdot 10^{-6}) \sin V \quad (I.34)$$

således der i formel I.3 ses bort fra korrektionen for jordkrumning og refraction.

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

Antages det endvidere, at S_d , ppm_a og V er uafhængige stokastiske variable, kan den simple fejlforplantningslov anvendes på formel (I.34), hvilket giver:

$$\sigma_{S_{v, \text{kor}}}^2 = \left(\frac{\partial S_{v, \text{kor}}}{\partial S_d} \right)^2 \sigma_{S_d}^2 + \left(\frac{\partial S_{v, \text{kor}}}{\partial \text{ppm}_a} \right)^2 \sigma_{\text{ppm}_a}^2 + \left(\frac{\partial S_{v, \text{kor}}}{\partial V} \right)^2 \frac{\sigma_v^2}{n_v \omega^2} \quad (\text{I.35})$$

hvor σ_{S_d} er spredningen på den skrå afstand, σ_{ppm_a} er spredningen på afstandskorrektionen i mm/km, σ_v er spredningen på en zenitdistance ved en sats, n_v er antallet af satses og ω er omregningstal ($200/\pi$) [Jensen a, 2003, s. 15]. Det antages, at spredningen på atmosfæriske forhold er overlegent bestemt således, at der kan ses bort fra andet led i (I.35). Spredningen på en zenitdistance ved en sats er opgivet af producenten og spredningen på en skrå afstand afhænger af, hvilket instrument der benyttes, hvor præcis der centrerer med prismet over det kendte punkt samt afstanden. Ved fri opstilling kan der ses bort fra fejl ved opstilling af instrumentet. Spredningen på en skrå afstand er givet ved:

$$\sigma_{S_d} = \sqrt{\sigma_g^2 + (\sigma_a S_d 10^{-3})^2 + \sigma_c^2} \quad (\text{I.36})$$

hvor σ_g er grundfejl, σ_a er den afstandsafhængige fejl og σ_c er fejlbidraget fra centrering af prismet [Jensen a, 2003, s. 16-18]. Antages det, at $\text{ppm}_a = 0$ bliver spredningen for den korrigerede vandrette afstand:

$$\sigma_{S_{v, \text{kor}}}^2 = (\sin V)^2 (\sigma_g^2 + (\sigma_a S_d 10^{-3})^2 + \sigma_c^2) + (S_d \cos V)^2 \frac{\sigma_v^2}{n_v \omega^2} \quad (\text{I.37})$$

Til bestemmelsen af $\sigma_{\Delta H}$ antages det, at $S_d = S_{d,a}$ og at S_d , V , k_{ref} , i_h og s_h er uafhængige stokastiske variable, og den simple fejlforplantningslov kan anvendes på formel I.4. Brugen af fejlforplantningsloven på formel I.4 giver formel (I.38):

$$\sigma_{\Delta H}^2 = \left(\frac{\partial \Delta H}{\partial S_d} \right)^2 \sigma_{S_d}^2 + \left(\frac{\partial \Delta H}{\partial V} \right)^2 \frac{\sigma_v^2}{n_v \omega^2} + \left(\frac{\partial \Delta H}{\partial k_{\text{ref}}} \right)^2 \sigma_{k_{\text{ref}}}^2 + \left(\frac{\partial \Delta H}{\partial i_h} \right)^2 \sigma_{i_h}^2 + \left(\frac{\partial \Delta H}{\partial s_h} \right)^2 \sigma_{s_h}^2$$

hvor $\sigma_{k_{\text{ref}}}$ er spredning på refraktionskoefficienten, σ_{i_h} er spredning på instrumenthøjden og σ_{s_h} er spredning på prismehøjden. Spredning på den skrå afstand er givet ved formel (I.36), spredning på en zenitdistance er givet af producenten, spredning på instrumenthøjden kan der ses bort fra ved fri opstilling og spredning på højden af prismet afhænger af det anvendte udstyr. Refraktionskoefficienten er meget uforudsigelig, og er derfor forbundet med stor usikkerhed [Jensen a, 2003, s. 32]. Derfor vælges det, at sætte spredningen på refraktionskoefficienten lig 1. Spredning på den samlede højdeforskel bliver således (I.39):

$$\sigma_{\Delta H}^2 = \left(\cos V + 2S_d \frac{1 - k_{\text{ref}}}{2R} \sin^2 V \right)^2 \sigma_{S_d}^2 + \left(-S_d \sin V + 2 \sin V \cos V \frac{(1 - k_{\text{ref}}) S_d^2}{2R} \right)^2 \frac{\sigma_v^2}{n_v \omega^2} + \left(\frac{-S_d^2 \sin^2 V}{2R} \right)^2 \sigma_{k_{\text{ref}}}^2 + (1)^2 \sigma_{i_h}^2 + (-1)^2 \sigma_{s_h}^2$$

Spredningen på den reducerede skrå afstand S_k kan nu beregnes efter formlerne I.31-33, I.37 og I.39.

I.3.3 Spredning på retningsobservationer

For hver totalstation er der opgivet en spredning på en retning ved en sats. Derudover er spredningen på retningen afhængig af, hvor præcist der centrerer med prismet samt afstanden hertil. Fejlbidraget fra centrering af instrument kan der ses bort fra, ved fri opstilling. Spredning for en retning er givet ved:

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{\sigma_r^2}{n_r} + \left(\frac{\sigma_c \omega}{S_v}\right)^2} \quad (\text{I.40})$$

hvor σ_r er spredningen på en retning målt ved en sats opgivet af producenten, n_r er antallet af sats, σ_c er centrering af prisme, ω er omregningstal og S_v er den vandrette afstand. [Jensen a, 2003, s. 9-12]

I.3.4 Spredning på reducerede zenitdistanceobservationer

Før udjævningen korrigeres og reduceres zenitdistanceobservationerne, hvorfor spredningen på den reducerede zenitdistanceobservation skal opstilles. Den reducerede zenitdistanceobservation beregnes efter formel I.6. Betragtes $S_{v, \text{kor}}$ og ΔH som uafhængige stokastiske variable kan den simple fejlforplantningslov anvendes på formel I.6, således at spredningen på den reducerede zenitdistance er:

$$\sigma_{V_k}^2 = \left(\frac{\partial V_k}{\partial S_{v, \text{kor}}}\right)^2 \sigma_{S_{v, \text{kor}}}^2 + \left(\frac{\partial V_k}{\partial \Delta H}\right)^2 \sigma_{\Delta H}^2 \quad (\text{I.41})$$

Der gælder, at:

$$\left(\frac{\partial V_k}{\partial S_{v, \text{kor}}}\right) = \frac{1}{1 + \left(\frac{S_{v, \text{kor}}}{\Delta H}\right)^2} \cdot \frac{1}{\Delta H} = \frac{\Delta H}{S_k^2} \quad (\text{I.42})$$

$$\left(\frac{\partial V_k}{\partial \Delta H}\right) = \frac{1}{1 + \left(\frac{S_{v, \text{kor}}}{\Delta H}\right)^2} \left(-\frac{S_{v, \text{kor}}}{\Delta H^2}\right) = -\frac{S_{v, \text{kor}}}{S_k^2} \quad (\text{I.43})$$

Spredningen på den korrigerede vandrette afstand er givet ved formel I.37 og spredningen på den samlede korrigerede højdeforskel er givet ved formel I.39. Spredningen på den reducerede zenitdistance bestemmes ud fra formlerne I.41-43, I.37 og I.39.

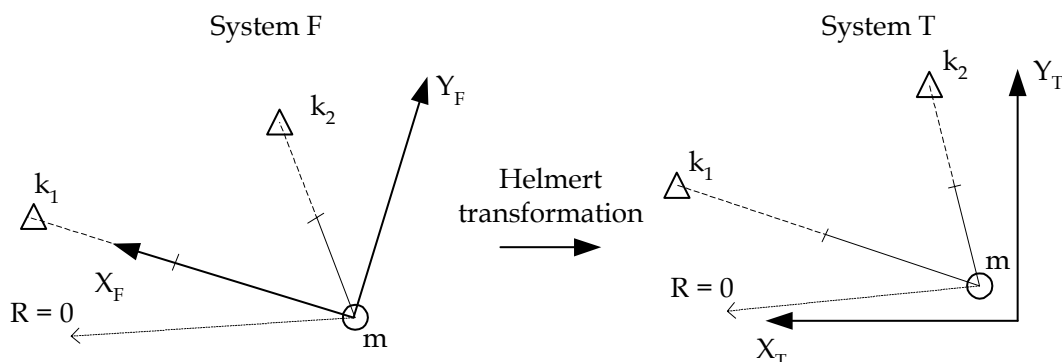
I.4 Foreløbige værdier

Beregningen af foreløbige værdier til opstillingspunktet (Y_m, X_m, Z_m) og opstillingskredselement (R_m) foregår ud fra observationerne til de to første kendte punkter. Bestemmelsen er opdelt i tre dele. Første del er bestemmelsen af foreløbige koordinater i planen (Y_m, X_m). Anden del er bestemmelsen af foreløbig koordinat for opstillingspunktets kote (Z_m). Endelig er tredje del bestemmelsen af kredselementet (R_m).

Foreløbig Y_m og X_m bestemmes ved at oprette et lokalt hjælpe koordinatsystem (system F) orienteret som reference koordinatsystemet med opstillingspunktet beliggende i (0,0) og sigtet til første kendte punkt definerer X-aksen. Efterfølgende bestemmes transformationsparametrene til en to-dimensional Helmert transformation via de to kendte punkter. Transformationen er givet ved:

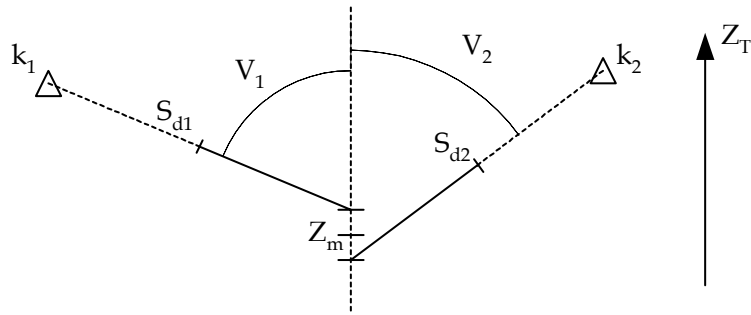
$$\begin{bmatrix} Y_T \\ X_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k \cos \varphi & -k \sin \varphi \\ k \sin \varphi & k \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_F \\ X_F \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_Y \\ t_X \end{bmatrix} \quad (\text{I.44})$$

Opstillingspunktets koordinater i planen i reference koordinatsystemet (system T) er efterfølgende givet ved translationen i transformationen, jf. figur I.5. [Jensen a, 2003 s. 95, 99-100], [Borre, 1993, s. 86-87]



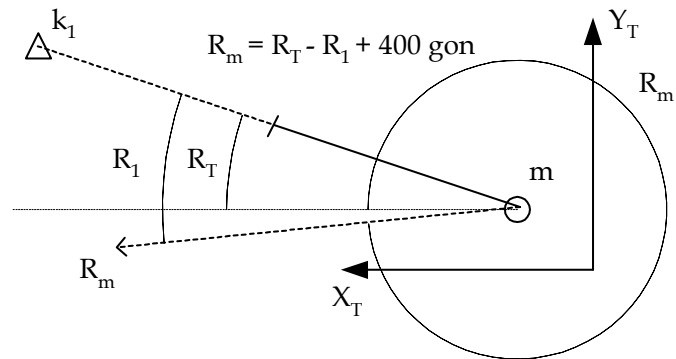
Figur I.5: Bestemmelse af foreløbige værdier for Y_m og X_m ved to-dimensional Helmert transformation.

Foreløbig Z_m bestemmes som middel af koterne beregnet på baggrund af afstands- og zenitdistanceobservationerne til to kendte punkter, jf. figur I.6.



Figur I.6: Foreløbig bestemmelse af Z_m .

Endelig bestemmes foreløbig R_m i referencesystemet (system T). Dette gøres ved at udregne vinklen mellem X -aksen og sigtet til første kendte punkt (R_1) og subtrahere den observerede retning til første kendte punkt (R_1). Viser det sig, at foreløbig R_m bliver negativ, tillægges 400 gon. Illustration af udregning af foreløbig kredselement fremgår af figur I.7.



Figur I.7: Foreløbig bestemmelse af R_m .

I.5 Udjævning af fri opstilling

Formålet med udjævningen er at få bestemt (Y, X, Z) -koordinater til opstillingspunktet samt kredselementet. Derudover at vurdere udjævningen samt få et mål for hvor præcist elementerne er bestemt. Der kan opstilles et udjævningsproblem af typen:

$$\mathbf{b} = \mathbf{A}\hat{\mathbf{x}} - \hat{\mathbf{r}} \quad (\text{I.45})$$

hvor \mathbf{b} er observationsvektoren, \mathbf{A} er designmatricen, $\hat{\mathbf{x}}$ er løsningsvektoren og $\hat{\mathbf{r}}$ er residualvektoren.

Løsningen er ved vægtet observationer givet ved:

$$\hat{\mathbf{x}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{C} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{C} \mathbf{b} \quad (\text{I.46})$$

Når der arbejdes med et ulineært problem indeholder \mathbf{b} forskellen mellem observationerne og observationer beregnet ud fra foreløbige værdier, \mathbf{A} indeholder partielle afledte med hensyn til de ubekendte elementer, $\hat{\mathbf{x}}$ indeholder forskel-

len mellem de ubekendte elementer og foreløbige værdier for de ubekendte elementer. Når udjævningsproblemet er ulineært, skal der itereres indtil tilvæksterne i \hat{x} er små. [Cederholm, 2000, s. 22, 33] På figur I.8 fremgår iterationsprocessen i udjævningsforløbet.

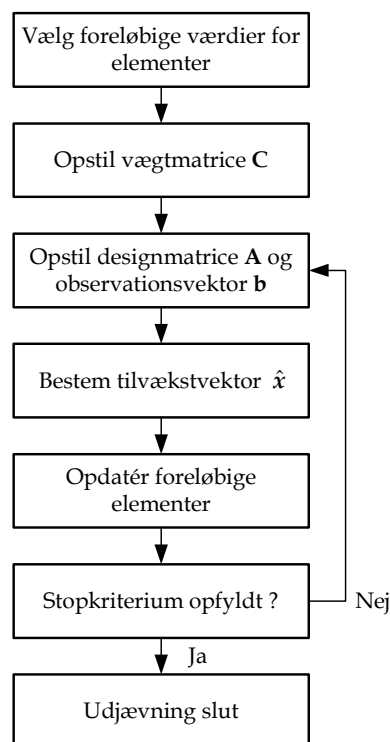
Der skal tilvejebringes foreløbige værdier for de ubekendte elementer, jf. *I.4 Foreløbige værdier*, og efter hver iteration skal de foreløbige værdier opdateres med \hat{x} , der betegnes elementvektoren. De foreløbige værdier opstilles i en søjlevektor \mathbf{L} (løsningsvektor), der efter opdateringer indeholder løsningen af udjævningen.

Til udjævningen er det vigtigt, at matricerne og vektorerne opstilles ens. I de følgende afsnit beskrives opstillingen af matricerne og vektorerne. Opstillingen af matricerne og vektorerne opstilles således, at de er uafhængige af antallet af observationer.

I.5.1 Designmatricen A

\mathbf{A} -matricen indeholder de partielle afledte af observationsligningerne med hensyn til de ubekendte elementer, der er givet i *I.2 Observationsligninger og partielle afledte*. Det vælges at opstille \mathbf{A} -matricen således, at koordinatobservationerne kommer først efterfulgt af reducerede afstandsobservationer, retningsobservationer og reducerede zenitdistanceobservationer. I \mathbf{A} -matricen vises kun pladser, der er forskellige fra nul (I.47).

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \text{koordinatobservationer} \\ \text{reducerede afstandsobservationer} \\ \text{retningsobservationer} \\ \text{reducerede zenitdistanceobservationer} \end{bmatrix}$$



Figur I.8: Iterativ løsning af udjævningsproblem. [Cederholm, 2000, s. 35]

$$\mathbf{b} = \begin{bmatrix} b_{Y_1} - b_{Y_1}^0 \\ b_{X_1} - b_{X_1}^0 \\ b_{Z_1} - b_{Z_1}^0 \\ \vdots \\ b_{Y_n} - b_{Y_n}^0 \\ b_{X_n} - b_{X_n}^0 \\ b_{Z_n} - b_{Z_n}^0 \\ b_{S_{k1}} - b_{S_{k1}}^0 \\ \vdots \\ b_{S_{kn}} - b_{S_{kn}}^0 \\ b_{R_1} - b_{R_1}^0 \\ \vdots \\ b_{R_n} - b_{R_n}^0 \\ b_{V_{k1}} - b_{V_{k1}}^0 \\ \vdots \\ b_{V_{kn}} - b_{V_{kn}}^0 \end{bmatrix} \tag{I.51}$$

Størrelsen af værdierne i \mathbf{b} -vektoren afhænger af, hvor gode de foreløbige værdier er til opstillingspunktet. Hvis værdierne i \mathbf{b} -vektoren er store er de foreløbige værdier dårligt bestemt.

I.5.4 Elementvektor $\hat{\mathbf{x}}$

Elementvektoren - også betegnet $\hat{\mathbf{x}}$ - indeholder efter hver iteration differensen mellem de ubekendte elementer og foreløbige værdier for elementerne, ved ulineære udjævningsproblemer. Det vil sige, at elementvektoren har følgende struktur med koordinatobservationer til udjævning af fri opstilling:

$$\hat{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} Y_1 - Y_1^0 \\ X_1 - X_1^0 \\ Z_1 - Z_1^0 \\ \vdots \\ Y_n - Y_n^0 \\ X_n - X_n^0 \\ Z_n - Z_n^0 \\ Y_m - Y_m^0 \\ X_m - X_m^0 \\ Z_m - Z_m^0 \\ R_m - R_m^0 \end{bmatrix} \quad (\text{I.52})$$

Det centrale for udjævning af fri opstilling er de fire nederste pladser, der indeholder forskellen til opstillingspunktets koordinater og kredselementet.

Udjævningen stopper når værdier i $\hat{\mathbf{x}}$ er små, det vil sige, at der er små rettelser til de foreløbige elementer. Stopkriteriet er når værdierne for opstillingspunktets koordinater i $\hat{\mathbf{x}}$ er mindre end 0,0001 m og 0,0001 gon for kredselementet.

I.5.5 Løsningsvektor \mathbf{L}

Inden udjævning skal der gives foreløbige værdier for de ubekendte elementer. Disse foreløbige værdier opstilles i en løsningsvektor \mathbf{L} :

$$\mathbf{L} = \begin{bmatrix} Y_1^0 \\ X_1^0 \\ Z_1^0 \\ \vdots \\ Y_n^0 \\ X_n^0 \\ Z_n^0 \\ Y_m^0 \\ X_m^0 \\ Z_m^0 \\ R_m^0 \end{bmatrix} \quad (\text{I.53})$$

Appendiks I: Beregning af fri opstilling

Efter hver iteration opdateres L med \hat{x} , således at L -vektoren efter afslutning af udjævningsforløbet indeholder udjævnede værdier for de ubekendte elementer.

$$L = L + \hat{x} \quad (I.54)$$

Efter opdatering af L -vektoren er de foreløbige værdier for elementerne opdateret og kan således indgå i en ny udjævning.

I.5.6 Overbestemmelser

I forbindelse med udjævning er det vigtigt, at de observationer, der indsamles, kan bestemme elementerne. Hvis observationerne akkurat kan bestemme elementerne er disse entydigt bestemt. Findes der flere observationer end nødvendigt til bestemmelse af elementerne, tales der om overbestemmelser. Antallet af overbestemmelser d defineres som:

$$d = q - w \quad (I.55)$$

hvor q er antallet af observationer, og w er antallet af elementer, der skal bestemmes.

I figur I.9 skitseres en opgørelse over antallet af overbestemmelser, hvor der er foretaget observationer (skrå afstand, horisontalretning, zenitdistance) til fire kendte punkter i tre dimensioner (Y_i, X_i, Z_i).

Bestemmelse af antal overbestemmelser ved observationer til 4 kendte punkter	
Observationer	
Skrå afstande (S_d)	4
Horisontalretninger (R)	4
Zenitdistancer (V)	4
Kendte punkter (Y_i, X_i, Z_i)	12
Observationer i alt (q)	24
Elementer	
Opstillingspunkt (Y_m, X_m, Z_m)	3
Kredselement (R_m)	1
Kendte punkter (Y_i, X_i, Z_i)	12
Elementer i alt (w)	16
Overbestemmelser	
Antal overbestemmelser (d)	8

Figur I.9: Opgørelse af antal overbestemmelser ved observationer til fire kendte punkter.

I.6 Robust udjævning

Robust udjævning er en metode, der automatisk eliminerer grove fejl i forbindelse med udjævning. I dette afsnit beskrives, hvorledes robust udjævning - efter den danske metode - gør brug af mindste kvadraters princip og en vægtreduktionsfunktion til automatisk fjernelse af observationer med grove fejl fra udjævningen.

Ved udjævning efter mindste kvadraters princip er det ikke nødvendigvis observationen med en grov fejl, der får det største residual. Mindste kvadraters princip kan „skjule“ grove fejl ved at overføre fejlen til andre observationer. [Krup, m.fl., 1980, s. 370-371]

I.6.1 Robust udjævning - den danske metode

Robust udjævning efter den danske metode foregår overordnet ved, at grove fejl nedvægtes i udjævningen. Således får observationer med store normaliserede residualer i udjævningen en lille vægt i den efterfølgende udjævning. Dette betyder, at observationer behæftet med grove fejl reelt ikke indgår i bestemmelsen af elementerne. Metoden er empirisk bestemt og udviklet til brug i forbindelse med blokudjævning i fotogrammetrien, men kan matematisk overføres til brug ved udjævning af landmålingsobservationer.

Robust udjævning efter den danske metode foregår i tre trin:

1. Udjævning efter mindste kvadraters princip uden vægtreduktion
2. Udjævning efter mindste kvadraters princip med kraftig vægtreduktion
3. Udjævning efter mindste kvadraters princip med normal vægtreduktion

[Juhl, 1980, s. 22-25]

Først gennemføres en almindelig udjævning efter mindste kvadraters princip, som beskrevet i I.5 *Udjævning af fri opstilling*. Herefter beregnes en ekstra vægtfaktor til observationerne, der multipliceres med vægtene i den allerede opstillede vægtmatrice C i forbindelse med kraftig og normal vægtreduktion. Vægtfaktoren udregnes efter følgende eksponential funktion:

$$cr = \exp(-0,05 \cdot (kr \cdot r')^{xr}) \quad (I.56)$$

hvor kr og xr henholdsvis er en faktor og en potens, som afhænger af, hvor kraftigt vægtreduktionen foretages. De normaliserede residualer r' udregnes ved brug af den oprindelige vægtmatrice C . cr udregnes for hver observation ved hver iteration, og antager en værdi mellem 0 og 1. Efterfølgende multipliceres cr med det tilhørende diagonalelement i C . Således får en observation med et stort normaliseret residual ved næste iteration en mindre vægt dikteret af I.56.

Appendiks I: Beregning af fri opstilling

Den kraftige nedvægtning fortsætter indtil stopkriteriet i udjævningen er opfyldt. Stopkriteriet er opfyldt, når tilvæksterne for elementerne til opstillingspunktet i x -hat er mindre end 0,0001 m og 0,0001 gon. Hvis der i observationerne er en eller flere grove fejl, får disse tildelt en lille vægt i udjævningen og får dermed ikke betydning for udjævningsresultatet. Igennem udjævning med kraftig vægtreduktion kan det forekomme, at observationer uden grove fejl får tildelt en lille vægt. Den kraftige nedvægtning bevirker således, at for mange observationer nedvægtes, og dermed ikke har betydning i udjævningen.

Efterfølgende udføres en udjævning med normal vægtreduktion. Denne har til formål at få de observationer, der ikke er behæftet med grove fejl - men betragtet som sådanne, „ind“ i udjævningen igen. Dette gøres igen på baggrund af den oprindelige vægtmatrice og vægtreduktionsfunktionen cr . Herved vil antallet af nedvægtede observationer falde, således at det kun er observationer med grove fejl, der vil forblive nedvægtede. Dette skyldes, at observationer med grove fejl i den kraftige vægtreduktion forventes at have de største residualer, og således forbliver nedvægtede igennem den normale vægtreduktion, mens observationer uden grove fejl igen får større vægt. Stopkriteriet for dette trin i udjævningen er det samme som ved foregående trin.

Herefter anses udjævningen for automatisk at være rensset for grove fejl.

Udtrykkene kraftig og normal vægtreduktion forholder sig til værdierne kr og xr i den eksponentiale vægtreduktionsfunktion. Disse størrelser er empirisk bestemt i forbindelse med udjævning af aerotriangulationsblokke i fotogrammetrien [Juhl, 1980, s. 23]. Værdierne for kraftig og normal vægtreduktion fremgår af figur I.10. Endvidere fremgår vægtreduktionsfunktionen som funktion af normaliserede residualer grafisk af figur I.11 beregnet på baggrund af I.56.

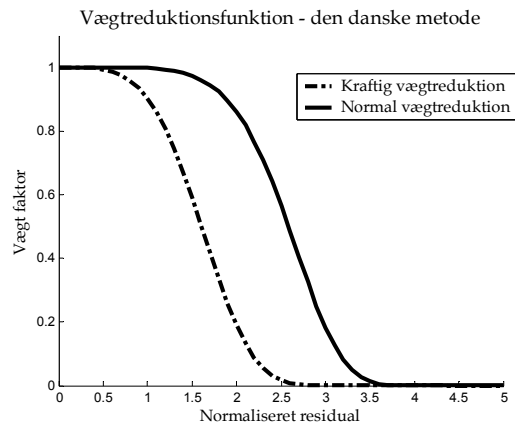
Vægtreduktion	xr	kr
Kraftig	4,4	1,0
Normal	6,0	0,6

Figur I.10: Værdier for konstanter i vægtreduktionsfunktionen.

Værdierne for kr og xr er bestemt empirisk. Således passer værdierne til udjævning af observationer, der indgår i forbindelse med udjævning af en aerotriangulation [Juhl, 1980, s. 26]. Bilag C behandler problematikken med fastsættelse af nye værdier for kr og xr til brug ved udjævning af landmålingsobservationer, og om hvorvidt den robuste udjævningsmetode er anvendelig i forbindelse med udjævning af fri opstilling, hvor antallet af overbestemmelser er begrænset.

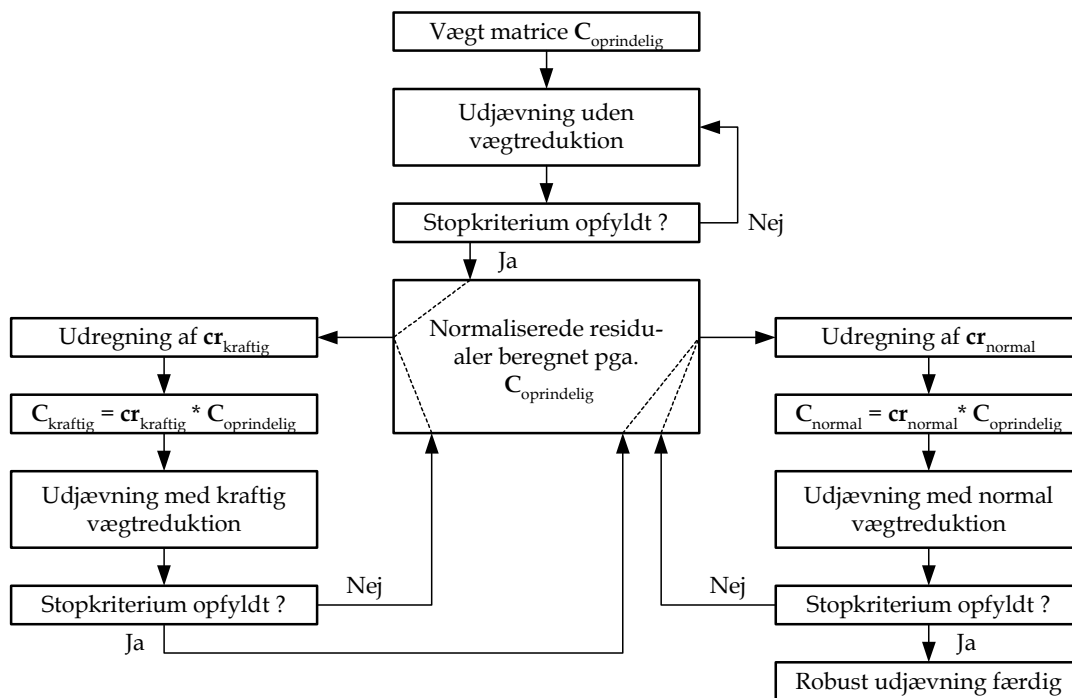
Vægte, der udregnes til værdier under 0,01 i vægtreduktionsfunktionen, sættes til 0,000001. På denne måde udgår observationer med sådanne vægte i udjævningen, og skal derfor ikke regnes med i fastlæggelsen af antallet af overbestemmelser.

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol



Figur I.11: Grafisk afbildning af vægtreduktionsfunktionen.

Selve udjævningsforløbet for en robust udjævning fremgår af figur I.12, hvor det især er vægtmatricen C og normaliserede residualer r' , der er centrale.



Figur I.12: Robust udjævningsforløb.

II

Præcision og nøjagtighed af afsætning

Dette appendiks har til formål at redegøre for, hvorledes præcision og nøjagtighed beregnes til forskellige størrelser i forbindelse med en afsætning. Begreberne præcision og nøjagtighed er defineret, jf. 4.1.1 *Præcision og nøjagtighed*. Først beskrives afsætningssituationen, hvorfra beregningerne tager deres udgangspunkt. Herefter gennemgås forskellige udtryk for præcision og nøjagtighed af det afsatte. Sluttelig beskrives, hvorledes præcisions- og nøjagtighedsforholdene visualiseres ved brug af konfidensellipser.

Beregningerne for præcision og nøjagtighed gennemgås med hensyn til:

- et afsat punkt (Y,X,Z)
- linien gennem to afsatte punkter (Y,X)
- skæringen mellem to linier (Y,X)
- afstand mellem skæringspunkter (Y,X)

Appendiks II: Præcision og nøjagtighed af afsætning

Ved afsætning af modullinier er det nødvendigt at vide, om afstanden S mellem modullinierne overholder fastsatte tolerancer. Er dette ikke tilfældet, vil kravet til afsætningen ikke være opfyldt. Derfor er det vigtigt at få bestemt et mål for, hvor præcis/nøjagtig afstanden S mellem modullinierne er. Et sådan mål bestemmes ved spredning på afstanden (σ_s) mellem skæringspunkter.

Første skridt i bestemmelsen af σ_s er bestemmelsen af $\Sigma_{p'}$, som er kovariansmatricen for de punkter, der bliver afsat på galgerne fra den frie opstilling, jf. figur II.1. Efterfølgende skal der fremstilles et mål for, hvor præcis/nøjagtig en linie igennem to afsatte punkter (eksempelvis linie l_4 gennem punkterne p_1 og p_6 , jf. figur II.1) kan bestemmes (Σ_{linie}). Mellem to linier findes skæringspunktet (sp), som i virkeligheden er de punkter, der skal markeres som hjørner til et byggeri. Disse skæringspunkters kovariansmatricer bestemmes ved hjælp af liniernes kovariansmatricer. Således bestemmes Σ_{sp} . Endelig kan σ_s bestemmes ved hjælp af de to skæringspunkters kovariansmatricer (eksempelvis Σ_{sp1} og Σ_{sp2} , jf. figur II.1), som definerer S .

Afsætning af koten kan foretages før, under eller efter afsætning af modullinier afhængigt af situationen. Før afsætning af modullinier kan koten afsættes på alle galger, og tværbrædderne på galgerne kan således tilpasses i højden. Såfremt der blot skal afsættes enkelte kotemærker i forbindelse med byggeriet, kan dette foretages før eller efter afsætning af modullinier. Disse enkelte kotemærker kan byggeformanden således benytte i forbindelse med fastlæggelsen af koten til byggeriet.

For at afgøre om koten overholder en fastsat tolerance, er det nødvendigt at vide, om spredningen på Z i det afsatte punkt er tilfredsstillende eller ej. Det afgøres ved udregning af spredningen på det afsatte punkts Z -koordinat σ_{z_p} .

I de følgende afsnit beskrives, hvorledes præcisionen og nøjagtigheden af de forskellige størrelser opstilles/beregnes ved hjælp af fejlteori.

II.2 Præcision og nøjagtighed af afsat punkt

I dette afsnit beskrives, hvorledes præcisionen og nøjagtigheden af et afsat punkt beregnes. Forskellen på præcision og nøjagtighed er, at ved præcision anses opstillingspunktet (den frie opstilling) som fejlfri. Således er præcisionen udtryk for det benyttede instruments samt prismets fejlbidrag. Hvis et afsat punkts nøjagtighed skal beskrives/beregnes, er det nødvendigt at have fejlbidraget for opstillingspunktet beskrevet. Igennem udjævning af den frie opstilling beregnes en kovariansmatricer for opstillingspunktet, som beskriver, hvor nøjagtigt opstillingen og dets kredselement er bestemt (varianser og kovarianser for Y_m , X_m , Z_m og R_m).

Appendiks II: Præcision og nøjagtighed af afsætning

Det antages, at der ikke er korrelation mellem opstillingspunktet og observationerne fra opstillingspunktet til det afsatte punkt p samt mellem de enkelte observationer fra opstillingspunktet.

Jacobi-matricen med de partielt afledte er:

$$J_p = \begin{bmatrix} \frac{\partial Y}{\partial Y_m} & \frac{\partial Y}{\partial X_m} & \frac{\partial Y}{\partial Z_m} & \frac{\partial Y}{\partial R_m} & \frac{\partial Y}{\partial S_d} & \frac{\partial Y}{\partial R} & \frac{\partial Y}{\partial V} & \frac{\partial Y}{\partial s_h} \\ \frac{\partial X}{\partial Y_m} & \frac{\partial X}{\partial X_m} & \frac{\partial X}{\partial Z_m} & \frac{\partial X}{\partial R_m} & \frac{\partial X}{\partial S_d} & \frac{\partial X}{\partial R} & \frac{\partial X}{\partial V} & \frac{\partial X}{\partial s_h} \\ \frac{\partial Z}{\partial Y_m} & \frac{\partial Z}{\partial X_m} & \frac{\partial Z}{\partial Z_m} & \frac{\partial Z}{\partial R_m} & \frac{\partial Z}{\partial S_d} & \frac{\partial Z}{\partial R} & \frac{\partial Z}{\partial V} & \frac{\partial Z}{\partial s_h} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & S_d \sin(V) \cos(R_m + R) & \sin(V) \sin(R_m + R) \\ 0 & 1 & 0 & -S_d \sin(V) \sin(R_m + R) & \sin(V) \cos(R_m + R) \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \cos(V) \\ S_d \sin(V) \cos(R_m + R) & S_d \cos(V) \sin(R_m + R) & 0 \\ -S_d \sin(V) \sin(R_m + R) & S_d \cos(V) \cos(R_m + R) & 0 \\ 0 & -S_d \sin(V) & -1 \end{bmatrix} \quad (\text{II.4})$$

II.2.1 Spredning på observationer

Til bestemmelse af spredningerne til observationerne skal der huskes på, at der ikke foretages korrektion for refraction og jordkrumning, hvorfor formlerne til bestemmelse af spredningerne til opstilling af kovariansmatricen for observationerne Σ_{obs} heller ikke indeholder fejlbidrag fra dette.

Spredningen på den skrå afstand (S_d) udregnes som:

$$\sigma_{S_d} = \sqrt{\sigma_g^2 + (\sigma_a S_d 10^{-3})^2 + \sigma_c^2} \quad (\text{II.5})$$

[Jensen a, 2003, s. 16]

Spredning på en retning (R) er givet ved:

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{\sigma_r^2}{n_r} + \left(\frac{\sigma_c \omega}{S_v} \right)^2} \quad (\text{II.6})$$

[Jensen a, 2003, s. 9-12]

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

Spredning på en zenitdistance (V) bestemmes i appendiks I, hvor der indgår fejlbidrag fra refraktion og jordkrumning. Udelades refraktion og jordkrumning simplificeres formlerne. En zenitdistance kan udtrykkes ved følgende formel:

$$V = \arctan\left(\frac{S_v}{\Delta H}\right) \quad (\text{II.7})$$

hvor S_v er den vandrette afstand og ΔH er højdeforskellen mellem opstillingspunktet og prismet. Anvendes den simple fejlforplantningslov på formel II.7 fåes:

$$\sigma_V^2 = \left(\frac{\partial V}{\partial S_v}\right)^2 \sigma_{S_v}^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial \Delta H}\right)^2 \sigma_{\Delta H}^2 = \left(\frac{\Delta H}{S_d^2}\right)^2 \sigma_{S_v}^2 + \left(-\frac{S_v}{S_d^2}\right)^2 \sigma_{\Delta H}^2 \quad (\text{II.8})$$

hvor σ_{S_v} er spredning på den vandrette afstand og $\sigma_{\Delta H}$ er spredning på højdeforskellen. Spredningen på den vandrette afstand er givet ved:

$$\sigma_{S_v}^2 = (\sin V)^2 (\sigma_g^2 + (\sigma_a S_d 10^{-3})^2 + \sigma_c^2) + (S_d \cos V)^2 \frac{\sigma_v^2}{n_v \omega^2} \quad (\text{II.9})$$

[Jensen a, 2003, s. 17]

Spredningen på højdeforskellen er givet ved:

$$\sigma_{\Delta H}^2 = (\cos V)^2 \sigma_{S_d}^2 + (-S_d \sin V)^2 \frac{\sigma_v^2}{n_v \omega^2} + \sigma_{s_h}^2 \quad (\text{II.10})$$

[Jensen a, 2003, s. 30-31]

Spredningen på zenitdistancen kan således beregnes ved brug af formel II.8-II.10.

Spredningen på prismehøjden σ_{s_h} afhænger af det valgte udstyr og prismeholderen. Denne fastsættes ud fra erfaring.

II.3 Præcision og nøjagtighed af linie gennem to afsatte punkter

Præcisionen og nøjagtigheden af linien gennem to afsatte punkter afhænger af, med hvilke præcision/nøjagtighed punkterne er afsat. I det følgende redegøres for liniens præcision og nøjagtighed.

Liniens ligning er givet ved:

$$X = aY + b \quad (\text{II.11})$$

hvor a er liniens hældning og b er skæring med 2. akse (X-aksen).

Appendiks II: Præcision og nøjagtighed af afsætning

En linie er givet ved to punkter, således at:

$$X_{p1} = aY_{p1} + b \quad \text{og} \quad X_{p2} = aY_{p2} + b$$

Subtraheres ovenstående ligninger, bestemmes liniens parametre efter følgende formler:

$$a = \frac{X_{p2} - X_{p1}}{Y_{p2} - Y_{p1}} \quad (\text{II.12})$$

$$b = X_{p1} - aY_{p1} = X_{p1} - \frac{X_{p2} - X_{p1}}{Y_{p2} - Y_{p1}} Y_{p1} \quad (\text{II.13})$$

På matrice-form giver foregående:

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{X_{p2} - X_{p1}}{Y_{p2} - Y_{p1}} \\ X_{p1} - \frac{X_{p2} - X_{p1}}{Y_{p2} - Y_{p1}} Y_{p1} \end{bmatrix} \quad (\text{II.14})$$

Kovariansmatricen for linien med parametrene a og b bestemmes ved at benytte den generelle fejlforplantningslov på II.14, som giver:

$$\Sigma_{linie} = J_{linie} \Sigma_{YXp} J_{linie}^T = \begin{bmatrix} \sigma_a^2 & \sigma_{ab} \\ \sigma_{ba} & \sigma_b^2 \end{bmatrix} \quad (\text{II.15})$$

hvor Σ_{YXp} er kovariansmatricen for de to afsatte punkter i planen og J_{linie} er Jacobi-matricen, hvor formel II.14, differentieres med hensyn til koordinaterne for de afsatte punkter. Kovariansmatricen for koordinaterne er givet ved:

$$\Sigma_{YXp} = \begin{bmatrix} \sigma_{Y_{p1}}^2 & \sigma_{Y_{p1}X_{p1}} & 0 & 0 \\ \sigma_{X_{p1}Y_{p1}} & \sigma_{X_{p1}}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{Y_{p2}}^2 & \sigma_{Y_{p2}X_{p2}} \\ 0 & 0 & \sigma_{X_{p2}Y_{p2}} & \sigma_{X_{p2}}^2 \end{bmatrix} \quad (\text{II.16})$$

Det antages, at der ikke er korrelation mellem de to afsatte punkter.

Jacobi-matricen til formel II.15 er givet ved følgende formel (II.17):

$$J_{linie} = \begin{bmatrix} \frac{\partial a}{\partial Y_{p1}} & \frac{\partial a}{\partial X_{p1}} & \frac{\partial a}{\partial Y_{p2}} & \frac{\partial a}{\partial X_{p2}} \\ \frac{\partial b}{\partial Y_{p1}} & \frac{\partial b}{\partial X_{p1}} & \frac{\partial b}{\partial Y_{p2}} & \frac{\partial b}{\partial X_{p2}} \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} \frac{X_{p2} - X_{p1}}{(Y_{p2} - Y_{p1})^2} & -\frac{1}{(Y_{p2} - Y_{p1})} & -\frac{X_{p2} - X_{p1}}{(Y_{p2} - Y_{p1})^2} & \frac{1}{(Y_{p2} - Y_{p1})} \\ -\frac{X_{p2} - X_{p1}}{(Y_{p2} - Y_{p1})^2} Y_{p1} - \frac{X_{p2} - X_{p1}}{Y_{p2} - Y_{p1}} & \frac{Y_{p1}}{(Y_{p2} - Y_{p1})} + 1 & \frac{X_{p2} - X_{p1}}{(Y_{p2} - Y_{p1})^2} Y_{p1} & -\frac{Y_{p1}}{(Y_{p2} - Y_{p1})} \end{bmatrix}$$

Benyttelsen af formel II.11 kan give problemer ved linier, der er parallelle med 2.aksen. Dette problem behandles dog ikke yderligere.

II.4 Præcision og nøjagtighed af skæring mellem to linier

Præcisionen og nøjagtigheden af skæringen mellem to linier afhænger af, hvorledes liniernes præcision og nøjagtighed er bestemt. Til bestemmelse af et skærende punkt (sp) mellem to linier kræves to linier, der er givet ved:

$$X_{sp} = a_1 Y_{sp} + b_1 \quad \text{og} \quad X_{sp} = a_2 Y_{sp} + b_2 \quad (\text{II.18})$$

Subtraheres ovenstående ligninger fås:

$$Y_{sp} = \frac{b_1 - b_2}{a_2 - a_1} \quad (\text{II.19})$$

$$X_{sp} = a_1 Y_{sp} + b_1 = a_1 \frac{b_1 - b_2}{a_2 - a_1} + b_1 \quad (\text{II.20})$$

På matrice-form kan formlerne II.19 og II.20 udtrykkes ved:

$$\begin{bmatrix} Y_{sp} \\ X_{sp} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{b_1 - b_2}{a_2 - a_1} \\ a_1 \frac{b_1 - b_2}{a_2 - a_1} + b_1 \end{bmatrix} \quad (\text{II.21})$$

Appendiks II: Præcision og nøjagtighed af afsætning

Til bestemmelsen af kovariansmatricen for skæringspunktet anvendes den generelle fejlforplantningslov på II.21, hvilket giver:

$$\Sigma_{sp} = J_{sp} \Sigma_{linie12} J_{sp}^T = \begin{bmatrix} \sigma_{Y_{sp}}^2 & \sigma_{Y_{sp}X_{sp}} \\ \sigma_{X_{sp}Y_{sp}} & \sigma_{X_{sp}}^2 \end{bmatrix} \quad (II.22)$$

hvor $\Sigma_{linie12}$ er kovariansmatricen for liniernes parametre og J_{sp} er Jacobi-matricen med de partielle afledte af formel II.21, med hensyn til liniernes parametre. Kovariansmatricen for en linites parametre er givet ved formel II.15, og for to linier udtrykkes kovariansmatricen som:

$$\Sigma_{linie12} = \begin{bmatrix} \sigma_{a_1}^2 & \sigma_{a_1b_1} & 0 & 0 \\ \sigma_{b_1a_1} & \sigma_{b_1}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{a_2}^2 & \sigma_{a_2b_2} \\ 0 & 0 & \sigma_{b_2a_2} & \sigma_{b_2}^2 \end{bmatrix} \quad (II.23)$$

Det antages, at der ikke er korrelation mellem de to liniters parametre. Jacobi-matricen J_{sp} er givet ved:

$$J_{sp} = \begin{bmatrix} \frac{\partial Y}{\partial a_1} & \frac{\partial Y}{\partial b_1} & \frac{\partial Y}{\partial a_2} & \frac{\partial Y}{\partial b_2} \\ \frac{\partial X}{\partial a_1} & \frac{\partial X}{\partial b_1} & \frac{\partial X}{\partial a_2} & \frac{\partial X}{\partial b_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{b_1 - b_2}{(a_2 - a_1)^2} & \frac{1}{a_2 - a_1} & -\frac{b_1 - b_2}{(a_2 - a_1)^2} & -\frac{1}{a_2 - a_1} \\ a_1 \frac{b_1 - b_2}{(a_2 - a_1)^2} + \frac{b_1 - b_2}{a_2 - a_1} & \frac{a_1}{a_2 - a_1} + 1 & -a_1 \frac{b_1 - b_2}{(a_2 - a_1)^2} & -\frac{a_1}{a_2 - a_1} \end{bmatrix} \quad (II.24)$$

[Cederholm, 2003, s. 84-86]

II.5 Præcision og nøjagtighed af afstand mellem to skæringspunkter

Til bestemmelsen af spredningen på afstanden mellem skæringspunkter skal præcisionen/nøjagtigheden, af de skærende punkter benyttes. Afstanden mellem to skæringspunkter er givet ved:

$$S = \sqrt{(Y_{sp1} - Y_{sp2})^2 + (X_{sp1} - X_{sp2})^2} \quad (II.25)$$

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

Spredningen på S bestemmes ved at bruge den generelle fejlforplantningslov på formel II.25, hvilket giver:

$$\Sigma_S = J_S \Sigma_{sp12} J_S^T = \sigma_S^2 \quad (\text{II.26})$$

hvor Σ_{sp12} er kovariansmatricen for skæringspunkterne. J_S indeholder de partielle afledte af II.25, med hensyn til skæringspunkternes koordinater. Σ_{sp12} er givet ved:

$$\Sigma_{sp12} = \begin{bmatrix} \sigma_{Y_{sp1}}^2 & \sigma_{Y_{sp1}X_{sp1}} & 0 & 0 \\ \sigma_{X_{sp1}Y_{sp1}} & \sigma_{X_{sp1}}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{Y_{sp2}}^2 & \sigma_{Y_{sp2}X_{sp2}} \\ 0 & 0 & \sigma_{X_{sp2}Y_{sp2}} & \sigma_{X_{sp2}}^2 \end{bmatrix} \quad (\text{II.27})$$

Det antages, at der ikke er korrelation mellem skæringspunkterne. J_S opstilles ud fra formel II.25:

$$J_S = \begin{bmatrix} \frac{\partial S}{\partial Y_{sp1}} & \frac{\partial S}{\partial X_{sp1}} & \frac{\partial S}{\partial Y_{sp2}} & \frac{\partial S}{\partial X_{sp2}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{Y_{sp1} - Y_{sp2}}{S} & \frac{X_{sp1} - X_{sp2}}{S} & -\frac{Y_{sp1} - Y_{sp2}}{S} & -\frac{X_{sp1} - X_{sp2}}{S} \end{bmatrix} \quad (\text{II.28})$$

II.6 Visualisering af præcision og nøjagtighed

Til visualisering af præcision og nøjagtighed benyttes konfidensellipser i planen (2D) (Y, X). De forskellige størrelses præcision og nøjagtighed findes i kovariansmatricen (Σ) for den pågældende størrelse. Ved hjælp af varianser (diagonalelementer i Σ) og kovarianser kan der fremstilles konfidensellipser.

En konfidensellipse viser grafisk ved dens størrelse og orientering, hvorledes præcisions- og nøjagtighedsforholdet er for den pågældende størrelse, der behandles (eksempelvis et afsat punkts præcision). Konfidensellipsen kan beskrives ved dens halve storakse (s), halve lille akse (t) og dens orientering (θ), som er vinklen mellem storaksen og 2. akse i koordinatsystemet.

Ved bestemmelse af konfidensellipser til et afsat punkt i planen (Y, X), beregnes halve storaksen (s) og halve lille akse (t) efter følgende udtryk:

$$s = \sqrt{\frac{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2}{2} + \sqrt{\frac{(\sigma_X^2 - \sigma_Y^2)^2}{4} + \sigma_{YX}^2}} \quad (\text{II.29})$$

Appendiks II: Præcision og nøjagtighed af afsætning

$$t = \sqrt{\frac{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2}{2} - \sqrt{\frac{(\sigma_X^2 - \sigma_Y^2)^2}{4} + \sigma_{YX}^2}} \quad (\text{II.30})$$

Orienteringen af konfidensellipsen udregnes således:

$$\tan 2\theta = \frac{2\sigma_{YX}}{\sigma_X^2 - \sigma_Y^2} \quad (\text{II.31})$$

Vinklen θ skal evt. tillægges 100 gon eller 200 gon, afhængigt af tællerens og nævnerens fortegn i formel II.31.

En standardkonfidensellipses størrelse beskriver, at en estimeret størrelse med 39 % sandsynlighed ligger indenfor ellipsen. For at gøre denne sandsynlighed større kan akserne i konfidensellipsen skaleres med en skala, jf. tabellen figur II.2.

Sandsynlighed [%]	39	50	90	99
Skala	1,000	1,177	2,146	3,035

Figur II.2: Skala med tilhørende sandsynlighed for konfidensellipser.

[Cederholm, 2000, s. 49-54]

Til visualisering af spredninger i en dimension, kan der med fordel anvendes linier, som angiver spredningen i en dimension. For spredninger i en dimension kan der på tilsvarende vis som for konfidensellipser opstilles skaleringsfaktorer, der angiver sandsynligheden for, at den estimerede værdi ligger indenfor grænserne. Der gælder, at $1*\sigma = 68,3$ % sandsynlighed, $2*\sigma = 95,4$ % og $3*\sigma = 99,7$ %.

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

III

Kontrol af afsætning

Formålet med dette appendiks er at understøtte kapitel 7. *Kontrol af afsætning* med teoretiske overvejelser og formler, der skal bruges til kontrol af afsætningen. Først opstilles beregninger og teori til kontrol under afsætning og efterfølgende beregninger og teori af kontrolmåling efter afsætning.

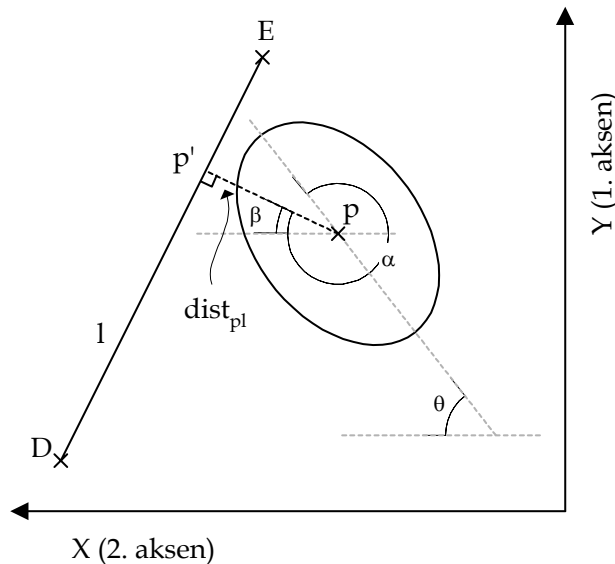
Nærværende appendiks tager udgangspunkt i afsætning af modullinier, hvor de afsatte modullinier er givet ved designværdier.

III.1 Kontrol under afsætning

Under afsætning skal der beregnes størrelser, der sikrer, at designkoordinaterne bliver afsat korrekt. Afsætningsprocessen foregår iterativt, hvor prismet flyttes, indtil afvigelsen mellem designværdier for modullinien og det afsatte punkt er tilfredsstillende. Til at vurdere om afvigelsen er tilfredsstillende, beregnes den vinkelrette afstand fra det afsatte punkt til modullinien givet ved designværdier, der sammenholdes med spredning for punktet langs den vinkelrette afstand til modullinien. Til bestemmelse af spredningen i en given retning for et punkt skal der bestemmes en retning α i forhold til storaksen (s) for punktets konfidens-ellipse.

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

Til beregning af den vinkelrette afstand $dist_{pl}$ og retningen α beregnes det afsatte punkts (p) projektion på modullinien (p'). Figur III.1 skitserer det afsatte punkt (p), modullinien (l), det afsatte punkts projektion på modullinien (p') og retningen (α), hvor spredningen for punktet skal bestemmes.



Figur III.1: Illustration af afsat punkt (p), modullinie (l), det projicerede punkt (p') samt (α).

Beregningen af p' foregår ved brug af vektorer fra de to punkter på modullinien, $D(Y_D, X_D)$ og $E(Y_E, X_E)$, samt det afsatte punkt p . Det projicerede punkt p' er givet ved:

$$Y_{p'} = Y_D + G(Y_E - Y_D) \quad (\text{III.1})$$

$$X_{p'} = X_D + G(X_E - X_D) \quad (\text{III.2})$$

hvor G er givet ved:

$$G = \frac{(Y_p - Y_D)(Y_E - Y_D) + (X_p - X_D)(X_E - X_D)}{(Y_E - Y_D)^2 + (X_E - X_D)^2} \quad (\text{III.3})$$

[www.faqs.org]

Når p og p' er kendte, kan afstanden ($dist_{pl}$) beregnes efter:

$$dist_{pl} = \sqrt{(Y_p - Y_{p'})^2 + (X_p - X_{p'})^2} \quad (\text{III.4})$$

og retningsvinklen (β) fra p til p' beregnes således:

$$\beta = \arctan\left(\frac{Y_{p'} - Y_p}{X_{p'} - X_p}\right) + n \cdot 100 \text{ gon} \quad (\text{III.5})$$

hvor n afhænger af fortegnet på tæller og nævner [Jensen a, 2003, s. 36].

Retningen (α), hvor spredningen for punktet skal bestemmes, er ifølge figur III.1 givet ved:

$$\alpha = \beta - \theta \quad (\text{III.6})$$

Såfremt at α efter formel III.6 bliver negativ, tillægges denne 400 gon. θ bestemmes udfra formlerne i II.6 *Visualisering af præcision og nøjagtighed*.

Til beregning af et punkts spredning i en given retning α i forhold til konfidensellipsens storakse, hvor konfidensellipsens halve storakse (s) og halve lille akse (t) er kendt, jf. appendiks II, benyttes følgende formel:

$$\sigma_{\alpha} = \sqrt{s^2 \cos^2 \alpha + t^2 \sin^2 \alpha} \quad (\text{III.7})$$

hvor σ_{α} er spredning for et punkt i en given retning α [Cederholm, 2000, s. 56].

III.2 Kontrol ved kontrolmåling

Ved kontrolmåling skal det sikres, at der ikke er sket grove under afsætningen. Der udregnes derfor en fejlgrænse for afvigelsen mellem skæringspunkternes koordinater bestemt ved kontrolmåling i forhold til designværdier. Fejlgrænsen bestemmes udfra kovariansmatricen for skæringspunktet ved afsætning og kontrolmåling, jf. appendiks II, hvor det antages, at afsætningen og kontrolmålingen er uafhængige. Den samlede kovariansmatrice for et skæringspunkt er derfor givet ved:

$$\Sigma_{sp_{samlet}} = \Sigma_{sp_{afset}} + \Sigma_{sp_{kontrol}} = \begin{bmatrix} \sigma_{Y_{sp_{samlet}}}^2 & \sigma_{Y_{sp_{samlet}} X_{sp_{samlet}}} \\ \sigma_{X_{sp_{samlet}} Y_{sp_{samlet}}} & \sigma_{X_{sp_{samlet}}}^2 \end{bmatrix} \quad (\text{III.8})$$

udfra den samlede kovariansmatrice til et skæringspunkt beregnes konfidensellipsens halve storakse (s) og halve lille akse (t).

Til bestemmelsen af fejlgrænsen skal der beregnes en spredning i retningen γ mellem skæringspunktet fra kontrolmåling og skæringspunktet fra designværdierne i forhold til konfidensellipsens storakse i skæringspunktet. Denne retning betegnes γ . For at udregne γ beregnes λ , som udgør retningen fra skæringspunktet til designværdien. Retningen λ er givet ved:

$$\lambda = \arctan \left(\frac{Y_{p_{design}} - Y_{sp_{kontrol}}}{X_{p_{design}} - X_{sp_{kontrol}}} \right) + n \cdot 100 \text{ gon} \quad (\text{III.9})$$

hvor n afhænger af fortegnet på tæller og nævner [Jensen a, 2003, s. 36].

Bygningsafsætning med totalstation - kvalitetskontrol

Efterfølgende udregnes γ ud fra følgende formel:

$$\gamma = \lambda - \theta \quad (\text{III.10})$$

Såfremt at γ er negativ efter udregning ved formel III.10, skal γ tillægges 400 gon.

Spredningen i γ retning er givet ved formel III.7, hvor $\alpha = \gamma$.

Formålet med dette projekt er at undersøge, hvorledes en bygningsafsætning hensigtsmæssigt med totalstation kontrolleres i marken, samt hvorledes præcision/nøjagtighed af denne vurderes.

Først undersøges hvorledes en bygningsafsætning foregår i praksis. Herefter redegøres for forsikringsager ved LgE for at undersøge, om der er anledning til udbedring af problemer vedrørende bygningsafsætning i praksis, og hvilken karakter sagerne ved LgE har vedrørende bygningsafsætning.

Der udvikles en prototype til et afsætningsprogram (BAKK) til afsætning af modullinier i planen, som kan medtages i marken til kvalitetskontrol af en bygningsafsætning. BAKK udvikles på baggrund af empirisk og teoretisk viden omkring afsætning, samt hvilke vurderingsstørrelser en afsætning skal vurderes på grundlag af. BAKK testes efterfølgende i praksis.

Det konkluderes, at BAKK er et godt værktøj for landinspektøren, som kan bruges på en sådan måde, at landinspektøren umiddelbart efter afsætning kan vurdere afsætningen. Det kan således afgøres i marken, om afsætningen er tilfredsstillende eller ej. Yderligere genereres dokumentation til bygningsafsætningen i BAKK.