

Jørgen Aamot Caspersen og Jørgen Tufteskog
Spanne

Bruk av moderne fotogrammetri for å generere terrengmodell i ukjent område

Bacheloroppgave i Geomatikk

Veileder: Sverre Stikbakke og Andras Ladai

Mai 2019



Jørgen Aamot Caspersen og Jørgen Tufteskog
Spanne

Bruk av moderne fotogrammetri for å generere terrengmodell i ukjent område



Bacheloroppgave i Geomatikk
Veileder: Sverre Stikbakke og Andras Ladai
Mai 2019

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for vareproduksjon og byggteknikk

Oppgavens tittel:	Dato: 16.05.2019		
Bruk av moderne fotogrammetri for å generere terrengmodell i ukjent område	Antall sider: 177		
	Masteroppgave:	Bacheloroppgave	x
Navn: Jørgen Aamot Caspersen og Jørgen Tufteskog Spanne			
Veileder: Sverre Stikbakke og Andras Ladai			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/ veiledere: Morten Kappelslåen (MjøsPlan AS) og Tormod Urke (Point Geo AS)			

Sammendrag:

Oppgavens hensikt er å utnytte dagens metode for datainnsamling med drone for å bestemme en god modell utenfor området man kan plassere bakkekontrollpunkter (GCP) i. Modellen må bestemmes på en slik måte at resultatet i ukjent område kan benyttes uten kontroll.

Problemstillingen er formulert:

Hvordan kan vi optimalisere retning, størrelse og form av kjent område og hvor mange GCP'er trengs for å oppnå høyest mulig nøyaktighet i et ukjent område? Hvor langt utenfor kjent område oppnår vi gode resultater ved bruk av en forbrukerdrone?

For å løse problemet har vi selv drevet datafangst hvor vi har brukt en DJI Phantom 4 Pro V2 drone til å fotografere ett området på 260 x 200 meter. I området har det vært plassert ut 100 GCP'er som er innmålt med totalstasjon. Ved å bruke disse til ulike kombinasjoner av GCP og kontrollpunkter har vi sett på hvordan vi kan plassere disse i ett område for å oppnå god kvalitet i et tilstøtende utilgjengelig område.

Det benyttes i oppgaven en forsøksbasert tilnærming til problemet, ved at problemet deles opp og problemets 4 gitte elementer, retning, størrelse, form og antall GCP'er. Disse danner grunnlag for hver sine forsøk. Ved å endre få parametere i hver test og med mange testutvalg oppnår vi et sammenligningsgrunnlag som kan benyttes for utvelgelse basert på trend og avviksnivå i kontrollpunktene.

Når man har et avlangt AOI ser vi at det vil være fordelaktig å bestemme den lengste siden. Har man mulighet til å tilpasse utplasseringen av GCP'er i en vinkelform, slik at en langside og en kortsiden bestemmes, er dette en form på kjent område som er mer fordelaktig.

Ved å bestemme langsiden til AOI med 25 % av totalt areal oppnår vi resultater i ukjent område til grunnrissavvik under $1,5 \times \text{GSD}$ ved omtrent 120 meter, og høydeavvik under $1,5 \times \text{GSD}$ ved 60 meter utenfor kjent område.

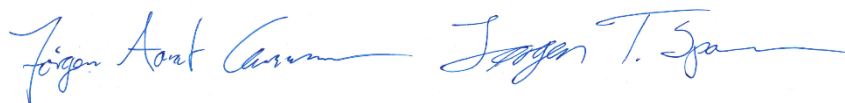
Når vi bestemmer AOI med en vinkelform, hvor det plasseres GCP'er på langsiden og kortsiden oppnår vi grunnrissavvik under $2 \times \text{GSD}$ ved ca. 180 meter, og høydeavviket holdes under $1,5 \times \text{GSD}$ ved en avstand på omtrent 80 meter fra det kjente området.

Det er ved testens metode for datainnsamling mulig å bestemme ukjent terreng 100-200 meter med et avviksnivå tilsvarende og/eller bedre enn kvalitetsgjengivelsen annen litteratur forventer oppnådd i områder med bakkekontrollpunkter. Forutsetningen for lavt avvik på de lengste avstandene er å plassere bakkekontrollpunktene i en vinkelformasjon i ytterkant av AOI.

Ett av de viktigste funnene i denne oppgaven er GCP-bildemarkeringens påvirkning. Vi ser at antallet GCP-bildemarkeringer gir store utslag i avviksnivået til resultatene og vil derfor anbefale alle som skal utføre lignede forsøk eller som jobber med fotogrammetri å markere GCP'ene i flest mulig bilder.

Stikkord:

Fotogrammetri	Ukjent område
UAV	Kontroll
Vanskelig område	Drone
Krig og krise	DJI Phantom 4 Pro
Skred og rasfare	Pix4D



Jørgen Aamot Caspersen og Jørgen Tufteskog Spanne

Abstract

The intention of this bachelor's thesis is to utilize modern methods of UAV based data acquisition to create a terrain model of an area where it is not possible to place Ground Control Points (GCP). The model must be created in a way so the results will be of a quality so it may be used without the control one would normally need.

The problem is formulated:

How can we optimize direction, size and form of an area which are available to place GCP's and how many GCP's is needed to achieve the best possible accuracy in a neighbouring area where there is no way to place GCP's? How far from the area with GCP's can we achieve good results using a consumer grade drone?

To solve the problem, we used a drone of the type DJI Phantom 4 Pro V2 as our tool to photograph an area of 260 x 200 meters. In this area we placed 100 GCP's which was measured using a total station, and by using different combinations of these points as GCP and Check Points (CP) we have studied how we can place these in a limited area and still achieve high accuracy in a neighbouring area (from now on called unknown area).

Throughout this thesis there has been a trial-based approach where the problem is split up in four parts. These parts are defined as direction, size, shape, and number of GCP's, and establish the basis for 4 different trials. By only changing a few parameters in each trial and by using multiple levels of elimination we achieve a good basis for comparison which can be used in a selection of the best datasets based on trends and error levels in the control points.

The trials reveal that when dealing with a rectangular Area Of Interest (AOI) it will be advantageous to be able to place GCP's along one of the longest sides. If it is possible to place the GCP's in an angular or "L" shape, where the GCP's are placed in one long side and one short side of the AOI this is even more advantageous.

By placing GCP's along the longest side of AOI in an area that cover of 25% of the total AOI, we achieve results in the unknown area where the horizontal error is less than 1,5 x GSD at a distance of around 120 meters from the known area where the GCP's are placed and the vertical error is less than 1,5 GSD at a distance of 60 meters from the known area.

When the GCP's are placed in an angular or "L" shape occupying a total of 25% of the total area of the AOI we observe that the horizontal errors in the unknown area is less than $2 \times$ GSD at a distance of about 180 meters from the known area where the GCP's are placed .We also observe that the vertical error is less than $1,5 \times$ GSD to a distance of around 80 meters from the from the known area.

The methods of data acquisition used in this thesis shows that it is possible to create a model of the terrain of an unknown area 100-200 meters outside the known area where the GCP's are placed with an accuracy of the same level or better than described in many papers where GCP's have been evenly spread in the AOI. The prerequisite for small errors on the long distances is that the GCP's are placed in an angular shape in the AOI.

One of the most important findings in this thesis is the importance and impact of the number of images used to mark the GCP's. We make an observation towards the end of the paper where we discover the importance of this and therefore, we would advise everyone doing similar research or who are working with UAV based photogrammetry to mark GCP's in as many images as possible to achieve the best results possible.

Forord

Tre år høyere utdanning går mot slutten og denne bacheloroppgaven markerer nettopp dette. Gjennom gode forelesninger, lange dager med praktiske øvelser, krevende sommerjobber og ikke minst flere timer med frustrasjon og tung lesing har vi nå kommet til ett punkt hvor vi kan si at vi har en bachelorgrad i geomatikk og kan kalle oss selv for landmålere. Oppgaven skrives for MjøsPlan AS hvor Jørgen Aamot Caspersen har jobbet det siste året. Dette er en bedrift som velvillig har lånt oss utstyr og gitt oss fri tøyler til å utfordre vår egen kreativitet og sette vår kunnskap på prøve slik at vi kan bli best mulig forberedt på de utfordringene som måtte møte oss ute i arbeidslivet. Foruten å jobbe i MjøsPlan AS har Jørgen A.C gjort en fenomenal jobb med denne oppgaven. Han har satt seg grundig inn i programvaren Pix4D samt regnearkprogrammet Excel slik at vi har hatt ett godt fundament for å kunne analysere dataene. Det er og fra hans side blitt vist en utrolig iver etter å komme til bunnen av hvert minste problem som vi har støtt på underveis og han har ikke gitt seg før han har funnet en tilfredsstillende løsning eller forklaring. Jørgen Tufteskog Spanne har vist en utrolig god evne til å tilegne seg kunnskap og forstå litteratur for å skape forståelse av teorien bak oppgavens grunnleggende elementer, noe som setter prikker over i'en. Han er detaljfokusert og viser med sitt engasjement en høy arbeidsmoral. Jørgen T.S har vist gode ferdigheter i GIS-programvaren Qgis og vært en nøkkelperson for å utføre analyser og presentere data. På denne måten har han vært en viktig samarbeidspartner og bidragsyter for å skrive denne oppgaven. Vi trenger ikke legge skjul på at det har vært en utfordrende prosess å skrive denne oppgaven hvor vi har støtt på flere problemer underveis, men ingen så store at vi ikke har funnet en løsning på dem. Prosessen har vært utrolig lærerik for oss, og vi sitter igjen med mye kunnskap som kommer oss til gode i arbeidslivet.

Vi vil gi våre veiledere Sverre Stikbakke og Andras Ladai en stor takk for arbeidet de har lagt ned i forbindelse med denne oppgaven. Sverre har som han selv innrømmet lite kunnskap om fotogrammetri, men sannelig har han imponert med hvor fort han tilegner seg kunnskap med det formål å hjelpe oss. Sverre har kommet med verdifulle tilbake meldinger gjennom hele oppgavens løp, han har arrangert hyppige og fruktbare veiledningsmøter og han har gjort en formidabel innsats i oppgavens slutfase med rettskriving og ordlegging. Andras har på den andre siden mye kunnskap og flere års erfaring med fotogrammetri fra arbeid i USA. Han har vært til god hjelp med å kvalitetssikre kilder, komme med gode tips i forbindelse med

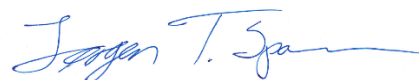
datafangst og ikke minst vært en god diskusjonspartner. Som nyansatt ved NTNU har Andras trådt inn i rollen som mentor med en gnist for geomatikkfaget og en iver etter å hjelpe alle studentene.

Vi ønsker også å takke Tormod Urke som har vært behjelpelige med den litt mer tekniske delen av fotogrammetrien og denne oppgaven. Tormod har helt fra vi ble kjent med han høsten 2018 vært en god lærer innen den mer praktiske delen av landmålingsfaget. Fra Tormod har vi fått verdifulle tips og gode tommelfingerregler som har vært gode i forbindelse med oppgaven, men som også vil komme til god nytte i arbeidslivet. Til slutt vil vi gi en stor takk til Morten Kappelslåen som var med oss dagen for datafangst hvor han samlet data med en drone av typen eBee senseFly RTK med det formål å sørge for at vi hadde data i reserve om noe skulle gå galt med vår egen datafangst. Han har og gjort et godt bidrag med korrekturlesing av oppgaven.

Gjøvik 16.05.2019



Jørgen Aamot Caspersen



Jørgen Tufteskog Spanne

Innholdsfortegnelse

Abstract	iii
Forord	v
Innholdsfortegnelse	vii
Figur-, tabell- og grafliste	x
Ordforklaring og definisjoner.....	xiv
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn for oppgaven	2
1.2 Problemstilling.....	3
1.2.1 Beskrivelse av problemstillingen	3
1.3 Hypotese	4
1.4 Mål.....	6
1.5 Oppbygging av rapport.....	6
1.6 Målgruppe.....	7
1.7 Teori.....	8
1.7.1 Fotogrammetri.....	8
1.7.2 Terrengmodell generert fra fotogrammetri	9
1.7.3 Drone – DJI Phantom 4 Pro V2	10
1.7.4 Programvare – Pix4D	10
1.7.5 Structure-from-Motion (SfM)	11
1.7.6 Værforhold	12
1.7.7 Flyhøyde.....	13
1.7.8 Overlapp mellom bilder	14
1.7.9 GNSS.....	14
1.7.10 Totalstasjon	15
1.7.11 Koordinatsystem.....	15
1.7.12 Kamera	16
1.7.13 Bildeorientering.....	17
1.7.14 Flyplan.....	18
1.8 Testområde	18
2 Metode.....	21

2.1	Initielle tester	23
2.1.1	Miljøtest - Vinterforhold	23
2.1.2	Dronetest – kontroll av flyhøyde.....	26
2.2	Etablering av kontrollpunkter GCP	27
2.2.1	Nettverk av fastmerker	29
2.2.2	Polar innmåling av GCP med totalstasjon.....	29
2.2.3	Kontrollpunktene kvalitetsbeskrivelse.....	30
2.3	Flyplanlegging	33
2.4	Prosessering	35
2.4.1	Programvare	36
2.4.2	Innstillinger	36
2.4.3	Resultat.....	37
2.5	Kontroll av datainnsamlingen.....	38
2.5.1	GCP innmålingens presisjon	38
2.5.2	Kontroll av GCP kvalitetsfastsettelsen.....	38
2.5.3	Kontroll av et utvalg GCP'er	39
2.6	Test 1 – Størrelse og retning.....	40
2.6.1	Forsøksoppsett.....	41
2.6.2	Forsøksbeskrivelse	41
2.7	Test 2 – Form.....	42
2.7.1	Forsøksoppsett.....	42
2.7.2	Forsøksbeskrivelse	43
2.8	Test 3 – GCP: Antall	43
2.8.1	Forsøksoppsett.....	44
2.8.2	Forsøksbeskrivelse	44
2.9	Sammenligning.....	45
2.9.1	Analyse i QGIS	46
2.9.2	Analyse i Excel.....	47
3	Resultat.....	48
3.1	Etablering av kontrollpunkter i datasettet.....	49
3.1.1	GCP innmålingens presisjon	50
3.1.2	Kontroll av GCP kvalitet.....	50
3.1.3	GCP-kvalitetens betydning	64

3.2	Test 1 – Retning og Areal.....	68
3.3	Test 2 – Form.....	87
3.4	Test 3 – GCP.....	104
4	Diskusjon.....	118
4.1	Datainnsamling.....	120
4.2	Test 1 – Retning og areal.....	125
4.3	Test 2 - Form.....	126
4.4	Test 3 - GCP.....	128
4.5	Resultatkontroll.....	130
5	Konklusjon.....	148
6	Videre arbeid.....	151
	Litteraturliste.....	152
	Referanseliste for figurer.....	155
	Vedlegg 1 – Prosesseringsinnstillinger.....	156

Figur-, tabell- og grafliste

Figur 1: Området hvor det ble utført en test i forbindelse med å lage en hypotese	4
Figur 2: Punktsky til punktsky sammenligning av ett og samme datagrunnlag som	5
Figur 3: Illustrerer bildeoverlapp ved at to bilder er tatt fra ulike kameraposisjoner.	8
Figur 4: Dronen som er brukt i oppgaven, DJI Phantom 4 Pro v2.0.....	10
Figur 5: Flyhøydens effekt på Ground Sampling Distance (GSD).. ..	13
Figur 6: Beskrivelse av testområde. Flyfoto fra drone Phantom 4 Pro V2.0.	19
Figur 7: Bilde av gjennomføringen med område for mulig utvidelse av	20
Figur 8: Testbeskrivelse og resultatvisning av miljøtest vinterforhold.....	24
Figur 9: Bildene viser en GCP sett fra ulike høyder. Fra venstre: 30m, 60m og 90m	26
Figur 10: GCP sett fra 60m høyde, forstørret 10x.....	26
Figur 11: Oversikt over AOI med etablerte punkter. Her er utstrekningen til	28
Figur 12: Utklipp fra et Excel-regnearket som ble laget for å assistere i flyplanleggingen....	34
Figur 13: Beskrivelse av Stående (Venstre) og Liggende (Høyre) datasett i test 1.. ..	40
Figur 14: Forsøksoppsett test 1. Fra datagrunnlag til produsert datasett.. ..	41
Figur 15: Forsøksoppsett test 2. Inngangsdata fra test 1 frem til et usikkert antall former.....	42
Figur 16: Forsøksoppsett test 2. Kontroll av beste form for kvalitetssikring og.....	43
Figur 17: Forsøksoppsett test 3. Resultat fra test 1 og 2. Tester hvilken påvirkning	44
Figur 18: Arbeidsflyt for databehandling, visualisering, analyse og resultatpresentasjon.....	45
Figur 19: Eksempel på resultat fra QGIS. Bildet viser en interpolert flate som.	46
Figur 20: Tegnforklaringen som er gjeldene for alle kart som presenteres i denne oppgaven.	46
Figur 21: Området som er fotografert er illustrert av ortofotoet som blir brukt som.....	48
Figur 22: De røde punktene markerer de 649 kameraposisjonene og viser hvor bildene	49
Figur 23: Kartpresentasjon med GCP punktinformasjon, grunnriss-.....	54
Figur 24: Viser de utvalgte punktenes plassering i AOI	60
Figur 25: Utklipp av et avvikskart for visning av enkeltpunktets beliggenhet.	64
Figur 26: Sammenligning av flere datasett hvor GCP71 og GCP72 har ulike roller.....	64
Figur 27: oversikt over arealfordelingen i testområdene. Stående datasett er fra vens.....	69
Figur 28: Samling av heatmap som beskriver testens resultater	70
Figur 29: Test1_L_25.....	72
Figur 30: Heatmap, kart over resultatenes avvik i høyde (farge 0-20cm, 0=grønn og.	73
Figur 31: Kartvisning av test 1, Stående retning. Arealfordeling av kjent område.....	77
Figur 32: Illustrerer hvordan avstanden er beregnet for de liggende datasettene.	79
Figur 33: Illustrerer hvordan avstanden er beregnet for de stående datasettene.	79
Figur 34: Presentasjon av testens 8 første ulike former.	88
Figur 35: Resultatpresentasjon for form 8 og 9. Heatmap generert fra Qgis med	89
Figur 36: Figurpresentasjon for kontroll av valgt vinkelform. Formen beholdt og	94
Figur 37: Kartpresentasjon i form av heatmap av resultatene for kontrollen av	94
Figur 38: Figurpresentasjon for ulike vinkelform konfigurasjoner. Selve formen.	96
Figur 39: Kartpresentasjon i form av heatmap av resultatene for kontrollen av.....	96
Figur 40: Kartpresentasjon av de ulike arealfordelingene som skal testes. Fra venstre.....	98

Figur 41: Kartpresentasjon i form av heatmap av resultatene for kontrollen av.....	98
Figur 42: Kartpresentasjon av kontrollen av det liggende datasettet fra test 1 opp.	100
Figur 43: Kartpresentasjon i form av heatmap av resultatene fra testen av den.	101
Figur 44: Kartpresentasjon av formene som tas med videre til test 3.	103
Figur 45: Avstandsberegning for test 3. Avstand ut fra kjent område. Et mål på hvor.	105
Figur 46: Kartvisning av et resultatutvalg. Laveste antall, midten og høyest antall GCP. ...	106
Figur 47: Illustrasjon som viser kameraposisjoner med utheving av området der det.....	120
Figur 48: Flyplanleggeren til Pix4D med AOI.....	121
Tabell 1: Beskrivelse av kontrollpunkter og viktige elementer som må forstås for å.....	22
Tabell 2: Testresultater av miljøtest Vinterforhold	25
Tabell 3: Beskrivelse av de ulike fotogrammetri signalene brukt i oppgaven.....	27
Tabell 4: Inngangsparameter for bestemmelse av kvalitetsbeskrivelse av	31
Tabell 5: Maskinoppsett ved prosessering i Pix4D	36
Tabell 6: Måleserie for kontroll av innmålingenes	50
Tabell 7: Testens kontrollutvalg av innmålte fotogrammetri signaler brukt som GCP.	51
Tabell 8: Kontrollpunkter med avvik i høyde, Z. Beregnet resultatverdi av måleserie.	52
Tabell 9: 18 Kontrollpunkter med avvik i grunnriss, XY. Beregnet resultatverdi av	53
Tabell 10: Gjennomsnittlig Z avvik for grunnlagskontrollens 3 datasett.....	56
Tabell 11: Utvalgte punkter hvor det er tydelige forskjeller i Z avviksforskjellen.....	59
Tabell 12: Liste over enkeltpunkter fra Graf 11. kategorisert for hvilken type punkt	61
Tabell 13: Sammenligning av 18 kontrollerte punkter. Avviksforskjellen fra disse 18.	62
Tabell 14: Navngivning og informasjon om oppbygningen og resultater i test 1.....	68
Tabell 15: Gjennomsnitt absoluttavvik for grunnriss, XY og høyde, Z. Avviket.....	74
Tabell 16: Enkeltpunktvisning av forskjeller mellom L_35 og L_50. Datasett med.....	75
Tabell 17: Gjennomsnitt absoluttavvik for stående datasett fordelt på grunnriss,	77
Tabell 18: Navngivning og informasjon om oppbygningen og resultater i test 2.....	87
Tabell 19: Avstand fra CP til GCP.....	90
Tabell 20: Gjennomsnittlig avstand til nærmeste GCP	93
Tabell 21: Gjennomsnittlig avstand til nærmeste GCP.....	99
Tabell 22: Navngivning og informasjon om oppbygningen og resultater i test 1.....	104
Tabell 23: Gjennomsnittlig avvik for grunnriss og høyde med testens punktfordeling.....	107
Tabell 24: Variasjoner mellom 3 distribusjoner av datasettet Vinkel_8GCP.	131
Tabell 25: Reduksjon av avvik i grunnriss og høyde ved økt antall GCP'er som har.....	135
Tabell 26: Grunnlagskontroll: Forbedring i grunnriss (XY) og høyde (Z) ved.	136
Tabell 27: Avviksreduksjon for liggende og stående datasett i testutvalget for test1.....	138
Tabell 28: Avviksreduksjon i testutvalget fra test 3. Datasett i vinkelform med 4GCP	142

Graf 1: Eksempel på graf fremstilling fra Excel. Grafen er hentet fra resultatkapittel	47
Graf 2: Måleseriens normalfordeling med plottet høydeavvik. Viser en statistisk.....	52
Graf 3: Måleseriens normalfordeling, forskjøvet over 0 som middelvei da grunnriss.	53
Graf 4: Grunnlagskontroll, avvik i grunnriss, XY. 3 datasett sammenlignet.....	54
Graf 5: Grunnrissavvik fra datasett Fixed_GCP_82. Presentert kun med avviksnivå.....	55
Graf 6: Grunnlagskontrollens 3 datasett med avvik fordelt på GCP (brukt i beregningen)....	56
Graf 7: Absolutt GCP høydeavvik for enkeltpunkt i 3 datasett.	57
Graf 8: Absolutt UCP høydeavvik for enkeltpunkter i 2 datasett.	57
Graf 9: Z avviksdifferanse fra datasettet beregnet med 18 kontrollerte punkter..	58
Graf 10: Uttrekk fra sammenligningen i Graf 9. Kriteriet på Z avvik høyere enn 3 cm.....	58
Graf 11: Utvalgte punkter med avviksforskjell større enn 3cm fra referansedatasett.....	61
Graf 12: Absolutt høydeavvik. Visning av resultatforskjeller med og uten.....	63
Graf 13: Enkeltpunkt som skiller seg ut mellom samme datasett beregnet med låste	63
Graf 14: Kvalitetsbeskrivelse av GCP. Grafen inneholder 3 parameter fra.....	65
Graf 15: Kvalitetsbeskrivelse av datasett med 8 GCP i vinkelformasjon fordelt i 25%	66
Graf 16: Kvalitetsbeskrivelse av datasett med 100 GCP fordelt i hele AOI. Grafen.....	67
Graf 17: Trend i ukjent område når avstanden forandres. 3 Datasett beskriver.....	70
Graf 18: Datasettene i test 1. Sammenligning av avstand mellom datasettene.....	71
Graf 19: Sammenligning av datasettene L_35 og L_50. 14 enkeltpunkter.....	76
Graf 20: Avvik for enkeltpunkter i Ukjent område. Lineær trendlinje, en tilpasset	78
Graf 21: Absoluttavvik grunnriss for stående datasett.	80
Graf 22: Absoluttavvik grunnriss for liggende datasett.	80
Graf 23: Absoluttavvik høyde for stående datasett.	81
Graf 24: Absoluttavvik for liggende datasett.	81
Graf 25: Sammenligning av 2 liggende datasett. Absolutt høydeavvik.....	82
Graf 26: Absolutt høydeavvik, 2 av de liggende datasettene.	83
Graf 27: Absolutt høydeavvik, liggende datasett.	83
Graf 28: Absoluttavvik grunnriss og høyde for liggende datasett. Den lineære,.....	85
Graf 29: Avvik for enkeltpunkter i 3 av de liggende datasettene som viser en trend i.....	85
Graf 30: Avviksfordeling av Z avvik for datasett fra begge retninger med 25% kjent areal...	86
Graf 31: Gjennomsnittlig absolutt avvik for høyden til de 8 første datasettene som ble.....	89
Graf 32: Gjennomsnittlig absolutt avvik på høyden til de fire datasettene som viste.....	90
Graf 33: Gjennomsnittlig absolutt avvik Z begrenset til en maksimal avstand fra.....	91
Graf 34: Gjennomsnittlig absolutt avvik Z for de 4 datasettene som viste gode.	91
Graf 35: Gjennomsnittlig absolutt avvik i grunnriss for de 8 første datasettene som ble.	92
Graf 36: Gjennomsnittlig absolutt avvik i grunnriss begrenset til en avstand på.	93
Graf 37: Gjennomsnittlig absolutt avvik i høyde.	95
Graf 38: Gjennomsnittlig absolutt avvik i grunnriss.....	95
Graf 39: Gjennomsnittlig absolutt avvik for grunnriss og høyde til datasettene som.....	97
Graf 40: Gjennomsnittlig absolutt avvik for høyden til de fire datasettene som tester.....	99
Graf 41: Gjennomsnittlig avvik i grunnriss og høyde for de fire datasettene som teste.....	100
Graf 42: Gjennomsnittlig absolutt avvik for de to variantene av den liggende formen fra. ..	102
Graf 43: Gjennomsnittlig absolutt avvik i grunnriss for de to variantene av den	102

Graf 44: Testutvalgene i test 2. Gjennomsnittlig høydeavvik med avstand til nærmeste.....	103
Graf 45: Avvik i grunnriss og høyde for de 3 utvalgte testene. Grafen viser oss en.	106
Graf 46: Avviksfordelingen for GCP, KCP og UCP til testutvalget.....	108
Graf 47: Sammenligning av datasettene i test 3. Kvalitetsrapportens optimalisering	109
Graf 48: Kvalitetsbestemmelsens beskrivelse av georefereringen på datasettet,.....	110
Graf 49: Kvalitetsrapportens beskrivelse av usikkerheten til bestemmelse av	111
Graf 50: Gjennomsnittlig absolutt avvik grunnriss, fordelt på GCP, KCP og UCP.	112
Graf 51: Vinkel datasett med ulikt antall GCP'er brukt i beregningen.	113
Graf 52: Gjennomsnittlig høydeavvik i ukjent område. Negativ avstand er "interpolert"	114
Graf 53: Gjennomsnittlig absolutt høydeavvik for vinkelformen fordelt i GCP, KCP og UCP.	114
Graf 54: Gjennomsnittlig høydeavvik for vinkelformen med ulikt antall GCP'er.	115
Graf 55: Gjennomsnittlig absolutt avvik i grunnriss, XY. Fordelt på GCP, KCP og UCP. ..	116
Graf 56: Gjennomsnittlig absolutt avvik høyde for liggende datasett. L_GCP_24	116
Graf 57: Gjennomsnittlig avvik for ukjent område CP i liggende datasett.	117
Graf 58: Sammenligning av gjennomsnittlig grunnriss og høydeavvik mellom 3 d	131
Graf 59: Resultatpresentasjon i ukjent område basert på datasettene i Graf 58.....	132
Graf 60: Avviksforskjeller i beregning med økt GCP bildemarkeringer. Fra 4,55 til 10,4. ..	134
Graf 61: Økning av GCP markeringer i bilder, testet på x antall av 100 bilder.....	135
Graf 62: Påvirkning av antall GCP bildemarkeringer på resultatet i	136
Graf 63: Enkeltpunktavvik med et høydeavvik over 8cm i grunnlagskontrollen.	137
Graf 64: Datasettene i utvalgsfasen av test 1. Sammenligning mellom utvalget og.....	138
Graf 65: Sammenligning av høydeavviket i testutvalget i test 1.....	139
Graf 66: Sammenligning av grunnrissavvik for testutvalget i test 1.....	139
Graf 67: Datasettene i utvalgsfasen av test 2. Sammenligning mellom utvalget og.....	141
Graf 68: Sammenligning av høydeavviket i testutvalget for test 2.	141
Graf 69: Sammenligning av grunnrissavviket i testutvalget for test 2.	142
Graf 70: Kontrollutvalg test 3. Vinkelform med 4GCP, 8 GCP og 14 GCP.	143
Graf 71: Kontrollutvalg test 3. Vinkelform med 4GCP, 8 GCP og 14 GCP.	144
Graf 72: Kontrollutvalg test 3. Vinkelform med 4GCP, 8 GCP og 14 GCP.	145
Graf 73: Kontrollutvalg test 3. Liggende form med 4GCP, 8 GCP og 24 GCP.	146
Graf 74: Kontrollutvalg test 3. Liggende form med 4GCP, 8 GCP og 24 GCP.	146
Graf 75: Kontrollutvalg test 3. Liggende form med 4GCP, 8 GCP og 24 GCP.	147

Ordforklaring og definisjoner

3D-mesh	<i>3D-mesh er en 3D-modell som består av sammensatte polygoner. Vanligvis ser man 3D-mesh som trekant-modeller.</i>
Absolutt nøyaktighet	<i>Målte koordinaters nøyaktighet i forhold til en referanseramme (koordinatsystem).</i>
Albedo	<i>Mål på en flates refleksjon. Angis på en skala fra 0-1.</i>
Area Of Interest (AOI)	<i>På norsk kan dette oversettes til interesseområde. I denne sammenhengen brukes ordet om det området hvor vi utfører beregninger og analyserer resultatet.</i>
Blenderåpning	<i>Blender kan sammenlignes med et kameras pupille og regulerer hvor mye lys som skal slippe inn gjennom kameraets objektiv.</i>
Brennvidde	<i>Brennvidden eller fokallengden er ett mål på hvor sterkt ett optisk system sprer eller samler lys.</i>
Bundle adjustment	<i>Prosess som baserer seg på minstekvadratets metode for å finne en løsning som gir lavest projeksjonsfeil.</i>
Check Point (CP)	<i>«Check Point». Punkt på bakken med kjente koordinater i grunnriss og/eller høyde. Brukes til å kontrollere modellens kvalitet.</i>
Close range photogrammetry	<i>Fotogrammetri hvor avstanden mellom kameraet og scene er mindre enn 300 meter.</i>
CPOS:	<i>Kartverkets tjeneste for sanntids korreksjons data for GNSS målinger og lover cm-nøyaktighet.</i>
Digital overflatemodell (DOM/DSM)	<i>En digital modell som beskriver overflatens høyder. I denne modellen tas det høyde for bygninger o.l.</i>
Digital terrengmodell (DTM)	<i>En digital modell som beskriver terrengets høyder. DTM tar ikke høyde for bygninger/trær eller andre gjenstander som ikke er en del av terrenget.</i>
Elektromagnetisk spekter	<i>En benevnelse som dekker all elektromagnetisk stråling. Den stråling som mennesker kan oppfatte faller inn under dette spekteret i kategorien lys som strekker seg fra 400nm-700nm.</i>
Fotogrammetri	<i>Læren om å måle i bilder.</i>
Fotogrammetrisk signal	<i>Kontrastflate som brukes for å gjøre detaljer i terrenget synlig. Sees ofte som kvadratiske flater malt hvit/gult og svart noe som gir god kontrast og gjør det enkelt å finne senter av punktet i etterbehandling av bildene.</i>
Geografisk informasjonssystem (GIS)	<i>Digitalt system for behandling av geografiske data. Brukes til å registrere, modellere, analysere lagre og presentere data.</i>
Georeferere	<i>Å transformere ett bildes eller en modells interne koordinatsystem til ett absolutt koordinatsystem slik som f.eks. koordinatsystemet EUREF 89 UTM sone 32</i>
Geotagging	<i>Prosess hvor det blir lagt til geografisk informasjon til et bildes metadata (EXIF-data).</i>
Ground Control Point (GCP)	<i>Ground Control Point brukes om punkt på bakken med kjente koordinater i grunnriss og/eller høyde. Brukes til å orientere bilder og georeferere modellen. Kartverket bruker ordet</i>

	<i>passpunkt om slike punkt, men av hensyn til dagligdags tale brukes her GCP.</i>
Ground Sampling Distance (GSD)	<i>Beskriver størrelsen av bildets piksler på bakken. Kartverket bruker ordet bakkeoppløsning for å beskrive denne størrelsen, men vi velger her å forholde oss til den terminologien som brukes internasjonalt.</i>
IMU (Treghetssensor)	<i>System som måler hvordan et objekt beveger seg i 3D-rom ved hjelp av akselerometre og gyroskop. Engelsk: Inertial Measurement Unit (IMU)</i>
ISO	<i>ISO er en betegnelse på ett kameras lysfølsomhet. Denne kan reguleres ved at signalene fra kamerabrikkens sensorer blir elektronisk forsterket.</i>
Kamerakalibrering:	<i>Beregning av kameraets geometriske egenskaper slik som brennvidde, pikselavstand o.l. da dette er elementer som påvirkes av temperatur, støt o.l.</i>
Lukkerhastighet	<i>Betegnelse på tiden kameraets lukker er åpen slik at lys kan slippe inn til sensoren.</i>
Multi-directional and Slope Dependent (MSD)	<i>Algoritme som brukes til å skille ut terreng fra en digital overflatemodell for å kunne lage en digital terrengmodell.</i>
Nadir	<i>Ord som brukes for å beskrive det usynlige punktet som er for en observatør rett ned altså motsatt av zenith.</i>
Normalisert digital overflatemodell (nDOM)	<i>En overflatemodell hvor terrenget er ekstaktert og derfor kun inneholder andre elementer slik som bygninger og/eller trær.</i>
Nøyaktighet	<i>Mål for å beskrive avvik mellom en beregnet/målt verdi og en sann verdi.</i>
Oppløsning	<i>Uttrykk som brukes om en sensors detaljgrad. I bildesammenheng vil dette si hvor mange piksler ett bilde består av eller hvor mange piksler en sensor har.</i>
Ortofoto:	<i>Georeferert bilde med fast målestokk innad i bildet. Har de samme geometriske egenskapene man kjenner igjen fra kart.</i>
Pikselavstand	<i>Eng. Pixel pitch. Beskriver avstanden mellom piksler. En oppnår høy oppløsning og skarpere kanter og detaljer ved lav pikselavstand.</i>
Principle point	<i>Punktet på bildeplanet hvor scenens sentrum blir projisert. Brukes også om punktet hvor brennvidden måles.</i>
Projeksjonsfeil	<i>Forskjell mellom 2D-punkters initielle posisjon og 3D-punkters re-projisert posisjon.</i>
Proprietær programvare	<i>Programvare hvor indre algoritmer og tilpasninger er hemmeliggjort.</i>
Pålitelighet	<i>Påliteligheten forteller om man kan stole på resultatene.</i>
Relativ nøyaktighet	<i>Måle koordinaters nøyaktighet i forhold til annet punkt i samme referanseramme Et mål på hvor godt noe er bestemt i forhold til noe annet når det ikke er snakk om hvor i verden det er, men avstander og retninger fra et annet sted.</i>
RGB:	<i>Fargemodell hvor fargene rødt, grønt, blått brukes som primærfarger for å fremstille andre farger.</i>

Root-mean-square error (RMSE)	<i>Mål på gjennomsnittlig avvik fra en regresjonslinje. Her er det gjennomsnittlig avvik mellom målte verdier i modellen for GCP'er og CP'er sett opp mot de målingene som er gjort med totalstasjon.</i>
Scene	<i>Brukes her om landskapet eller objektet som fotograferes.</i>
SIFT-algoritme	<i>Scale Invariant Feature Transform (SIFT) er en algoritme for å finne fellespunkter i sett med bilder.</i>
Structure-from-Motion	<i>Fotogrammetrisk metode for å gjenskape en scene, enten dette er ett objekt eller terreng. Består av flere algoritmer som finner detaljer i bildene, klarer å kjenne igjen disse detaljene i flere bilder, posisjonerer bildene riktig i slik dem ble tatt i forhold til hverandre, filtrerer ut feil og til slutt gjenskaper scenen som er fotografert.</i>
Terrengmodell	<i>En terrengmodell er en visualisering av terrengoverflaten.</i>
Totalstasjon	<i>Utstyr som brukes til å utføre målinger ved hjelp av vinkler og avstander. Brukes til å koordinatfeste objekter med høy nøyaktighet.</i>
Unmanned Aerial Vehicle (UAV)	<i>Unmanned Aerial Vehicle er ett begrep som brukes om luftfartøy uten fører om bord. UAV kalles ofte drone på dagligtale.</i>
Vektor	<i>Defineres som et linjestykke som er orientert fra A til B</i>

1 Innledning

Nytt utstyr og teknologi gjør at arbeidsoppgaver som før var svært kostbare og tidkrevende, nå kan utføres for en brøkdel av både pris og tid. Dette gjelder også i bygg- og anleggsbransjen hvor blant annet droner nå har gjort sitt inntog. På markedet i dag finner man droner med høyoppløselige kameraer tiltenkt brukt innen foto og video. Man finner også droner med multispektrale-kameraer med fokus rettet mot landbruk og droner med integrert laserskanner. Flere av disse dronene har en prislapp på ett slikt nivå at selv de minste landmålingsbedriftene og privatpersoner har mulighet til å skaffe seg en drone. Droner som verktøy kan hvis de blir brukt riktig sørge for at en landmåler kan kartlegge et stort område på kort tid.

I dag brukes droner av landmåleren til å dokumentere eksisterende terreng, utføre masseberegninger, generere ortofoto (Stedfestet fotografi med kartegenskaper) og annen form for dokumentasjon slik som bilder og video.

Fotogrammetri er enkelt forklart en metode for å sammenstille bilder og gjøre disse målbare og retningsbestemte på lik linje med tradisjonelle kart, men samtidig gir metoden mulighet til å hente ut 3D-informasjon av objektene og terrenget i bildet. Droner egner seg godt til fotogrammetri av mindre områder da de er små, enkle å ha med seg og det kreves lite opplæring av operatøren.

For å georeferere og beregne riktig skala på modellen som genereres fra fotogrammetri brukes det koordinatbestemte punkter, enten i selve dronen eller helst på bakken, som denne oppgaven ser på. Disse punktene blir gjerne kalt Ground Control Points (GCP) og vil si markeringer som man kan kjenne igjen i bildene hvor man har informasjon om punktets posisjon i et koordinatsystem. Det er anbefalt når en driver med fotogrammetri å danne en ramme med GCP'er rundt området som skal kartlegges. En slik ramme av GCP'er vil gi god kontroll på datasettets utforming. Man bruker også ofte å ha en eller flere GCP'er plassert i midten av datasettet slik at GCP'ene danner noe som kan minne om fem øyne på en terning. Er området som skal kartlegges større anbefales det å øke antallet GCP'er rundt rammen (datasettets ytterkant) samt å tilføre flere GCP'er innad i datasettet (Osborn J, 2017, Raczynski, 2017).

I noen situasjoner vil det være vanskelig å kunne plassere ut GCP'er slik at de danner en ramme rundt området som skal fotograferes. Dette kan være i tilfeller der det har gått ett skred i ett område og det derfor er vanskelig eller farlig å bevege seg. Andre tilfeller kan være om en skal kartlegge et område som er minesatt (eks landminer i krigsområder), eller av andre grunner har en eksplosjonsrisiko. I dag bruker man ofte helikopter eller fly for å kartlegge kriserammede- eller andre områder hvor man ikke har mulighet til å bevege seg i. Dette gjøres fordi man da ikke har koordinatfestede kjentpunkter i området som man vil kunne kjenne igjen (GCP'er). Da kreves det at man har et kamera som er kalibrert og at man kan georeferere bildene nøyaktig ved bruk av Global Navigation Satellite System (GNSS) og treghetssensor (IMU). Denne metodikken krever færre punkter på bakken for å tilpasse dataene til et bakkebasert koordinatsystem. Ulempen ved å bruke fly eller helikopter til slik kartlegging er at det er svært kostbart og at det kan ta lang tid å komme seg i lufta. Kameraene som brukes i fly og helikopter er av en slik størrelse at en drone ikke er egnet transportmiddel. Dronene har derfor mindre og andre typer kameraer og bruker programvare, flere bilder og punkter på bakken for å beregne dataene til en riktig virkelighetsbasert modell.

1.1 Bakgrunn for oppgaven

Høsten 2018 gikk MjøsPlan AS til innkjøp av en drone i forbrukersegmentet. Dronen er rimelig nok til at privatpersoner kan kjøpe den og enkel nok i bruk til at nesten hvem som helst med litt teknisk innsikt kan få til å bruke den. Dronen har GNSS-styring, hjelpesensorer og stabiliseringsverktøy som gjør at det kreves lite av piloten for å utføre enkel flyvning. Den kan forhåndsprogrammeres med flyrute og har automatisk avgang og landing. Dronen som MjøsPlan AS har kjøpt skal brukes til å kartlegge bedriftens prosjekter i form av bilder og video, i tillegg til å generere kartdata og 3D-modeller.

Droner og fotogrammetri er noe som så vidt har blitt omtalt i undervisningssammenheng i løp av de tre årene vi nå har studert. Da vi vet at dette er noe som blir mye brukt i bygg- og anleggsbransjen ønsket vi å lære mer om dette. Vi har begge en interesse for å utforske og sette kunnskap på prøve og sammen med MjøsPlan AS sitt behov, førte dette til det som ble vår problemstilling innen fotogrammetri fra drone hvor vi ønsket å få satt noen veletablerte metoder for fotogrammetri på prøve.

1.2 Problemstilling

Hvordan kan vi optimalisere retning, størrelse og form av kjent område og hvor mange GCP'er trengs for å oppnå høyest mulig nøyaktighet i et ukjent område? Hvor langt utenfor kjent område oppnår vi gode resultater ved bruk av en forbrukerdrone?

1.2.1 Beskrivelse av problemstillingen

Med denne problemstillingen ønsker vi å se på hvordan datasettets ulike elementer som retning, størrelse, form, og antall GCP'er i et kjent område påvirker resultatene i et tilstøtende ukjent område. Området som skal kartlegges kalles Area Of Interest (AOI) og vi definerer det kjente området som den delen av AOI som er tilgjengelig slik at det kan bli plassert GCP'er. Det utilgjengelige området er definert som et område hvor vi ikke har tilgang til å plassere GCP'er.

Med retning menes om man definerer det kjente området i datasettets lang- eller kortside. Vi ønsker og å se på hvor stor rolle det tilgjengelige områdes størrelse og form spiller inn på resultatene i det ukjente området. Til slutt ønsker vi å se på hvordan ulike antall GCP'er i det kjente området påvirker resultatene i det ukjente området.

1.3 Hypotese

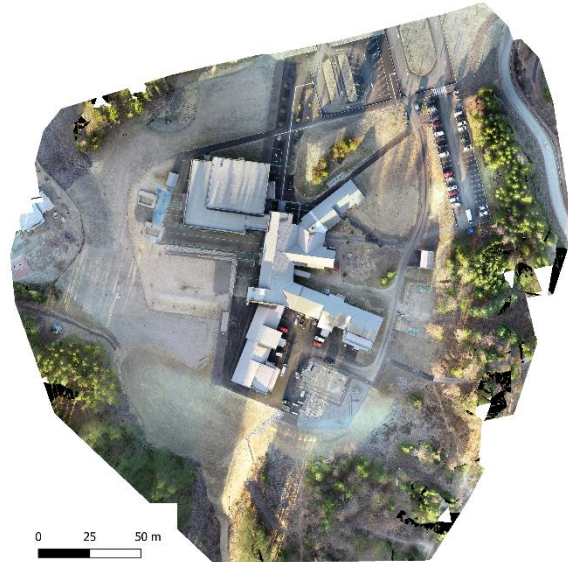
Høsten 2018 utførte vi en flyvning, beregninger og undersøkelser som dannet grunnlaget for vår problemstilling. Med bakgrunn i informasjon fra litteratur og forundersøkelser så vi for oss følgende: Et avvik utenfor området som inneholder bakkekontrollpunkter (GCP'er) vil trolig øke, jo lengre unna man kommer området som inneholder bakkekontrollpunktene. Vi så for oss at avviksveksten ville være høyere jo lengre unna man kommer. Altså at avviket vil ha en eller annen avstandsavhengig vekst som ikke nødvendigvis er lineær (rett linje).

Dette ønsket vi å teste for å bekrefte mistanken om et eventuelt avvik som øker med avstanden fra området med bakkekontrollpunkter og muligens se hvordan veksten oppfører seg vekk

fra bakkekontrollpunktene. I forbindelse med en jobb utført av MjøsPlan AS ved Bergerbakken skole ble det utført en initiell test for å kartlegge om problemstillingen er reell. Det ble plassert ut 25 GCP'er i et område på omtrent 200 x 250 meter (Figur 1).

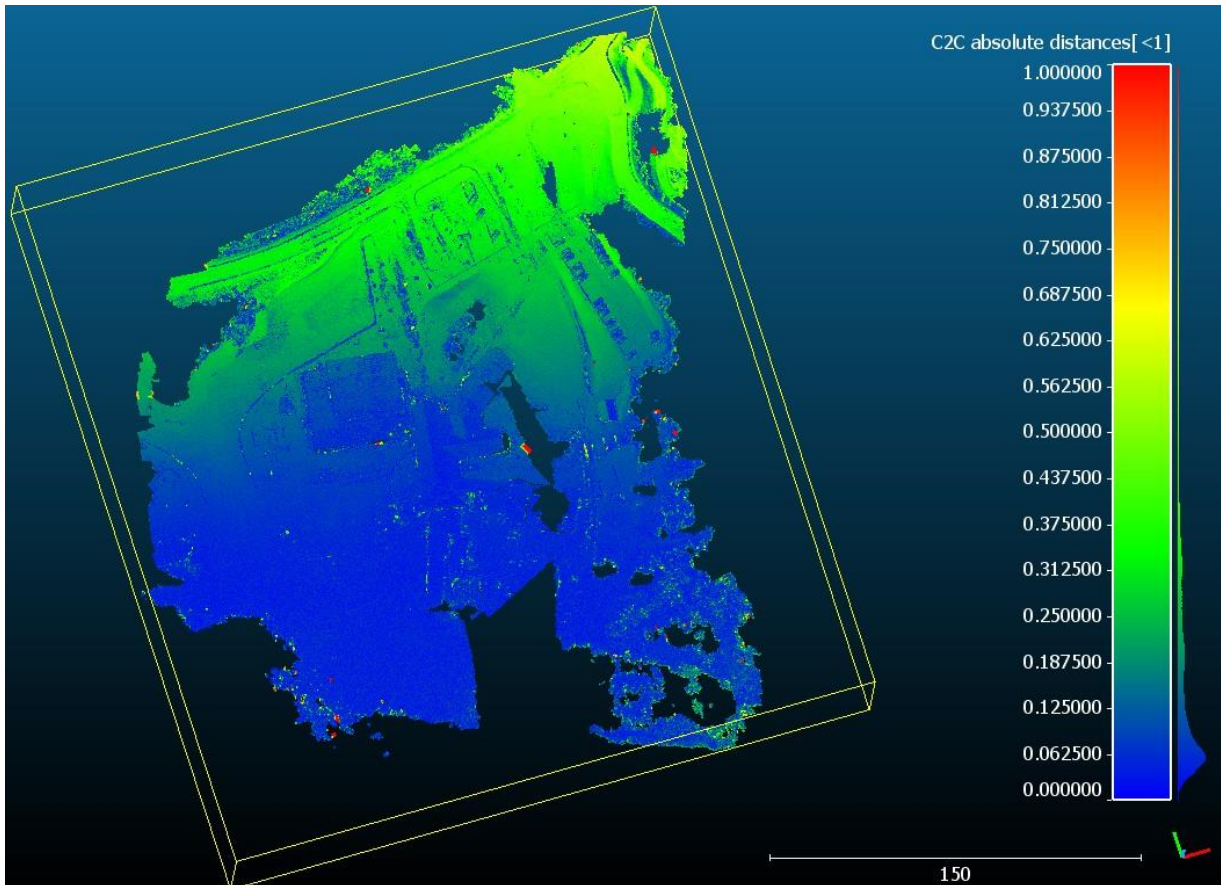
Bakkekontrollpunktene (GCP) ble innmålt (koordinatfestet) med GNSS (Leica GS14 med korreksjonsdata fra CPOS). Deretter ble det utført datafangst med drone (DJI Phantom 4 Pro V2). Det ble fløyet manuelt, noe som betyr at det ikke er regelmessig overlapp over hele datasettet. Det ble heller ikke gjort noen vurderinger med tanke på flyhøyde annet enn at det skulle være innenfor regelverket jf. (Forskrift om luftfartøy som ikke har fører om bord, 2015).

Bildene ble kjørt gjennom programvaren (Pix4D) to ganger. Dette gjøres for å beregne to datasett som kan kalles ytterkanter av hvordan et datasett skal fremstilles i forhold til det som er kjent i bransjen og anbefalt i litteratur. Det ene datasettet er generert med litt over halvparten av de innmålte punktene som GCP og de resterende andre punktene som Check Points (CP). CP'ene brukes som en kvalitetskontroll for modellen. Det andre datasettet beregnes med 3 GCP-punkter plassert i ett av datasettets fire hjørner med resterende punkter



Figur 1: Området hvor det ble utført en test i forbindelse med å lage en hypotese

som CP. Ved å sammenligne datasettenes overflatemodell (DOM) og beregne avviket disse seg imellom vil man kunne se om avviket viser noen spesifikk trend eller om det virker tilfeldig. Figur 2 viser resultatet av denne sammenligningen.



Figur 2: Punktsky til punktsky sammenligning av ett og samme datagrunnlag som er beregnet på to ulike måter. Avvikskala (m) fargelagt mellom 0-1 m. Avstand (m).

I denne sammenligningen hadde det ene datasettet GCP'er plassert jevnt over hele området, mens det andre hadde kun 3 GCP'er som alle var plassert i det sør-vestre hjørnet (nede til venstre i Figur 2). En ser en klar trend hvor avviket øker jo lenger nord-øst i modellen man kommer og vi kan derfor anta at dette avviket er avhengig av avstanden fra GCP'ene. En ser at avviket mellom modellene stiger opp mot 0,6 m der hvor avstanden til GCP'ene er størst.

Dette dannet grunnlaget for å se på hvordan avviket kan reduseres der man ikke har kontroll, Vi tenkte at hvis man flyr under optimale forhold, hvor en sørger for en godt belyst scene med mye kontrast og man opprettholder ett godt og regelmessig overlapp i hele området. Så kunne man oppnå et mye bedre resultat uten bruk av GCP'er på ett stort «ukjent» område enn de vi gjorde her.

1.4 Mål

Målet med denne bacheloroppgaven er:

- Besvare problemstillingen på en slik måte at resultatet kan benyttes i annet arbeid.
- Gi leseren et utgangspunkt for videre arbeid for vurdering og test av kvalitet i et ukjent område, ved å bruke våre metoder som grunnlag.
- Beskrive hvordan ulike inngangsverdier i et prosjekt kan påvirke resultatet utenfor området som har bakkekontrollpunkter (GCP).
- Belyse kriterier for flyvning og flyplanlegging og begrunne våre valg.
- Å gjøre nøyaktige innmålinger i noe som omtales som vanskelige måleforhold, snødekt terreng. Vi har som mål å minimere snøens påvirkning og gi et bilde på hvordan vi håndterer dette elementet.

Vi ønsker med oppgaven å finne en god metode for datainnsamling, basert på det som finnes av tilgjengelig litteratur og ved å utføre enkelttester der det er behov. Dette håper vi kan danne grunnlag for å beregne et ukjent område utenfor området som inneholder bakkekontrollpunkter (GCP). Dersom vi kan si noe om hvordan påvirkningen kan være utenfor det kontrollerbare området, ser vi for oss at metoden kan kontrolleres og testes videre av andre. Gir metoden gode resultater i et ukjent område, mener vi at dette kan benyttes blant annet i utilgjengelige områder og kritiske situasjoner. Dette vil kunne føre til reduserte kostnader og muligens mer effektiv datainnsamling.

1.5 Oppbygging av rapport

Bakgrunnen for og problemstillingen til oppgaven er presentert i 1.1-1.4. I resten av kapitlet presenterer vi teori gir forståelse for oppgavens omfang og for de ord og uttrykk som blir brukt. Teorigjennomgangen gir grunnlaget for de valgene som blir tatt i forbindelse med metoden som velges, resultatanalysen og diskusjon. Etter teorigjennomgang og beskrivelse av testområdet, kommer metodekapittelet som beskriver hvordan de ulike testene er utført. Dette kapitlet tar for seg de initielle testene, samt kvalitetskontroll og det som kan kalles

hovedtestene. De initielle testene er gjennomført for å ta riktige valg ved datainnsamlingen. Kvalitetskontrollen er utført på de innsamlede dataene til hovedtestene (bilder, innmålte punkter). I metodekapittelet skilles det mellom de ulike testene ved bruk av overskrifter og nivåer. Resultatet fra disse testene omtales i resultatkapittelet, og vises som tabeller, grafer og figurer. Oppgavens vurderinger fremkommer i diskusjonskapittelet. Her gjennomgår vi valgt metode, datainnsamling og resultater. Diskusjonskapittelet er en helhetlig vurdering og danner grunnlaget for konklusjon og videre arbeid. Til slutt i oppgaven finner du litteraturliste og vedlegg.

1.6 Målgruppe

I denne oppgaven ser vi på etablering av en terrengmodell i et utilgjengelig område. Om dette er et område som er utilgjengelig på grunn av skredfare, minefelt eller områder hvor det foreligger en annen risiko for folk eller utstyr spiller ikke så stor rolle. Målgruppen vi sikter til i denne oppgaven er derfor alle som arbeider eller kommer i kontakt med slike miljø i forbindelse med kartleggingsarbeid, men ikke begrenset til dette. Vi forventer at de som leser oppgaven har kjennskap om fotogrammetri og landmålingsfaget.

Vi ser for oss at de funn vi gjør i løp av denne oppgaven kan brukes av alle i bransjen som driver med dronebasert fotogrammetri og etablering av terrengmodeller.

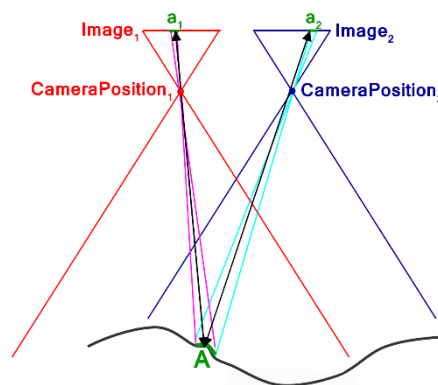
1.7 Teori

1.7.1 Fotogrammetri

Ordet fotogrammetri er en sammensetning av ordene *photos* som betyr lys, *gramma* som betyr noe som er tegnet og ordet *metri* som betyr måling. Sammensatt betyr det læren om å måle i bilder for å bestemme fotograferte objekters geometriske egenskaper slik som form, størrelse og beliggenhet (Dick, 2018).

Opphavet til fotogrammetri finner man så langt tilbake som til 1480 da Leonardo Da Vinci utviklet konseptet med perspektiv og projeksjonstegning. Fotogrammetri slik vi kjenner det ble oppfunnet i 1851 av Colonel Aimé Laussedat og har fortsatt å utvikle seg siden den gang (Girod, 2018b). Tradisjonelt har fotogrammetri blitt brukt til å hente ut topografisk informasjon fra bilder tatt fra luften. Før tegnet man høydekurver og enkle detaljer ved å bruke en prosess kalt stereoskopi. Dette var en prosess hvor man kunne hente ut mange detaljer, men det var samtidig veldig tidkrevende. Ny og bedre datateknologi har gjort slik at det i dag er enkle og automatiserte prosesser og rutiner slik at en kan hente ut enda flere detaljer. I dag kan en hente ut millioner av 3D-punkter i løpet av få timer uten ekstra arbeidsbelastning.

Hovedprinsippet innen fotogrammetri er flere bilder av samme objekt/område som er tatt fra ulike posisjoner. Dette kan brukes til å beregne 3-dimensjonale koordinater for punkter i bildene på samme måte som menneskers dybdesyn virker ved at vi har to øyne som ser den samme fra litt ulik posisjon.



Figur 3: Illustrerer bildeoverlapp ved at to bilder er tatt fra ulike kameraposisjoner. I figuren kan man også se hvordan størrelsen på ett piksel på kameraets sensor tilsvarer ett område på bakken. Figuren er gjengitt med tillatelse fra Luc Girod.

1.7.2 Terrengmodell generert fra fotogrammetri

Terreng kan representeres digitalt i form av en terrengmodell (3D). Man skiller mellom digital overflatemodell (DOM) som tar høyde for alle overflater slik som terreng, bygninger, trær og lignende og digital terrengmodell (DTM) som kun beskriver terrengets overflate. Ved bruk av «close-range» fotogrammetri kan man generere digitale overflatemodeller med veldig høy oppløsning (sub mm oppløsning) (Girod, 2018a).

Da en digital overflatemodell beskriver alt ved terrengets overflate kan man trekke ut og skille terrenget fra resten av overflaten og dermed generere en digital terrengmodell som kun beskriver terrenget. Man kan og trekke ut og generere en normalisert DOM (nDOM) som er en overflatemodell som kun beskriver objekter som ikke er bakke, slik som bygninger og trær.

Det å trekke ut og skille terrenget fra overflatemodellen er imidlertid en ganske komplisert prosess spesielt med overflatemodeller fra fotogrammetri da disse ofte kan inneholde hull som følge av få korresponderende fellespunkter eller lite innsyn. Disse hullene må da fylles ved en interpoleringsprosess og som følge av dette kan skarpe kanter og detaljer da bli glattet ut. Det finnes flere ulike algoritmer for å trekke ut og generere en DTM fra en DOM. En mye brukt algoritme for å trekke ut terrenget fra en overflatemodell er algoritmen Multi-directional and Slope Dependent (MSD) (Mousa, 2017). Dette er en algoritme som bygger på multi-directional ground filtering algoritmen (MGF) og filtrerer punkter på de tre kriteriene helning i ulike retninger, høydeforskjell mellom punktene og nærmeste bakkepunkt, og minimumshøyden i ett lokalt nabolag (Meng et al., 2009). Alternativet til fotogrammetri ved datainnsamling av terrengmodell er LIDAR, laserstråler som måler terrengformasjoner (Leberl et al., 2010).

1.7.3 Drone – DJI Phantom 4 Pro V2

På markedet finnes det flere Unmanned Aerial Vehicle (UAV) kalt droner som er utviklet med det formål å brukes innen fotogrammetri. I oppgaven er det bruk en drone av typen DJI Phantom 4 Pro V2. Dette er en såkalt multirotors drone som vil si at den har flere rotororer som sørger for oppdrift. På dronen er det fastmontert ett kamera med en 1''(tommers) 20-megapiksels CMOS bildesensor. Kameraet har en brennvidde på 8.8mm og ett synsfelt på 84°(grader). I tillegg til kamera har dronen en GNSS-modul som muliggjør selvstyrt flyvning og georeferering av bilder. Dronen skal ifølge produsenten ha en flytid på opp mot 30 minutter (SZ DJI Technology Co.).



Figur 4: Dronen som er brukt i oppgaven, DJI Phantom 4 Pro v2.0

1.7.4 Programvare – Pix4D

Det finnes flere fotogrammetriprogramvarer på markedet, både proprietære og åpne. Noen av disse har ett kommandolinje basert prosesseringsløype, mens andre har enkle og velforklarende grafiske brukergrensesnitt. Slike programvarer gjør det enkelt å importere bilder og en liste med GCP'er for å enkelt generere produkter som ortofoto (bilde med plassering og skal), DOM, og DTM. De fleste programvarene lar brukeren eksportere overflatemodellen eller terrenngmodellen som punkttsky, TIN, GeoTIFF og høydekurver. I tillegg genereres en kvalitetsrapport som gir mye god informasjon om hvor pålitelig resultatet er. Her får man blant annet informasjon om tettheten av fellespunkter, optimaliserte kameraparametere og georefererings detaljer, GCP og CP avvik mellom målt og beregnet verdi.

Felles for flere av programvarene for fotogrammetri med drone som finnes på markedet er at de bruker Structure-from-Motion (SfM) metoden. Dette er en metode som brukes til å generere en punkttsky fra sett med bilder. SfM-metoden skal vi se nærmere på i neste kapittel.

I oppgaven har vi brukt programvaren Pix4Dmapper for prosessering. Dette er en programvare som er utviklet for fotogrammetri med drone. Fotogrammetri med forbrukerdrone faller under kategorien «Close range» fotogrammetri og Pix4Dmapper

programvaren er spesialisert for denne kategorien. Programvareleverandøren vil ikke gå tett inn på hvilke algoritmer og hvilke tilpasninger som er gjort for å optimalisere resultatene da dette er en proprietær programvare, men de har frigitt informasjon om at de bruker SfM-metoden.

1.7.5 Structure-from-Motion (SfM)

De tre siste tiårene har hatt enorm utvikling innen algoritmer for 3D datasyn (computer vision), inkludert algoritmer for gjenkjenning av detaljer i bilder. De tidligste algoritmene kunne finne korresponderende detaljer i et sett med bilder (bildeserie av samme objekt/område), men var da avhengig av at de korresponderende detaljene, videre kalt fellespunkter hadde felles skala og var avhengig av at scenen var sett fra tilsvarende synspunkt (Snavely et al., 2008).

En mer moderne og anvendelig algoritme for å finne fellespunkter i sett med bilder er Scale Invariant Feature Transform (SIFT) algoritmen. Denne algoritmen er utviklet David G. Lowe ved universitetet i British Columbia. Algoritmen kan finne fellespunkter i bilder uavhengig av bildenes skala og perspektiv. Algoritmen egner seg derfor godt i de tilfellene man har mange bilder av en scene sett fra mange vinkler og ulike avstander. (Lowe, 2004).

“Structure-from-Motion” (SfM) er en fotogrammetrisk metode hvor flere algoritmer kombineres for å rekonstruere terrengforhold (topografi) med høy oppløsning basert på en gruppe bilder med høy overlapp. Algoritmene som brukes er blant annet SIFT-algoritmen som nevnt over for å finne fellespunkter og en filtreringsalgoritme kalt RANSAC (random sample consensus) for å skille ut feil i fellespunktene. Det finnes også andre algoritmer for både å finne fellespunkter og for filtrering.

På det grunnleggende plan fungerer SfM-metoden på samme måte som man er kjent med fra tradisjonell fotogrammetri med stereosyn (stereopsis) hvor 3D-strukturer rekonstrueres fra overlappende bilder som er forskjøvet. Metoden skiller seg fra tradisjonell fotogrammetrisk metode ved at de ukjente terrengforholdene, kameraposisjoner og orientering løses automatisk uten nødvendig bruk av et nettverk av GCP'er med kjent 3D-posisjon. Disse løses i en simultan beregning hvor en ved hjelp av en database med fellespunkter bruker en iterativ metode kalt «bundle adjustment» til å beregne kameraposisjoner og rekonstruere topografien (Nolan et al., 2015).

Bundle adjustment kan forklares som en prosess hvor de geometriske problemene som 3D-punkt koordinater, kameraposisjoner og kalibrering blir løst ved å bruke minstekvadraters metode til å finne den løsningen som gir lavest projeksjonsfeil (Triggs et al., 2000).

Ved bruk av SfM-metoden kan en rekonstruere en topografi uten bruk av GCP'er, men man vil da miste skala og orientering i forhold til andre koordinatsystemer. For å georeferere modellen som genereres og beregne riktig skala kan en beregne en transformasjon fra «bilde-rom» koordinatsystem til ett absolutt koordinatsystem, ved hjelp av minimum 3 GCP'er.

Structure-from-Motion metoden er best egnet for bruk hvor man har sett med bilder med høy overlapp og innsyn til topografien fra flere ulike posisjoner. Høyt overlapp gir bilder som ligner mye på nabobildene. Dette forenkler SIFT-algorithmens jobb med å finne fellespunkter. Høyt overlapp er også et sikkerhetstiltak for å sørge for at man klarer å finne fellespunkter i skjulte deler av terrenget (slik som i områder hvor vi finner trær og bygninger) (M.J. Westoby, 2012).

1.7.6 Værforhold

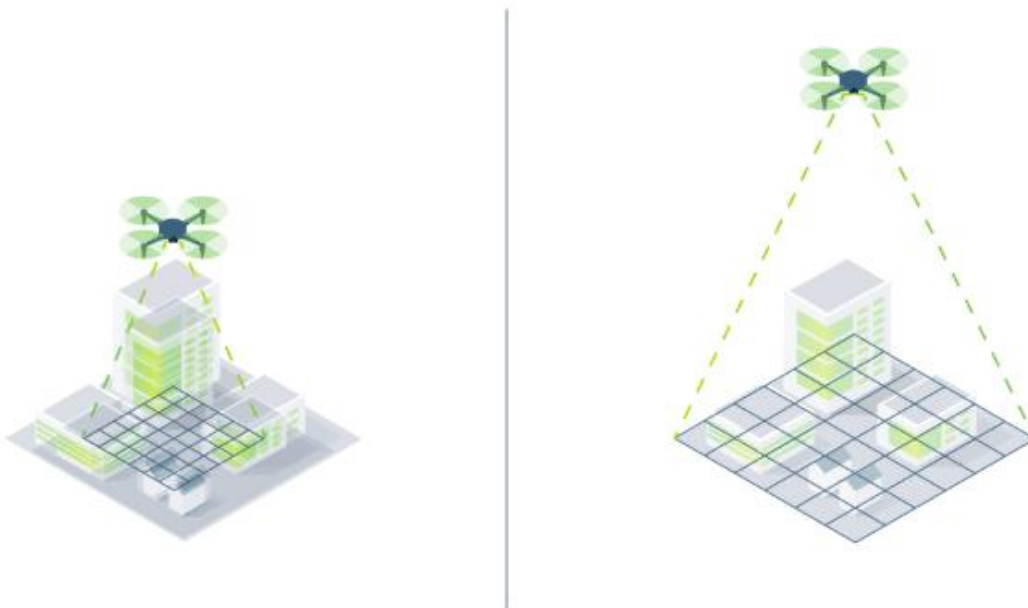
Værforholdene under datafangst har stor påvirkning på resultatet og om man i det hele tatt kan fly. Mengde lys og kontrast påvirker hvor mange fellespunkter i bildematerialet programvaren klarer å automatisk detektere. Mengden lys påvirker og hvor lav ISO-verdi og hvor høy lukkertid kameraet kan ha. Dette vil si at på lyse dager kan man oppnå bilder som er skarpere og med mindre støy enn på dager med dårlige lysforhold. Ved sterk vind kan man ikke operere dronen forsvarlig og flyvning bør unngås. Sterke vindkast kan også påvirke dronen slik at man ikke oppnår ønske overlapp ved at dronen blåses av flystripen eller vippes slik at bildene ikke blir tatt helt vertikalt (mot nadir).

Når en skal lage en terrengmodell over ett område dekket av snø kreves mye lys og mye kontrast. Dette oppnås på solfylte dager i timene rett før og rett etter solen står rett opp slik at det er korte og skarpe skygger. For å oppnå best mulig resultat på snø er det en fordelaktig at snøen er gammel og transformert slik at snøen er forurenset av støvpartikler og snøkrystallene er blitt grovkornet. Dette gjør at snøens albedo (refleksjonsevne) synker kraftig og man oppnår bedre kontrast (Singh et al., 2010).

En annen ulempe med snø er at det blir vanskelig å ferdes i området for å plassere ut GCP'er og man kan risikere at disse flytter på seg på grunn av snøsmelting og setninger i løpet av datainnsamlingen.

1.7.7 Flyhøyde

Flyhøyden forteller oss sammen med kameraets brennvidde hvilken romlig oppløsning vi oppnår i modellen. Den romlige oppløsningen er gitt av pikselstørrelsen på en gitt avstand og refereres i mesteparten av litteraturen til Ground Sampling Distance (GSD). I noe litteratur omtales det og som «Spatial Resolution». GSD er et mål på hvor stort område en piksel i bildet dekker på bakken. En GSD på 5 cm vil bety at hver piksel i bildet dekker ett område på 5 x 5 cm på bakken. Lav flyhøyde og høy brennvidde vil gi ett høyoppløslig (lite informasjon i hver piksel/mange piksler i et lite område) ortofoto med lav GSD. Og motsatt vil man få en stor GSD, men da kunne dekke ett mye større område fordi vi flyr høyere og fanger mer informasjon i hver piksel. Mengden informasjon i hver piksel sier noe om nøyaktigheten det er mulig å oppnå. Har en piksel informasjon om 10 x 10 cm vil alt som befinner seg innenfor denne ruten fremstå som et objekt på bildet. Figur 5 viser hvordan en forskjell i flyhøyde endrer GSD'en og illustrerer samtidig hvordan man ved en større flyhøyde dekker ett større område pr. bilde



Figur 5: Flyhøydens effekt på Ground Sampling Distance (GSD). Dronen til venstre i figuren har lavere flyhøyde som betyr lavere GSD. Figuren er gjengitt med tillatelse fra Pix4D.

1.7.8 Overlapp mellom bilder

Overlapp er et mål på hvor mye av bildene som dekker samme område som andre bilder. Det skilles mellom overlapp i det som kan kalles flyretningen eller flystripene og mellom flystripene. Overlapp innad i flystripene blir referert til som front-overlapp og blir ofte regnet som det viktigste parameteret for å sørge for god stereodekning. Minimumskravet for å oppnå stereodekning er at front-overlappet er 53%. Dette vil si at for å oppnå stereodekning må to bilder tatt etter hverandre i samme flystripe vise 53% av det samme i en scene (Li et al., 2018). Sideoverlapp beskriver hvor mye hver flystripe overlapper hverandre. Sideoverlappet kobler flystripene sammen og det er her ikke like nødvendig med ett høyt overlapp da hovedoppgaven ikke er å skape stereodekning, men å koble flystripene sammen. I tradisjonell fotogrammetri har det vært vanlig å bruke 60% overlapp, men man må over 67% overlapp for å oppnå god stereodekning hvor man tar høyde for terrengvariasjoner og sørger for at alle punkter kan sees 3 ganger (Girod, 2018b).

Ved moderne fotogrammetri og bruk av SfM-metoden kreves ett høyere nivå av overlapp og det anbefales ett overlapp på opp mot 80% front overlapp og 60% side overlapp for å sørge for god og mer robust automatisk korrelasjon ved å ha minst tre kameraposisjoner som viser samme punkt på bakken (Girod, 2018a).

Innen skogbruk har man sett en enorm verdi med ett høyt overlapp ved at feilen på målte trehøyder falt når front-overlapp økte (Dandois et al., 2015), noe som skyldes at det høye overlappet sørger for flere bilder som viser tretoppene og gjør det lettere for SIFT-algoritmen å finne fellespunkter der.

1.7.9 GNSS

Global Navigation Satellite Systems (GNSS) er en betegnelse som brukes om de ulike satellittbaserte systemene brukt til å beregne posisjon, hastighet/retning og tid. I denne oppgaven er GNSS brukt til å etablere en stasjon i forbindelse med å opprettelse av ett grunnlagsnett, da med Real-time kinematic (RTK) -måling med korreksjonsdata fra CPOS. GNSS koordinatfester bildene som er tatt med dronen. Prosessen hvor det legges koordinater til bildene blir ofte kalt geotagging.

Programvarer kan prosessere bilder uten koordinater. Da kreves det andre metoder slik som å bruke GCP'er for å gi informasjon om skala og orientering til modellen. Fordelen ved å bruke georefererte bilder når man skal lage en terrengmodell ved fotogrammetri er at programvaren da har informasjon om hvor bildene er tatt og har da den initiale løsningen på beregning i programvare. Dette forenkler flere av prosessene ved bildematching og kalkulering av intern orientering.

1.7.10 Totalstasjon

En totalstasjon er en kombinasjon av en elektronisk avstandsmåler og en elektronisk teodolitt (vinkelmåling). Den har også en elektronisk målebok slik at det er enkelt å registrere, beregne og lagre data.

En totalstasjon som står i ett kjent punkt kan ved å måle horisontalvinkler, vertikalvinkler og avstander beregne koordinater til punkter. Dette kalles en polarinnmåling og produktet av dette er koordinater for enkeltpunkter (eks. X, Y og Z).

Ved å bruke en totalstasjon kan man måle inn GCP'er med en svært god relativ posisjonsbestemmelse med høy nøyaktighet. Dette vil bidra til å optimalisere kamerakalibreringen da alt av skala-beregninger og plassering i forhold til hverandre vil ha en høy grad av nøyaktighet. Ved å bruke totalstasjon vil man og kunne kontrollere GCP'er ved å måle de inn før og etter flyvning uten å tenke på at målingene kan være korrelerte i tid slik som man kan oppleve ved GNSS-målinger.

1.7.11 Koordinatsystem

Et koordinatsystem er et sett med matematiske regler som beskriver hvordan punkter skal representeres med ett eller flere nummer, kalt koordinater. Det fins flere typer koordinatsystemer fra enkle nummerlinje-systemer til mer avanserte himmelhvelvings koordinatsystemer. I oppgaven er det brukt et kartesisk koordinatsystem som består av tre plan som står vinkelrett på hverandre. Disse planene representerer vanligvis nord, øst og høyde over havet. Punkter blir i et slikt koordinatsystem representert med avstander ifra origo. Da planene er vinkelrette på hverandre er slike koordinatsystem ofte veldig intuitive å forstå seg på ved at om man flytter seg en meter mot øst endres koordinaten og med en enhet mot

øst. Dette gjør at det kan være enklere å forholde seg til enn jordsentriske koordinater hvor man må relatere til vinkler. Ved manuell kontroll og målinger mellom punkter er det enklere å forholde seg til valgt koordinatsystem ved at man enkelt kan regne ut en avstand mellom punkter og se denne opp mot målt i programvare.

Euref89 er offisielt geodetisk datum (referansesystem) i Norge. Referansesystemet baserer seg på koordinater fastsatt 1. Januar 1989. Euref89 benyttes med to kartprojeksjoner, UTM og NTM. Det som er relevant for vår oppgave er målestokkfaktor og rett høydereferansesystem. Målestokkfaktoren for UTM er 0,9996 og NTM 1,0000. Denne faktoren beskriver forholdet mellom avstander på kartet og i virkeligheten. Eks. kan da en målt avstand på 100 meter måtte korrigeres med opptil ca. 4 cm avhengig av sentralmeridianen for å kunne regnes om til kartplanet. NTM med målestokkfaktor 1,0000 beholder avstandsforholdet kart/virkelighet likt. Slik at 100 meter på kartet er 100 meter i virkeligheten. NTM benyttes i bygg- og anleggsbransjen på prosjekter med liten geografisk spredning. NTM er egnet i denne oppgaven fordi den reduserer usikre påvirkninger i den fotogrammetriske prosessen når vi kan forholde oss til 1 til 1 skala. Om dette faktisk har en betydning, vil ikke oppgaven gi svar på, men oppgaven tar høyde for at dette kan være av betydning. Høydereferansesystemet, vertikalt datum i Norge har tidligere vært NN1954, i dag brukes primært NN2000. Kontrollpunktene er målt inn i Euref89 NN2000. Bildene blir geotagget i WGS84 og transformeres i de fotogrammetriske beregningene til samme koordinatsystem som kontrollpunktene.

1.7.12 Kamera

Et kamera fanger et øyeblikk og fryser dette i tid. Kameraet fungerer på den måten at det har ett rutenett av lysfølsomme sensorer kalt «piksler». Pikslene måler styrken på lyset som treffer dem. For å generere et fargebilde brukes et rutenett av ulike fargefiltre såkalt Color Filter Array (CFA) foran pikslene slik at det slipper til lys i forskjellige deler av det elektromagnetiske spekteret, til de ulike pikslene og det interpoleres mellom pikslene for å skape ett trekanals RGB fargebilde (Popescu and Farid, 2005).

En annen viktig del av kameraet er objektivet. Objektivet oppgave er å fokusere lysstrålene og samle disse på kameraets sensor. Kameraets objektiv er avgjørende for hvor mye lys som kan slippe inn til sensoren samt den styrer brennvidden. Objektivet brukes også til å stille

motivet skarpt (fokusere). Dette har stor betydning når man skal bruke kameraet til fotogrammetri da man ved hjelp av riktig objektiv kan styre hvilken romlig oppløsning man oppnår. I objektivet finner man en iris som kalles blenderåpningen. Denne kan åpnes og lukkes for å styre dybdeskarphet og hvor mye lys som skal slippes inn til sensoren. Et kameras lysfølsomhet kontrolleres av ISO-verdien. ISO kan brukes til å oppnå et lysere bilde ved at pikslenes registrerte lysnivå forsterkes.

Forskjellen mellom ett forbrukerkamera og et profesjonelt fotogrammetrikamera er i hovedsak den geometriske ytelsen. Det vil med andre ord si at de geometriske egenskapene til ett profesjonelt fotogrammetri kamera er bedre bestemt og mer stabile enn for et forbrukerkamera hvor små rystelser eller temperaturendringer kan ha stor påvirkning på de geometriske egenskapene slik som kameraets brennvidde. Forskjeller som sensorstørrelse vil og ha en betydning for hvor stort område som dekkes av ett bilde ved samme GSD. Det er flere andre forskjeller mellom kameraene slik som optikk og spektral oppløsning, men det er i hovedsak de geometriske egenskapene som skille disse kameratypene (Gruber, 2011, Höhle, 2012).

1.7.13 Bildeorientering

For å gjøre om et sett med bilder til et sett med punkter med hver sin X-, Y- og Z-verdi, kalt punktsky, må man løse flere ukjente. Disse ukjente kan kategoriseres som indre og ytre orientering. Indre orientering refererer til kameraet og optikkens spesifikasjoner slik som brennvidden, sensorstørrelse, pikselavstand, linseforvregninger, og bildets sentrumspunkt (principle point). Dette er viktige elementer å ha et forhold til, da de interne parameterne til kameraet påvirkes av støt og temperaturendringer. Ytre orientering refererer til kameraets posisjon og rotering og beskrives med parameterne: X, Y, Z, og Trait-Bryan rotasjonene (roll, pitch og yaw). Dette gir totalt 10 ukjente parametere som løses i prosessen bundle adjustment for å beskrive kameraets posisjon og orientering.

1.7.14 Flyplan

Flyplan er en samlebetegnelse som består av elementene flyrute, flyhøyde, flyhastighet og bildeoverlapp.

Flyruten er definert av området som skal fotograferes samt overlappet som er ønsket da dette vil definere hvor tett flystripene må være. Flyhastigheten må settes slik at bildene ikke blir påvirket av bevegelses uskarphet (motion blur), dette oppnås ved å velge en rask lukkerhastighet.

I praksis blir flyplanen definert på en datamaskin før flyvning og lastes deretter direkte opp til dronen som flyr automatisk og tar bilder i henhold til flyplanen.

1.8 Testområde

Testområdet må inneha visse kvaliteter slik at det ikke begrenser eller fører til kunstige resultater. Det må å være et område som representerer et eller flere av oppgavens bruksområder. I en optimal situasjon ville det vært relevant å gjennomføre testene på flere ulike områder. Dette ville kvalitetssikret resultatet og gitt en forståelse for ulike områders påvirkning på metoden. Kvalitetsbestemmelse i ukjent område har vi ikke funnet informasjon om at er tidligere beskrevet. Testmetoden bygger ikke direkte på andre resultater, men selve datainnsamlingen baserer seg på annen litteratur. Det blir derfor for stort omfang på oppgaven dersom dette skal gjøres på flere testområder.

Det vurderes flere testområder, alt fra jorder og gardsbruk til ferske hogstfelt. Jorder og bebyggelse egner seg dårlig siden det er vanskelig å opprette kontrollpunkter ved bygg og jorder gir en veldig monoton overflate. Hogstfelt egner seg dersom det er i ulendt terreng og ikke har snødd etter hogsten.



Figur 6: Beskrivelse av testområde. Flyfoto fra drone Phantom 4 Pro V2.0.

Området vi besluttet å bruke har enkel tilgang da det er i tilknytning til en gård på Brøttum i Ringsaker, Norge. Det har vært et skogsfelt som er under konvertering til å bli beite for husdyr. Det har derfor elementer av naturlige terrengvariasjoner og ligger i skrånet, åpent terreng med lav vegetasjon. Områdets fordeler for oss er at det ikke har helt flate og jevne konturer, det er heller ikke så bratt at det er utilgjengelig eller at GSD'en vil variere så mye at det vil skape problemer.

Området er relativt åpent med utvidelsesmuligheter i to retninger hvor det er et nedhugget skogsfelt og jorde. De to andre retningene har skog og store terrengvariasjoner, noe som er lite egnet for vår oppgave. Området testen etableres i er så stort at det ikke er områdets størrelse som setter begrensninger, men heller dronens flytid ved bruk av hele området.



Figur 7: Bilde av gjennomføringen med område for mulig utvidelse av testområde i bakgrunnen.

2 Metode

Metoden for datainnsamling baserer seg på litteratur presentert i teorikapittelet og enkelttestene presentert i kapittel 2.1 og 2.2. Sammen setter dette inngangsparameterne for datainnsamlingen, slik som tidspunkt, flyplan og innmåling av GCP'er.

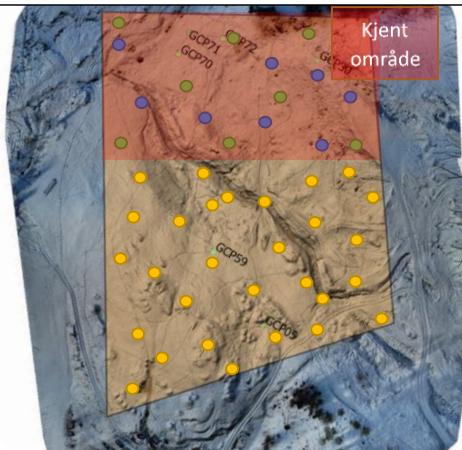

Oppgaven legger vekt på datainnsamlingen med drone og vi tilstreber å ha kontroll på noen av de viktige variablene. For de inngangsverdiene som er avgjørende at blir gjort riktig, gjøres det noen enkelttester som danner grunnlag for videre beslutning. Disse testene presenteres med resultat i starten av dette kapittelet. Videre presenteres metoden for hvordan datainnsamlingen er gjennomført, med etablering av fastmerkenett, innmåling av kontrollpunkter og flyplanlegging. Etter dette kommer metodebeskrivelse for prosessering og kontroll av datainnsamlingen etterfulgt av oppgavens 3 hovedtester. I test 1, 2 og 3 plasseres GCP'ene for hvert datasett fornuftig distribuert i kjent område (Sanz-Ablanedo et al., 2018). Test 1 og 2 låser alle datasettene til 8 GCP'er. Ved å låse datasettene til likt antall GCP'er reduserer vi denne variabelens påvirkning.

Etter gjennomført datainnsamling har vi etablert datagrunnlaget for videre test og prosessering i programvaren Pix4D. Her vil vi utføre flere tester på det samme datasettet. Før enkelttestene gjennomføres, kontrolleres datagrunnlaget og noen av mange prosesseringsinnstillinger. I test 1 ser vi på hvilken påvirkning våre valg av størrelse på kjent område med GCP og retningen på innfallsvinkelen til området. Resultatene fra test 1 brukes som inngangsverdi til test 2 og 3. Test 2 kontrollerer formen på det kjente området og inneholder flere deltester for å kontrollere valgt form. Valgt form fra test 2 brukes som inngangsverdi til test 3. Test 3 ser på hva som skjer i den valgte formen fra test 2 med arealet og retningen fra test 1 i tillegg til resultatet fra test 1. Denne testen ser på hvordan antall GCP'er påvirker resultatet i ukjent område og er den eneste testen som har to inngangsverdier.

Tabell 1 beskriver viktige begreper som er avgjørende for metode- og resultattolkning.

Tabell 1:

Beskrivelse av kontrollpunkter og viktige elementer som må forstås for å forstå oppgavens metode og resultater.

Kontrollpunkter		
Benevning	Funksjon	Forklaring
GCP Benyttes til beregning	Brukes i beregningen av datasettet. Transformerer fra bildekoordinatsystemet til bakke koordinatsystemet. Setter skala, orientering, høyde.	 <ul style="list-style-type: none"> ● GCP - Kjent område, brukes av Pix4D i beregninger ● KCP - Kjent område, kontrollerer «Interpolert» område ● UCP - Ukjent område, kontrollerer «Ekstrapolerte» områder
KCP Kjent område CP	Brukes for kontroll av GCP'enes påvirkning på datasettet/beregningens resultater i kjent område.	
UCP Ukjent område CP	Brukes for kontroll av GCP'enes påvirkning på datasettet/beregningens resultater i Ukjent område	
Markering på bakken	Fotogrammetrisk signal som benyttes som markering av innmålt posisjon. Et eksempel →	

2.1 Initielle tester

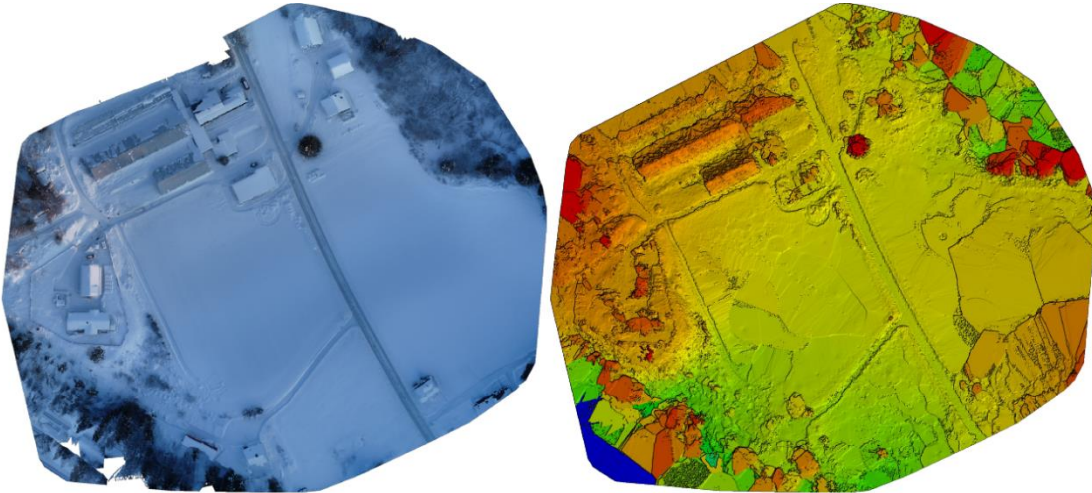
For å etablere metoden for datainnnsamling ser vi i dette delkapittelet på to av de initielle testene som gjøres i forbindelse med forberedelsene til innsamlingsmetoden. Sammen med litteratur danner disse testene grunnlag for valgene i metode kapittelet, slik at datainnnsamling og resultat presenteres samlet her for disse testene.

2.1.1 Miljøtest - Vinterforhold

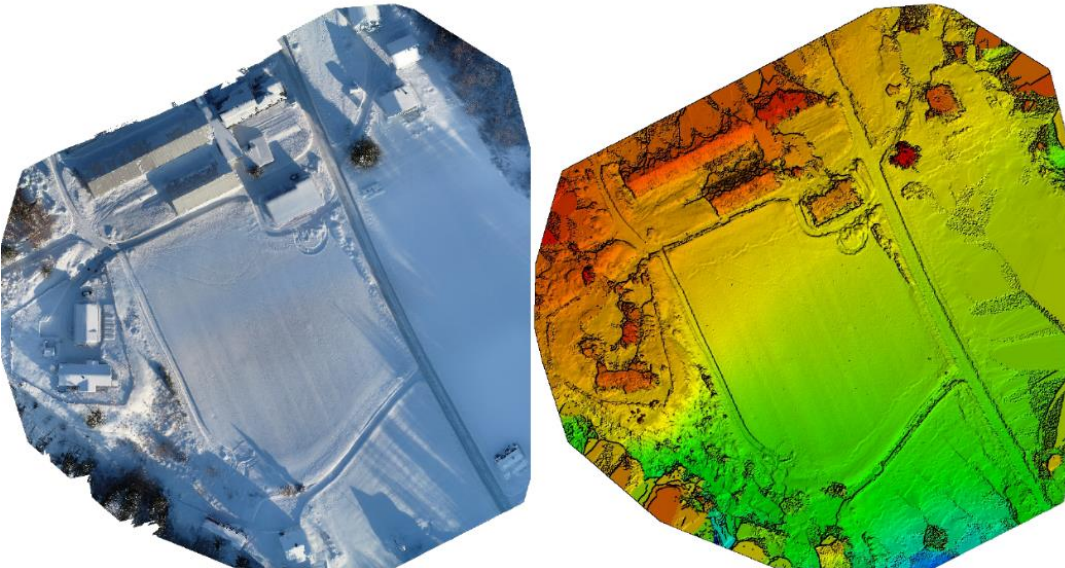
Miljø vinterstid er et kritisk aspekt i de innmålte dataene og vi trenger å etablere et grunnlag for å ta beslutninger for innmåling. Noen av de kritiske momentene er lysforhold og kontrast ved innmåling (bilder) av snø. Snø er å anse som en homogen flate, en flate som har få variasjoner og lite kontrast. For å bestemme innmålingskriteriene slik som tid for innmåling og forventet resultat ble det gjennomført tester for å belyse snø og vinterforholdenes betydning i dataene. Vi må forholde oss til snøens refleksjonsegenskaper, snø som en homogen overflate og tester gjennomført på snødekte overflater.

Datasettene er innhentet på samme dag, men på tre ulike tidspunkt. Testområdet er to relativt flate jorder som er adskilt med en veg. Det er noe bebyggelse og skog i ytterkant av området. Bildemateriellet er innhentet ved hjelp av samme drone som skal brukes i hovedtesten og alle flyvningene er basert på samme flyplan. Ved første flyvning var solen oppe på himmelen, men hadde ikke direkte stråler til vårt testområde. Under den andre flyvningen kommer solstrålene skrått inn i halvparten av området. I siste flyvningen er derimot nesten hele området opplyst. I Figur 8 beskrives de tre ulike flyvningene ved hjelp av oversiktsortofoto og DOM for samme området.

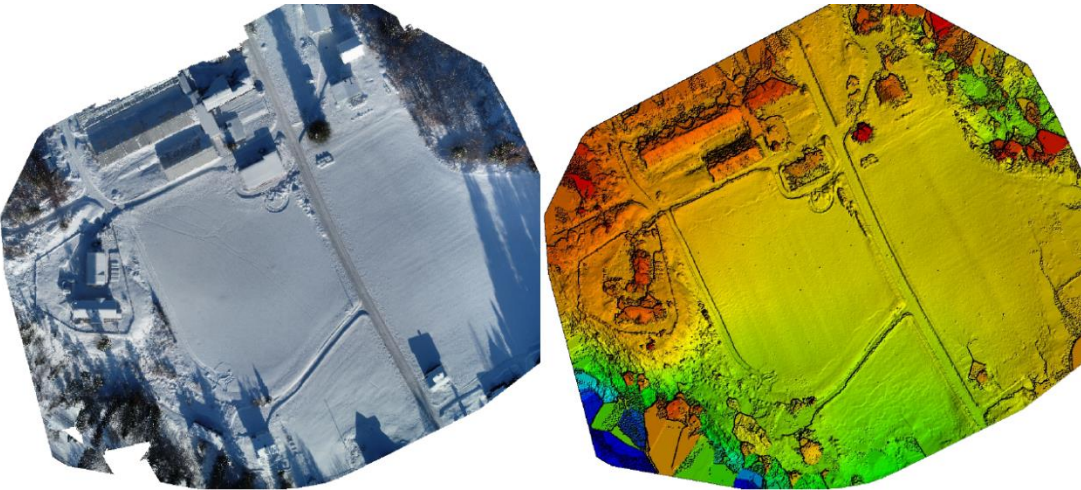
Bilde nr. 1



Bilde nr. 2



Bilde nr. 3



Figur 8: Testbeskrivelse og resultatvisning av miljøtest vinterforhold. Presenter ved hjelp av ortofoto og digital overflatemodell (DOM)

For å se resultatenes betydning kan vi fokusere på jordet til høyre for vegen sammenlignet med jordet til venstre. Ortofoto bruker vi som referanse til hvordan sol/skyggefórhóldet fordeler seg.

I Figur 8 ser vi på det venstre jordet at flyvning 1 (Bilde nr. 1) skiller seg ut fra flyvning 2 (Bilde nr. 2) og 3 (Bilde nr. 3). Flyvning 1 viser tydelig at overflaten ikke er jevn. Her er området skygget og uten direkte sollys. For flyvning 2 og 3 er derimot området opplyst og vi ser en tydelig forbedring i DOM modellen fra test 1.

Forbedringen av resultatet for flyvning 1 og 2 bekrefte s ved å se på jordet til høyre for vegen. Her er det en ujevn DOM for flyvning 1. I flyvning 2 blir den litt bedre. Her er halvparten av datasettet direkte belyst og vi ser i ortofoto for test 2 at det også skinner gjennom solstråler på jordet. Under flyvning 3 er nesten hele det høyre jordet opplyst og DOM modellen ser relativ jevn ut. I ytterkanten av DOM modellen, der det er skygge i ortofotoet er modellen igjen ujevn og vi kan antyde at dette kommer av hvor mye lys som tilføres underlaget.

Basert på denne testen kan vi si at vi trenger direkte lys og god kontrast ved datainnsamling fra vår spesifikke drone for å oppnå et godt resultat. Tabell 2 gir en indikasjon på hva som skjer ved de ulike måleforholdene på snø med testens utstyr. Kameraoptimaliseringen sier hvor likt den fotogrammetriske prosessen klarer å beregne kameraparameterne i forhold til leverandørens kalibrerte kameraparameter. Fotogrammetriprosessen beregner kameraparameterne fra bildematerialet. I følge programvareleverandøren Pix4d bør kameraoptimaliseringen være under 5% (Pix4D, 2019d). Hvis det havner over 5% som det gjør i test 1 foreslår leverandøren blant annet at vi har et for homogent område slik at det ikke kan genereres nok punkter i bildene. Dette stemmer overens med vår test og vi ser også på antall punkter som programvaren beregner for hvert bilde i prosessen med bildematching.

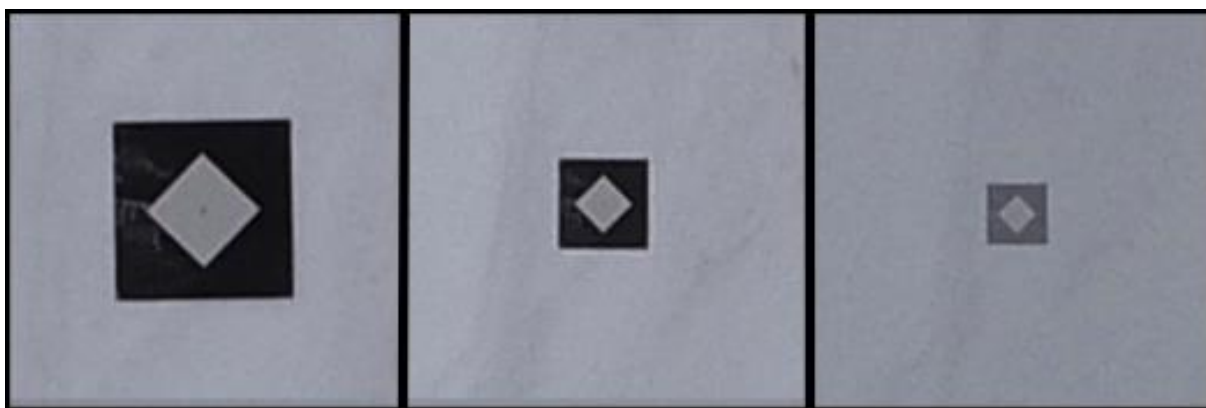
Tabell 2:

Testresultater av miljøtest Vinterforhold

	Test 1	Test 2	Test 3
Kameraoptimalisering	8,72%	2,96%	1,06%
Gjennomsnittlig antall beregnede fellespunkter pr bilde	3495	18435	21032

2.1.2 Dronetest – kontroll av flyhøyde

Flyhøyden er essensiell i planleggingen av et oppdrag. Den bestemmer tydelig GSD'en basert på kameratype og flyhøyden. Flyhøyden påvirker overlapp, antall bilder og hvor stort område som kan kartlegges. Det er viktig i denne prosessen at detaljene i bildet er klare og at det er mulig å bestemme objektene i bildet. For kontroll av kamera og oppløsningen for å godt kunne bestemme GCP'ene i bildematerialet kontrolleres flere flyhøyder. Dette gjøres for å kvalitetssikre at GCP'ene som skal brukes i testen vil være mulig å se slik at vi kan utnytte nøyaktigheten til disse. Figur 9 viser hvordan en GCP vil bli seende ut ved en flyhøyde på 30, 60 og 90 meter. Bildet viser original størrelse uten noen form for forstørrelser. En ser at det ved 90 meter er vanskeligere enn eks. 30 meter å korrekt identifisere senter på GCP'ene. Dette vil da innføre en usikkerhet i kvalitetsbeskrivelsen av GCP'er. Det skal sies at det var svak tåke dagen hvor testen ble utført, men at dette ikke hadde særlig betydning for resultatet.



Figur 9: Bildene viser en GCP sett fra ulike høyder. Fra venstre: 30m, 60m og 90m

Figur 10 viser hvordan en GCP vil se ut fra 60m høyde når bilde er forstørret 10 ganger.

Testen viser at GCP'ene er gjenkjennbare og mulig å fastsette på alle flyhøydene. Så lenge GSD-bestemmelsen fastsetter flyhøyden innenfor testkriteriene opptil 90 meter vil vi kunne gjenkjenne og bruke tiltenkte GCP'er. Det er ikke kontrollert for høyere flyvning, da dette fører til annen GSD enn ønsket. Pix4D anbefaler GCP størrelsen til å være omtrent 5-10 ganger så stor som GSD (Pix4D, 2019f).



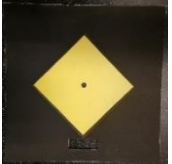




Figur 10: GCP sett fra 60m høyde, forstørret 10x

2.2 Etablering av kontrollpunkter GCP

Tabell 3:

Beskrivelse av de ulike fotogrammetri signalene brukt i oppgaven. Figur, antall og størrelse. Totalt 100 punkter i området av interesse.

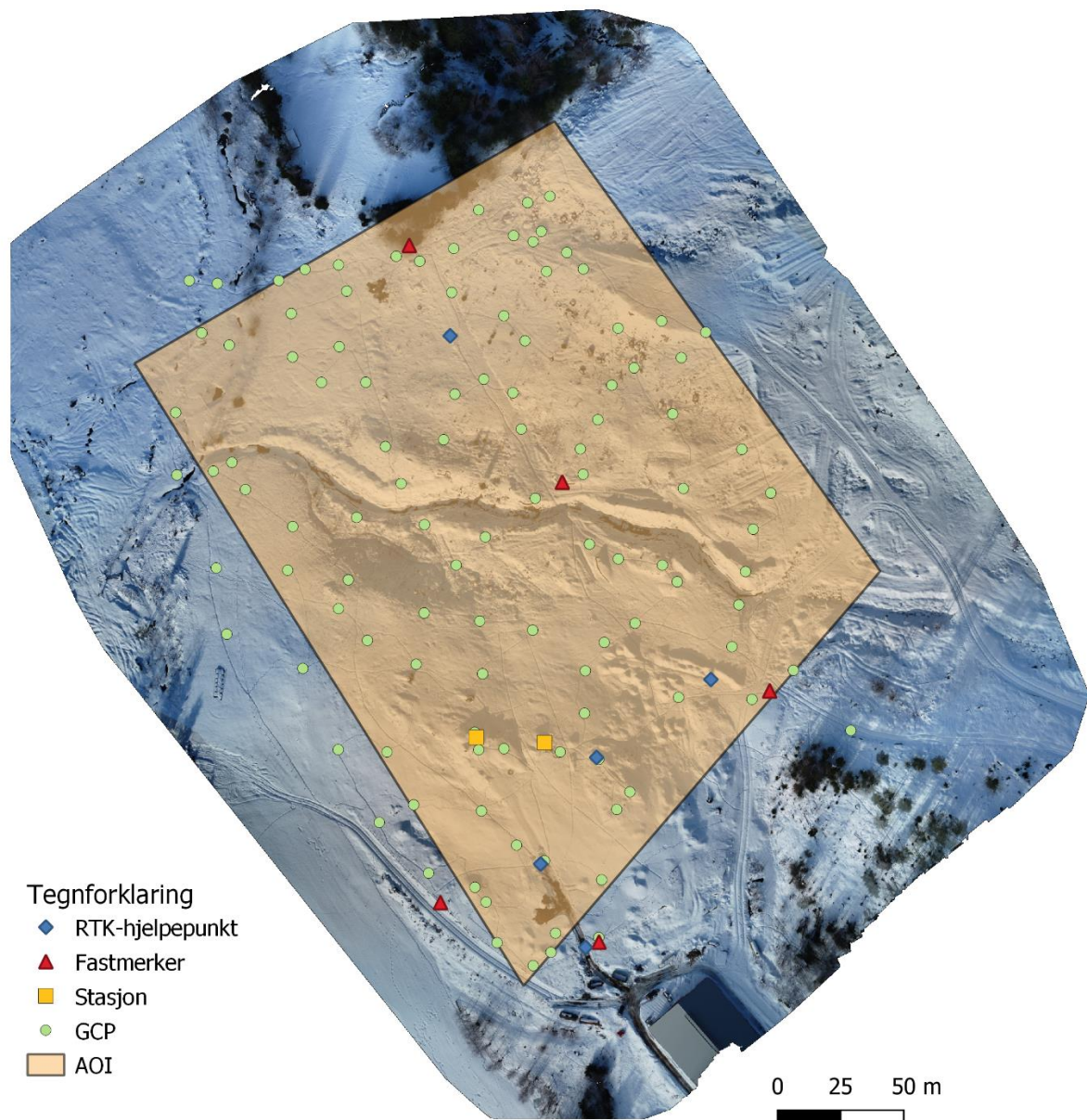
Figur	Beskrivelse	Figur	Beskrivelse
	Størrelse LxB: 60cm x 60cm Antall: 28		Størrelse LxB: 45cm x 45cm Antall: 3
	Størrelse LxB: 60cm x 60cm Antall: 46		Størrelse LxB: 40cm x 40cm Antall: 5
	Størrelse LxB: 60cm x 60cm Antall: 29		

Ground Control Points (GCP) er essensielle for å kunne låse datasettet til et koordinat- og høydesystem på bakken. Med «låse» menes en best mulig tilpasning fra datasettet til et kjent koordinat- og høydesystem. Datasettet vil bli georeferert fra geotaggingen på bildene, men transformeres til et kjent koordinatsystem. For å kunne gjøre dette er vi avhengige av kontrollpunkter på bakken som er gjenkjennbare i bildematerialet. Punktene som måles inn benyttes i testene i en variert kombinasjon av GCP, KCP (Kjent område CP) og UCP (Ukjent område CP).

Vi benytter punktene som grunnlag for beregninger i programvare og kontroll av resultatet. Kvaliteten på GCP'ene er derfor viktig for flere aspekter. Ved å heve kvaliteten på disse sørger vi for å fjerne en del usikkerhet i vurderinger av beregningen og resultatet til datasettet.

Det måles inn totalt 111 kontrollpunkter på bakken. Disse har 5 ulike utforminger og størrelser. Grunnen til at vi bruker de ulike utformingene er kun basert på tilgjengelighet i testperioden. Alle platene er laget for formålet og er relativt godt gjenkjennelige på bakken, også i snø. Figur 11 viser alle de 111 kontrollpunktene som ble målt inn. Av de 111 havnet 11 utenfor de som senere ble definert som AOI og er derfor forkastet. Figuren viser i tillegg

fastmerkene som ble etablert, RTK-hjelpepunktene og plasseringen av stasjonene som ble brukt for å måle inn kontrollpunktene.



Figur 11: Oversikt over AOI med etablerte punkter. Her er utstrekningen til fastmerkene, etablerte stasjoner, GNSS (RTK-hjelpepunkter) og innmålte GCP'er tegnet inn.

2.2.1 Nettverk av fastmerker

I testområdet etableres det et fastmerkenett, punkter med kjente koordinater i forhold til hverandre. Fastmerkene etableres godt synlig og spredt i området. Disse danner grunnlaget for den absolutte plasseringen av datasettet og referanse til den interne plasseringen av GCP'er. Dette reduserer usikkerheter i etableringen av kontrollstasjonen og gir bedre grunnlag for å se på de reelle avvikene.

Fastmerkenettet etableres med utgangspunkt i RTK GNSS. En totalstasjon etableres ved sikt til 4 midlertidige GNSS posisjoner. Hver GNSS posisjon er midlet fra 50 målinger. Når stasjonen er etablert har vi fastsatt grunnlaget for de absolutte koordinatene til testområdet. Kvaliteten til den absolutte posisjonsbestemmelsen vurderes ikke videre, da den for prosjektets del har liten betydning. Fra den etablerte stasjonen gjennomføres 5 helsatser til 5 fastmerker. Fastmerkene etableres på vinkelbraketter som skrus fast i gjenstander som forholder seg rolig i testperioden på tre dager. Fire av fastmerkene plasseres i ytterkant av testområdet og det siste plasseres omtrent rundt senter av testområdet (Figur 11).

Satsmålingene utjevnes i programvaren GISLINE og vi ender opp med et koordinatsett for hver av de 5 fastmerkene. Disse danner videre grunnlaget for innmåling og kontroll av GCP'ene i testområdet.

2.2.2 Polar innmåling av GCP med totalstasjon

GCP'ene måles inn polart med totalstasjon og 400gons Leica prisme. Totalstasjonen er etablert i forhold til fastmerkenettet og plassert slik at 90% av alle GCP'ene måles inn fra en posisjon. Resterende måles inn fra en ny oppstilling, som også benyttes som kontroll måling av GCP'ene. Målingen gjennomføres med to personer. En styrer og holder spissen til stanga jevnt med GCP'ene, samtidig som den andre lodder opp målestangen med prisme og gjør selve målingen. Dette gjøres for å kunne måle GCP platen på riktig høyde og uten forskyvninger. Ved belastning på platen er det fare for at snøen gir etter.

GCP'ene måles inn før flyvningen starter og et utvalg på 18 punkter kontrolleres etter endt flyvning.

2.2.3 Kontrollpunktene kvalitetsbeskrivelse

Kontrollpunktene (GCP) kvalitet fastsettes basert på innmålingskvalitet og måleforhold. Disse verdiene legges så inn i programvaren for å vektet riktig. Stor usikkerhet betyr slingringsmonn for programvaren i tilpasningen til koordinatsystemet. Liten usikkerhet tilpasser datasettet med strengere krav til hvert kontrollpunkt, brukt i beregningen. Alle kontrollpunktene angis med samme kvalitetsbestemmelse i beregningene. Kvaliteten på GCP'ene må ifølge programvareleverandøren ikke fastsettes bedre (lavere verdi) enn 1/10 av GSD (Pix4D, 2019e). Den gjennomsnittlige GSD'en i prosjektet: (utregnet fra datasettet) 1,82 cm. Laveste GSD beregnet: (87 meter over bakken) 2,4 cm. $1/10$ av 2,4 cm = 2,4 mm.

I Tabell 4 er det listet opp variabler som er med på å bestemme kvalitetsbestemmelsen til GCP'ene for bruk i de fotogrammetriske beregningene. Bestemmelsen vurderes under tabellen.

Tabell 4:

Inngangsparameter for bestemmelse av kvalitetsbeskrivelse av testens innmålte fotogrammetriske signaler. GCP brukt i de fotogrammetriske beregningene

Inngangsparameter			
Kilde	Beskrivelse	Grunnriss	Høyde
Innmåling av kontrollpunkter	Totalstasjonsmålinger. Målt inn ved kjølige forhold, lite direkte sol (morgen). Før flyvning. Flyvning gjennomført 0,5-2 timer før flyvning.	Beregnet 1 mm	Beregnet 1 mm
Kontrollmålinger (18punkt)	Totalstasjonsmålinger. Målt inn på ettermiddagen, direkte sollys, plussgrader og smelting. Gjennomført 2-3 timer etter flyvning.	Standardavvik: 7 mm Min: 0,001 Maks: 0,01	Standardavvik: 5mm Min: -0,008 Maks: 0,025
Innmålingskvalitet (Presisjon)	Totalstasjonsmålinger, 17 av samme punkt.	X: 5 mm, Y: 3 mm	Z: 2 mm
Ytre påvirkninger	Snøsmelting, plasseringsendring ved innmåling.	Størst påvirkning i etterkant av flyvningen grunnet temperatur og tid.	Størst påvirkning i etterkant av flyvningen grunnet temperatur og tid
Anbefalt laveste kvalitet	Pix4D anbefaling.	Laveste punkt i datasettet: 2,4 mm Gjennomsnitt GSD: 1,8 mm	Laveste punkt i datasettet: 2,4 mm Gjennomsnitt GSD: 1,8 mm
Kvalitet totalstasjon	Kalibrert instrument Leica MS60 Polar innmåling 400gons prisme	2 mm	2 mm

Kontrollpunktene måles inn med totalstasjon, et instrument som har måleegenskaper ned til få millimeter. Med riktig måleopplegg og bruk kan vi måle 10 ganger så nøyaktig som den romlige oppløsningen til bildene i oppgaven (GSD), da denne varierer fra 1,41 cm til 2,42 cm. 10 ganger så nøyaktig er en betydelig kvalitetsforskjell og det kan tenkes at vi ikke klarer å benytte oss fullt ut av den innmålte punkt-kvaliteten, siden vi ikke får bestemt overgangen mellom bilder og GCP sentrum mer nøyaktig enn kanskje halve GSD størrelsen.

Dette kan være noe av grunnen til at programleverandøren begrenser GCP kvalitetsbeskrivelsen til en nedre grense på 1/10 av GSD størrelse. Kontrollpunktene påvirkes av kontrollmålingenes resultater, ytre påvirkninger som smelting, plasseringsendring i datainnsamlingen og andre feilkilder. Totalstasjonens målinger vil vi helhetlig kunne si at er et produkt av totalstasjonens kvalitet + usikkerheten ved innmåling. Jevnt over for alle målingene kan vi beregnet si at hver enkeltmåling er bestemt med en usikkerhet på 2 mm. Legger vi til usikkerheten for innmålingsmetoden vil vi trolig kunne si at vi ligger på en punktusikkerhet rundt 3 mm. Siden vi ikke har kontrollmålinger på alle punktene er det vanskelig å avdekke alle feil og ytre påvirkninger. Målingene vi har for de 18 kontrollerte punktene, kapittel 3.1.3 tilsier at ingen av målingene er grove feil samtidig som vi har differanser fra første til annen gangs innmåling på ca. 4 mm i grunnriss og 2 mm i høyde. Denne usikkerheten har flere elementer ved seg. Hvis vi sier at alle punktene påvirkes likt vil ikke usikkerheten påvirke resultatet for mye. Tidspunktet for målingene påvirker også hvor stor forskjell som har vært fra innmålingen til datainnsamlingen (Flyvningen). Punktene ble målt inn med frost i lufta og under flyvningen ble det plussgrader og snøsmelting. Måletidspunktet for andre innmåling er også lenger unna i tid fra flyvningen enn første innmåling av kontrollpunktene, på denne måten kan vi anta at den største forskjellen i punktene har skjedd etter flyvningen når solen var direkte på området og de fotogrammetri signalene. Vi kan derfor anta at de ytre påvirkningene er mindre enn kontrollmålingene indikerer siden målingene ikke inneholder grove feil. Siden programvaren er lukket vet vi ikke helt hvordan feil, for «streng» eller for «løs» kvalitetsfastsettelse vil påvirke resultatet. Det vi vet er at den fotogrammetriske prosessen er et optimaliseringsproblem og at vi har god overbestemmelse i bildemateriellet. Optimaliseringsproblemer fungerer i praksis bedre med «løse nok» inngangsverdier enn for «strenge» da dette fort kan føre til økt feil et annet sted i prosessen. Vi velger derfor å heller gi programvaren litt rom for å fungere riktig enn å tviholde på en streng kvalitetsfastsettelse. Vi bestemmer derfor etter disse vurderingen å fastsette kvalitetsbeskrivelsen for alle kontrollpunktene til 5 mm i grunnriss og 5 mm i høyde. Dette vurderes til å være realistisk stort nok til å ivareta de kjente usikre elementene, ta høyde for litt slingringsmonn for programvaren samtidig som det er lavt nok til å ivareta testens nøyaktige grunnlag for kontroll.

2.3 Flyplanlegging

Flyplanen er en av testens viktigste inngangsverdier. Datainnsamlingen er avgjørende for kvaliteten på produktene, enten dette er et ortofoto eller en terrengmodell. Bildekvaliteten er kritiske i fotogrammetriberegningene og bildekvaliteten er et produkt av flyplanen. Flyplanen defineres av en rekke parameter som påvirker hverandre. For å bestemme disse, ser vi først og fremst på ønsket resultat. For å avgjøre dette tar vi utgangspunkt i en kvalitetsbeskrivelse som flere artikler bruker for å beskrive kvaliteten til beregnet modell. Dette vil si at kvaliteten beskrives i forhold til GSD størrelsen. Andre artikler bruker RMSE som kvalitetsbeskrivelse (Sanz-Ablanedo et al., 2018, Forlani et al., 2018). Programvareleverandøren henviser til en forventet kvalitet på 1-3 ganger GSD. 1-2 ganger GSD horisontal kvalitet og 1-3 ganger GSD vertikal kvalitet (Pix4D, 2018). I hypotesen så vi ett avvik på 0.6 m ut i datasettet. Vi ønsker å se om vi kan oppnå en vertikalkvalitet bedre enn 1/10 av dette avviket og må ha dette i bakhodet når vi skal bestemme hvilken GSD vi vil ha. Da det sies at vi kan forvente å oppnå en vertikal kvalitet på 1-3 x GSD betyr det at vi må ha en GSD på 2 cm. Vi setter da ønsket GSD til å være 1.8 cm slik at vi er på den sikre siden.

For å bestemme kunne flyplanen godt for området gjør vi forhåndsmålinger i terrenget som skal måles inn for å få et bilde på høydeforskjell og andre ytre påvirkninger. Høydeforskjellen påvirker direkte GSD og dersom det er for stor forskjell oppnås ikke ønsket GSD i datasettet. Datainnsamling over området gjøres noen dager før testens gjennomføring. Disse dataene benyttes for kontroll av høyde differanse, flyplanen, retning og opprettelse av grensene til AOI.

En enkel oversikt over de ulike parametre som inngår i flyplanen, forenkler forberedelsene og det ble laget et verktøy i Excel (Figur 12) som gjør det enkelt å plote inn ulike parametre for å se hvordan disse påvirker hverandre. Verktøyet er basert på ett eksempel fra Pix4D og laget slik at man starter med å skrive inn den GSD'en som ønskes. Dette brukes til å beregne hvilken flyhøyde som må brukes, basert på dronens kamera. Det skrives inn hvor stor høydeforskjell det er i datasettet og høyden på hindringer, slik som trær og kraftlinjer i området. Dette tas med i høydeberegningen, slik at høyden aldri kan bli mindre enn høyeste objekt. Ut over dette beregner verktøyet høyeste flyhastighet uten å få motion blur (pikslar blir uskarpe pga. dronens bevegelse når bildet blir tatt). Dette blir beregnet på bakgrunn av GSD'en og hvilken lukkerhastighet som er satt i kamerainnstillingene. Verktøyet kan òg

brukes til å se hvor mange bilder som må tas for å dekke området som skal kartlegges. Dette beregnes fra størrelsen på området, hvilken overlapp som benyttes og flyhøyden som sier noe om hvor mye av området som dekkes av ett bilde.

FLYPLAN		
Flyhøyde		
Lovverk	120	m
Hindringer	15	m
Terrengvariasjon	30	m
Fly høyde basert på GSD	66.39	m
Flyhøyde	66.3936	m
Reell GSD	1.82	cm
Kameraparametere DJI Phantom 4 PRO v2		
Sensor width	13.2	mm
Focal length	8.8	mm
imageWidth	5472	pixels
imageHeight	3648	pixels
Ønsket GSD	1.82	cm
Flyhøyde	66.3936	m
GCD i datasettet		
GSD Max	2.24	
GSD Midt	1.82	
GSD Min	1.41	
Flyhastighet		
Lysforhold	Sol	
ISO	100	
Blender	5.6	stops
Lukkertid	0.00125	s
GSD	1.82	cm
Flyhastighet (MAX, 1*GSD)	14.56	m/s
Overlapp		
Lengde	85	%
Side	85	%
Footprint		
Bredde	99.5904	m
høyde	66.3936	m
Område		
Lengde	270	m
Bredde	210	m
Antall bilder		
Bilder i lengderetning	19	
Striper	22	
Totalt antall bilder	418	

Start her med ønsket GSD for midten av datasettet

Figur 12: Utklipp fra et Excel-regnearket som ble laget for å assistere i flyplanleggingen.

Utregnet for ønsket GSD med gjennomsnitt på 1,8 cm ved plasseringen for takeoff og landing får vi en flyhøyde på 63 meter over bakken. En ser i blokka for flyhastighet i Figur 12 at en skal kunne fly nesten 15m/s før bildene blir uskarpe, ved en lukkertid på 1/800s. Da det var usikkert hvilken lukkerhastighet som ville bli brukt under datafangst ble det besluttet å uansett bruke dronens laveste hastighet for å legge til rette for at bildene skulle bli skarpe. En anbefaling fra programvarens produsent er at ved bruk av en 12-megapiksellers bildesensor bør en ha minst 75% front-overlapp for å kunne ha gode forhold for å oppnå minimumsanbefalingen på fellespunkter (minst 1000) mellom to bilder. Det anbefales å øke dette hvis det er lite kontrast i bildene slik det er i snødekte områder (Pix4D, 2014). Ved et overlapp på 85% i både front og sideoverlapp vil datafangst produsere omtrent 418 bilder for å dekke området hvor vi skal utføre testen. Dette vil være håndterbart av datamaskinene som er tilgjengelig for prosessering.

Det vi sitter igjen med etter å ha lest anbefalingene fra Pix4D og det vi har beregnet ved hjelp av flyplanleggeren og de initielle testene er at vi ønsker en flyhøyde på 63 m, et front- og sideoverlapp på 85% og lavest mulig flyhastighet slik at vi er sikre på at vi får gode bilder med mulighet for å finne mange fellespunkter selv med et snødekt terreng.

2.4 Prosessering

Alle testene baserer seg på det samme datagrunnlaget. Det er gjort en innmåling av bakkekontrollpunkter og en flyvning. Sammen danner dette inngangsverdiene for å generere testens datasett fra likt datagrunnlag. Bilder og innstillinger i programvaren holdes konstant og i testene er det primært antall, fordeling og distribusjon av GCP, KCP og UCP som varierer for å få frem ulike resultater.

Alle bildene er inspisert manuelt for å sikre god kvalitet. Kontrollen inneholder visuell inspeksjon av bildet, plassering på himmelen (koordinater) i forhold til testområdet og bildenes metadata informasjon.

Et prosjekt i programvaren etableres. GCP-koordinater, kvalitet og bilder legges inn i prosjektet. Programvaren kjører steg 1 for å få tilgang til matching av bilder og GCP. GCP'ene markeres i bilder med et snitt på 4,55 bilder pr GCP. Markering i bilder er en prosess hvor man går igjennom listen med GCP'er og klikker i GCP'enes sentrum for å fortelle programvaren hvor dette er. Programvareleverandøren har to markeringer som minimum og anbefalt verdi på 4-5 bildemarkeringer av GCP (Pix4D, 2019b). Vi markerer her GCP'ene over minimumskravet og legger inn relativt god margin. Selve bildemarkeringen gjøres med zoomnivået tilpasset bildekvaliteten og kontrollpunktet.

Hver bildemarkering kontrolleres med senter GCP, ytterkant firkant og ytterkant av GCP platen. Denne kontrollen gjøres i samtlige bilder. I programvaren angis kvaliteten til GCP'ene til en kvalitet på 5 mm i XY og 5 mm i Z. Kamerakvaliteten (georefereringen på bildet) settes til standardverdiene 5 m XY og 10 m Z. Bildehøyden korrigeres for ulike høydereferansesystemer.

Datasettet brukes deretter som basisgrunnlag til alle andre varianter. For alle genererte datasett kjøres alle programmets 3 deler på nytt for å ivareta optimaliseringsprosessen og for å strukturere gjennomføringen. Hvert prosjekt genereres med unikt navn. Eks. Test3_GCP_8 beskriver test 3, låst ved hjelp av 8 GCP'er.

2.4.1 Programvare

Alle testene prosesseres i programvaren Pix4D versjon 4.3.31 og versjon 4.3.33. Pix4D er installert og brukt på 3 ulike maskinoppsett (Tabell 5). Programvare og resultatets påvirkning av ulike maskinoppsett tas ikke med i vurderingene. De ulike maskinoppsettene er primært benyttet i hver sin test grunnet ressurstilgang.

Tabell 5:

Maskinoppsett ved prosessering i Pix4D

Maskin 1	Maskin 2	Maskin 3
CPU: Intel(R) Core(TM) i7-7800X CPU @ 3.50GHz RAM : 16GB GPU: NV IDIA GeForce GTX 1080 (Driver: 24.21.13.9793)	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-8850H CPU @ 2.60GHz RAM : 16GB GPU: Intel(R) UHD Graphics 630 (Driver: 24.20.100.6346), NV IDIA Quadro P2000 (Driver: 24.21.13.9921)	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-8700 CPU @ 3.20GHz RAM : 32GB GPU: NV IDIA GeForce GTX 1080 Ti (Driver: 25.21.14.1881), Intel(R) UHD Graphics 630 (Driver: 22.20.16.4758)

2.4.2 Innstillinger

Pix4D er som nevnt tidligere en proprietær programvare. Programvarens bruk av algoritmer, vektning, kvalitetsparameter, GCP'enes påvirkning etc. er beskrevet overfladisk, men vi har ikke videre kontroll på de ulike beregningsstegene. Programvareleverandøren har en rekke standardvalg for prosessering avhengig av datamaterialet som skal prosesseres og ønsket resultat. Vi må derfor anta at programvareleverandøren har dybdekunnskap om programvaren slik at deres innstillingsanbefalinger er kvalitetssikret og trygge for oss å bruke.

Prosesseringsvalgene er basert på malen for 3D Map prosessering og dokumentasjonen på de ulike valgene fra Pix4D (Pix4D, 2019c). Det er gjort én tilpasning til dette oppsettet. Vi har innført krav om 5 match av bildepar for å generere punktsky. Dette vil si at kravet for å generere et 3D-punkt er da gjenkjennelse av punktet i 5 ulike bilder. Standardmalen setter denne verdien til 3. Økning av bildepar til 5 vil reduserer støy i modellen og vi kan tillate oss

dette grunnet høy overlapp og totalt antall match i et overbestemt antall bilder. Et fåtall av testene har noen andre tilpasninger vedrørende kameraparameter. Disse vil beskrives for hver test. Innstillingene brukt for prosessering kan leses i vedlegg 1.

2.4.3 Resultat

Hvert datasett som produseres genererer i hovedsak:

- Kvalitetsrapport
- 3D Mesh
- Punktsky
- Ortofoto
- DOM (Digital overflatemodell)

Vi forholder oss primært til informasjonen i kvalitetsrapporten. Denne inneholder blant annet informasjon om kameraparameter, bilde- og punktmatching, punktkvalitet og punktdifferanse. Punktdifferansen er fundamentalt i våre tester da denne beskriver resultatet på beregningene i forhold til de innmålte GCP-, UCP- og KCP-punktene.

2.5 Kontroll av datainnsamlingen

2.5.1 GCP innmålingens presisjon

For å ha et bilde på hvor godt vi klarer å bestemme enkeltpunkter trenger vi kontroll på målingenes presisjon. Med presisjon menes hvor tett en samling av flere innmålinger oppnår. Samme punktet måles derfor inn gjentatte ganger (17 ganger) og vi ser på avvikene på innmålingene som vil gi oss ett grunnlag som forteller hvilken presisjon vi klarer å oppnå. Dette utelukker ikke grove feil, men gir et bilde på hvor godt vi klarer å reproducere målinger likt og gjør oss i stand til å vurdere hvor god hver enkeltmåling er. Kvaliteten på denne testen vil derfor bidra til å sannsynliggjøre målingenes kvalitet og om en eventuell feil er lik.

2.5.2 Kontroll av GCP kvalitetsfastsettelsen

Hver GCP brukt i programvaren gis en kvalitetsbeskrivelse som påvirker beregningens tilpasning til GCP punktet. Dette er enkelt forklart en innstilling i programvaren hvor man har mulighet til å gi informasjon om hvilken kvalitet hver enkelt GCP har. For å kontrollere vår kvalitetsfastsettelse brukes to datasett i gjentakende beregninger med ulik kvalitetsbeskrivelse. Dette vil kunne gi et svar på om riktig kvalitetsbeskrivelse er satt og hvordan dette eventuelt påvirker våre datasett. I beregningene brukes kvalitetsbeskrivelsen sammen med zoomnivå ved GCP bildemarkering som total kvalitetsfastsettelse.

Datasettene som beregnes for kontroll av kvalitetsbeskrivelsen settes opp med en fornuftig distribusjon av kvalitet mellom 1 og 24 mm. Det må tas hensyn til antall GCP'er brukt i datasettet. Ett datasett må inkludere mange, det andre datasettet kan inkludere et færre antall. Testen gir ikke nødvendigvis noe svar på hva som er riktig, best eller annen gyldig informasjon, men kan gi et inntrykk av påvirkningene dette kan ha for testen.

2.5.3 Kontroll av et utvalg GCP'er

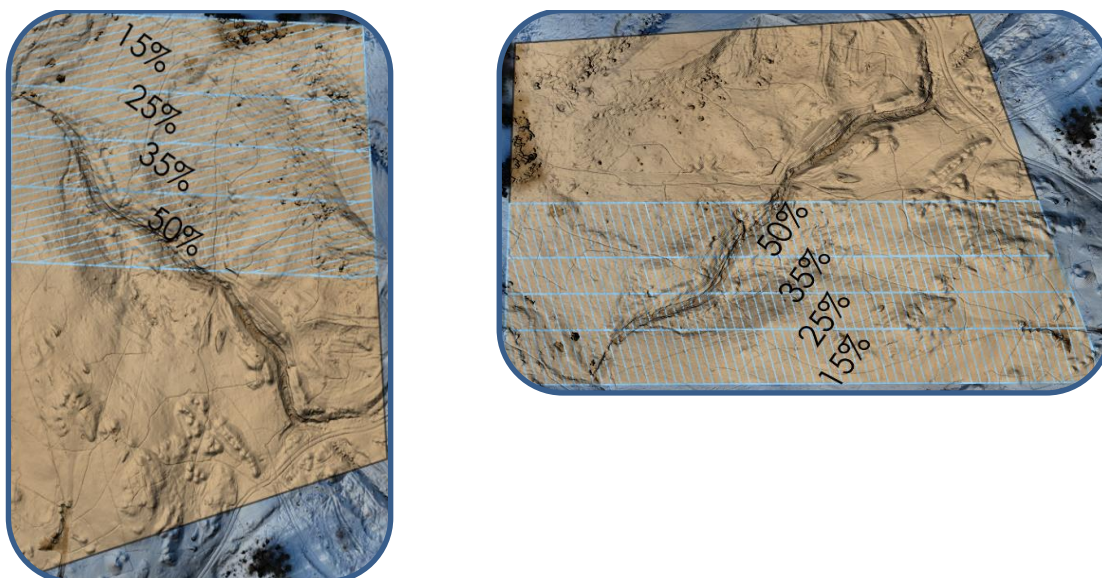
For å kontrollere kvaliteten på innmålingen av GCP'ene benyttes de 18 kontrollmålingene som er målt inn med ny etablering av totalstasjonen. Disse 18 punktenes avvik fra første til andre innmåling kontrolleres opp mot hverandre og brukes som et grunnlag for å si noe om sannsynlig kvalitet på resterende punkter. Målingene kontrolleres for statistisk distribusjon og kvalitet.

De kontrollerte punktene benyttes så i programvaren Pix4D for å generere flere datasett. Først etableres et datasett som skal brukes for kontroll. Her benyttes de 18 utvalgte punktene som GCP, resten som UCP. Heretter brukes den optimaliserte kamerakalibreringen fra det første datasettet i en låst løsning for å produsere datasett beregnet med 100 GCP'er og et datasett med 82 GCP'er (alle unntatt de 18 kontrollerte). Alle punktene i datasettene sammenlignes og kontrolleres for store avvik. For økt kontroll produseres også tilsvarende datasett uten låsing av kameraparameter. Disse kontrolleres så mot hverandre for å avdekke store forskjeller. Ved å låse kameraparameterne oppnår vi at de 18 GCP'ene vi har kontroll på benyttes for å bestemme skala og den indre orienteringen. Dette gjør at vi indirekte har kontroll på disse beregningene og når de andre datasettene beregnes med dette som beregningsparameter, fjernes noe av den usikre faktoren dersom alle andre parametere er optimale uten feil. Dette kan muligens indikere om det er enkeltpunkter med grove feil.

Datasettene sammenlignes ved å se på avviksforskjeller totalt i datasettet og enkeltpunkter.

2.6 Test 1 – Størrelse og retning

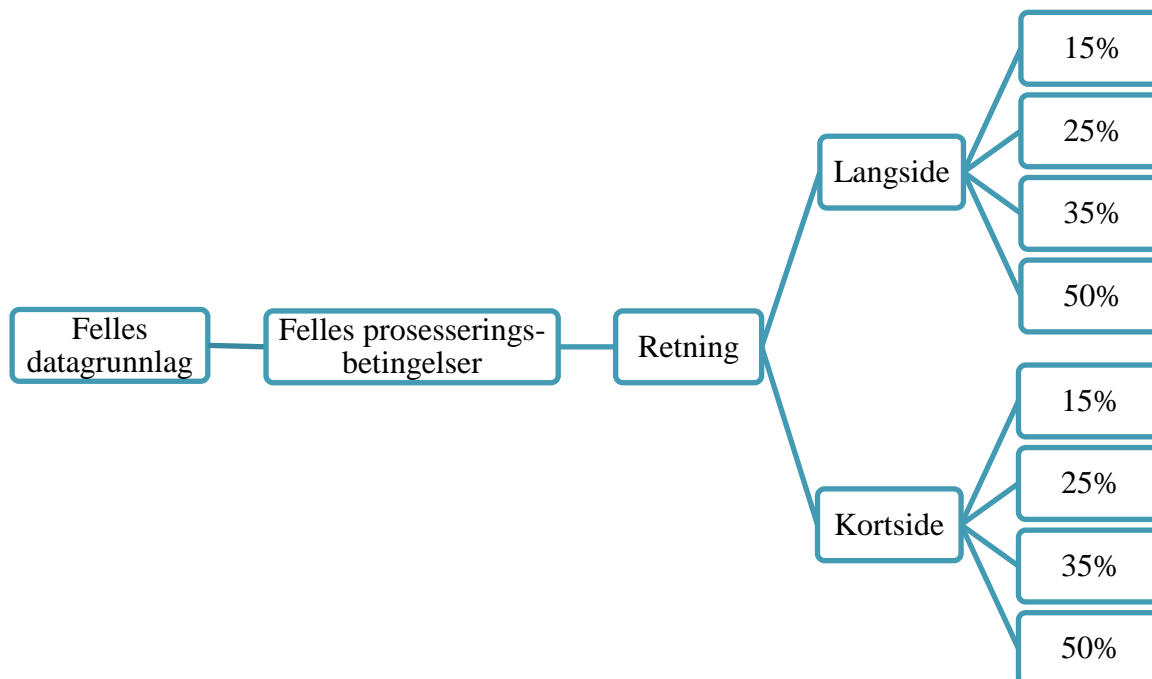
Målet med denne testen er å finne ut hvordan retning og størrelsesforholdet (Figur 13) mellom det kjente og ukjente området, påvirker avviket i ukjent område. Dette gir et grunnlag for å velge ut et areal og retning for videre test av datasettet. Inngrepsretningen bestemmer hvilken side av et avlangt område det kjente område er etablert i. Vi indikerer ved dette at det er forskjell på å bestemme den lengste eller korteste siden av AOI. De stående datasettene antas å vise størst forskjeller da disse vil ha lengst avstand fra det kjente området og ut i ytterkant av det ukjente området. De liggende datasettene antas å låse datasettet generelt bedre enn stående retning. Her distribueres GCP'ene bedre i datasettets utstrekning.



Figur 13: Beskrivelse av Stående (Venstre) og Liggende (Høyre) datasett i test 1. Fordelt i 4 tester basert på tilgjengelig areal (%). AOI har en størrelse på 51200 m² som betyr at 50% tilsvarer et areal på 25600 m², 35% tilsvarer 17920 m², 25% tilsvarer 12800 m² og 15% tilsvarer 7680 m².

Det er testet 4 ulike arealer på 2 retninger, langside og kortsiden (Figur 13). Beregningene baserer seg på et felles oppsett i programvare, metode for plassering/utvalg av GCP og kvalitetsbeskrivelse av kamera, GCP og bildematching. Resultatet fra test 1 danner grunnlaget for test 2.

2.6.1 Forsøksoppsett



Figur 14: Forsøksoppsett test 1. Fra datagrunnlag til produsert datasett. Totalt 8 datasett, 4 arealer i hver retning.

2.6.2 Forsøksbeskrivelse

Problemet som belyses i denne testen er sammensatt, og består av tilnærmingen, retningen, på området som skal beregnes og arealfordelingen mellom det kjente området og det ukjente området.

Arealet eller størrelsen på det kjente området vil sannsynligvis ha en påvirkning på resultatet i det ukjente området. Sammenhengen mellom det kjente og ukjente området er arealforholdet og retningen de står på hverandre. Testen belyser hva som skjer når arealet på kjent område øker eller reduseres. Når arealet endres, vil også avstanden fra kjent område til slutten av ukjent område endres. Testen vil belyse om avviket i modellen er avstandsavhengig og vil indikere om avviket også er basert på størrelsen til kjent område.

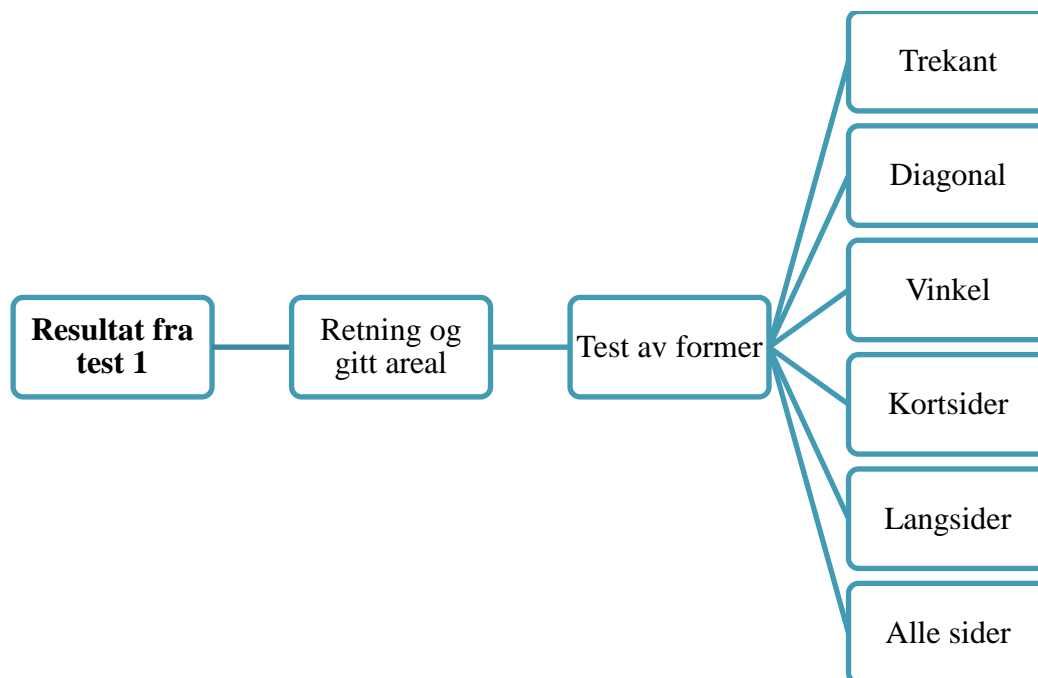
Retningsdelen vil påvirke hvordan man tilnærmer seg bestemmelsen av et ukjent område. Ved en tilnærming fra langsiden av området vil man redusere avstanden til det ytterste punktet i ukjent område. Her brukes også en av de lengste avstandene i datasettet for å bestemme skala og orientering ved hjelp av GCP plassering i datasettets lengste retning. I datasettets korte

retning (stående) vil man ved samme areal få en jevnere distribusjon av GCP'ene i datasettet ved at området går tilsvarende langt inn i datasettet som lengden til kortsiden. Ved tilnærming fra kortsiden har man en fordel ved å kunne definere datasettet med en lengre avstand fra det kjente området.

2.7 Test 2 – Form

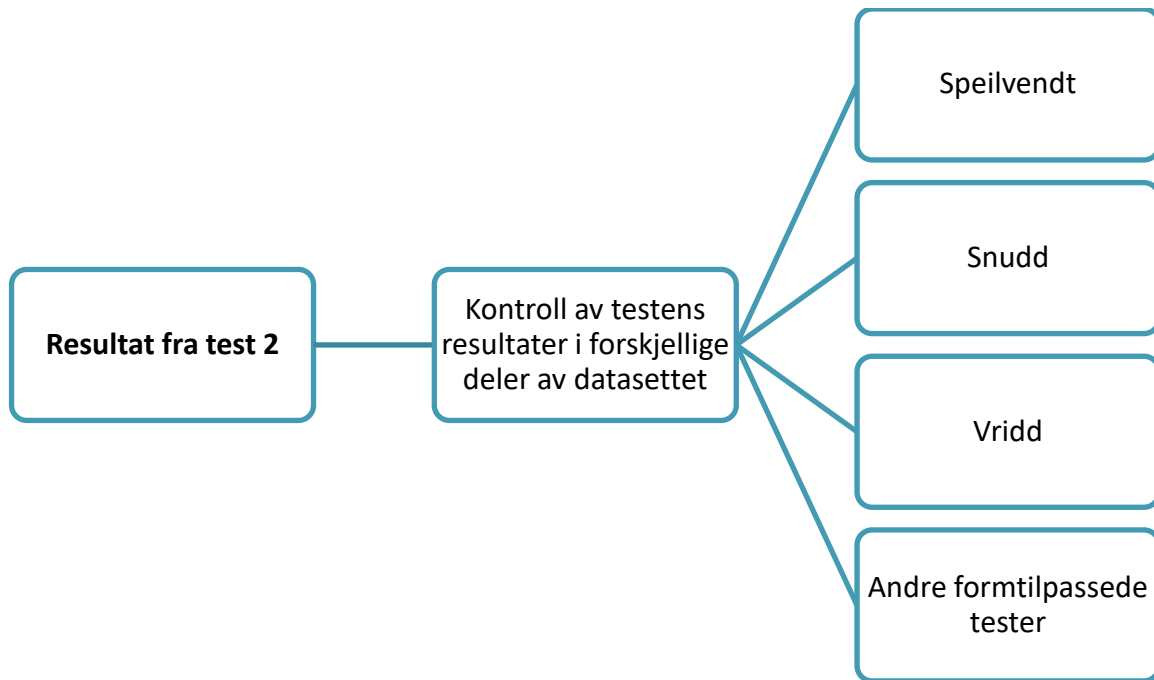
I test 2 ser vi på fordelingen av et gitt areal i ulike former (Figur 15). Formene vil legge hovedtyngden på den retningen som viste best resultat i test 1 og basere størrelsen på den arealfordelingen som viste gode resultater i test 1. Beregningene baserer seg på et felles oppsett i programvare, metode for plassering/utvalg av GCP og kvalitetsbeskrivelse av kamera, GCP og bildematching.

2.7.1 Forsøksoppsett



Figur 15: Forsøksoppsett test 2. Inngangsdata fra test 1 frem til et usikkert antall former på dataene basert på resultater.

Testen gir en eller flere former som velges ut og tas med videre for å vurdere testens resultat. Valgt form kontrolleres videre ved å speilvendes, testes i ulike deler av området etc. for å se om vi har tilsvarende resultater eller om det er andre ting som påvirker Figur 16.



Figur 16: Forsøksoppsett test 2. Kontroll av beste form for kvalitetssikring og belysning av usikre elementer.

2.7.2 Forsøksbeskrivelse

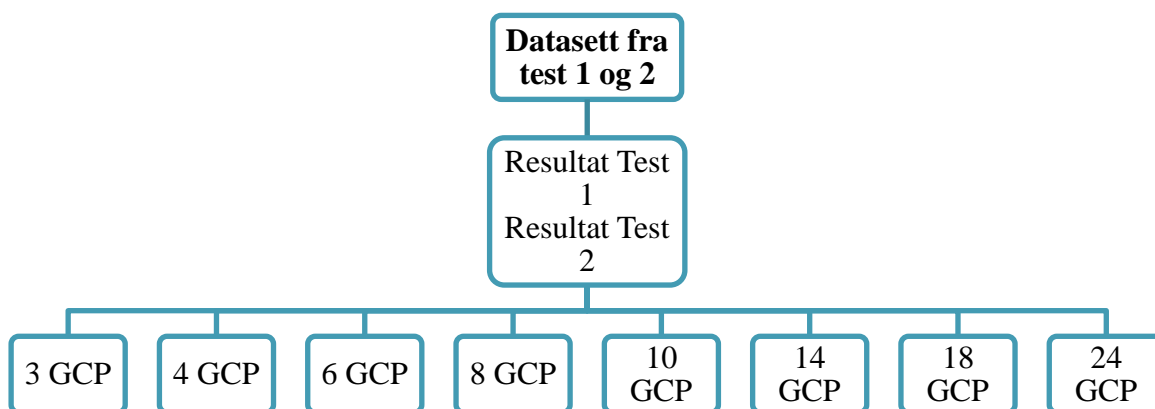
De ulike formene representerer hvordan man vil legge ut GCP'ene i forhold til det ukjente området. GCP'ene plasseres slik at de representerer formen vi ønsker å teste. Dersom det er store forskjeller i resultatene vil dette kunne vurderes nærmere slik at man kan få svar på hva som påvirker datasettet til å gi ulike verdier.

2.8 Test 3 – GCP: Antall

Distribusjon og antall GCP'er i et datasett er testet og beskrevet i en rekke studier. Med distribusjon menes GCP-plasseringen i datasettet, forholdene til datasettet og mellom GCP'ene (Sanz-Ablanedo et al., 2018, Lee et al., 2012, Oniga et al., 2018). Antall GCP'er i datasettet påvirker distribusjonen, men fokuset er ofte at antallet GCP'er fordeles jevnt i AOI (Laporte-Fauret et al., 2019, Gindraux et al., 2017, Engineering et al., 2013). Det er ingen tvil om at det er flere parameter rundt GCP'er som påvirker resultatene i datasettet. For å nevne noen har vi kvalitet, GCP-type (synlighet, størrelse, refleksjon, mønster), plassering (høydedistribusjon, synlighet, distribusjon i datasettet osv.) og innstillinger i programvaren.

Beregningene baserer seg på et felles oppsett i programvare, metode for plassering/utvalg av GCP og kvalitetsbeskrivelse av kamera, GCP og bildematching.

2.8.1 Forsøksoppsett



Figur 17: Forsøksoppsett test 3. Resultat fra test 1 og 2. Tester hvilken påvirkning antall GCP har på resultatet. 8 datasett for hver test. Dette representerer et utvalg fra færrest (teoretisk) til flest (tilgjengelige) mulige GCP'er

2.8.2 Forsøksbeskrivelse

For å se på virkningen av antall GCP'er ser vi i denne testen på et teoretisk minimum (3), praktisk minimum (4) sammen med flere ulike antall opp til antallet som finnes i utvalgt kjent område. Testen tar ikke for seg GCP'enes distribusjon. Distribusjonen fordeles i det kjente området basert på antall GCP'er som er med i testen og fordeles jevnt i AOI (Sanz-Ablanedo et al., 2018).

I testen ønsker vi å belyse GCP'enes påvirkning av resultatet i det ukjente området. Areal og form holdes konstant lik datasettene som benyttes fra test 1 og 2. 8 GCP'er er benyttet i alle datasettene frem til nå. Utvalget på 8 er gjort for å ikke ligge på minimumskravene for noen av områdestørrelsene, for å ikke være i yttergrensen for beregningene og fordi dette gav en visuelt god distribusjon i datasettet. Uttrekket av antall GCP'er som testes er gjort ved at det forventes at det er større varians i resultatet jo færre GCP'er det er og derfor er variasjonen mellom testene mindre enn når det testes for mange GCP'er. Testen tar ikke for seg distribusjonens påvirkning.

2.9 Sammenligning

For å kunne si noe om dataene og trekke slutninger på bakgrunn av tallenes trend, sammenligning og helhet ble det brukt ulike verktøy for å visualisere dataene fra hver datasetts kvalitetsrapport. Geografisk informasjons system (GIS) verktøyet QGIS ble brukt for å gjøre geografiske analyser og visualisere dataene i form av kart og interpolerte flater, og verktøyet Excel ble brukt for å visualisere dataene i form av grafer og informative tabeller.

Ved å bruke et GIS som verktøy til å visualisere dataene kan man enkelt oppdage trender i datasettet som ellers kunne vært vanskelig å se, slik som f.eks. at ett spesifikt område i datasettet skiller seg ut.

Figur 18 viser arbeidsflyten som har blitt brukt gjennom hele oppgaven.



Figur 18: Arbeidsflyt for databehandling, visualisering, analyse og resultatpresentasjon.

2.9.1 Analyse i QGIS

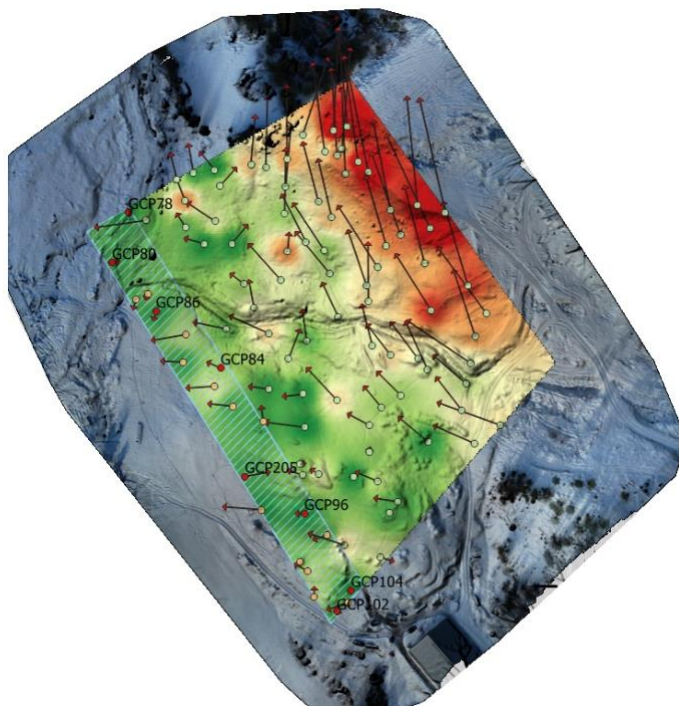
De relevante dataene fra rapportene importeres til GIS-programvaren QGIS. Her blir dataene koblet til koordinatlisten over alle punktene slik at det blir mulig å gjøre geografiske analyser på dataene. Deretter beregnes avstander for hvert datasett. Det blir beregnet en avstand som forteller hvor langt hvert punkt er fra en referanselinje og det blir beregnet en avstand som forteller hvor langt det er fra

UCP/KCP til nærmeste GCP. Deretter interpoleres det en flate som beskriver absolutt avvik for punktenes høyde ved hjelp av en fargeskala. Denne interpolerte flaten kalles et heatmap. Det blir her brukt «inverse distance weighting» (IDW) som interpoleringsmetode da dette er en eksakt interpolator slik at verdien i input punkter ikke endres.

Tilslutt beregnes en vektor som illustrerer hvert punkts avvik i grunnriss med en vektor-pil. Dataene fra QGIS kan eksporteres som kart eller på andre formater slik som f.eks. Excel-filformat

Figur 19 viser produktet av en analyse i QGIS. Dette brukes til å sammenligne ulike datasett opp mot hverandre, for å se hvordan feil forplanter seg ulikt i datasettene. Alle datasettene er beregnet på samme måte og har derfor samme tegnforklaring (Figur 20).

Denne er gjeldene for alle kart som senere blir presentert i denne oppgaven.



Figur 19: Eksempel på resultat fra QGIS. Bildet viser en interpolert flate som beskriver absolutt avvik for høydeverdien samt vektorer som beskriver avvik i grunnriss. Vektorene er skalert med en faktor på 1000.

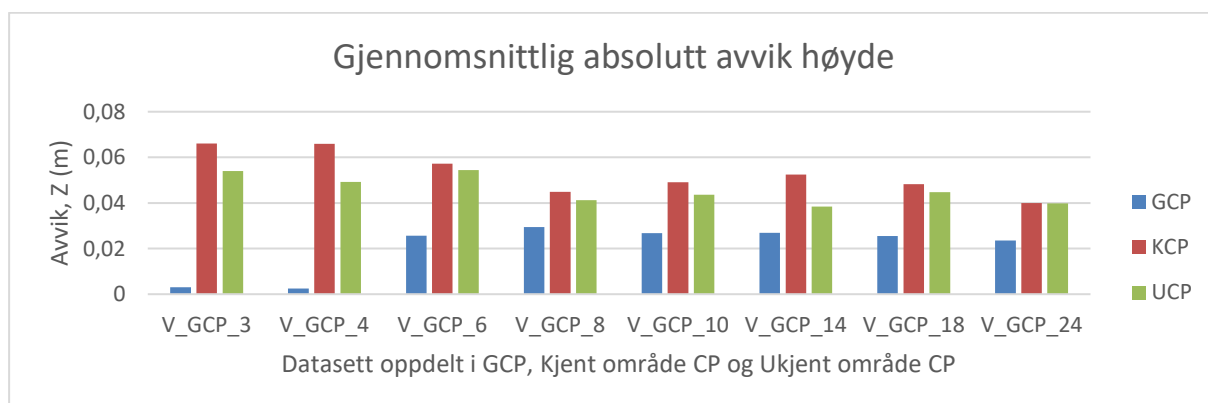
Absolutt avvik grunnriss (x1000)	Absolutt avvik Z (m)	Punkttype
→	0	● GCP
	0.05	● KCP
	0.1	● UCP
	0.15	
	0.2	

Figur 20: Tegnforklaringen som er gjeldene for alle kart som presenteres i denne oppgaven.

2.9.2 Analyse i Excel

Excel er et regneprogram med funksjonalitet for tabeller, funksjoner, diagrammer etc. Programmet er godt egnet til presentasjon, import/eksport, sammenstilling og beregninger av ulike datagrunnlag. I denne oppgaven er Excel benyttet for å samle alle tilgjengelige data fra QGIS og kvalitetsrapporten fra Pix4D. Data fra beregningene i QGIS legges inn sammen med punktinformasjonen fra kvalitetsrapporten. For noen av testene er det også hentet inn andre data og gjort enkeltberegninger fra kvalitetsrapporten.

Dataene samles og lagres i Excel Pivottabeller. Pivottabeller er en tabellform for å sammenstille og se forskjeller i mye data. Tabellen gir muligheter for å bytte om på kolonner og rader for å lage ulike sammensetninger og fremstillinger av samme datagrunnlaget. Basert på disse pivottabellene er det laget ulike grafer, tabeller og beregninger. Datagrunnlaget og beregningene settes så sammen i pivottabellen for analyse og presentasjon. Alle beregninger kontrolleres for feil og diagrammer kontrolleres mot inngangsverdier. Et eksempel på beregninger i Excel er gjennomsnittlig absolutt høydeavvik kategorisert i GCP, KCP og UCP.



Graf 1: Eksempel på graf fremstilling fra Excel. Grafen er hentet fra resultatkapittel 3.4 Test 3 - GCP

3 Resultat

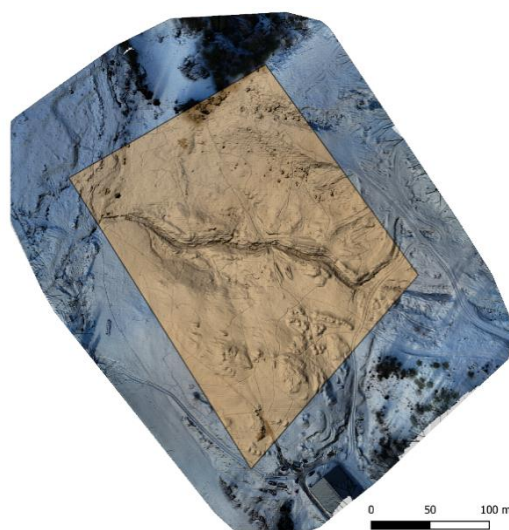
Resultatet presenteres med samme oppbygning som metodekapittel 2.6 til 2.9.

Sammenligningen og databehandlingen beskrevet i metodekapittel 2.10 brukes for å formidle resultatene. Resultatene presenteres ved bruk av tabeller, grafer og kart som bruker forkortelsene GCP, UCP og KCP, presentert i starten av kapittel 2. Den visuelle kontrollen som gjøres i kartene og figurene beskriver en kontroll av flere kart mot hverandre. Da dette er vanskelig å gjenskape poengteres heller enkelt detaljer som skille kartene fra hverandre. Det er viktig at man har kontroll på uttrykkene og kartpresentasjonen for å forstå resultatene.

For å forstå testenes oppbygning og tolkningen av resultatene er det særlig viktig for deg som leser å forstå hva som menes med kjent og ukjent område. Det kjente området har vi tilgang til og inneholder bakkekontrollpunkter (GCP) som benyttes i fotogrammetri-beregningene og kontrollpunkter for kjent område (KCP). Det ukjente området er den delen av hele kartleggings område (AOI) som ikke er tilgjengelig for kontroll, her er det ikke GCP'er, men det er etablert ukjent område kontrollpunkter (UCP). Begrepet GCP er kjent i faget som bakkekontrollpunkter på norsk og benyttet i fotogrammetri beregninger. CP er også kjent i faget og beskriver kontrollpunkter, punkter med kjente koordinater som benyttes som kontroll av beregnet modell. De innførte begrepene er da utvidelsen av CP (kontrollpunkt). UCP, ukjent område CP og KCP, kjent område CP. De interpolerte områdene i testen kontrolleres av kjent område CP (KCP) og beskriver kontrollen av datasettet mellom og rundt GCP'ene. Ukjent område CP (UCP) beskriver derimot kontrollen av datasettet utenfor området som inneholder GCP'er som er det ekstrapolerte området av AOI.

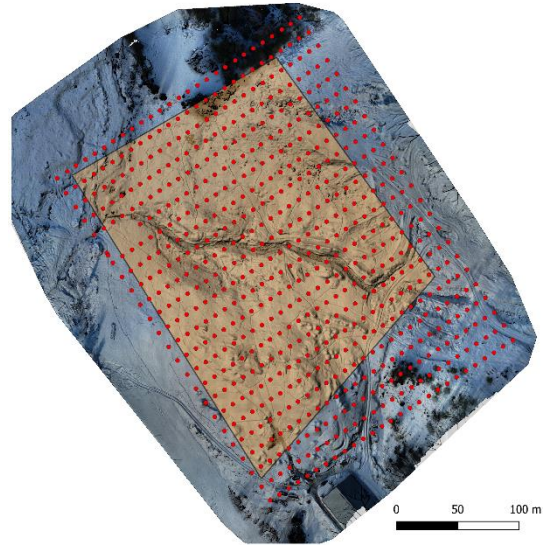
Testområdet har en størrelse på 300 x 400 meter.

Hvorav området av interesse (AOI) er på omtrent 260 x 200 meter (Figur 21). Flyvningen og datainnsamlingen foregår i hele testområdet som sørger for at vi oppnår god overlapp og like mye data i hele AOI.



Figur 21: Området som er fotografert er illustrert av ortofotoet som blir brukt som bakgrunn. Polygonet beskriver utstrekningen av AOI.

Selve flyvningen gjennomføres med 85 x 85% overlapp på 63 meters høyde fra startpunktet. Dette genererer 649 bilder over området (Figur 22). Bilder utenfor AOI brukes på lik linje med bildene innenfor. Flere av bildene med kameraposisjon utenfor AOI vil fortsatt ha målinger innenfor AOI og er med på datasettets helhetlige resultat. Dersom disse ikke inkluderes får man punkter i datasettet som kun bestemmes fra tre sider og ovenfra. Ved å inkludere bilder med kameraposisjon utenfor AOI oppnås bedre kontroll i ytterkant av datasettet og helhetlig bestemmes alle punkter likt. Det er minst en bilde-rad utenfor AOI, som vist i Figur 22



Figur 22: De røde punktene markerer de 649 kameraposisjonene og viser hvor bildene ble tatt.

3.1 Etablering av kontrollpunkter i datasettet

Etableringen av fastmerker og kontroll av disse ble gjennomført dagen før innmålingen. Da ble også områdene for etablering av kontrollpunkter (GCP, KCP, UCP) plassert. Disse ble tråkket opp med truger for å ha et godt og stabilt fundament for kontrollpunktene. Tettpakket snø reduserer eventuelle påvirkninger som snøsmelting, vind og skaper tydeligere terrengvariasjoner og kontrast. Totalt ble det lagt ut 111 kontrollpunkter i området. Hvorav 11 velges bort ved definering av AOI.

Innmålingene av kontrollpunktene gjøres rett etter at de er plassert og låst fast til terrenget ved bruk av snø i flere hjørner av fotogrammetri signalene. Når innmålingen er gjort av 111 punkter gjennomføres flyvningen. I etterkant av flyvningen etableres det en ny posisjon for totalstasjonen. Denne stasjonen benyttes så for å kontrollere et utvalg på 18 punkter.

3.1.1 GCP innmålingens presisjon

Tabell 6:

Kontrollen av repeterbarheten til målingene, viser at den største forskjellen fra gjennomsnittet til enkeltmålinger er 5mm i X-retning, 3mm i Y-retning og 2mm i høyde.

Måleserie for kontroll av innmålingenes presisjon. 17 gjentakende enkeltinnmålinger beskriver påført usikkerhet ved innmåling av enkeltpunkt.

Kontrollen viser at det er relativt små avviksforskjeller i en serie på 17 enkeltmålinger.

Kontroll av GCP 01 - Koordinatliste			
Målenr	X (m)	Y (m)	Høyde (m)
01	1339261.131	99323.047	203.267
02	1339261.127	99323.046	203.267
03	1339261.131	99323.045	203.266
04	1339261.131	99323.043	203.267
05	1339261.129	99323.046	203.267
06	1339261.129	99323.046	203.267
07	1339261.129	99323.045	203.267
08	1339261.135	99323.046	203.269
09	1339261.129	99323.047	203.269
10	1339261.129	99323.045	203.268
11	1339261.128	99323.048	203.268
12	1339261.133	99323.046	203.269
13	1339261.130	99323.043	203.268
14	1339261.127	99323.046	203.268
15	1339261.131	99323.044	203.269
16	1339261.131	99323.045	203.269
17	1339261.130	99323.043	203.268
Gjennomsnitt	1339261.130	99323.045	203.268
Størst avvik	0.005	0.003	0.002

3.1.2 Kontroll av GCP kvalitet

Fundamentet for låsing av datasettet til et koordinatsystem er GCP'ene som etableres på bakken. Disse brukes av programvaren for å beregne datasettet, som kontroll og tilpasning til absolutt posisjonsbestemmelse. Kvaliteten på disse må derfor være kjent og vi trenger grunnlag for kontroll. Programvaren benytter GCP'ene som referansepunkter i sine beregninger. Kvaliteten angir programvarens slingsringsmonn ved tilpasningen til koordinatsystemet. Programvaren vil tilpasse datasettet og finne best mulig løsning til GCP'ene som er angitt og riktig kvalitetsbeskrivelse vil derfor påvirke beregningene og resultatet.

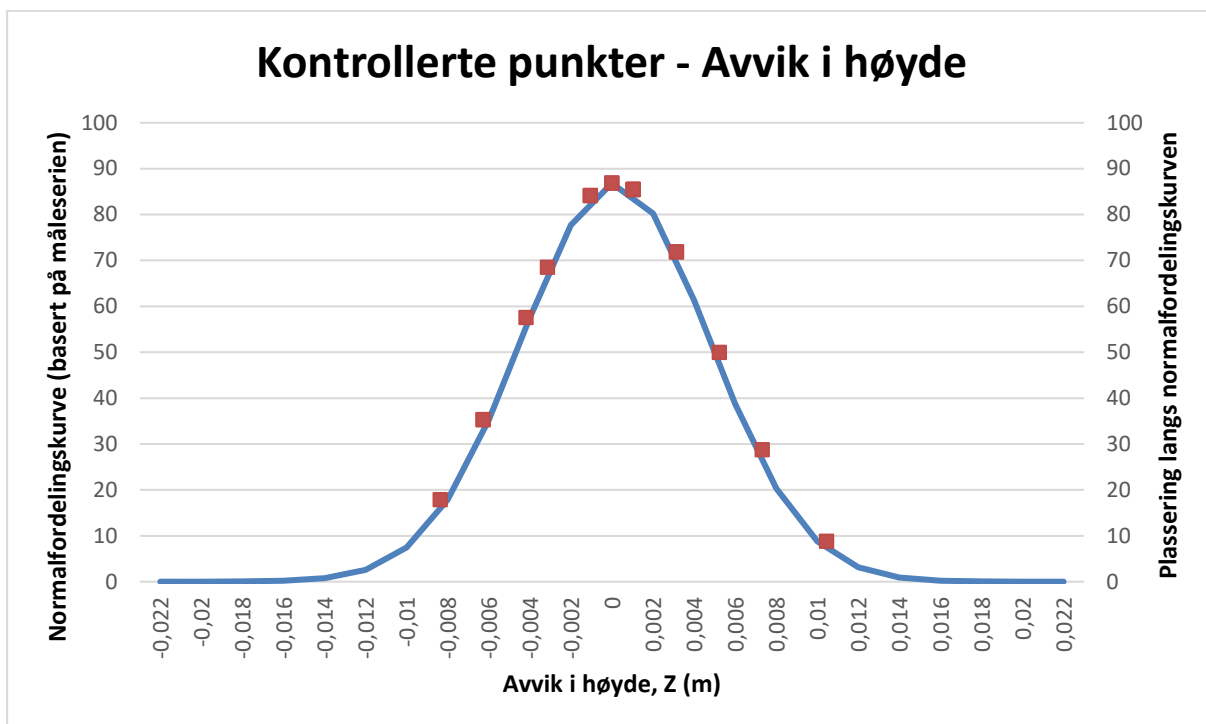
Ved å måle inn et utvalg på 18 GCP'er har vi over 15% kontrollgrunnlag uavhengig av antall GCP'er som faller innenfor AOI.

Tabell 7: Testens kontrollutvalg av innmålte fotogrammetri signaler brukt som GCP, Kjent område CP og Ukjent område CP. 18 punkter som er kontrollmålt fra ny oppstilling av totalstasjon i testområdet. Kontrollen er gjennomført 3-5 timer etter innmåling på grunn av datainnsamling med drone imellom og andre ytre forhold.

ID	Differanse Øst	Differanse Nord	Differanse Høyde
GCP02	-0.001	-0.008	0.007
GCP04	-0.002	-0.013	-0.001
GCP05	0.003	-0.017	0.001
GCP22	0.001	0	-0.006
GCP29	0.018	-0.003	-0.006
GCP30	0.016	-0.002	0.001
GCP31	0.017	0.001	-0.008
GCP33	0.015	0.002	0.01
GCP59	0	0.002	0.001
GCP61	0.004	0.006	-0.003
GCP62	0.002	0.005	-0.004
GCP65	0.004	-0.002	0.001
GCP68	0.012	-0.002	0.003
GCP70	0.014	0.011	0.005
GCP71	0.009	0.004	-0.001
GCP73	0.023	0.011	0.003
GCP96	-0.003	-0.001	0
GCP98	-0.011	-0.005	0

Tabell 7 viser differansen mellom første og andregangs innmåling.

Den fordelingen av målingene plottes sammen med måleseriens normalfordeling (Graf 2 og Graf 3). For Z avviket (Graf 2) ser vi at målingene fordeler seg jevnt langs normalfordelingen og vi har et statistisk bra utvalg i de kontrollerte 18 punktene. Graf 2 er beregnet på grunnlag av dataene i Tabell 8 som viser avvikene mellom første og andre måling for de 18 punktene som ble kontrollert. Tilsvarende er Tabell 9.

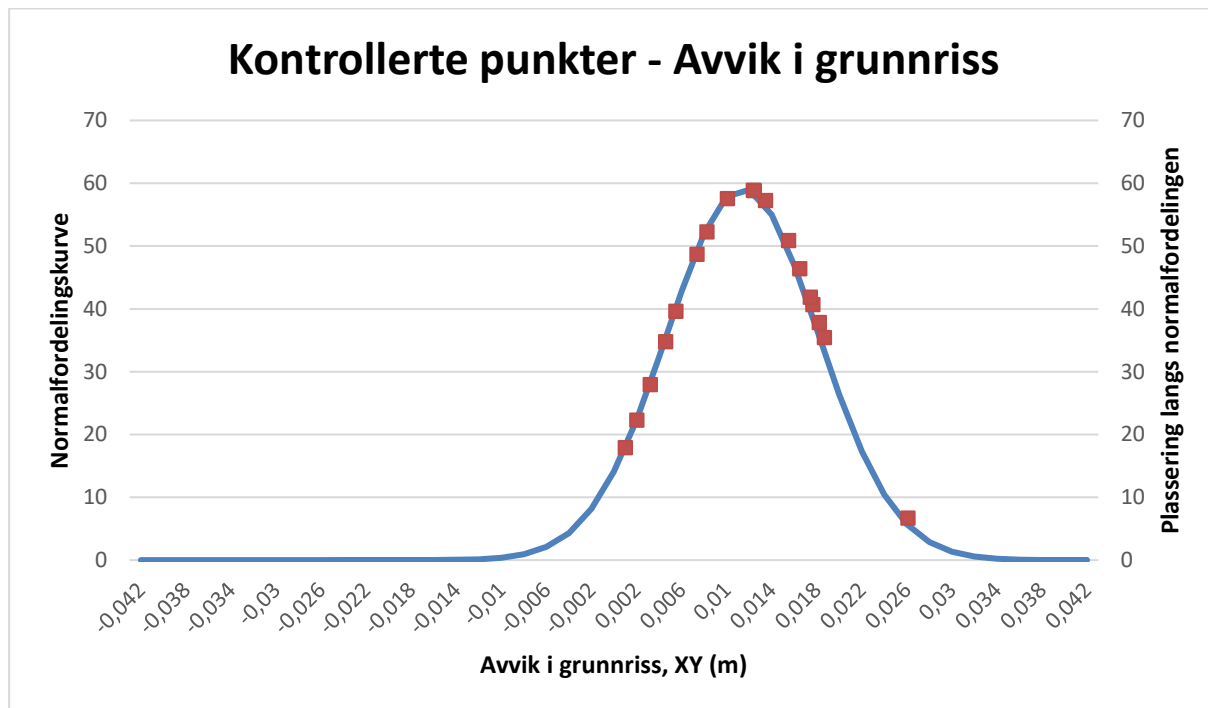


Graf 2: Måleseriens normalfordeling med plottet høydeavvik. Viser en statistisk normalfordelt måleserie uten grove feil, 3x std.avvik (0,015m).

Tabell 8: Kontrollpunkter med avvik i høyde, Z. Beregnet resultatverdi av måleserie.

Teo.punkt	Høyde Diff (m) Z	Teo.punkt	Høyde Diff (m) Z	Databeskrivelse	Verdi (m)
GCP96	0,000	GCP68	0,003	Antall punkter:	18 stk
GCP98	0,000	GCP70	0,005	Standardavvik:	0,005
GCP02	0,007	GCP71	-0,001	Middel:	0,000
GCP04	-0,001	GCP73	0,003	Minimum:	-0,008
GCP05	0,001	GCP33	0,010	Maksimum:	0,010
GCP59	0,001	GCP31	-0,008	Minimum absolutt verdi:	0,008
GCP61	-0,003	GCP30	0,001	Maksimum absolutt verdi:	0,010
GCP62	-0,004	GCP29	-0,006		
GCP65	0,001	GCP22	-0,006		

For grunnriss (Graf 3) er målingene noe forskjøvet fra normalfordelingen, men spredningen i dataene er jevnt fordelt. Forskyvingen forklares av at det her blir sett på absolutt avvik som vil si at alle avvikene vil være større enn 0.



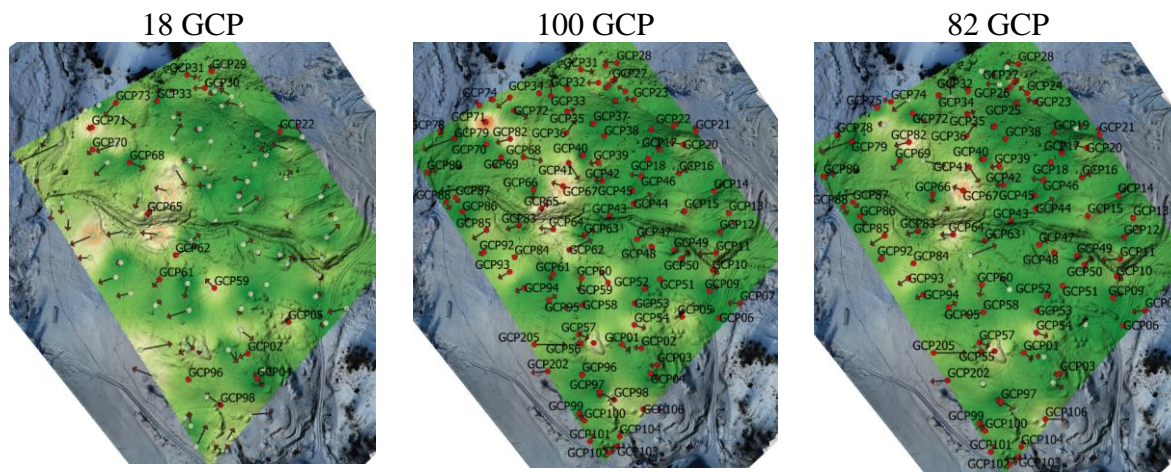
Graf 3: Måleseriens normalfordeling, forskjøvet over 0 som middelvei da grunnriss avvik er et absolutt avvik som alltid er positivt. Grafen er plottet med grunnrissavvik. Vi ser en statistisk normalfordelt måleserie hvor de lave avvikene er jevnt spredt, mens de største avvikene befinner seg i et kluster (samling) foruten 1 høyt avvik. GCP73 kommer utenfor måleseriens 3xstandardavviket (2,1 cm).

Tabell 9:

18 Kontrollpunkter med avvik i grunnriss, XY. Beregnet resultatverdi av måleserie.

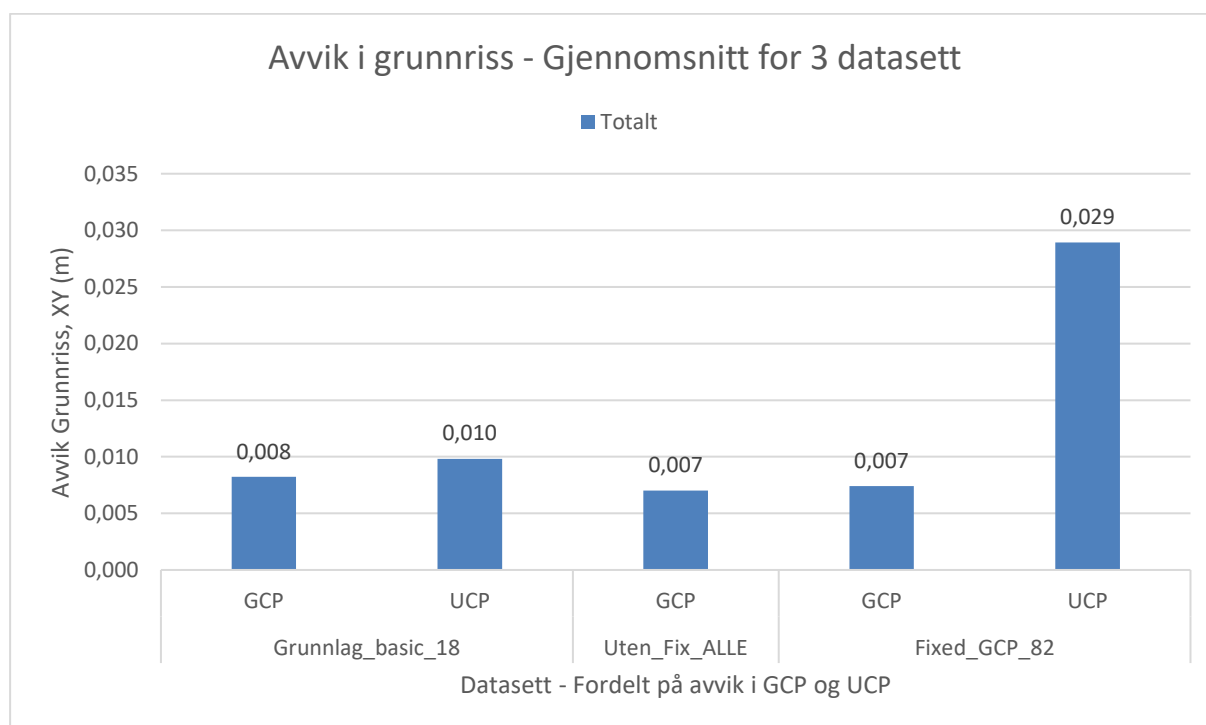
Teo.punkt	Differanse (m) XY	Teo.punkt	Differanse (m) XY	Databeskrivelse	Verdi (m)
GCP96	0,003	GCP68	0,012	Antall punkter:	18 stk
GCP98	0,012	GCP70	0,018	Standardavvik:	0,007
GCP02	0,008	GCP71	0,010	Middel:	0,011
GCP04	0,013	GCP73	0,025	Minimum:	0,001
GCP05	0,017	GCP33	0,015	Maksimum:	0,025
GCP59	0,002	GCP31	0,017	Minimum absolutt verdi:	0,001
GCP61	0,007	GCP30	0,016	Maksimum absolutt verdi:	0,025
GCP62	0,005	GCP29	0,018		
GCP65	0,004	GCP22	0,001		

Basert på 18 kontrollerte punkter produseres et datasett som låser de interne kameraparameterne. I Graf 4 sammenligner vi dette datasettet med et datasett generert av de 82 andre GCP punktene og med ett hvor alle 100 punktene er i bruk.



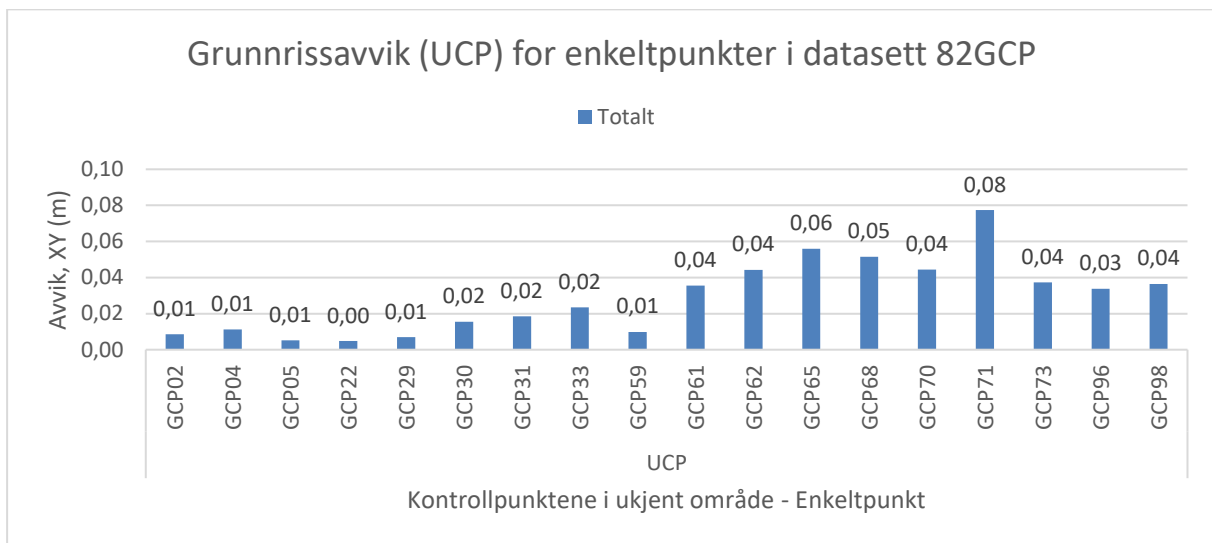
Figur 23: Kartpresentasjon med GCP punktinformasjon, grunnriss-(piler) og høydeavvik(farge).

Den visuelle fremstillingen av dataene tilfører begrenset informasjon (Figur 23). De datasettene med flere GCP'er ser vi at låser datasettet bedre totalt sett ved at vi ser mer grønnfarge og mindre avvikspiler. Ved bruk av 100 GCP'er danner det seg derimot et belte med større avvik i senter av datasettet, i den stående retningen sammenlignet med 82 GCP'er.



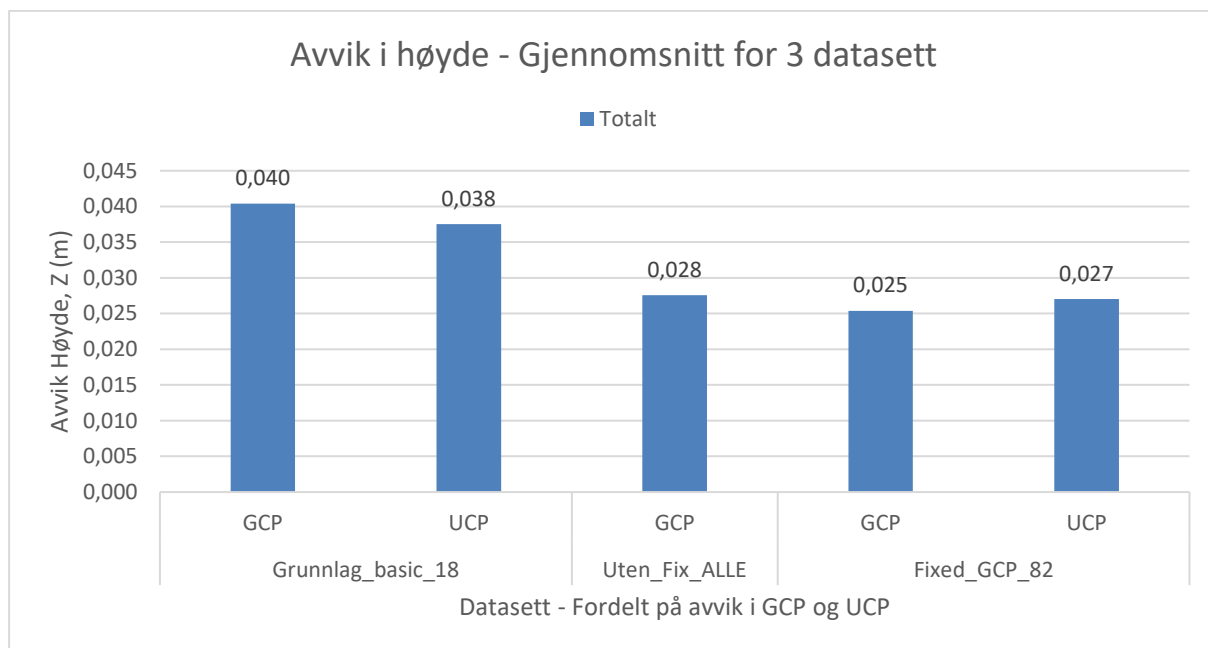
Graf 4: Grunnlagskontroll, avvik i grunnriss, XY. 3 datasett sammenlignet. Grunnlag_basic_18 beregnet med 18 GCP. Uten_Fix_Alle beregnet med 100 GCP og Fixed_GCP_82 er beregnet med 82 GCP (motsatt av første datasettet).

Graf 4 gir et overblikk på hvordan avviksforholdet i grunnriss er mellom de ulike datasettene. Hvis vi ikke skiller ut UCP, vil ikke forskjellene være så store mellom datasettene. I datasettet 82GCP er det 18 punkter som er definert som UCP. Vi ser av grafen (Graf 4) at disse 18 punktene får en betydelig større feil enn GCP'ene. I Graf 5 er UCP søylen brutt ned i enkeltpunkter. Når en kan se på avviket i UCP'ene for hver enkelt UCP, kan en se at det i hovedsak er 3 punkter som drar opp gjennomsnittet som vi ser i Graf 4. Dette er punktene GCP 65, GCP68 og GCP71.



Graf 5: Grunnrissavvik fra datasett Fixed_GCP_82. Presentert kun med avviksnivå for Ukjent område CP

Avviksfordelingen i høyde mellom de tre datasettene (Graf 6) er høyere enn for grunnrissaviket, men er og jevnere mellom datasettene. Det er mindre variasjon mellom UCP/GCP. Variasjonen mellom datasettene ser ut til å ha noe av det samme mønsteret som hos grunnriss.



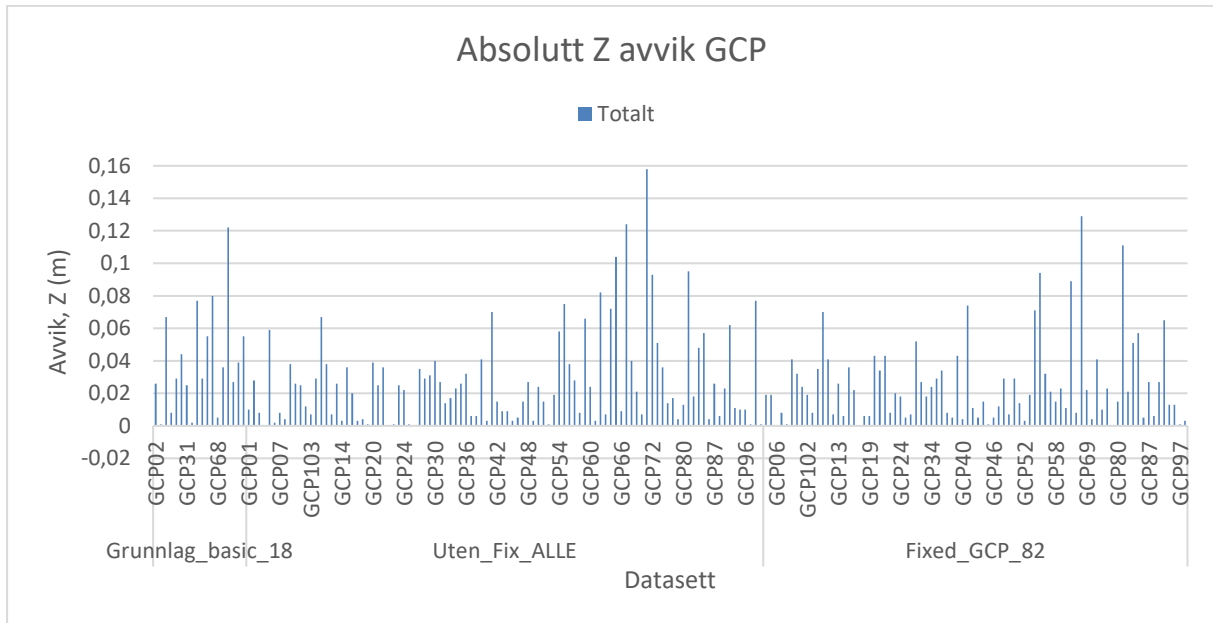
Graf 6: Grunnlagskontrollens 3 datasett med avvik fordelt på GCP (brukt i beregningen) og Ukjent område CP. Gjennomsnitt avvik i høyde, Z.

Tabell 10:

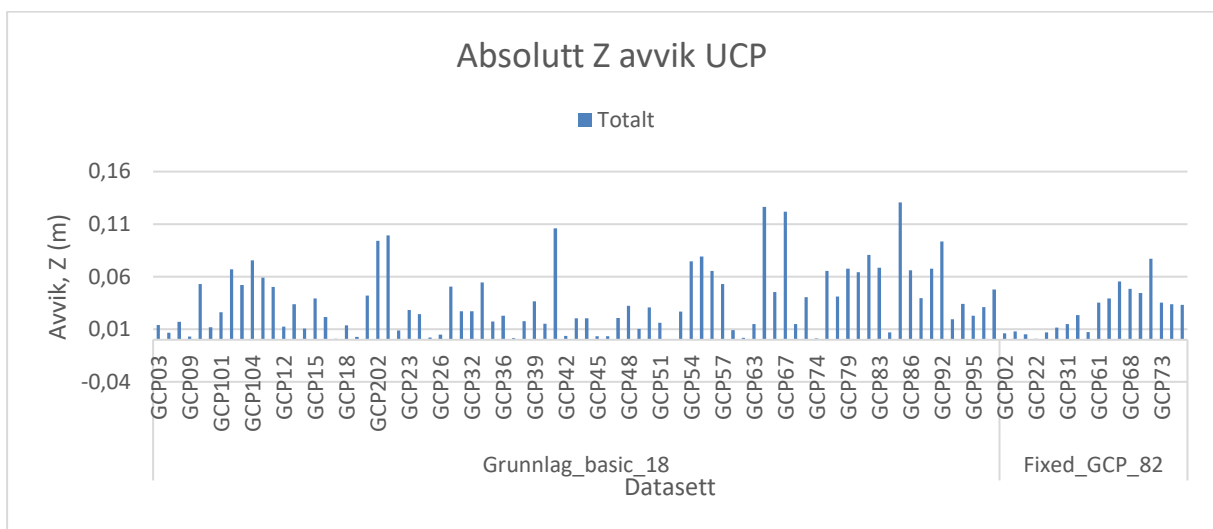
Gjennomsnittlig Z avvik for grunnlagskontrollens 3 datasett.

Absolutt Z Avvik				
Radetiketter		Gjennomsnitt	Maks	Min
Grunnlag_basic_18				
	GCP	0,040	0,122	0,0010
	UCP	0,037	0,131	0,0003
Uten_Fix_ALLE				
	GCP	0,028	0,158	0,0000
Fixed_GCP_82				
	GCP	0,025	0,129	0,0000
	UCP	0,027	0,077	0,0008

Tabell 10 viser gjennomsnittlig Z avvik for disse tre datasettene fordelt på GCP og UCP. Tabellen viser at både 82 og 100 GCP har et lavere gjennomsnitt avvik enn datasettet med de 18 kontrollerte punktene. Dette er det samme som en ser i Graf 6.

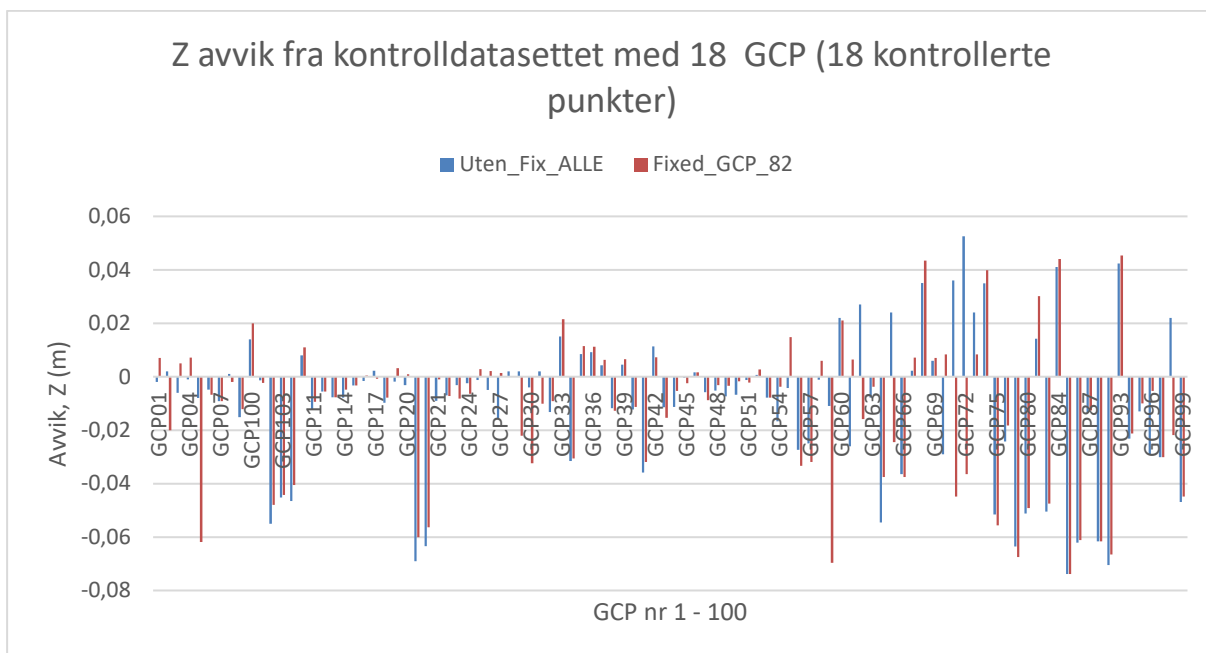


Graf 7: Absolutt GCP høydeavvik for enkeltpunkt i 3 datasett.



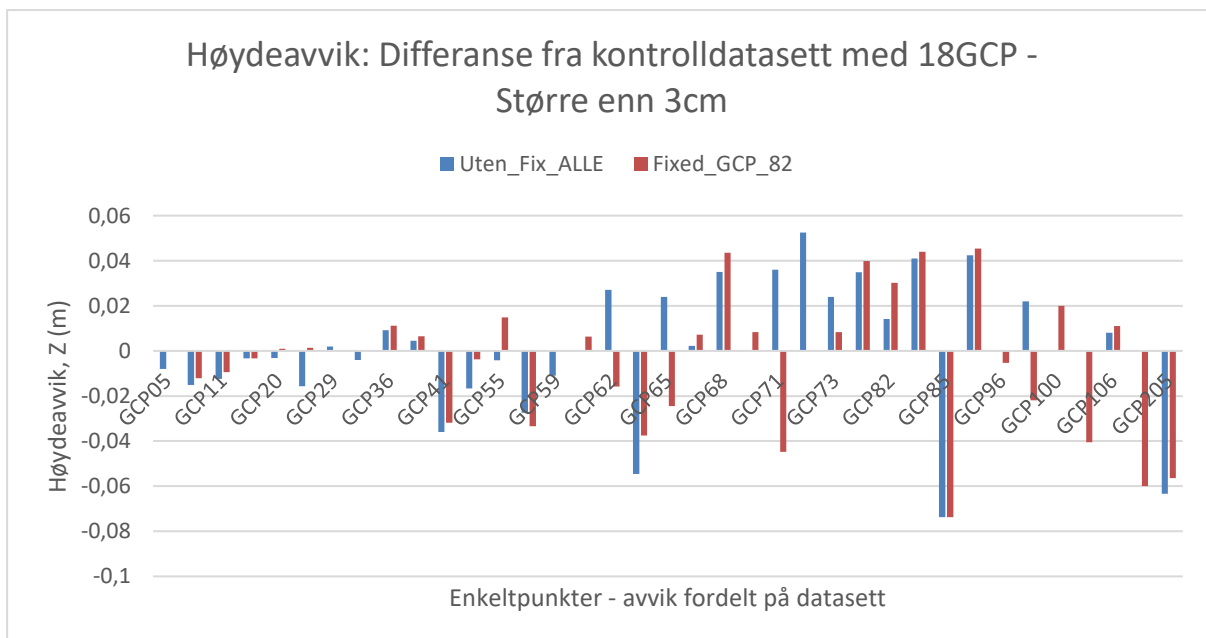
Graf 8: Absolutt UCP høydeavvik for enkeltpunkter i 2 datasett.

Graf 7 viser absolutt Z avvik for de 3 datasettene. I Graf 8 får vi frem alle punktene hvor datasettet med 100 og 82 GCP'er er sammenlignet med datasettet med 18 GCP'er som referanse. Grafen viser da forskjellen i Z for hvert av de to datasettene med mange GCP'er opp mot alle de 100 punktene i datasettet beregnet med 18 GCP'er.



Graf 9: Z avviksdifferanse fra datasettet beregnet med 18 kontrollerte punkter. Datasettet danner en basisreferanse for de to andre datasettene som ses i forhold til beregnet Z avvik.

Graf 9 har 100 punkter i visningen og noe som gjør det litt vanskelig å se noe av forskjellene og verdiene for de to datasettene 82 og 100. For å se gjennom støyen ser vi kun på de høyeste verdiene (Graf 10). Grensen for dette settes til 3 cm. Dette er litt under halvparten av det største avviket, samtidig som det gir et utvalg for å se på sammenhenger.



Graf 10: Uttrekk fra sammenligningen i Graf 9. Kriteriet på Z avvik høyere enn 3 cm fra referansedatasettet beregnet fra 18 kontrollerte GCP.

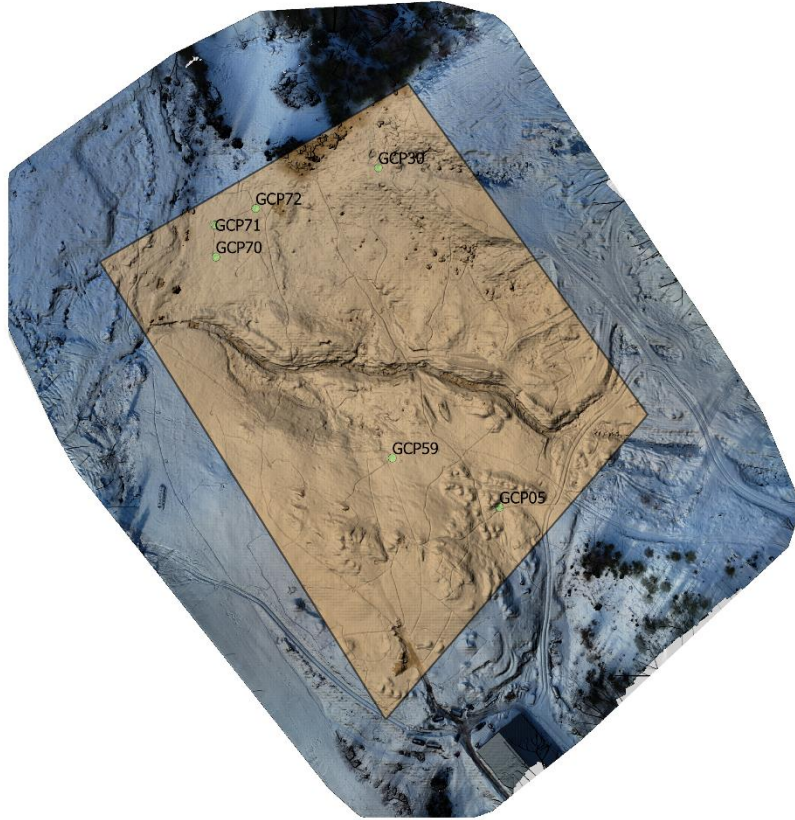
Graf 10 beskriver en rekke punkter med to søyler. Uten_Fix_Alle beskriver datasettet beregnet med 100 GCP'er og Fixed_GCP_82 beskriver resultatet i datasettet hvor det er låst til 82 GCP'er motsatt av de kontrollerte 18 punktene. Søylenes representerer avviksforskjellen fra disse datasettene og til datasettet beregnet med 18 GCP'er. Graf 10 ovenfor beskriver derfor at det er små forskjeller mellom de to datasettene på 82 og 100 GCP'er i forhold til datasettet på 18 GCP. Disse forskjellene er naturlige, selv om det ene har låst kameraparametre og det andre ikke. Fra grafen over trekker vi ut alle punktene med hvor det kun er måling i ett av datasettene samt de punktene der det er store forskjeller. Dette resulterer i punktene i Tabell 11. Fra dette utvalget plukker vi ut avvikene over 3 cm som presenteres i Graf 11. Her inkluderes også ett nytt datasett (Fixed fra basic 18_ALLE_GCP). Datasettet er beregnet med låste interne kameraparameter og 100 GCP'er.

Tabell 11:

Utvalgte punkter hvor det er tydelige forskjeller i Z avviksforskjellen for datasett beregnet med 100 og 82 GCP'er i forhold til datasettet med kontrollerte 18GCP'er.

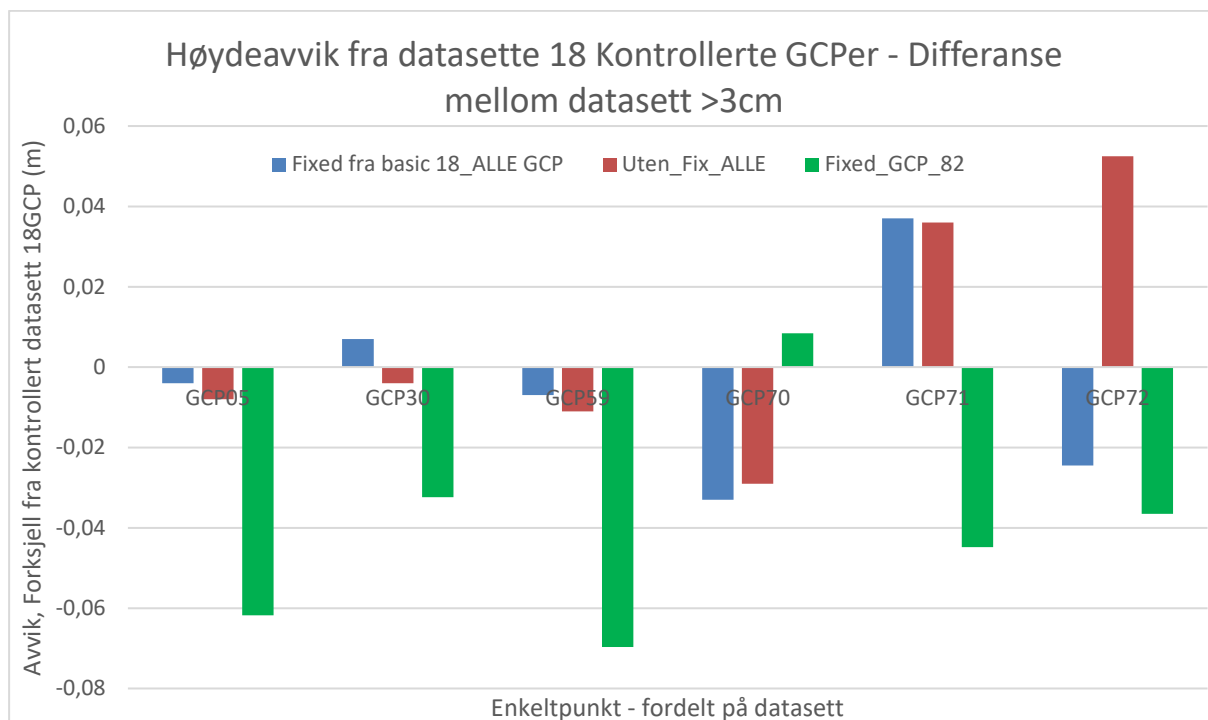
GCP nr	Datasett				Avvik
	Fixed 100GCP	100GCP	Fixed 82GCP	Største differanse	>3cm
GCP05	-0,004	-0,008	-0,0618	0,0578	Ja
GCP30	0,007	-0,004	-0,0324	0,0394	Ja
GCP34	-0,0266	-0,0316	-0,0306	0,005	
GCP41	-0,0279	-0,0359	-0,0319	0,008	
GCP56	-0,0324	-0,0274	-0,0334	0,006	
GCP57	-0,0309	-0,0249	-0,0319	0,007	
GCP59	-0,007	-0,011	-0,0697	0,0627	Ja
GCP70	-0,033	-0,029	0,0084	0,0414	Ja
GCP71	0,037	0,036	-0,0448	0,0818	Ja
GCP72	-0,0245	0,0525	-0,0365	0,089	Ja
GCP74	0,0299	0,0349	0,0399	0,01	
GCP79	-0,0615	-0,0635	-0,0675	0,006	

Som vi ser av Tabell 11 er det relativ stor differanse i de utvalgte punktene. Fra 3,9 – 8,9 cm. To av datasettene stemmer stort sett mer overens og det tredje har et stort avvik i den ene eller andre retningen. Figur 24 beskriver punktenes plassering i datasettet.



Figur 24: Viser de utvalgte punktenes plassering i AOI

Siden det er mange variabler og vi endrer på ulike variabler i alle datasettene er det vanskelig å fast definere noen av punktene som dårlige. Det vi allikevel ser i Tabell 11 er at vi har 6 punkter som har et større avvik enn 3 cm fra referansedatasettet og som kommer ulikt ut i beregninger med ulike parameter. Disse avvikene kommer primært av datasettet beregnet på 82 GCP'er. De 6 punktene presenteres i Figur 24.



Graf 11: Utvalgte punkter med avviksforskjell større enn 3cm fra referansedatasett (Beregnet med 18 kontrollerte GCP'er)

Tabell 12:

Liste over enkeltpunkter fra Graf 11. kategorisert for hvilken type punkt det er. 1 GCP, 5 Ukjent område CP

Fixed_GCP_82
GCP
GCP72
UCP
GCP05
GCP30
GCP59
GCP70
GCP71

Vi ser nærmere på hvilken rolle (GCP, UCP, KCP) utvalget i teksten har i datasettet Fixed_82GCP. Resultatet presenteres i Tabell 12 og er relativt konkluderende når vi ser resultatet i sammenheng med Graf 11.

Punkt GCP72, lengst til høyre i grafen har relativt likt avvik med ett av de andre datasettene. Det er kun dette punktet som er benyttet i beregningene som GCP slik som i de andre datasettene. De andre punktene i grafen med store avvik fra de andre datasettene er definert som UCP. Her ser det ut til at datasettet beregnet med 82 GCP'er dytter restfeil ut i disse punktene.

Eneste punktet som da skiller seg ut i grafen ovenfor uten forklaring er GCP 72. Dette punktet har et stort avvik mellom interne kameraparameter låst og ikke låst datasett med 100 GCP'er.

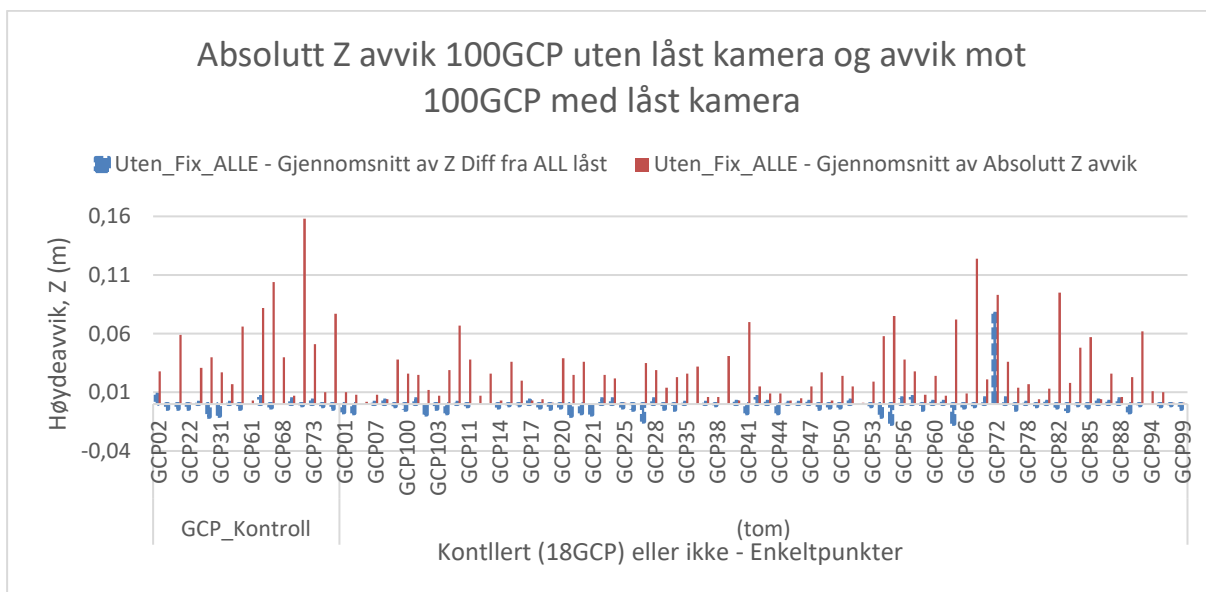
Restfeilen i beregningen av datasettet som er låst til 82 GCP'er dyttes ikke nødvendigvis ut i UCP punktene. Ifølge Tabell 13 nedenfor bekrefter ikke absolutt z verdien for enkeltpunkt

UCP'ene det samme som avviksforholdet på punktsammenligningen med referansedatasettet på 18GCP'er.

Tabell 13: Sammenligning av 18 kontrollerte punkter. Avviksforskjellen fra disse 18 punktene brukt som GCP i kontrollgrunnlaget med kun disse 18 punktene som GCP. Sammenlignet mot de samme punktene definert som 18 CP i ukjent område i datasett beregnet fra datasett med 82GCP som har låste kameraparameter fra 18GCP datasettet.

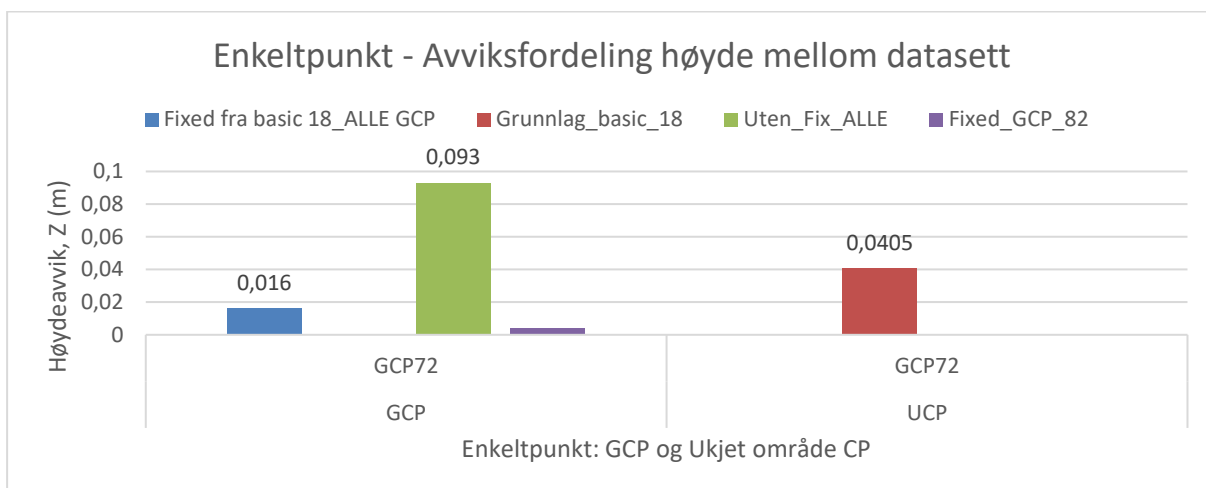
82 GCP Datasett	Diff 18GCP ref	Absolutt Z avvik	82 GCP Datasett	Diff 18GCP ref	Absolutt Z avvik
UCP			UCP		
GCP02	-0,02	0,006	GCP05	-0,0618	0,0052
GCP04	0,0071	0,0081	GCP30	-0,0324	0,0116
GCP22	-0,0072	0,0008	GCP59	-0,0697	0,0073
GCP31	-0,0101	0,0149	GCP70	0,0084	0,0444
GCP61	0,0064	0,0354	GCP71	-0,0448	0,0772
GCP62	-0,0158	0,0392	GCP29	-0,0221	0,0069
GCP68	0,0435	0,0485	GCP33	0,0215	0,0235
GCP73	0,0083	0,0353	GCP65	-0,0245	0,0555
GCP96	-0,0053	0,0337	GCP98	-0,0219	0,0331

Graf 12 beskriver datasettet 100GCP uten låste kameraparameter. Jevnt over har hver GCP over 1cm avvik. Beskrivelsen av forskjellen fra dette datasettet til datasettet beregnet med låste kameraparameter viser derimot jevnt over lave avvik. Disse beskriver forholdet mellom dette datasettet og resultatene fra det samme datasettet beregnet fra 100GCP med låste kameraparameter. Her er det kun 1 punkt som skiller seg betraktelig ut. GCP 72.



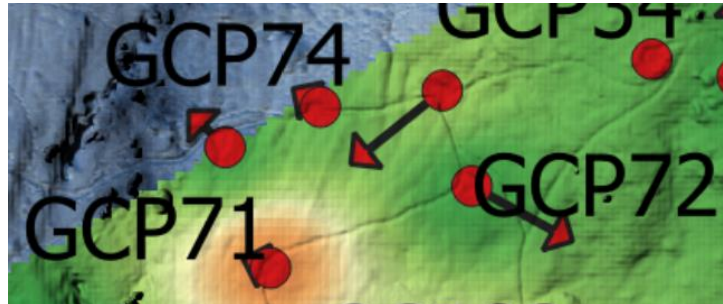
Graf 12: Absolutt høydeavvik. Visning av resultatforskjeller med og uten låste kameraparametre.

GCP 72 avviker tydelig mellom låste og ulåste kameraparameter ved beregning av 100GCP i forhold til de tre andre datasettene under. Det kan være noe med punktet som påvirker dette, uten at dette gir grunnlag nok for beslutning.



Graf 13: Enkelpunkt som skiller seg ut mellom samme datasett beregnet med låste og flytende kameraparameter. De låste kameraparameterene er hentet fra de optimaliserte verdiene for datasettet beregnet fra de 18 kontrollerte GCP-Punktene.

Det poengteres riktig nok at GCP72 er ved siden av GCP71 (Figur 25) som i mange datasett får et høyt Z-avvik. Om dette avviket kommer av GCP72, eller om avviket vises i GCP72 på grunn av noe annet i området er vanskelig å si. Figur 26 belyser dette ved å vise punktet både der GCP 72 benyttes som GCP og som KCP.



Figur 25: Utklipp av et avvikskart for visning av enkeltpunktets beliggenhet sammenlignet med et annet punkt.

Utklipp T3_V_8_ulike_3



Utklipp T3_v_8_ulike_2



Utklipp T3_v_8

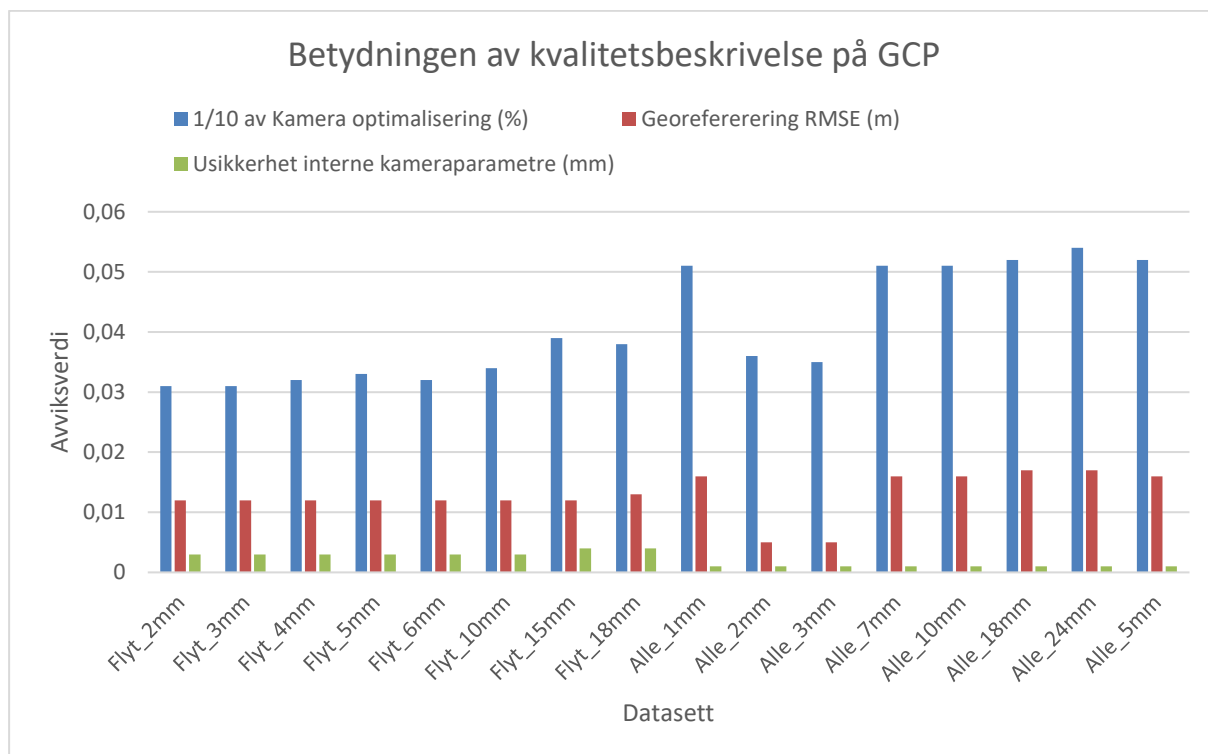


Figur 26: Sammenligning av flere datasett hvor GCP71 og GCP72 har ulike roller i de fotogrammetriske beregningene.

Da vi ikke finner noe grunnlag for å forkaste noen enkeltpunkter velger vi å beholde alle punktene og ta disse med oss til de neste testene. Testen har ikke klart å avdekke om det finnes grove feil i våre målinger.

3.1.3 GCP-kvalitetens betydning

Kvalitetsbeskrivelsen av GCP'ene som benyttes i programvaren påvirker beregningen. Hvilken påvirkning feil kvalitetsbeskrivelse har på datasettet er ikke direkte beskrevet fra programvareleverandøren eller andre. Vi tester 2 datasett og beregner disse flere ganger med ulik kvalitetsbeskrivelse, for å vurdere om kvalitetsbeskrivelsen er riktig satt på 5 mm. Testene gjøres på det samme datagrunnlaget og prosesseringsinnstillinger. Datasettene som beregnes er et oppsett med alle punktene som GCP'er og det andre datasettet er det samme som resultatet fra test 2. Vinkelform, 8 GCP'er. De to datasettene er testet på litt ulik kvalitetsbeskrivelse, men kvalitetsfordelingen ser vi av Graf 14 at er relativ lik.



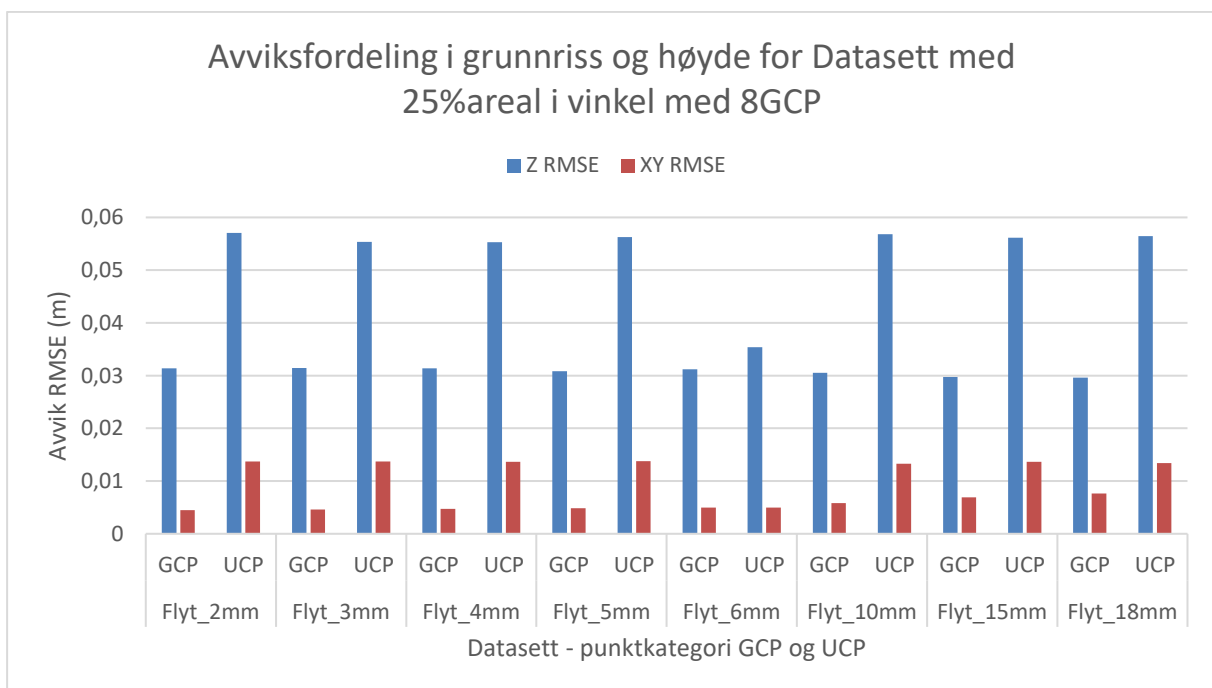
Graf 14: Kvalitetsbeskrivelse av GCP. Grafen inneholder 3 parameter fra kvalitetsrapporten som bidrar til å se på forskjellen mellom datasett. Grafen inneholder flere ulike enheter og søylene må kun sammenlignes internt i serien de representerer.

Graf 14 beskriver 3 av de overordnede verdiene som beskriver datasettet fra kvalitetsrapporten. Her ser vi datasettet med alle GCP'er til høyre (Alle_Xmm) og 8 GCP'er med 25% areal i vinkelform til venstre (Flyt_Xmm). Hvor antall mm, beskriver kvaliteten satt på GCP'ene i de respektive testene. For datasettet med 8 GCP'er ser vi lite eller forandring mellom de ulike datasettene. Det vi ser er at verdiene holder seg jevne og blir dårligere når kvalitetsbeskrivelsen justeres ned til 15 mm (høyt tall, dårlig kvalitet).

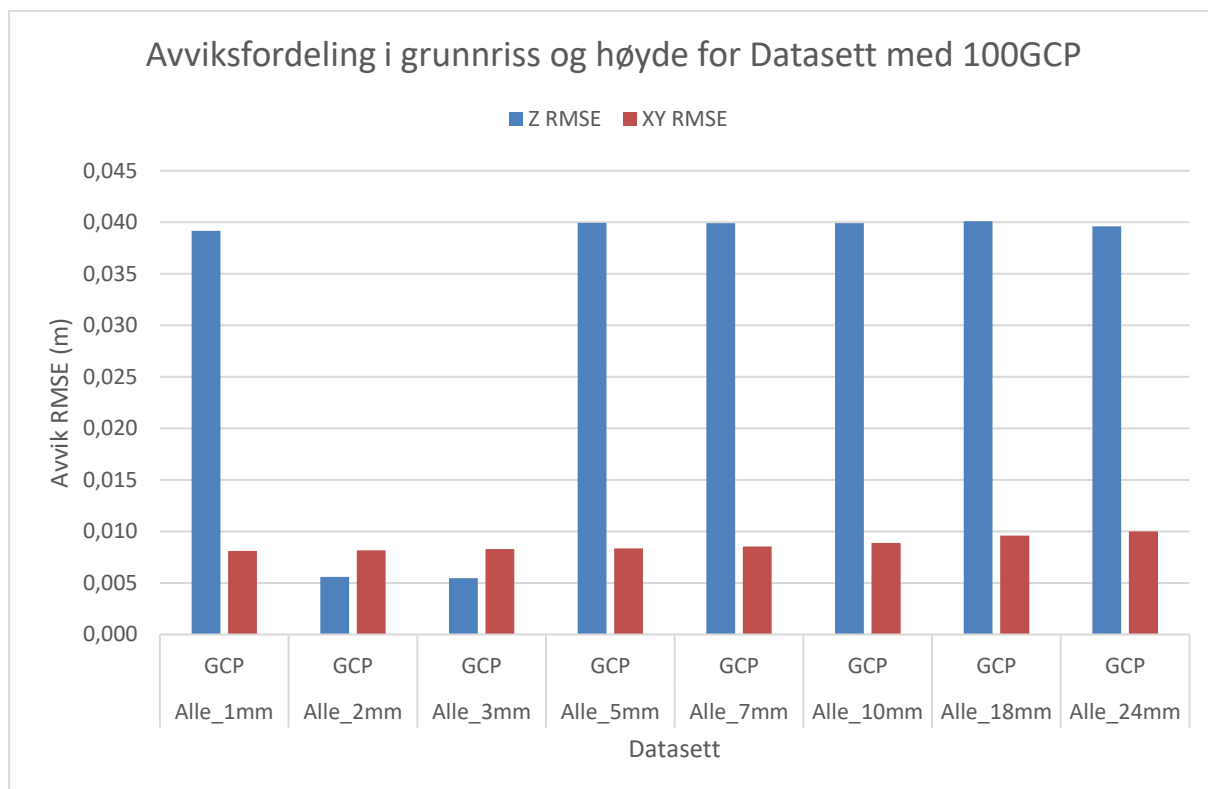
Datasettet med alle GCP'ene har samme trend når kvaliteten reduseres (høyere verdi). Ved at avviket går noe opp over 18 mm. Når kvalitetsbeskrivelsen settes til 2 og 3 mm reduseres datasettets georeferanse RMSE og kameraoptimaliseringen i forhold til de andre datasettene. Dette er bedre enn kvalitetsbeskrivelse vi har satt på GCP'ene i beregningene. 5mm som brukes i denne testen er jevnt over lik med de andre testene med en kvalitetsbeskrivelse bedre enn 10 mm (lavere verdi).

I Graf 15 og Graf 16 er XY og Z avviket sammenstilt for hvert datasett, fordelt mellom GCP og UCP i datasettet med 8 GCP'er, det andre har kun GCP. Dataene underbygger de

overordnede kvalitetsbeskrivelsene fra kvalitetsrapporten fra programvaren. Bortsett fra vinkeldatasettet for 6 mm. Her er det et betydelig lavere avvik på UCP enn for de andre datasettene. Dette gjelder både for XY og Z. Samme tendensen ser vi ikke for datasettet med alle GCP'er, og vi må anta at GCP kvalitetsbeskrivelsen vil få større innvirkning hvis den er satt feil når alle 100 punktene er med i beregningen. Vi har riktig nok ikke 6 mm for alle GCP'ene, men det vi leser ut av Graf 15 er at ved 8 GCP'er bestemmer programvaren lavest avvik for GCP'ene når de får et «spillerom» på 6 mm for hvert punkt. Dette er ikke synlig i Graf 14. For datasettene hvor alle GCP'ene er i bruk ser vi en tydelig reduksjon i høydeavviket ved en kvalitetsbeskrivelse på 2-3 mm (Graf 16). Avviksreduksjonen hos de to ulike datasettene er ikke sammenstemte og vi må anta at dette kan være falske resultater som et resultat av for strenge tilpasninger. Med falske resultater mener vi bedre resultater enn det som er oppnåelig basert på feil beregninger. Vi har heller ingen kontrollpunkter som beskriver resultatet av beregningene for datasettet med 100 GCP'er da alle punktene brukes som GCP.



Graf 15: Kvalitetsbeskrivelse av datasett med 8 GCP i vinkelformasjon fordelt i 25% av AOI. Grafen viser ulike beregningsinnstillinger for GCP kvalitet for å kontrollere beregnet/bestemt GCP kvalitet på 5mm i grunnriss og høyde.



Graf 16: Kvalitetsbeskrivelse av datasett med 100 GCP fordelt i hele AOI. Grafen viser ulike beregningsinnstillinger for GCP kvalitet for å kontrollere beregnet/bestemt GCP kvalitet på 5mm i grunnriss og høyde.

3.2 Test 1 – Retning og Areal

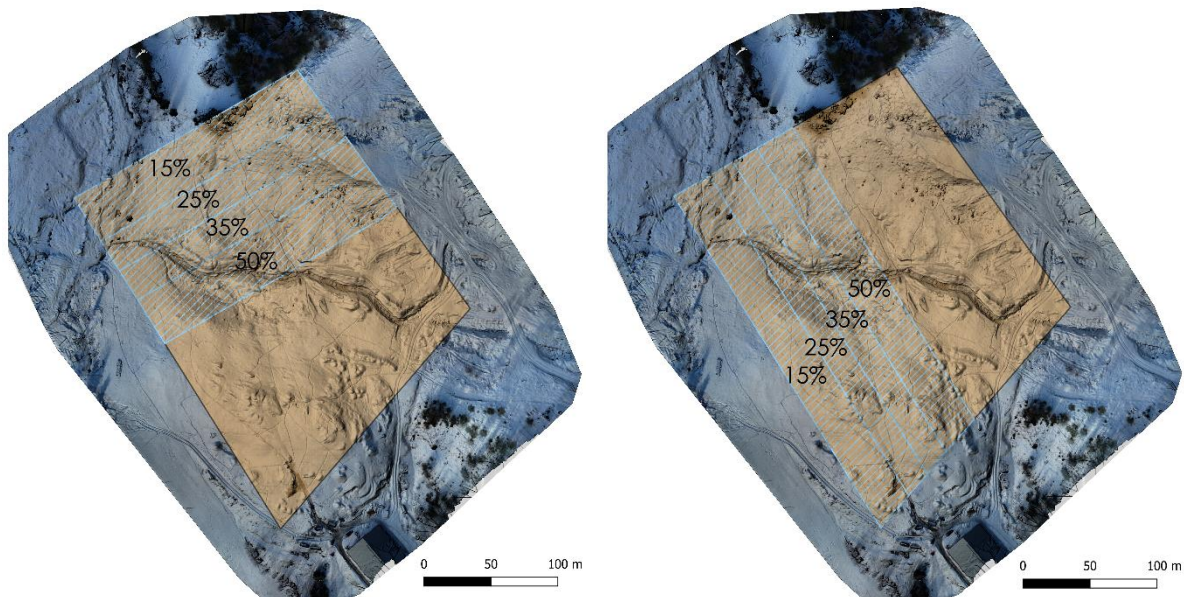
Testen inneholder 4 ulike arealstørrelser og 2 retninger (Figur 27). Arealene bestemmer størrelsen på kjent område og retningen bestemmer inngrepsretningen. Tabell 14 viser testens innhold.

Tabell 14:

Navngivning og informasjon om oppbygningen og resultater i test 1.

Retning datasett	Størrelse kjent område	Navn	Fordeling av KCP/UCP.		
Liggende	15% Kjent areal	Test1_L_15	KCP:13	UCP:79	GCP:8
	25% Kjent areal	Test1_L_25	KCP:21	UCP:71	GCP:8
	35% Kjent areal	Test1_L_35	KCP:33	UCP:59	GCP:8
	50% Kjent areal	Test1_L_50	KCP:47	UCP:45	GCP:8
Stående	15% Kjent areal	Test1_S_15	KCP:12	UCP:80	GCP:8
	25% Kjent areal	Test1_S_25	KCP:22	UCP:70	GCP:8
	35% Kjent areal	Test1_S_35	KCP:31	UCP:61	GCP:8
	50% Kjent areal	Test1_S_50	KCP:47	UCP:45	GCP:8

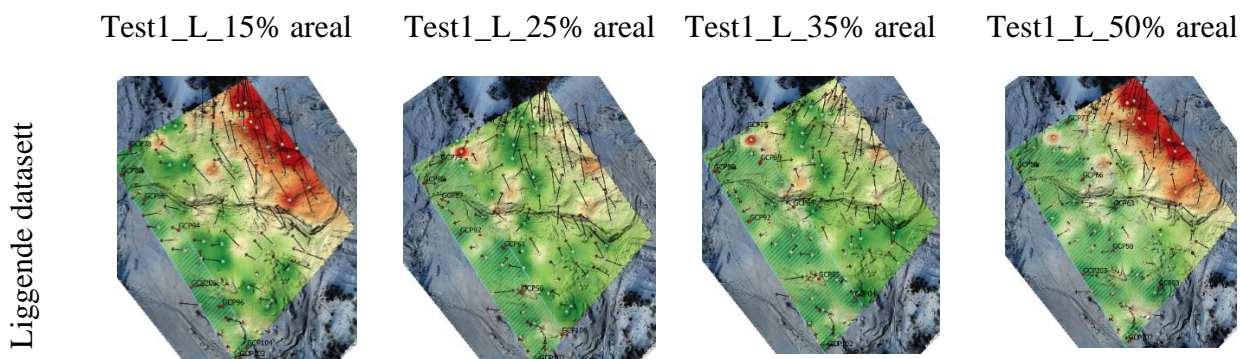
Retningene ses opp mot hverandre og arealene primært opp mot andre arealer i lik retning. Resultatene for testen presenteres for hver retning før det gjøres en kort sammenligning for selve utvelgelsen. Det er ikke tatt hensyn til gjenbruk av Ground Control Point (GCP) mellom testene. Felles for testene er antall GCP'er, grunnlaget og prosesseringsinnstillingene.

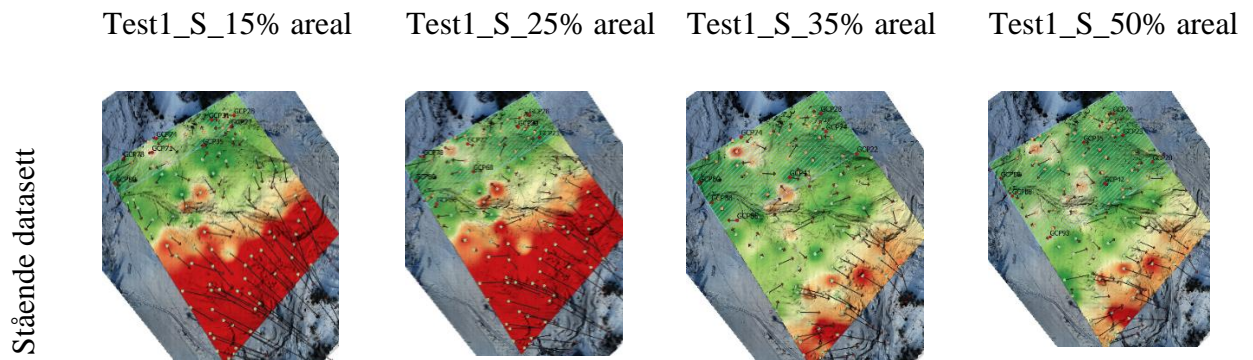


Figur 27: oversikt over arealfordelingen i testområdene. Stående datasett er fra venstre til høyre i bildet og liggende fra bunn til topp.

Liggende og stående retning viser noen av de samme tendensene ved kontroll av heatmap (Figur 28) generert fra høydedifferansen mellom datasettene og de innmålte punktene.

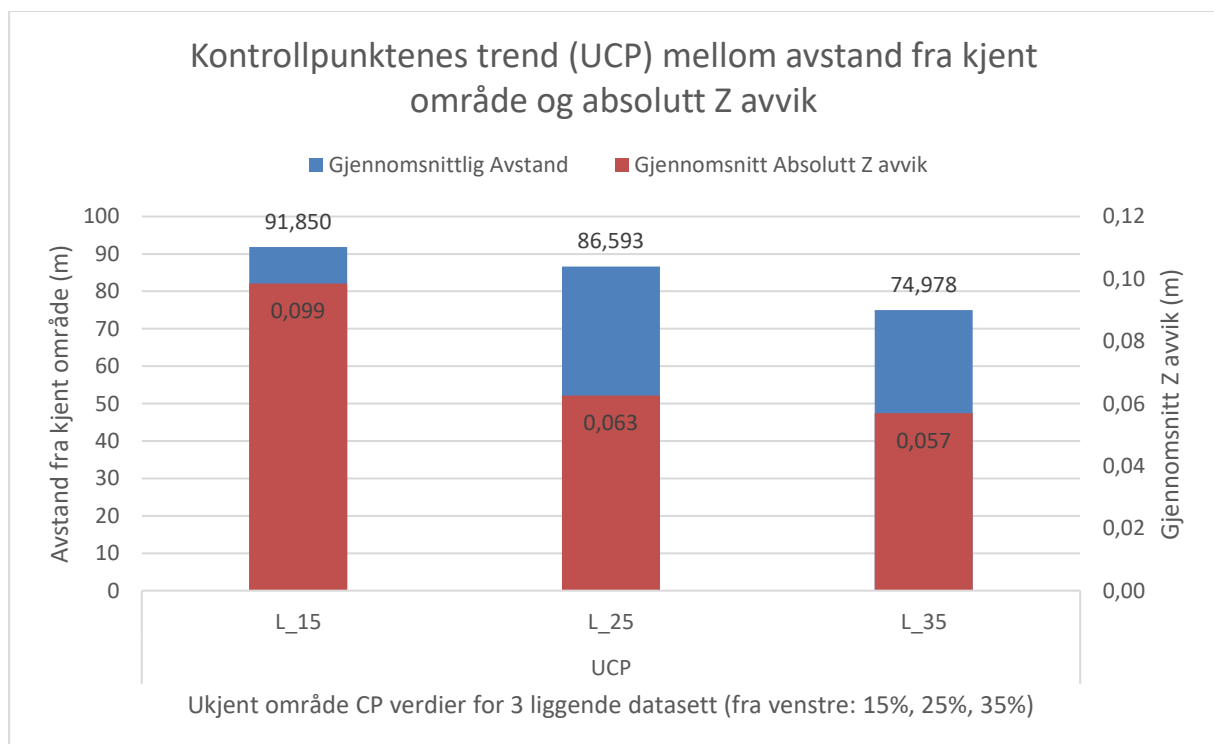
Tendensen vi ser er at de fleste kartene inneholder mindre områder med stort avvik ved økning i areal.





Figur 28: Samling av heatmap som beskriver testens resultater

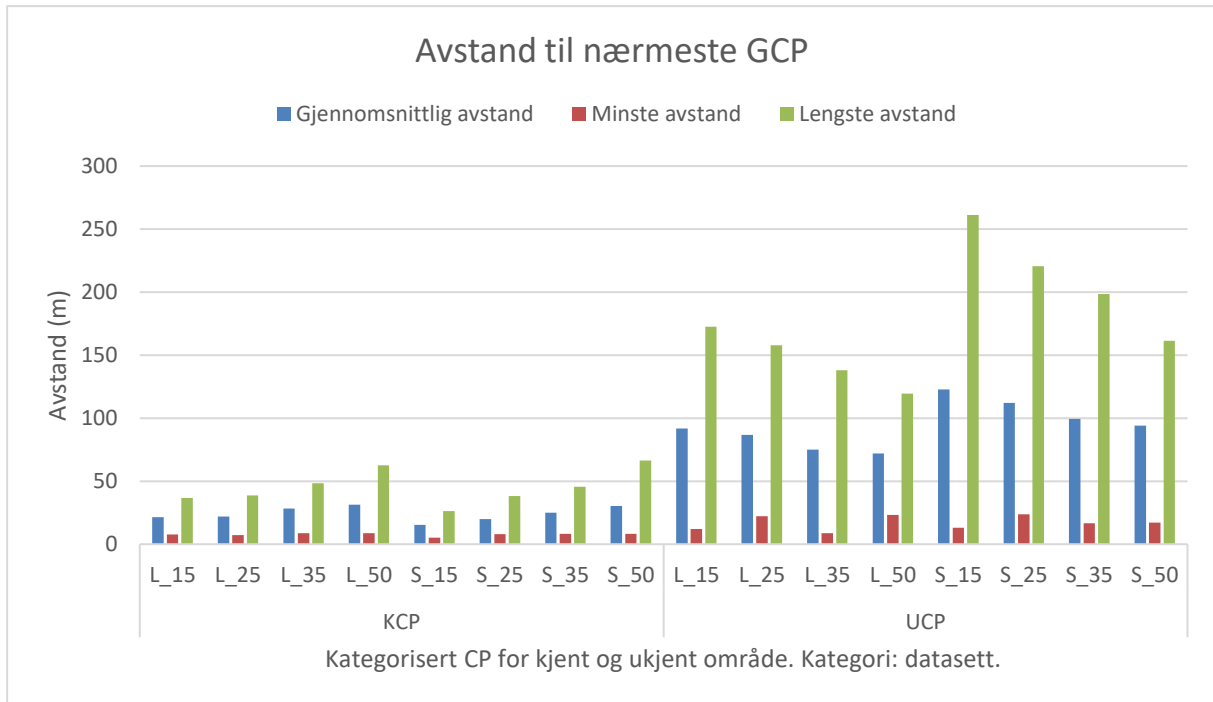
Graf 17, viser avviket for kjent område CP (KCP) og vi ser en trend hvor avviket reduseres ved økt areal i både liggende og stående retning. Avstandene til alle datasettene ser vi under, i Graf 18. Avviket i ukjent område øker ved redusering av kjent område, da avstanden til alle CP-punkter i ukjent område øker. Dette bekrefter vår hypotese om at avviket er avstandsavhengig.



Graf 17: Trend i ukjent område når avstanden forandres. 3 Datasett beskriver gjennomsnittlig avstand fra kjent område til GCP og gjennomsnittlig høydeavvik.

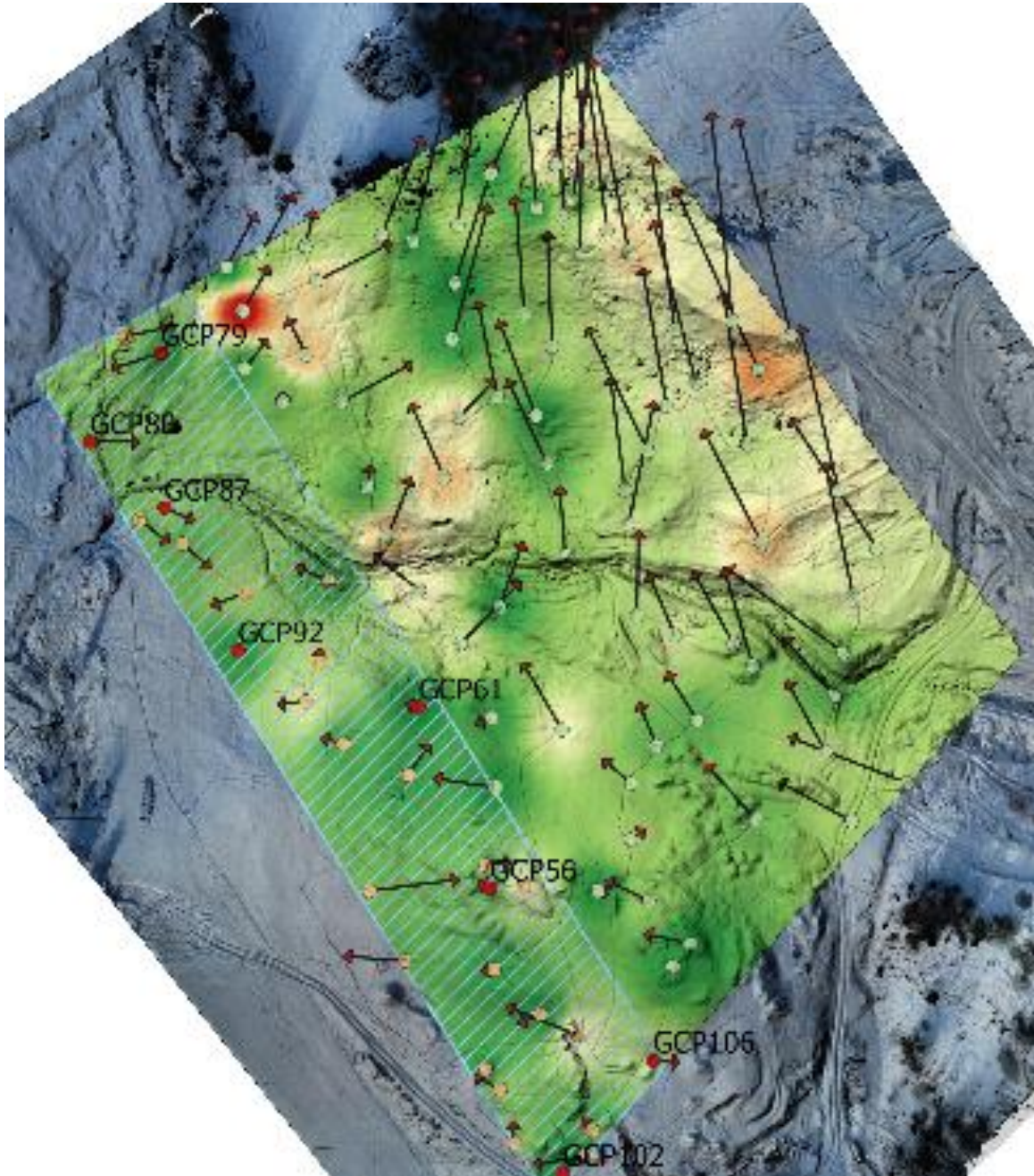
Graf 17 viser gjennomsnittlig avstand til nærmeste GCP og høydeavviket for UCP. Her ser vi at når KCP området øker, blir avstanden kortere fra kjent område til UCP. Denne effekten blir

motsatt for KCP. Her øker avstanden ved økning av arealet. Siden gjennomsnittlig høydeavvik reduseres ved økning i areal, kan det tyde på at avviket er avhengig av spredningen og avstanden mellom GCP'ene, eller at avviket har et tydelig avstandsforhold. I Graf 18 presenteres avstand til nærmeste GCP for kjent og ukjent CP. Her belyses tydelig forholdet mellom areal og avstand til GCP.



Graf 18: Datasettene i test 1. Sammenligning av avstand mellom datasettene og avstandsfordelingen for kjent og ukjent område CP.

Resultatene for denne testen presenteres med tabeller og grafer som vist over. De overordnede verdiene presenteres før det brytes ned til enkeltverdier, ulikheter og forklarende verdier. I tillegg legges det vekt på visuelle fremstillinger som vist i Figur 29.

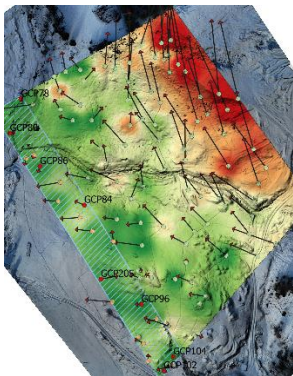


Figur 29: Test1_L_25

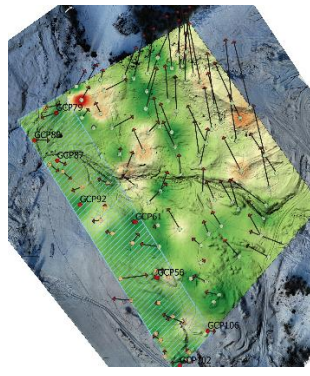
I Figur 30 ser vi resultatet i datasettene presentert ved å bruke farger for høydeavvik (Z) og piler for avvik i grunnriss (XY). Et avvik i grunnriss har en avstand og retning (absolutt avvik). For at dette skal være synlig er avvik i XY skalert opp med en faktor på 1000. I Figur 29 representerer pilene et grunnrissavvik fra 0,1 til 6,7 cm. Høydeavviket beskrives ved absolutt Z avvik med fargetone fra 0-20 cm. Grønn = 0 cm, Rød = 20 cm+ med en nyansert fargeskala mellom grønt og rødt. Høydeavviket i figuren har verdier fra 0,09 til 20,92 cm. Kartet gir en visuell fremstilling av avvikene og brukes sammen med datagrunnlaget som et viktig verktøy for å sammenligne datasettene og endringene. Ser vi på Figur 29 ovenfor viser denne test 1 liggende med et kjent areal på 25%. Innenfor kjent område ser vi en rolig grønn tone. Grønntonen får mer spill og variasjoner i det ukjente området og størst variasjoner ytterst i området. Denne trenden går igjen i alle datasettene, men det varierer hvor stort og hvor tidlig spillet i grunnriss- og høydeavviket begynner.

Under presenteres den liggende retningen i test 1 og vi ser trenden gjenspeile seg i alle datasettene i Figur 30. Kjent område med minst variasjon ligger på langsiden til venstre og lengt ut i ukjent område, til høyre i bildene ser vi størst variasjon.

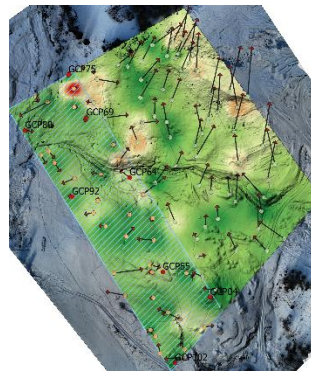
Test1_L_15



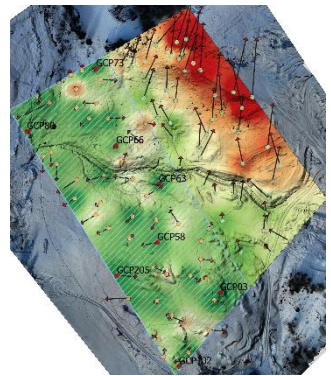
Test1_L_25



Test1_L_35



Test1_L_50



Figur 30: Heatmap, kart over resultatenes avvik i høyde (farge 0-20cm, 0=grønn og 20=rød) og avvik i grunnriss (piler som har retning og størrelse, oppskalert med 1000).

Den visuelle kontrollen bekreftes i datagrunnlaget. Tabell 15 viser hvordan gjennomsnittsverdiene for GCP, kjent område CP og ukjent område CP fordeler seg mellom de liggende testene. De liggende datasettene har mindre potensiale for å tydelig bekrefte hypotesen om økende avvik ved lengre avstand unna GCP'ene enn de stående datasettene. Dette kommer av at det ukjente området strekker seg lengre unna det kjente området i stående retning enn det gjør i liggende retning.

Tabell 15:

Gjennomsnitt absoluttavvik for grunnriss, XY og høyde, Z. Avviket kategorisert for punkttype, GCP, Kjent område CP og Ukjent område CP. RMSE beskriver til slutt datasettets helhet.

Liggende datasett								
	Gjennomsnitt: Absolutt XY Avvik (m)				Gjennomsnitt: Absolutt Z avvik (m)			
Datasett	L_15	L_25	L_35	L_50	L_15	L_25	L_35	L_50
GCP	0,007	0,008	0,005	0,009	0,016	0,028	0,029	0,014
KCP	0,012	0,010	0,011	0,011	0,036	0,038	0,042	0,052
UCP	0,033	0,032	0,025	0,029	0,099	0,063	0,057	0,124
RMSE	0,034	0,031	0,022	0,035	0,106	0,069	0,064	0,155

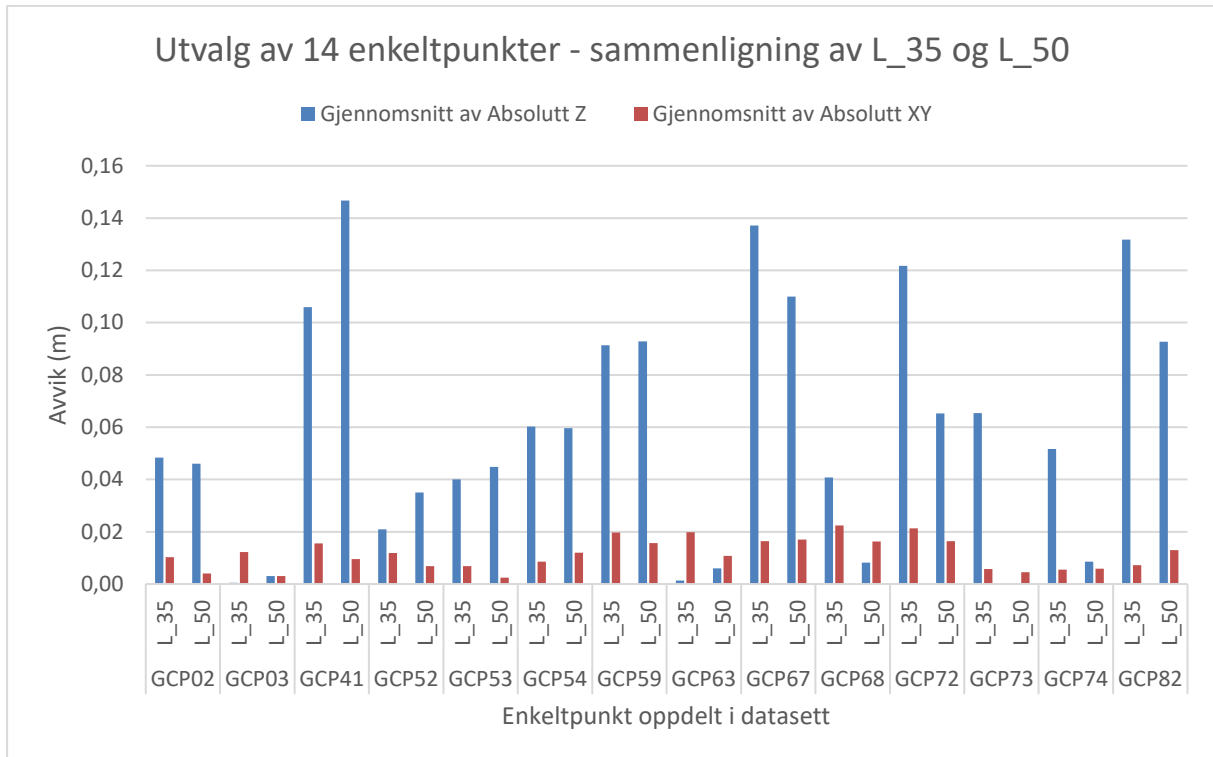
For det liggende datasettet ser vi samme tendens i Tabell 15. Root mean square error (RMSE) og gjennomsnittlige verdier blir generelt sett lavere fra L_15 testen til L_35 testen.

For å undersøke om det er enkeltpunkter med store feil som gjør at L_50 ikke følger trenden, velger vi ut alle punktene som er i ukjent område for testen L_35 og befinner seg i kjent område i test L_50. Disse punktene representerer forskjellen mellom datasettenes avvik i ukjent område.

Totalt har vi da 14 målepunkter med ett absolutt grunnriss- og høydeavvik. Tabell 16 nedenfor viser ingen store avvik i grunnriss (XY). Høydeavviket (Z) er derimot relativt høyt, med en gjennomsnittsverdi på ca. 6 cm og høyeste avvik i begge datasettene for ett enkeltpunkt på 14,7 cm. 3 av punktene i denne serien er over 10 cm i avvik. Hvordan kvaliteten egentlig er på disse punktene sier ikke nødvendigvis denne tabellen. Uttrekket sier derimot at dersom flere av punktene i utvalget har en grov feil eller på annen måte får store høydeavvik, vil dette påvirke de gjennomsnittlige verdiene.

Tabell 16: Enkeltpunktvisning av forskjeller mellom L_35 og L_50. Datasett med henholdsvis 35 og 50% areal definert som kjent område. Tabellen inneholder absoluttavvik i grunnriss (XY) og høyde (Z)

		L_35		L_50		
	L_35	Absolutt XY (m)	Absolutt Z (m)	L_50	Absolutt XY (m)	Absolutt Z (m)
GCP02	UCP	0,010	0,048	KCP	0,004	0,046
GCP03	UCP	0,012	0,001	KCP	0,003	0,003
GCP41	UCP	0,016	0,106	KCP	0,010	0,147
GCP52	UCP	0,012	0,021	KCP	0,007	0,035
GCP53	UCP	0,007	0,040	KCP	0,002	0,045
GCP54	UCP	0,009	0,060	KCP	0,012	0,060
GCP59	UCP	0,020	0,091	KCP	0,016	0,093
GCP63	UCP	0,020	0,001	KCP	0,011	0,006
GCP67	UCP	0,016	0,137	KCP	0,017	0,110
GCP68	UCP	0,022	0,041	KCP	0,016	0,008
GCP72	UCP	0,021	0,122	KCP	0,016	0,065
GCP73	UCP	0,006	0,065	KCP	0,004	0,000
GCP74	UCP	0,006	0,052	KCP	0,006	0,009
GCP82	UCP	0,007	0,132	KCP	0,013	0,093
Gjennomsnitt		0,013	0,065		0,010	0,051
Min		0,006	0,001		0,002	0,000
Maks		0,022	0,137		0,017	0,147



Graf 19: Sammenligning av datasettene L_35 og L_50. 14 enkeltpunkter.

I Graf 19 ser vi sammenhengen mellom de utvalgte 14 punktene. De er kategorisert pr. punkt og hvert punkt har en søyle i grunnriss og høyde fra hvert datasett. Det vi ser her er at mange av de høyeste avvikene, er høye avvik i begge datasettene. Noe som bekrefter at dette kan komme av ulik GCP plassering og gir ingen begrunnelse for hvorfor trenden ikke fortsetter fra L_35 til L50 som den gjør fra L_15 til L35.

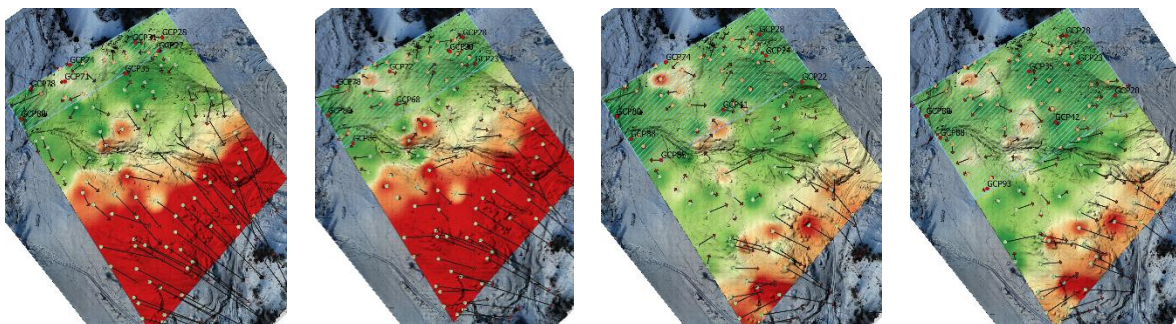
Test 1 inneholder to retninger og under vil resultatene for den stående retningen belyses (Figur 31, Figur 27).

Test1_S_15

Test1_S_25

Test1_S_35

Test1_S_50



Figur 31: Kartvisning av test 1, Stående retning. Arealfordeling av kjent område, fra venstre: 15, 25, 35 og 50% av det totale området.

Figur 31 beskriver de stående datasettene og vi ser i avvikskartet at det røde feltet, stort avvik, reduseres når arealet av kjent område i testen øker. Da reduseres avstanden til nærmeste GCP og hypotesen bekreftes ved at avviket øker ved lengre avstand til GCP'er. Denne trenden bekreftes også i annen litteratur (Tonkin and Midgley, 2016).

Den visuelle kontrollen av datasettene underbygges i Tabell 17. Her ser vi en tydelig trend fra S_15 til S_35. Trenden stopper i S_35 da avvikene i S_50 går opp på de fleste verdiene. Her jevner resultatene seg ut og avviket for test S_50 generelt sett stabiliserer seg, eller blir dårligere. Dette ser vi også resultatet av i kartene over.

Tabell 17:

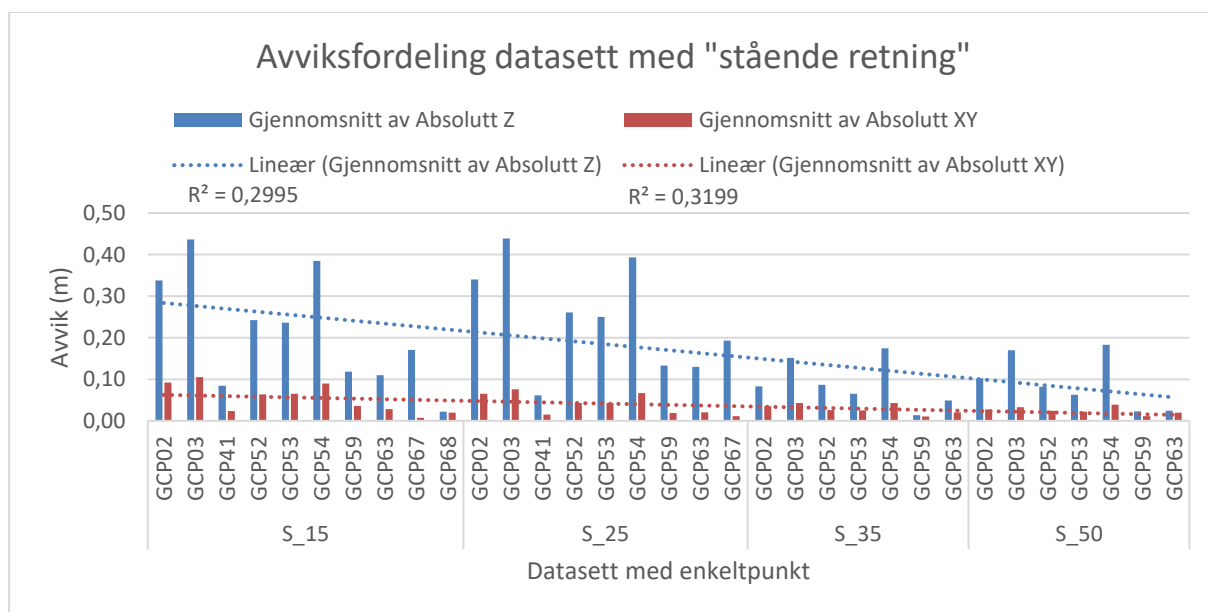
Gjennomsnitt absoluttavvik for stående datasett fordelt på grunnriss, XY og høyde, Z. Avviket kategorisert for punkttype, GCP, Kjent område CP og Ukjent område CP. RMSE beskriver til slutt datasettets helhet.

Stående datasett								
	Gjennomsnitt: Absolutt XY Avvik				Gjennomsnitt: Absolutt Z Avvik			
Datasett	S_15	S_25	S_35	S_50	S_15	S_25	S_35	S_50
GCP	0,006	0,006	0,005	0,005	0,028	0,027	0,018	0,021
KCP	0,012	0,012	0,009	0,011	0,053	0,038	0,043	0,044
UCP	0,046	0,034	0,023	0,026	0,196	0,234	0,093	0,101
RMS	0,050	0,035	0,022	0,024	0,230	0,235	0,094	0,105

Vi kan tolke dette på mange plan. Resultatene i tabellen ovenfor viser overordnet trend. Trenden bekrefter hypotesen og stemmer overens med de liggende datasettene. Tallene er gjennomsnittsverdier og ser på helheten. Når vi stoler på grunnlaget kan vi gjøre dette. Det viser allikevel ikke enkeltresultater i hver av testene. Enkeltresultater er også påvirket av en rekke parameter og defineres av flere momenter med usikkerhet.

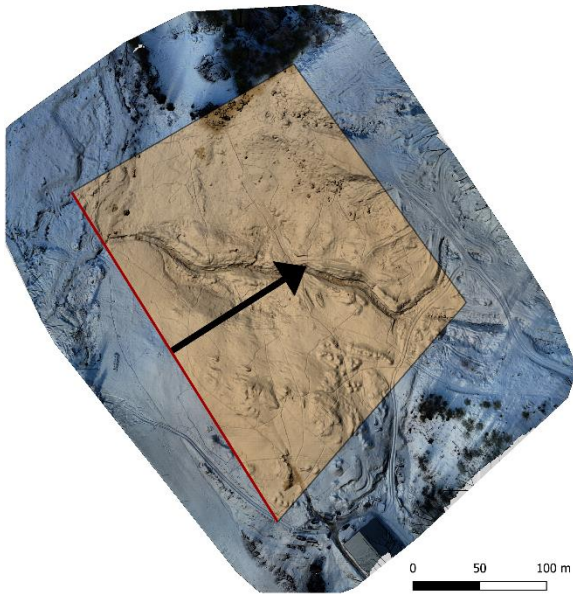
I Graf 20 ser vi på alle verdiene som definerer gjennomsnittsverdiene for CP i ukjent område, Tabell 17. Z avvikene er tydelig større enn avviket i grunnriss, men ser vi på trendlinjene til de to verdiene viser disse den samme trenden som de andre tabellene.

Internt i hvert av datasettene er det store differanser. Fra Figur 31 ovenfor ser vi at de største høydeavvikene ser ut til å være ytterst i datasettene.

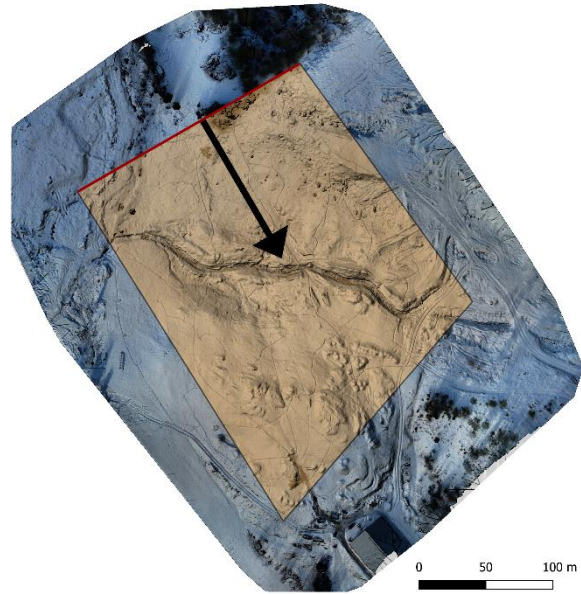


Graf 20: Avvik for enkeltpunkter i Ukjent område. Lineær trendlinje, en tilpasset rett linje til dataserien. Viser at avvikene faller jevnt ved økning av areal i kjent område. Den lineære trenden er beste tilpasning til hele datasettet (graf). Grafen ville stemt helt til den lineære trenden hvis $R^2=1$. R verdien beskriver hvor godt den lineære trenden er tilpasset grafen. Trendlinjen beskriver ikke godt alle dataene her, men tydeliggjør det vi ser naturlig at de største søylene reduseres fra venstre til høyre.

Nedenfor (Graf 21, Graf 22, Graf 23 og Graf 24) ser vi på sammenligningene mellom de to dataseriene, liggende og stående. Alle innmålte punkter (GCP, KCP og UCP) har en avstandsbetingelse, som i denne testen defineres å være fra ytterpunktet i kjent område og ut i datasettet til slutten. Avstanden er definert ulikt for liggende og stående datasett (Figur 32 og Figur 33). Avstanden forteller allikevel noe om forholdene mellom det kjente området og hva som skjer med avviket ut i datasettet.

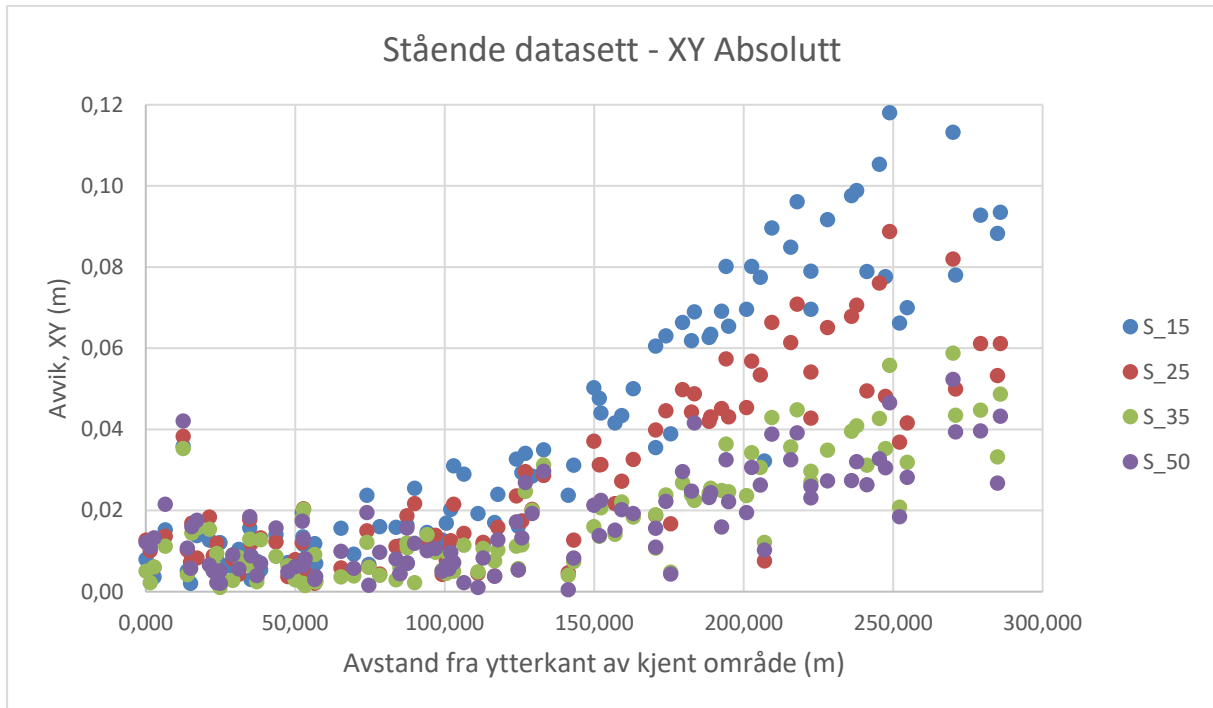


Figur 32: Illustrerer hvordan avstanden er beregnet for de liggende datasettene.

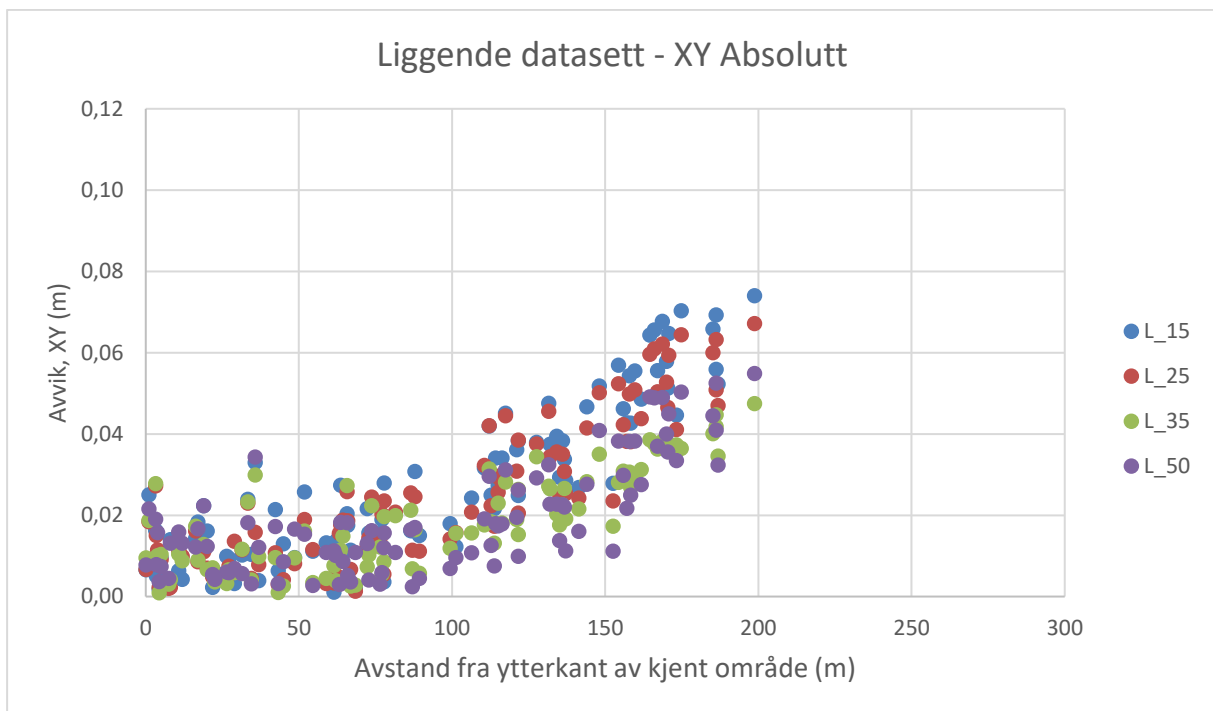


Figur 33: Illustrerer hvordan avstanden er beregnet for de stående datasettene.

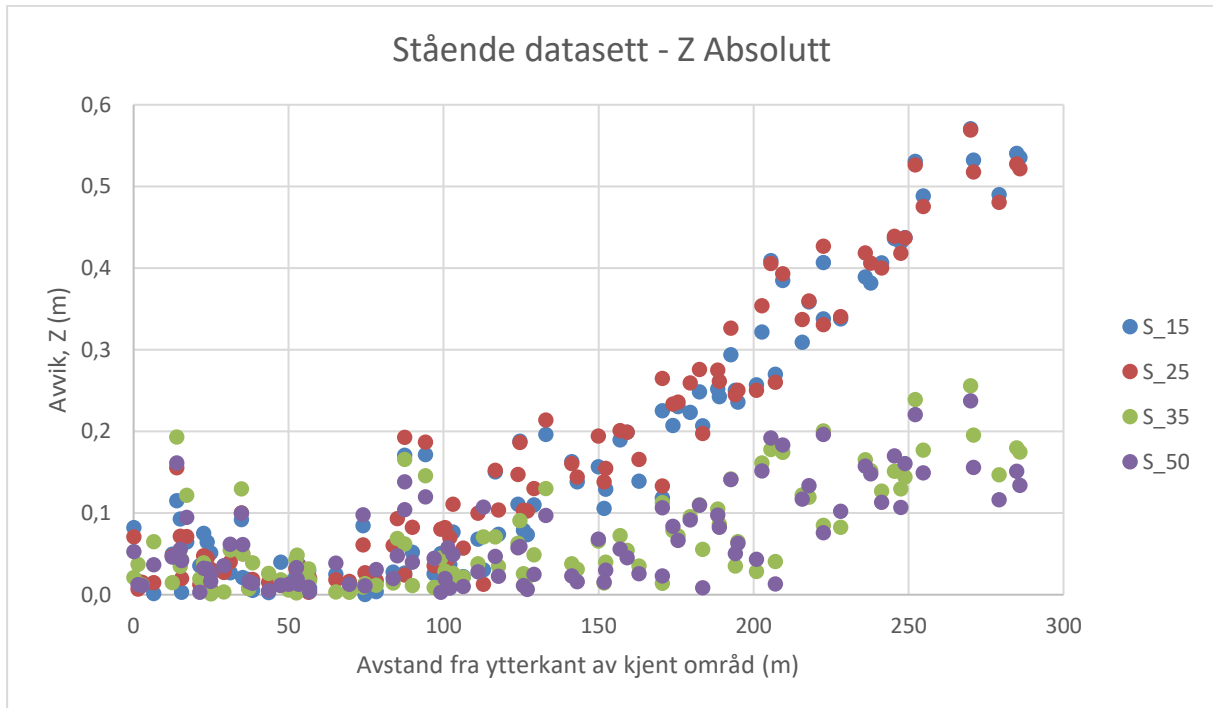
I Graf 21 og Graf 22 ser vi at hypotesen bekreftes i både liggende og stående test. Vi ser tydelig at avviket øker jo lengre bort fra kjent område og da GCP'ene punktene er. Avviket til det stående datasettet ser ut til å ha en litt større spredning mellom datasettene enn det liggende datasettet. Avviksnivået i slutten av det liggende datasettet, opptil 200 meter ligger på omtrent samme nivå som det stående datasettet på lik avstand. På samme avstand har 2 av de stående datasettene noen lavere verdier.



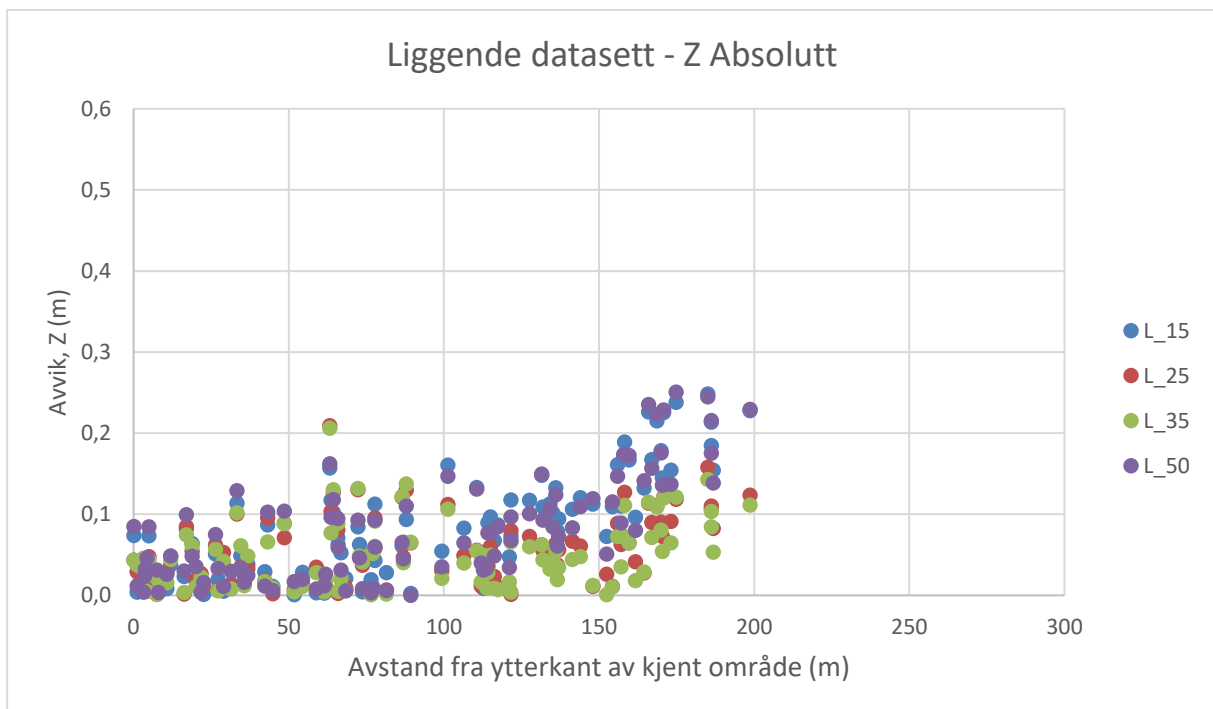
Graf 21: Absoluttavvik grunnriss for stående datasett.



Graf 22: Absoluttavvik grunnriss for liggende datasett.



Graf 23: Absoluttavvik høyde for stående datasett.

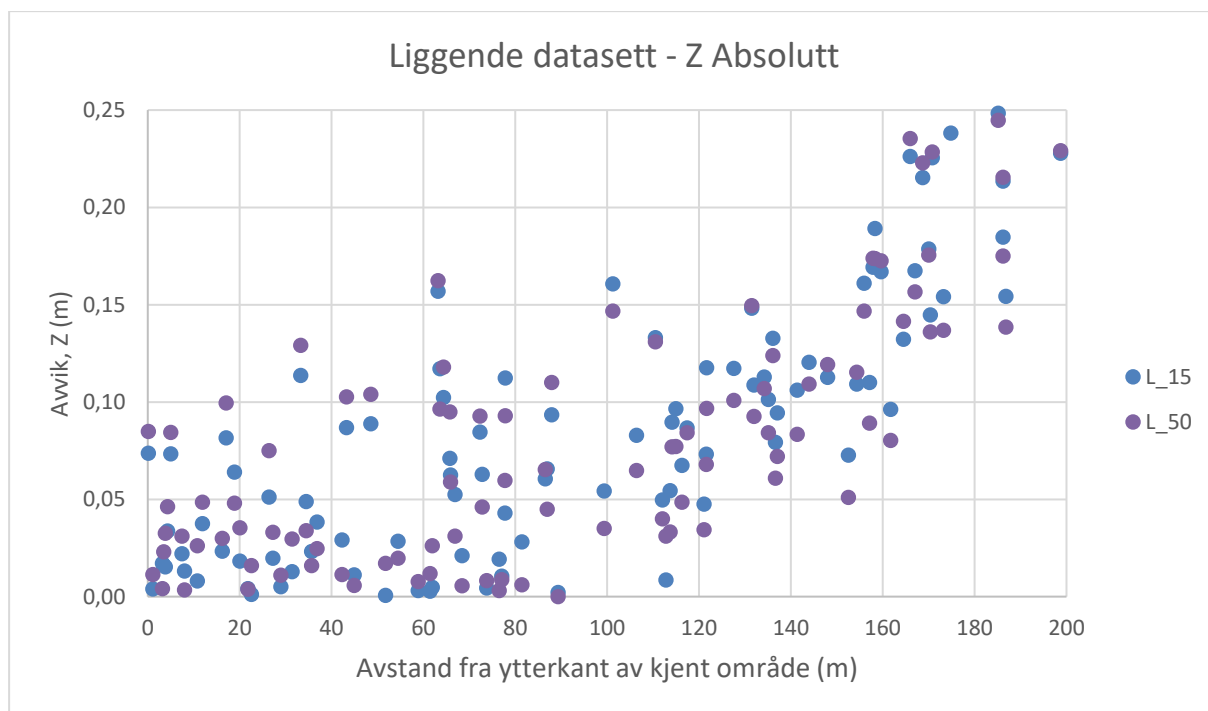


Graf 24: Absoluttavvik for liggende datasett.

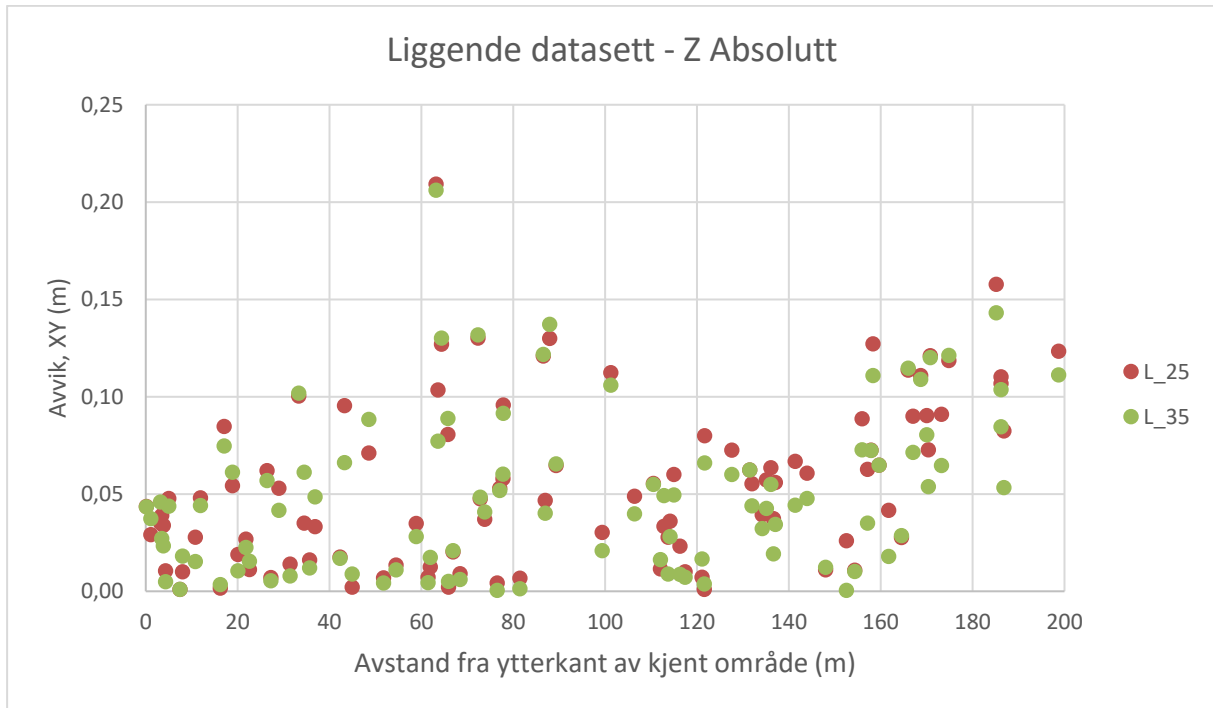
Graf 23 og Graf 24 over ser på Z avviket til de to retningene. For de stående datasettene er det store visuelle likheter mellom to og to av datasettene. S_15 og S_25 har lik samling og kurve. Det samme har S_35 og S_50.

Liggende datasett har betydelig mindre avvik og datasettet er kortere. Graf 24 ovenfor klarer dermed ikke å vise forskjellen eller likheten i datasettene. Likheten mellom de 4 datasettene er ulik for det stående og liggende resultatet. Likhetene ser vi mellom datasettene L_15 og L_50 og datasettene L_25, L_35.

Nedenfor er de samme verdiene som i Graf 24 over presentert med annen skala. Graf 25 viser likheten mellom L_15 og L_50 og Graf 26 viser likheten mellom L_25 og L_35.

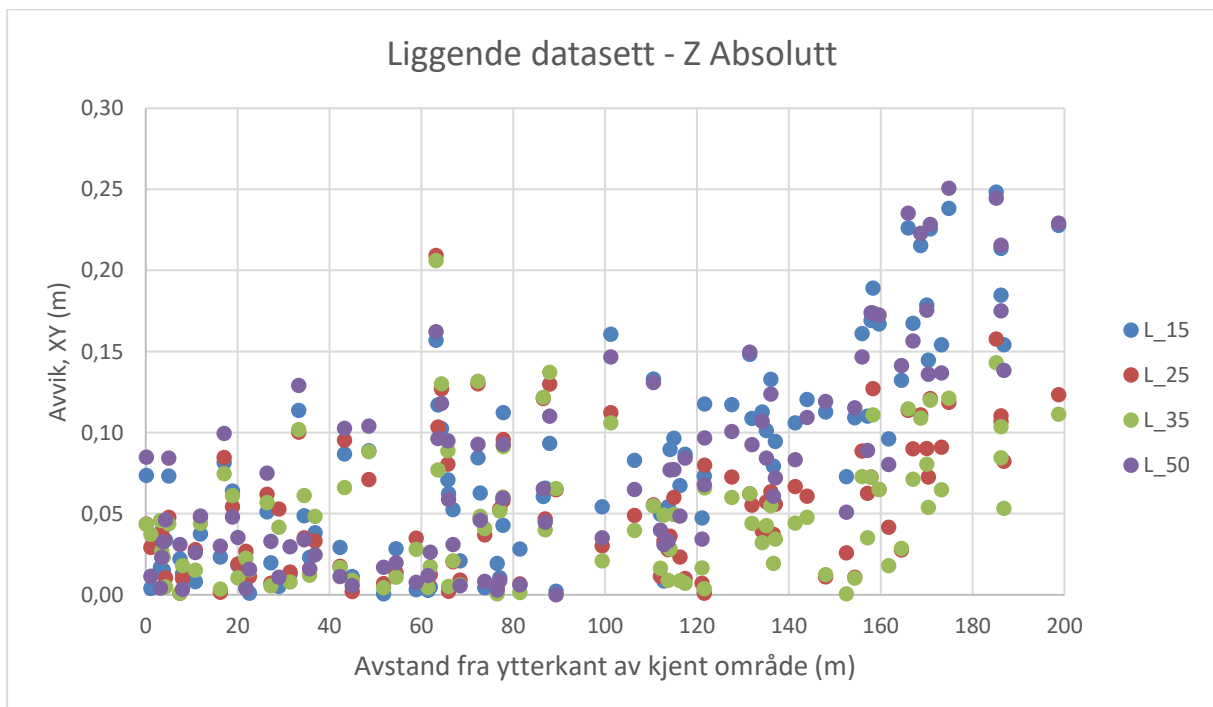


Graf 25: Sammenligning av 2 liggende datasett. Absolutt høydeavvik



Graf 26: Absolutt høydeavvik, 2 av de liggende datasettene.

Samlet i Graf 27 under, klarer vi ikke se de samme likhetene, men vi ser at L_25 og L_35 har de laveste avvikene langt ut i datasettet.



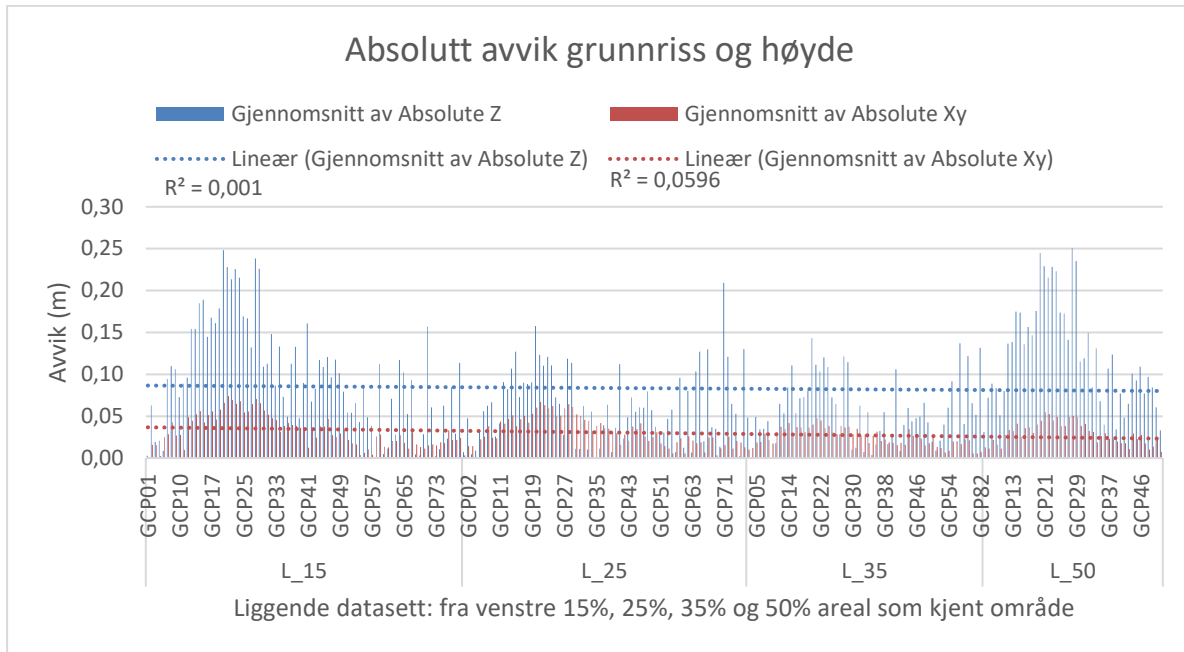
Graf 27: Absolutt høydeavvik, liggende datasett.

Testen belyser likheter mellom liggende og stående datasett. Den bekrefter vår hypotese, samtidig som det er elementer med usikkerhet. For å oppnå resultater i de neste testene trengs det et godt grunnlag. For å gjøre dette valget etableres utvalgsriterier.

- Primært ikke laveste eller høyeste avviksverdi
- Prosentfordeling viktigheten i utvalgt datasett: 60% areal, 40% retning
eks. Hvis vi har to datasett i et utvalg hvor det ene har lavere avviksverdier med mindre areal tilgjengelig, vektlegges dette mer enn at den andre retningen kan belyse noe annet eller har andre egenskaper.
- Datasett bør gi helhetlige resultater
- Z avviket veier mer enn XY

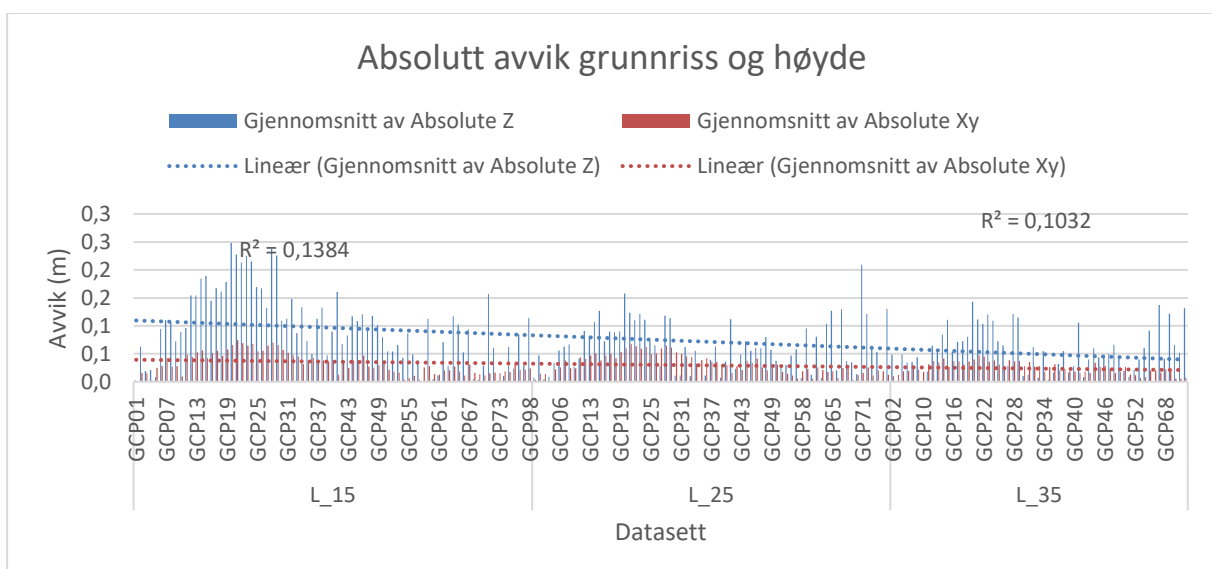
Laveste og høyeste avviksverdi betyr i begge retningene 15% og 50%. Disse skiller seg ut i flere av resultats verdier som lavest og høyest. Dersom det ikke hadde vært likt mellom de to retningene ville vi hatt flere datasett å velge i. Det står nå igjen 2 datasett i begge retninger. 25% og 35% areal i kjent området.

Nedenfor presenteres resultatene for avviksfordelingen i XY og Z for de liggende datasettene. På lik linje som dette presenteres i Graf 20 for de stående datasettene. Graf 28 for de liggende datasettene har lavere avviksnivå, noe som har en sammenheng med avstanden ut i ukjent område i de liggende datasettene er kortere enn de stående. Trendlinjen holdes relativt konstant, med en liten negativ retning fra L_15 til L_50.



Graf 28: Absolutt avvik grunnriss og høyde for liggende datasett. Den lineære trenden er beste tilpasning til hele datasettet (graf). Grafen ville stemt helt til den lineære trenden hvis R^2 . R verdien beskriver hvor godt den lineære trenden er tilpasset grafen. I tilfellet over er trendlinjen dårlig tilpasset grafens innhold. Dette er riktig, da trenden i datasettet ikke har en jevn reduksjon. Trendlinjen påpeker dette godt ved å ha lite variasjon og liten helning. Mellom de 4 datasettene i grafen er det altså ingen tydelig trend,

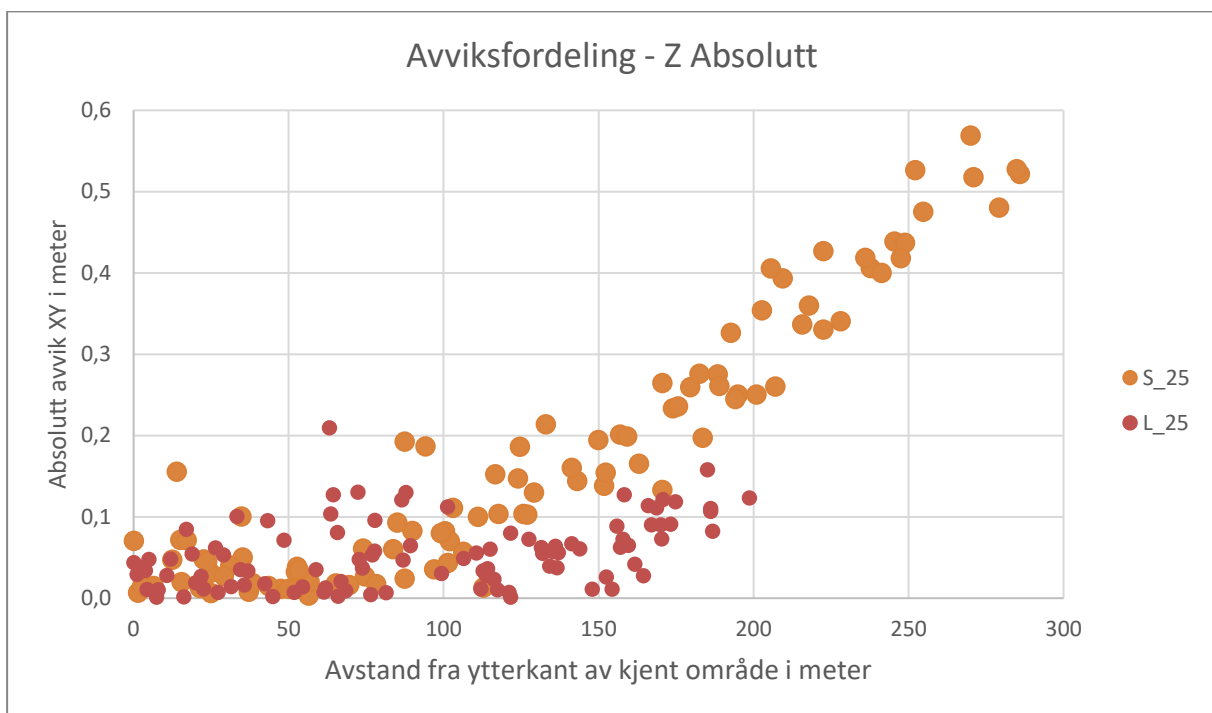
I Graf 29 under er L_50 tatt ut. For vi har tidligere sett at denne stagnerer og blir dårligere enn trendforholdet mellom L_15 til L_35 beskriver. Her ser vi en tydeligere trend som også bekrefter hypotesen.



Graf 29: Avvik for enkeltpunkter i 3 av de liggende datasettene som viser en trend i form av avviksreduksjon ved økt størrelse på kjent område. Den lineære trenden er beste tilpasning til hele datasettet (graf). Grafen ville stemt helt til den lineære trenden hvis R^2 . R verdien beskriver hvor godt den lineære trenden er tilpasset grafen. Trendlinjen stemmer ikke veldig godt, men tydeliggjør avviksreduksjonen i hvert av datasettene som vi ser fra venstre til høyre i grafen.

Siden vi ikke har helt kontroll på hva som skjer i L_50 kan det være fornuftig å se på L_35 som øverste verdi for den belyste trenden. Dette gjøres som et utvalg og ikke helhetlig analyse. Dette betyr at vi står igjen med L_25, S_25 og S_35.

For å velge ut datasettet til videre behandling gir kriterielisten oss en vektning på areal. Arealet er viktigere enn retningsvalget og siden vi nå står igjen med 2 datasett på 25% areal og ett på 35% brukes 25% videre. Neste kriteriet vekter Z avviket mer enn XY fordi Z avviket ofte beskrives som et dårligere produkt enn XY.



Graf 30: Avviksfordeling av Z avvik for datasett fra begge retninger med 25% kjent areal.

I Graf 30 ovenfor ser vi tydelig hvilket av datasettene som gir lavest avvik i Z, L_25. L_25 begrenser noe avstanden vi får kontrollert, men totalt sett ser det ut til at trenden ivaretas selv på korte avstander og det er grunn til å tro at dette datasettet kan benyttes videre for å fremvise nødvendige resultater i påfølgende tester.

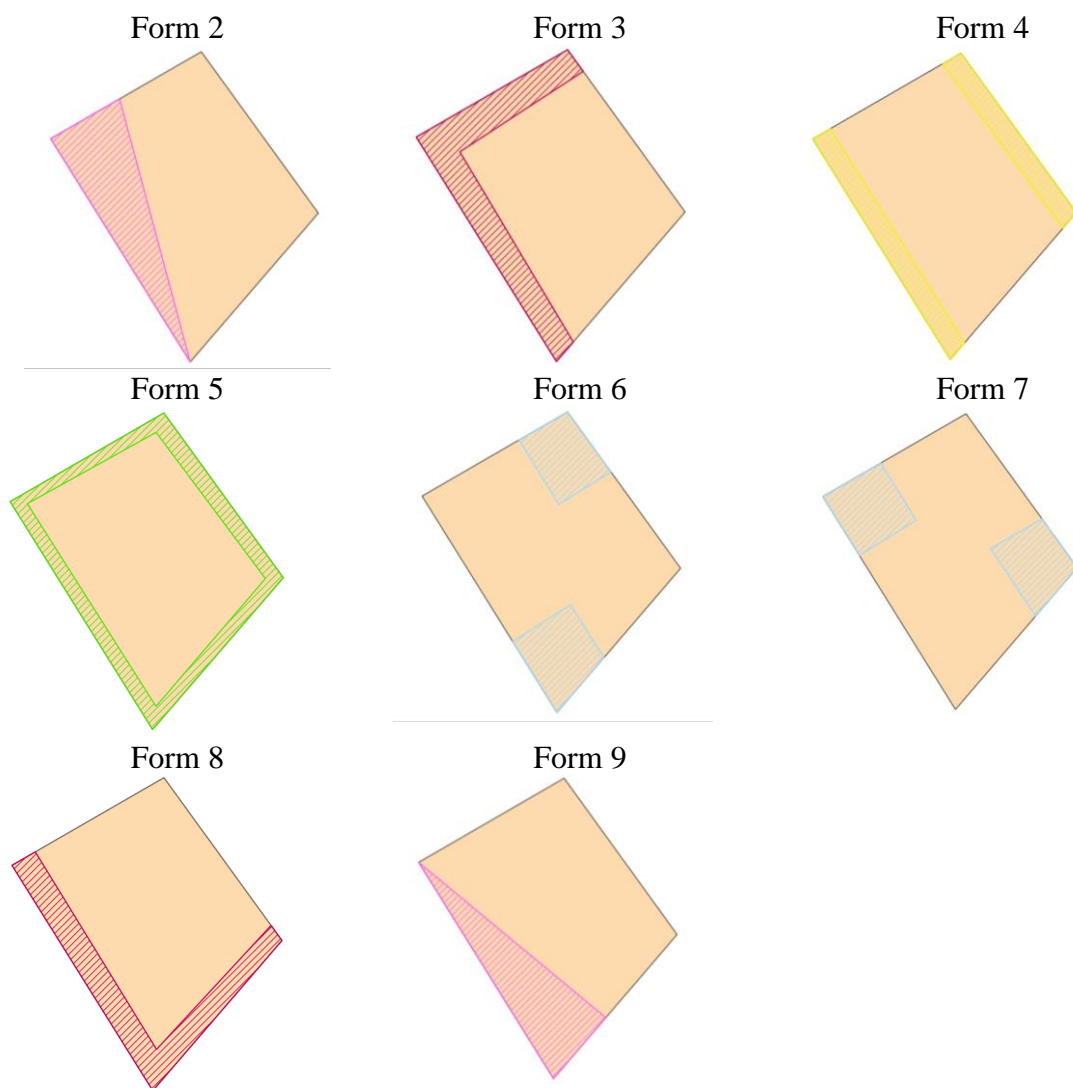
3.3 Test 2 – Form

Test 2 tar for seg hvordan formen til det kjente område spiller inn på resultatet. For å teste dette ble det i første omgang konstruert 8 ulike former (Figur 34) basert på inngangsverdier fra test 1. 25% areal og med hovedtyngden på den liggende siden av AOI. Av disse 8 formene er det 5 unike hvor tre av disse speilvendes. Fra de 8 formene velges det ut en form som testes videre i 10 varianter av formen. Tabell 18 viser testens innhold.

Tabell 18:

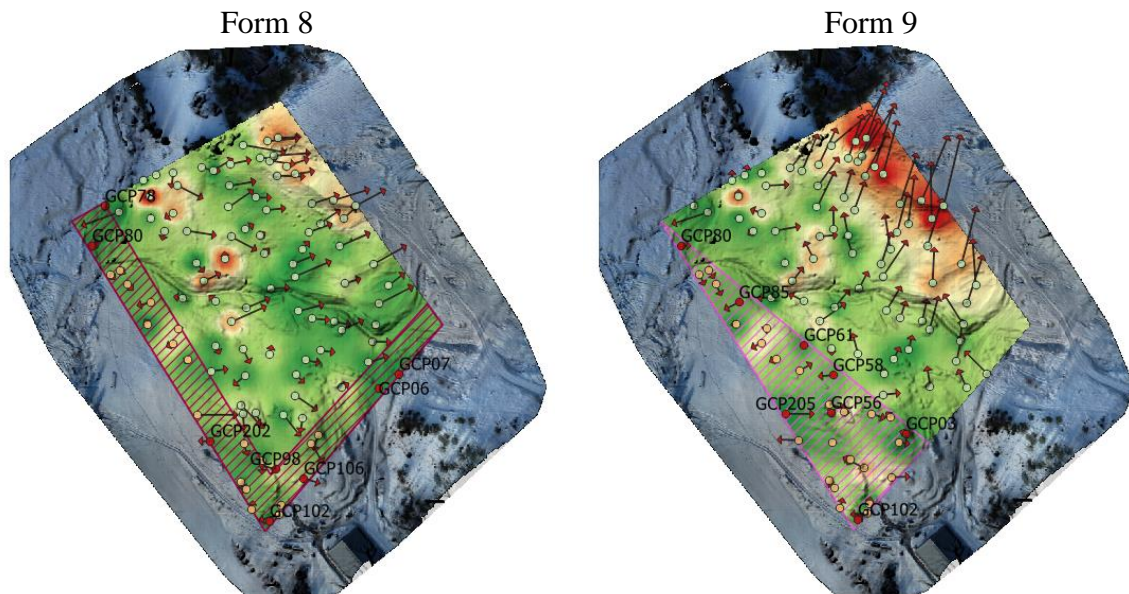
Navngivning og informasjon om oppbygningen og resultater i test 2.

Test	Type form	Navn	Fordeling av GCP/KCP/UCP		
FORM	Trekant	Form 2	KCP:18	UCP:74	GCP:8
	Vinkel	Form 3	KCP:27	UCP:65	GCP:8
	2 sider	Form 4	KCP:15	UCP:77	GCP:8
	4 sidde (ramme)	Form 5	KCP:16	UCP:76	GCP:8
	Diagonal	Form 6	KCP:24	UCP:68	GCP:8
	Diagonal (speilvendt)	Form 7	KCP:17	UCP:75	GCP:8
	Vinkel Speilvendt	Form 8	KCP:18	UCP:74	GCP:8
	Trekant speilvendt	Form 9	KCP:23	UCP:69	GCP:8
Vinkel (retning)	Vinkel (speilvendt)	Form 10	KCP:20	UCP:72	GCP:8
	Vinkel (speilvendt)	Form 11	KCP:16	UCP:76	GCP:8
Vinkel (varianter)	Vinkel (1 smal side)	F_10_X	KCP:20	UCP:72	GCP:8
	Vinkel (1 smal side)	F_10_Y	KCP:21	UCP:71	GCP:8
	Vinkel (samling)	F_10_Corners	KCP: n/a	UCP:92	GCP:8
	Vinkel (samling)	F_10_Sides	KCP: n/a	UCP:92	GCP:8
Vinkel (areal)	Vinkel	F_10_15	KCP:7	UCP:85	GCP:8
	Vinkel	F_10_25	KCP:20	UCP:72	GCP:8
	Vinkel	F_10_35	KCP:30	UCP:62	GCP:8
	Vinkel	F_10_50	KCP:43	UCP:49	GCP:8
Liggende	1 side	Form 1	KCP:16	UCP:76	GCP:8



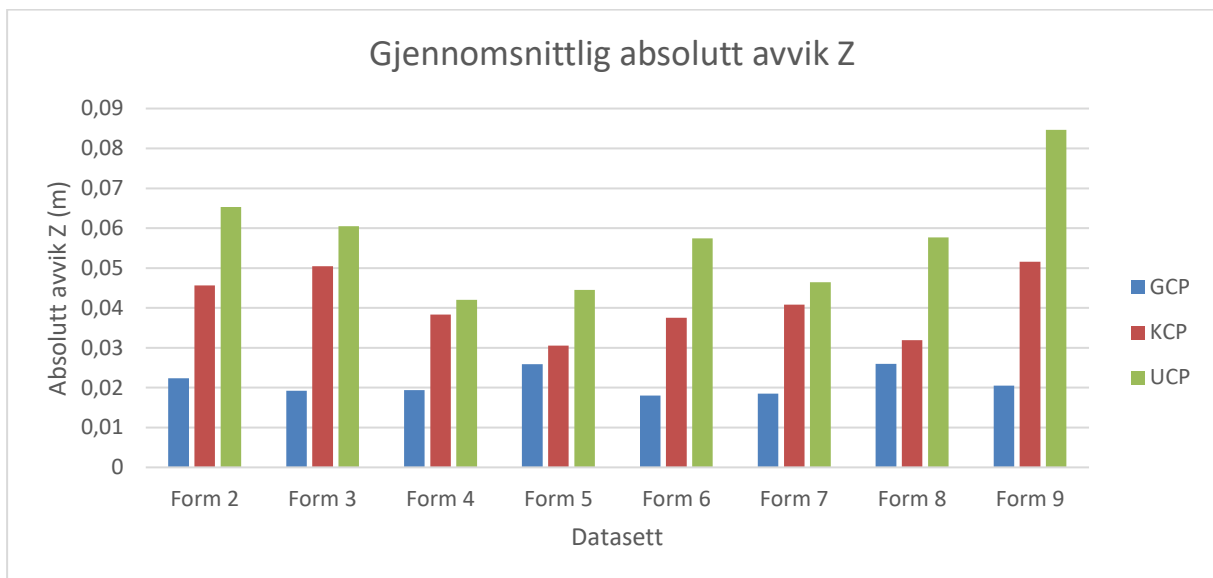
Figur 34: Presentasjon av testens 8 første ulike former.

For noen datasett slik som for form 8 og form 9 i Figur 35, er det enkelt å se resultatforskjellene ved å inspisere heatmap fra begge datasettene. Vi ser at det absolutte avviket for høyden er mye større i det nord-østre hjørnet av modellen i form 9, enn det form 8 viser. Vektorpilene er større og peker i ulike retninger i de sammenlignede formene.



Figur 35: Resultatpresentasjon for form 8 og 9. Heatmap generert fra Qgis med høydeavvik i farge og grunnrissavvik med retning i piler

For andre datasett var det ikke like lett å se en klar forskjell i heatmappene. Graf 31 viser dette bedre ved å presentere gjennomsnittlig absolutt høydeavvik for GCP, KCP og UCP.

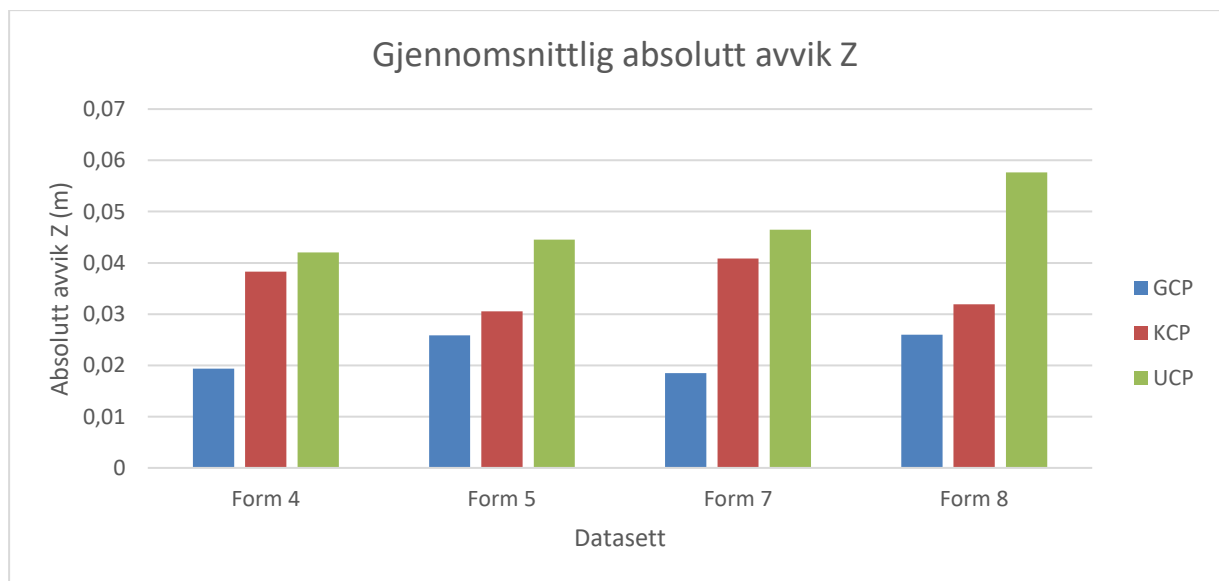


Graf 31: Gjennomsnittlig absolutt avvik for høyden til de 8 første datasettene som ble testet.

Graf 31 deler opp gjennomsnittlig absolutt høydeavvik inn i kategoriene GCP, KCP og UCP. Her kan det se ut som om form 4 og form 5 kommer godt ut sammenlignet med de andre.

Form 4 har et av de laveste GCP-avvikene og jevne UCP og KCP verdier, mens form 5 gir en god bestemmelse mellom GCP og KCP-avvikene og oppnår et av de laveste avvikene. Form 7 gjør det og bra med et lavt avvik for GCP'ene og kun et litt høyere avvik i UCP og KCP enn form 4. Form 8 har de samme egenskapene som form 5, men med et noe høyere avvik (1,5 cm) for ukjent område CP.

Graf 32 setter disse 4 formene opp mot hverandre for sammenligning.



Graf 32: Gjennomsnittlig absolutt avvik på høyden til de fire datasettene som viste gode resultater.

Tabell 19:

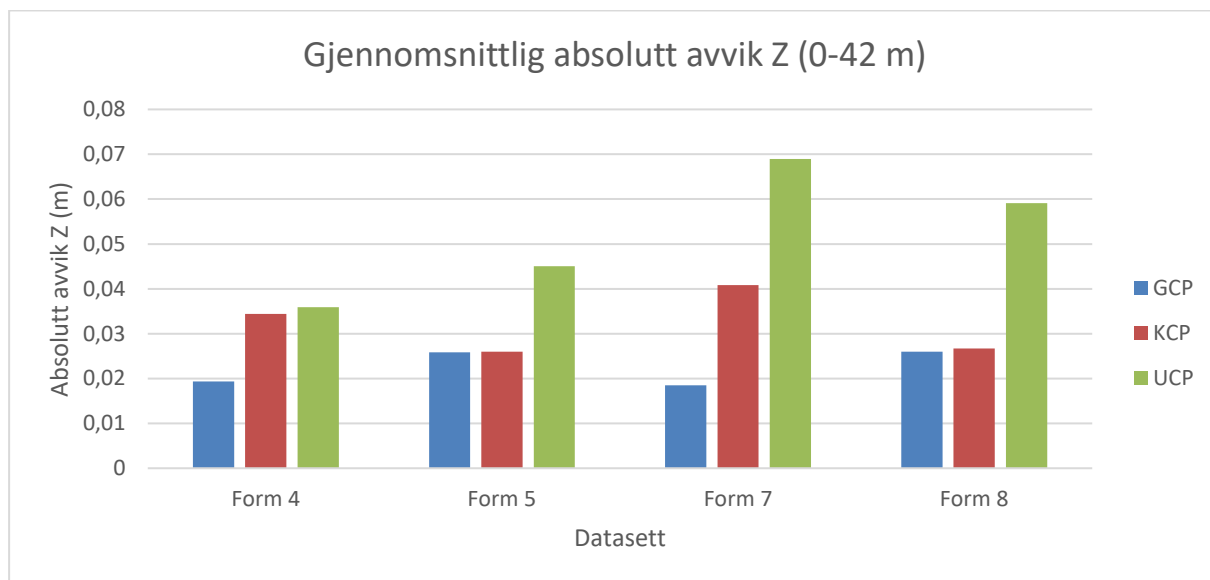
Avstand fra CP til GCP

Gjennomsnittsavstand til nærmeste GCP	
Datsett	Avstand
Form 4	43 m
Form 5	45 m
Form 7	55 m
Form 8	72 m

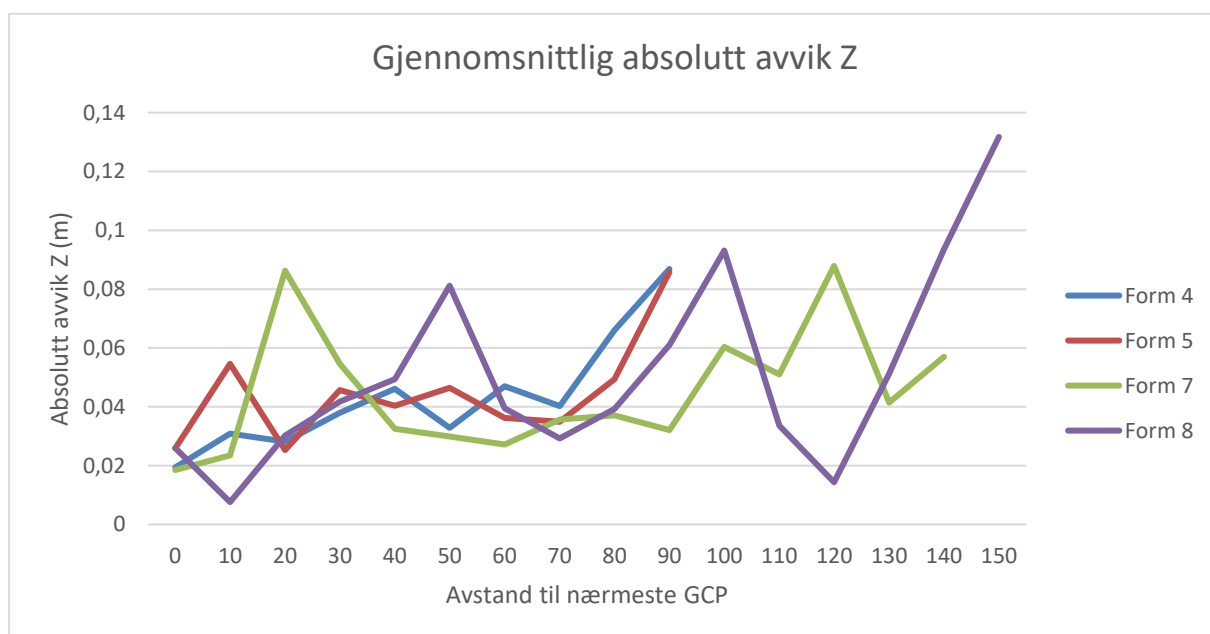
En ser her at det er ganske jevnt mellom de ulike datasettene, men at form 8 har ett litt større avvik på kontrollpunktene i det ukjente området enn de andre datasettene. Da formene her er forskjellige og da også avstandene til nærmeste GCP kan variere noe er det fornuftig å se dette opp mot en felles maksimal avstand. Tabell 19 viser gjennomsnittsavstanden fra kontrollpunktene til nærmeste

GCP. Her kan en se at det er omtrent 30 meter forskjell mellom noen av de ulike datasettene.

Graf 33 viser det gjennomsnittlige absolutte avviket på høyden når man kun ser på punkter som har en avstand til nærmeste GCP mindre enn 42 meter. Alle datasettene utenom form 7 har en positiv endring ved at avvikene blir mindre.



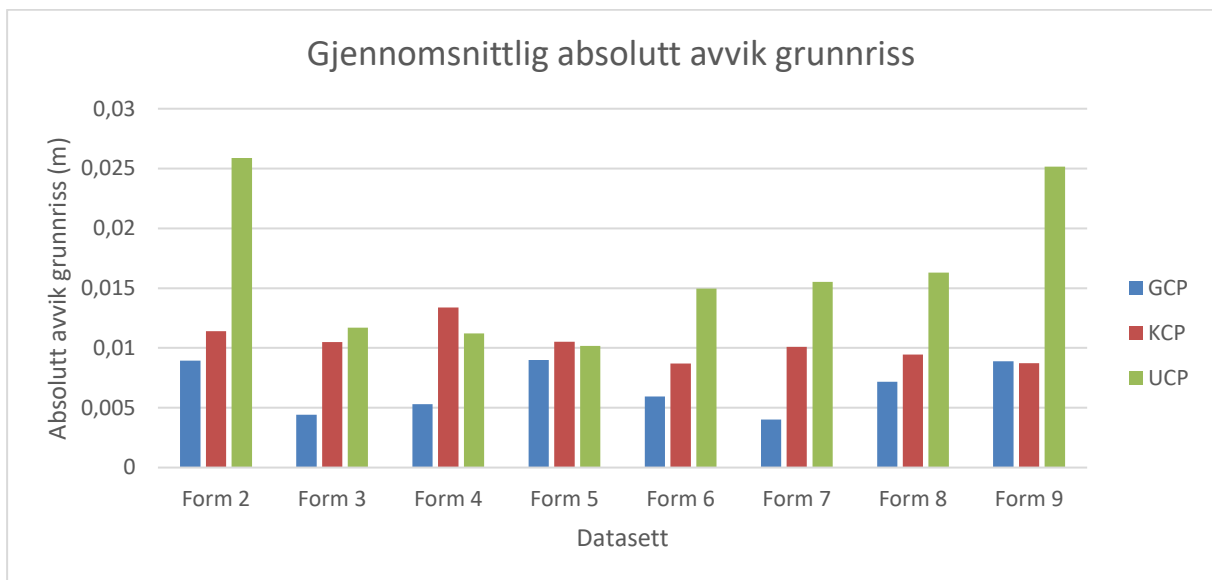
Graf 33: Gjennomsnittlig absolutt avvik Z begrenset til en maksimal avstand fra nærmeste GCP til 42m.



Graf 34: Gjennomsnittlig absolutt avvik Z for de 4 datasettene som viste gode resultater i høydeavviket. Her er avvikene sortert på avstand til nærmeste GCP.

Om man ser på sammenhengen mellom det absolutte avviket for høydeverdien og avstanden til nærmeste GCP (Graf 34) er det vanskelig her å se noen klar trend. Det eneste datasettet som viser en sammenheng mellom avviket og avstand til nærmeste GCP er form 4 og form 5. Her ser en at når avstanden øker så øker også avviket. For de andre datasettene svinger avviket opp og ned over hele dataserien.

Ser man på alle de 8 formenes absolutte avvik i grunnriss (Graf 35) kan en se at form 4 og form 5 har et lavt avvik sammen med form 3 som har et tilsvarende lavt avvik for kontrollpunktene både i kjent og ukjent område. En ser og at form 6, form 7 og form 8 viser gode resultater selv om disse er litt dårligere enn de førstnevnte.



Graf 35: Gjennomsnittlig absolutt avvik i grunnriss for de 8 første datasettene som ble testet.

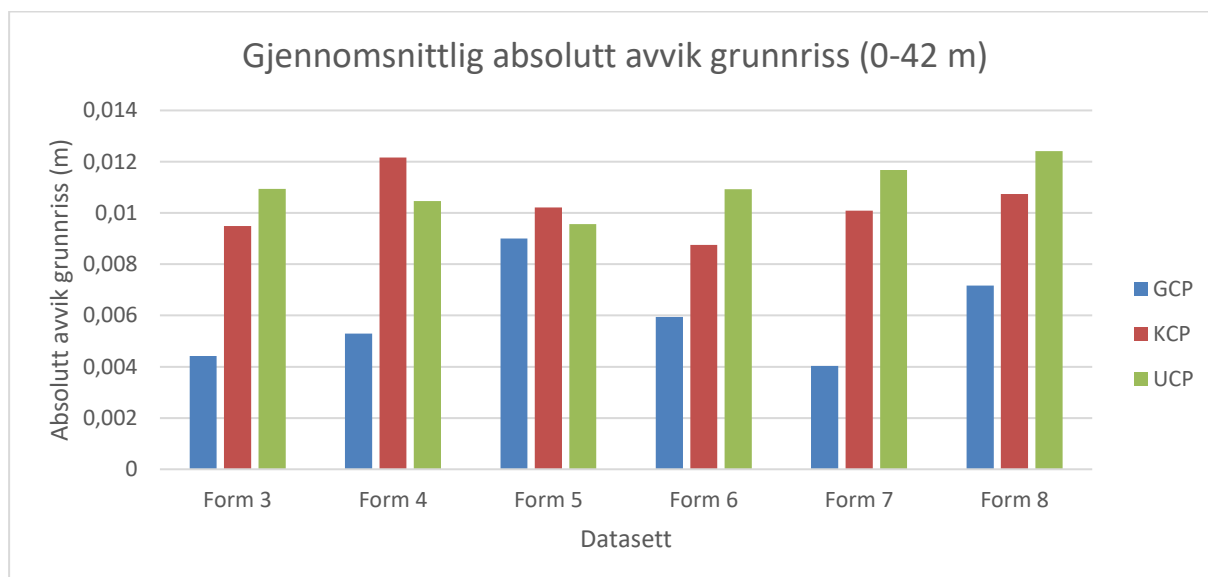
Tabell 20:

Gjennomsnittlig avstand til nærmeste GCP

Gjennomsnittsavstand til nærmeste GCP	
Datasekk	Avstand
Form 3	60 meter
Form 4	43 meter
Form 5	42 meter
Form 6	47 meter
Form 7	55 meter
Form 8	72 meter

Ved å se på de 6 formene som viste best resultat (form 3, form 4, form 5, form 6, form 7, form 8), ser en at det er avstandsforskjeller mellom disse formene. Det gjør at de formene hvor avstanden i snitt er mye kortere kan ha en gunstig fordel (Tabell 20).

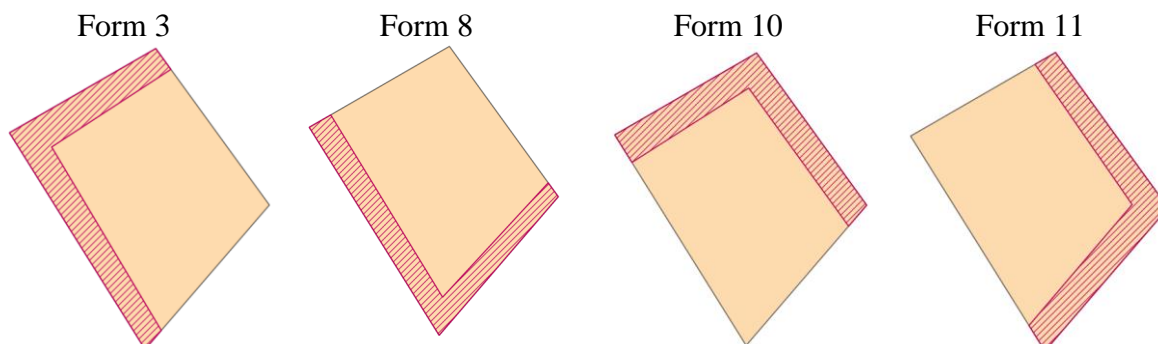
For at ingen av datasettene skal ha en urettferdig fordel ved å ha en mye korter gjennomsnittlig avstand til nærmeste GCP filtrerer vi dataene slik at vi kun sammenligner data opp til en avstand på 42 meter da dette er den kortest gjennomsnittlige avstanden i disse datasettene



Graf 36: Gjennomsnittlig absolutt avvik i grunnriss begrenset til en avstand på 42m fra nærmeste GCP.

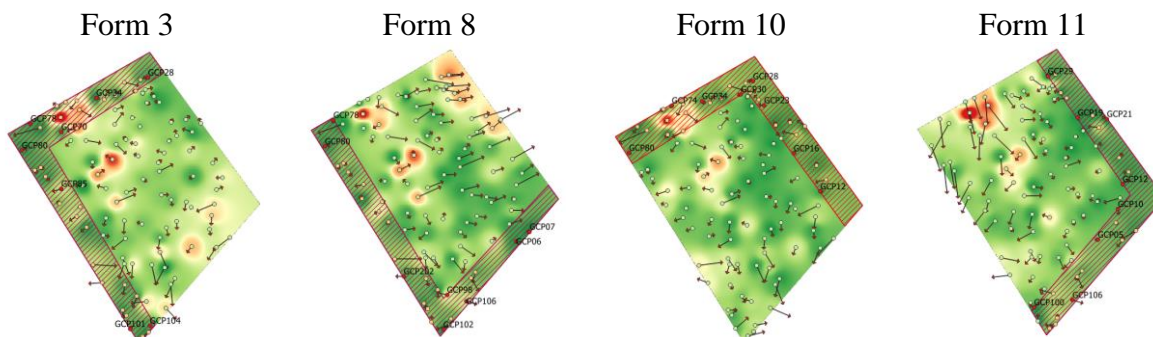
En ser i Graf 36 at både form 4 og form 5 viser gode resultater i grunnriss. Disse to formene viste og gode resultater i høyde (Graf 34), noe som tyder på at begge er gode former å bruke når en skal generere en terrengmodell ved hjelp av fotogrammetri. Begge disse formene har GCP'er plassert i alle datasettets hjørner, dette på grunn av formenes natur, noe som kommer litt i veien for vår problemstilling da vi ser for oss at vi har begrenset med tilgang til AOI. Vi ser at vi har to vinkelvarianter som gjør det godt i grunnriss (Form 3 og 8) og en vinkel (Form 8) som gjør det godt i høyde. Derfor ønsker vi å prøve ut vinkelformen ytterligere.

Da vi allerede hadde testet to varianter av denne allerede (form 3 og form 8) var det nok med å generere to nye datasett (form 10 og form 11)



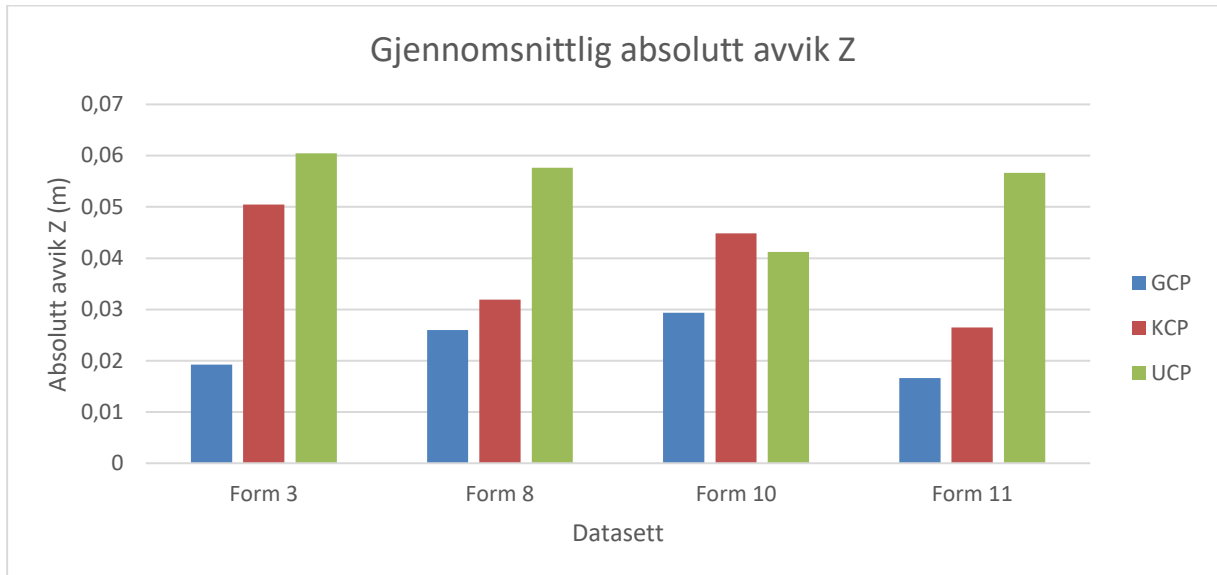
Figur 36: Figurpresentasjon for kontroll av valgt vinkelform. Formen beholdt og beregnet for alle 4 retninger på AOI.

Fra en visuell kontroll av dataene ved å se på heatmapmene kan en se at de fleste datasettene har ett avvik hos ett par punkter nord-vest i AOI, i Figur 37 er dette oppe til venstre. Det kan se ut som om form 10 er litt bedre enn de andre datasettene spesielt med tanke på det absolutte avviket for høyden da den interpolerte flaten for dette datasettet viser mye mer grønn farge og grønnfargen er dypere noe som indikerer ett lavere avvik (Figur 37).

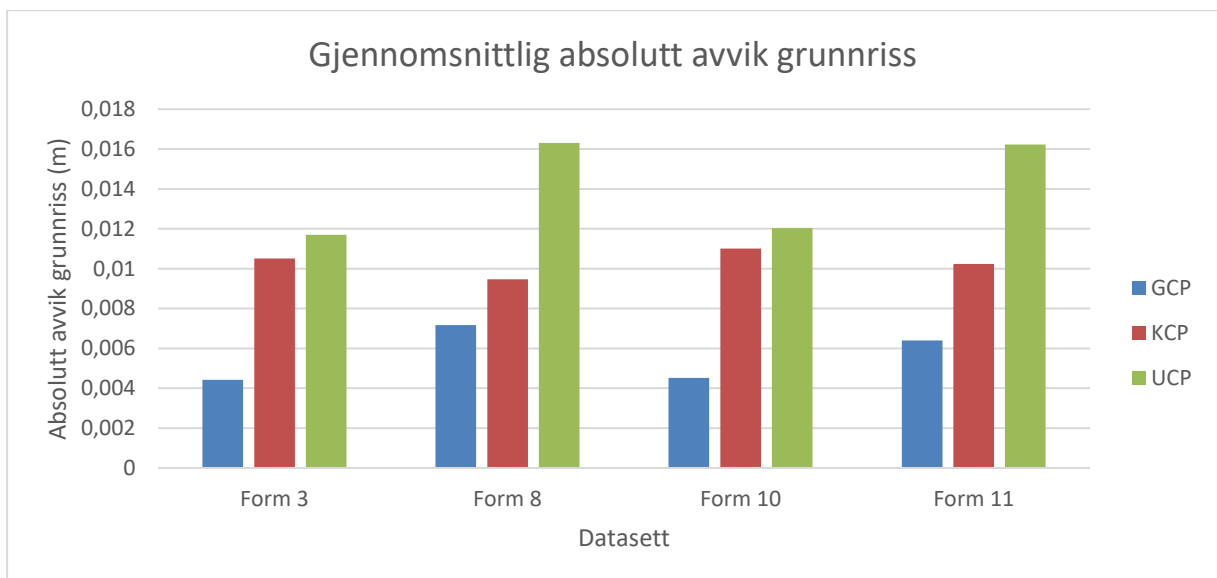


Figur 37: Kartpresentasjon i form av heatmap av resultatene for kontrollen av vinkelens form og retning

Ved å se på det gjennomsnittlige absolutte høydeavviket for disse fire datasettene bekreftes den visuelle kontrollen. En ser i Graf 37 at form 10 har et lavt avvik for kontrollpunktene som ligger i det ukjente området.



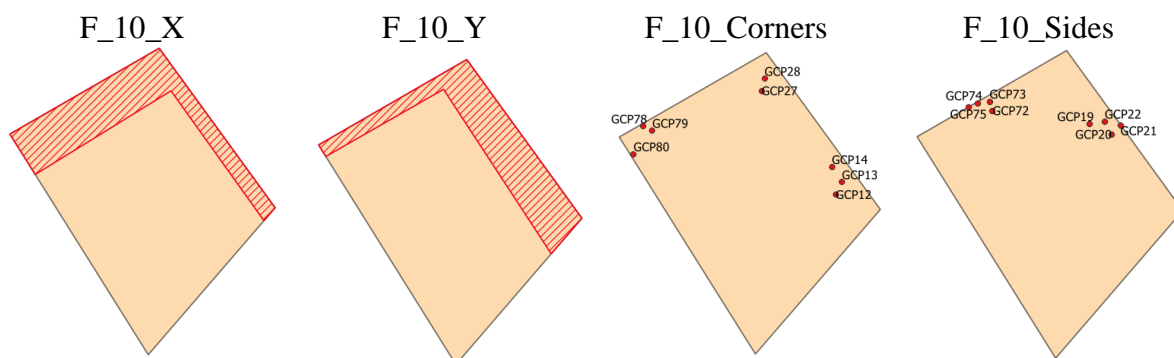
Graf 37: Gjennomsnittlig absolutt avvik i høyde.



Graf 38: Gjennomsnittlig absolutt avvik i grunnriss.

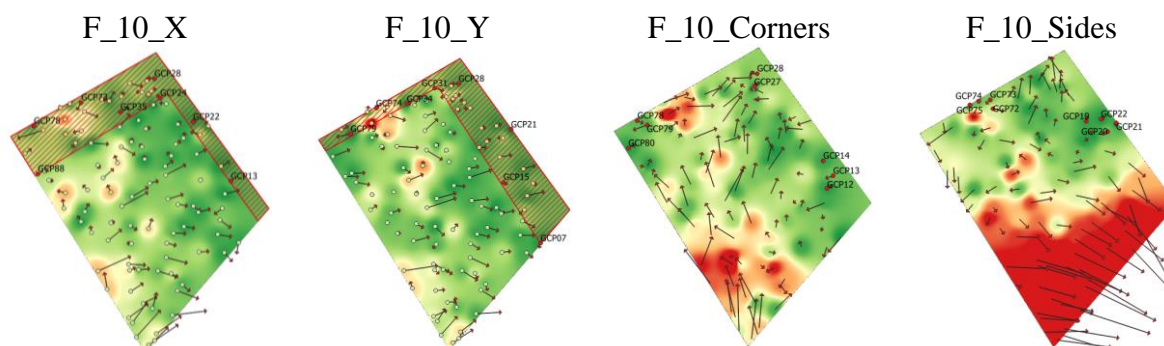
Ser man nærmere på disse fire datasettenes absolutte avvik i grunnriss (Graf 38) kan en se at det er form 3 som har det lavest absolutte avviket i det ukjente området. Form 10 er ikke langt unna og viser sammen med form 3 lave resultater i GCP'ene og CP i både kjent og ukjent område.

Da form 10 viste gode resultater i både grunnriss og høyde ble det besluttet å teste denne videre. Det ble laget fire nye varianter av denne formen. Tanken her var å se om det kun var selve formen som hadde betydning eller om GCP'enes utstrekning også hadde en påvirkning. To datasett ble testet hvor det var god utstrekning på en side av datasettet og en smal trakt langs siden. Det ble og testet to datasett hvor GCP'ene ble samlet. Dette kunne fortelle oss noe om det var kun formen eller om utstrekningen også spilte en rolle. Figur 38 under viser de fire variantene som ble testet.



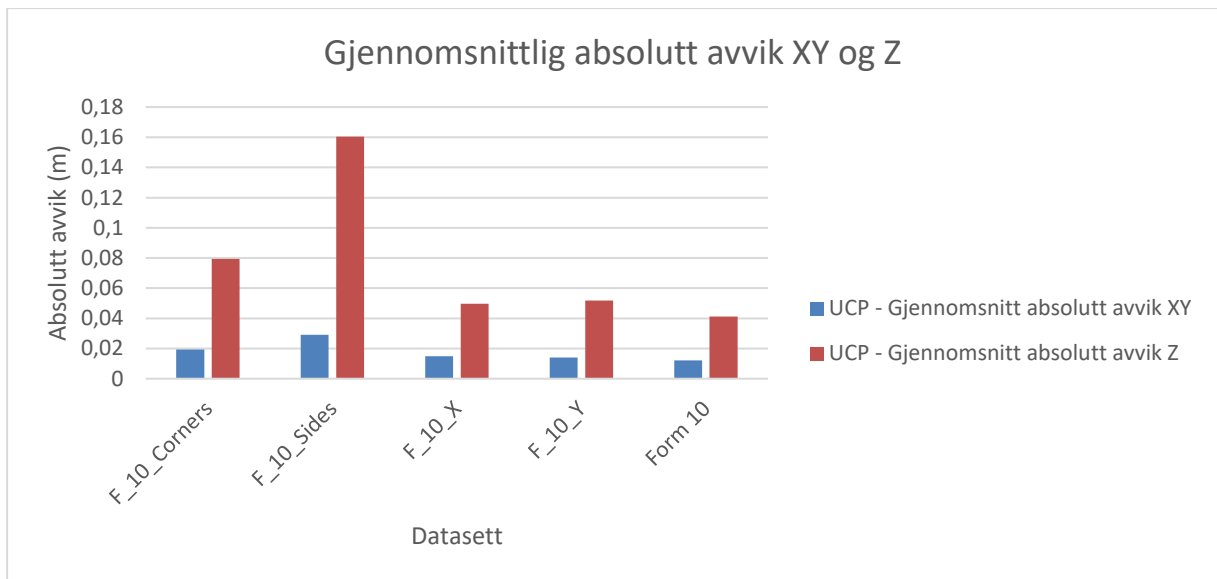
Figur 38: Figurpresentasjon for ulike vinkelform konfigurasjoner. Selve formen er beholdt, men GCP'enes utstrekning varierer.

Ved en enkel visuell kontroll av heatmappene (Figur 39) er det enkelt å se at det er to av datasettene som skiller seg ut ved at de har ett mye større avvik i absolutt avvik for høyden. Dette ser en ved at det er ett større område i kartet som er fargelagt med rødt.



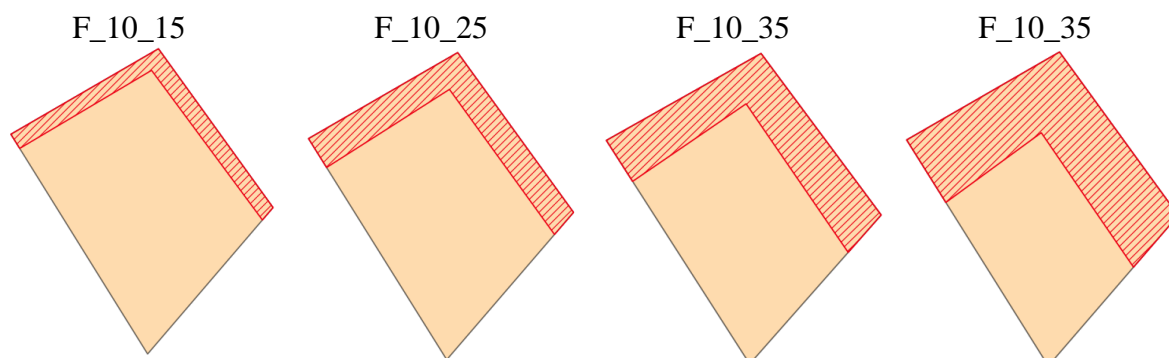
Figur 39: Kartpresentasjon i form av heatmap av resultatene for kontrollen av ulike utstrekning på GCP'ene.

Ved å se på det gjennomsnittlige absolutte avviket for datasettenes høyde (Graf 39) kan en se det samme man så ved den visuelle kontrollen. En ser at det er datasett som skiller seg spesielt ut. Dette er de to datasettene hvor GCP'ene er tett samlet, som kan bety at GCP'enes utstrekning har noe å si. En kan se at de datasettene som spiller på den opprinnelige vinkelformen til form 10 kommer fordelaktig ut og viser gode resultater i både grunnriss og høyde.



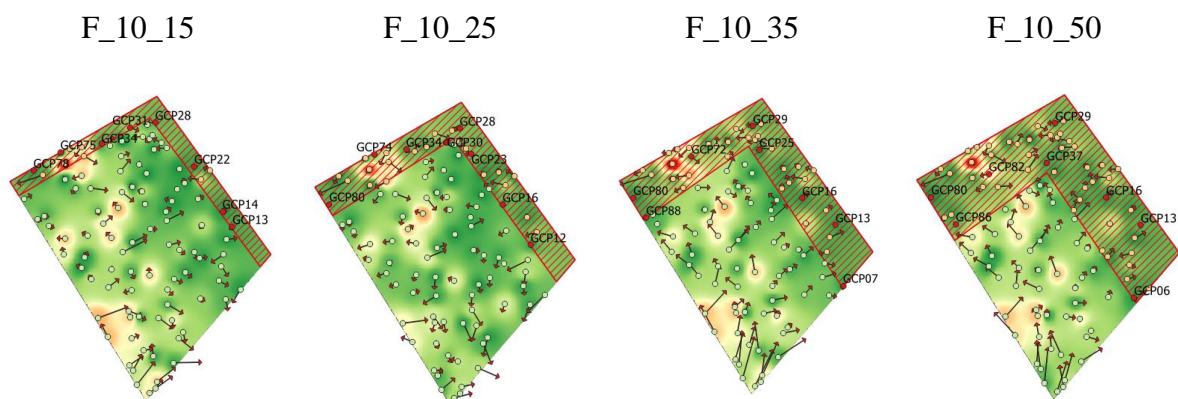
Graf 39: Gjennomsnittlig absolutt avvik for grunnriss og høyde til datasettene som spiller på formen til form 10.

Da igjen den opprinnelige vinkelformen, form 10 og former som baserer seg på denne formen gir gode resultater og det er ønskelig å kontrollere resultatet fra test 1 hvor 25% kjent område gav godt resultat. Dette for å eventuelt kunne støtte opp under de funnene som ble gjort der med tanke på å finne en fordelaktig arealfordeling mellom kjent og ukjent område. Det blir laget fire datasett som tester arealets påvirkning for denne formen i samme arealoppdeling som kjent fra test 1. Figur 40 viser hvordan areafordelingen ser ut.



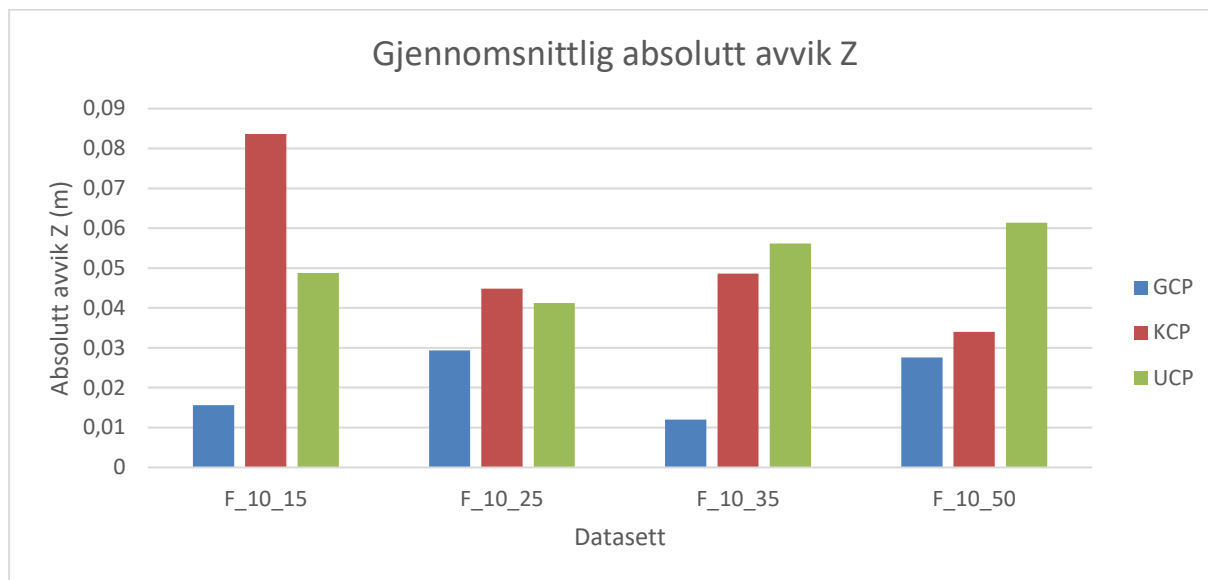
Figur 40: Kartpresentasjon av de ulike arealfordelingene som skal testes. Fra venstre 15%, 25%, 35% og til slutt 50%.

I en visuell kontroll heatmappene er det vanskelig å trekke noen slutninger da det kun er små nyanseforskjeller mellom datasettene. Allikevel kan det se ut som om form 10 med 25% tilgjengelig areal er litt bedre enn de andre (Figur 41).



Figur 41: Kartpresentasjon i form av heatmap av resultatene for kontrollen av vinkelens arealfordeling.

Graf 40 viser det gjennomsnittlige absolutte høydeavviket til disse fire datasettene. Denne bekrefter det en kunne se på den visuelle kontrollen om at F_10_25 er bedre enn de andre. En ser at avviket på GCP'ene litt høyere enn ved de andre datasettene, men en ser og at avviket i CP'ene og spesielt for de i det ukjente området viser ett lavt avvik.



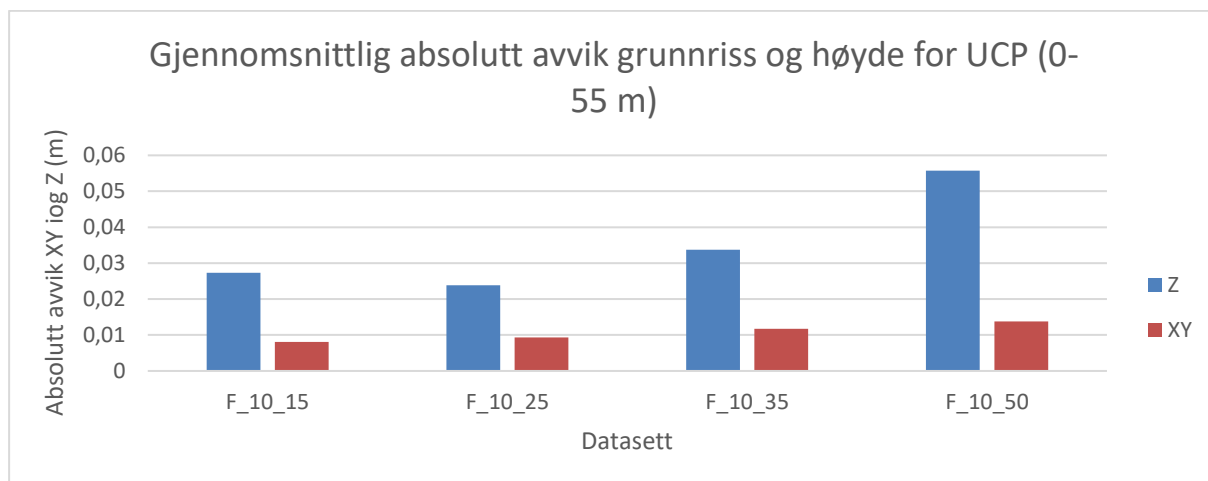
Graf 40: Gjennomsnittlig absolutt avvik for høyden til de fire datasettene som tester ulik arealfordeling i form 10.

Tabell 21:

Gjennomsnittlig avstand til nærmeste GCP.

Gjennomsnittsavstand til nærmeste GCP	
Datasekk	Avstand
F_10_15	83 meter
F_10_25	73 meter
F_10_35	63 meter
F_10_50	55 meter

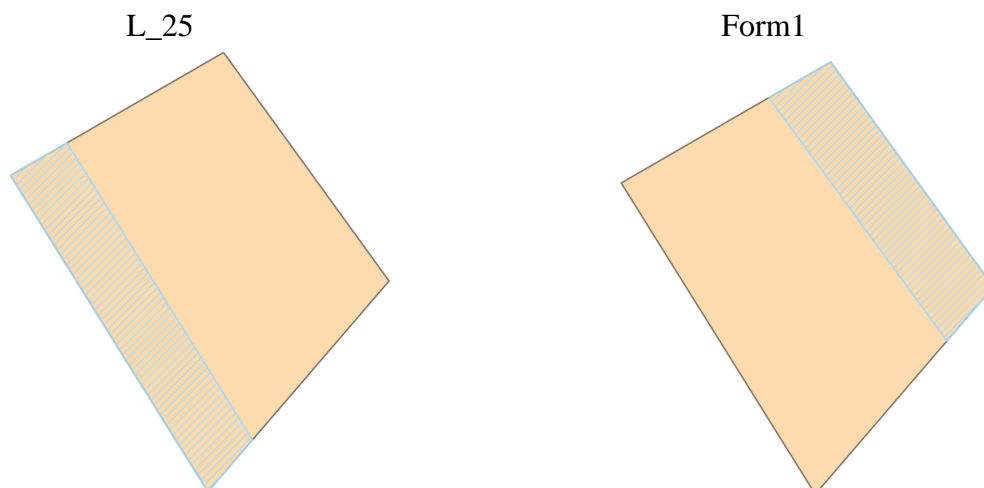
Ved å se på det gjennomsnittlige absolutte avviket for grunnriss og høyde for UCP'ene begrenset til en avstand på maksimalt 55 meter (korteste avstand i Tabell 21) til nærmeste GCP (Graf 41) ser man igjen at det er formen med 25% tilgjengelig som kommer best ut. Den har riktig nok litt høyere avvik i grunnriss enn formen med 15% tilgjengelig areal, men har igjen ett mye lavere avvik i høyden enn alle de andre formene.



Graf 41: Gjennomsnittlig avvik i grunnriss og høyde for de fire datasettene som teste ulik arealfordeling for form 10.

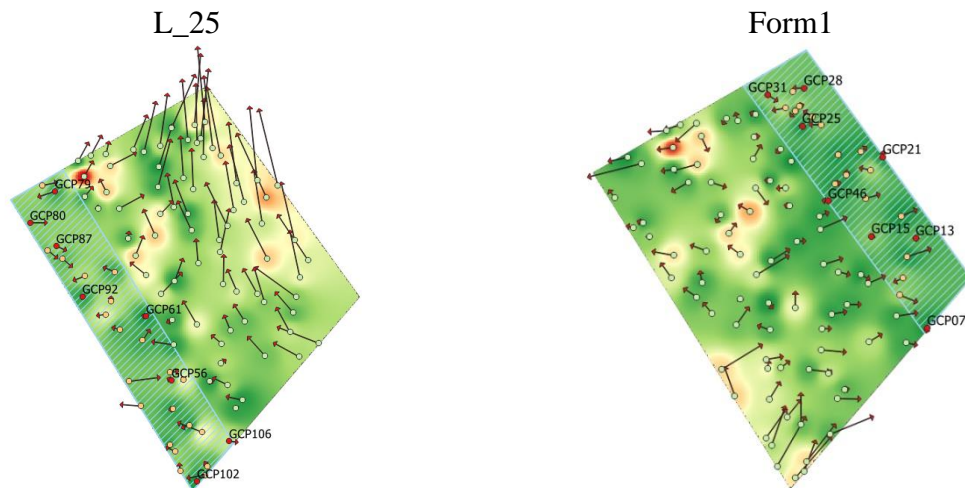
Det vi ser her er at formen som har en arealfordeling hvor 25% området er tilgjengelig gir gode resultater i både høyde og grunnriss. Dette er med på å styrke de funnene vi gjorde i test 1. Vi vil derfor ta med oss denne formen videre til test 3 hvor vi skal teste hvordan antall GCP'er i det tilgjengelige området vil påvirke resultatene.

Før vi går videre ønsker vi å kontrollere om den liggende formen fra datasett 1 viser gode resultater om vi vrir og vender på den. Nedenfor (Figur 42) kan en se formene som ble testet her.



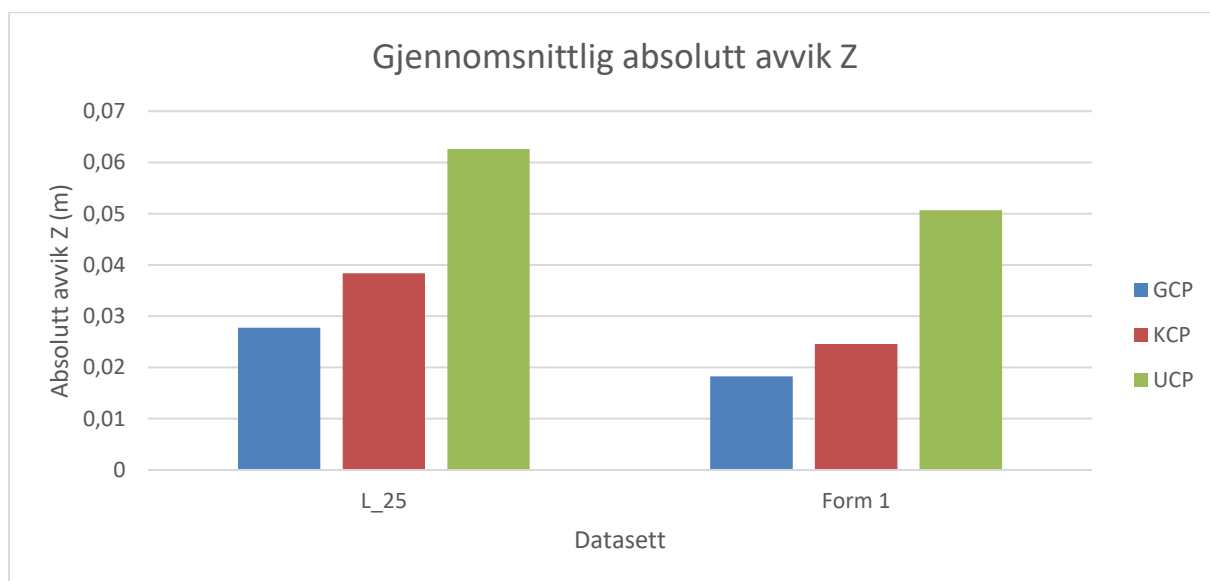
Figur 42: Kartpresentasjon av kontrollen av det liggende datasettet fra test 1 opp mot en speilvendt figur.

I en visuell kontroll heatmappene fremstilt i QGIS (Figur 43) kan en enkelt se at det er forskjeller mellom disse datasettene. En ser spesielt at L_25 har et mye større avvik i grunnriss en form 1. Ellers kan det se ut som om form 1 har et lavere avvik i høyde ved at det er ett større område som er preget av grønn farge som indikerer et lavt avvik.

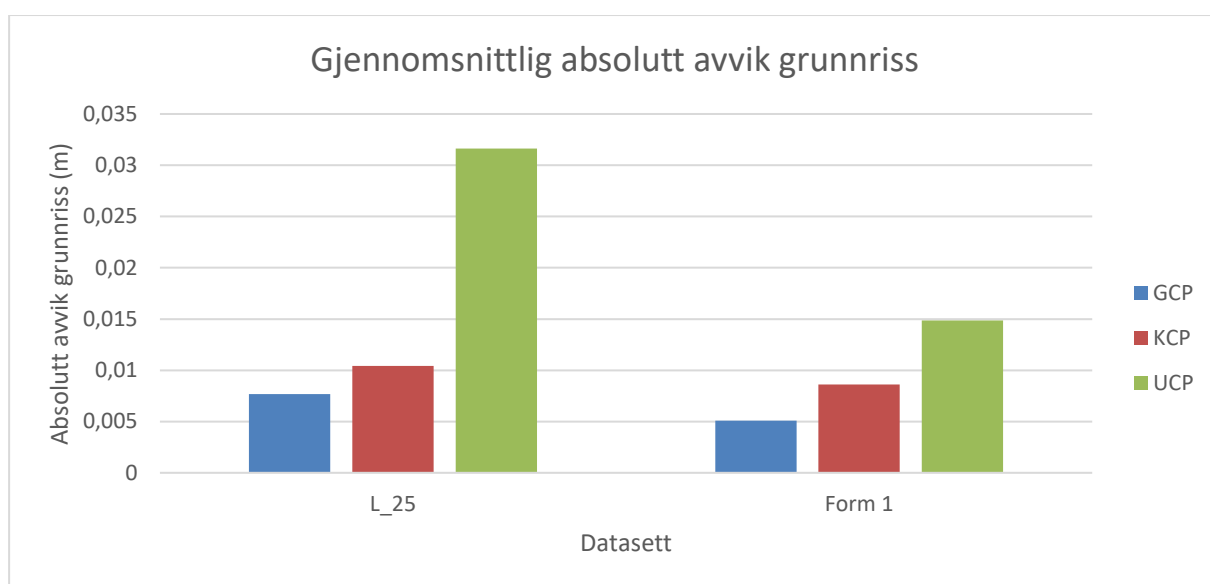


Figur 43: Kartpresentasjon i form av heatmap av resultatene fra testen av den liggende retningen fra test 1.

Avvikene belyst i kartene bekreftees i Graf 42 og Graf 43, hvor form 1 har et betraktelig lavere avvik for høyde og grunnriss i både GCP, KCP og UCP.

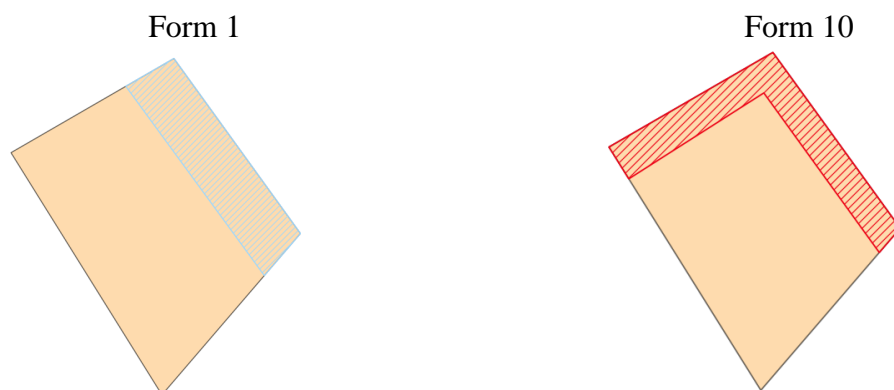


Graf 42: Gjennomsnittlig absolutt avvik for de to variantene av den liggende formen fra test 1.

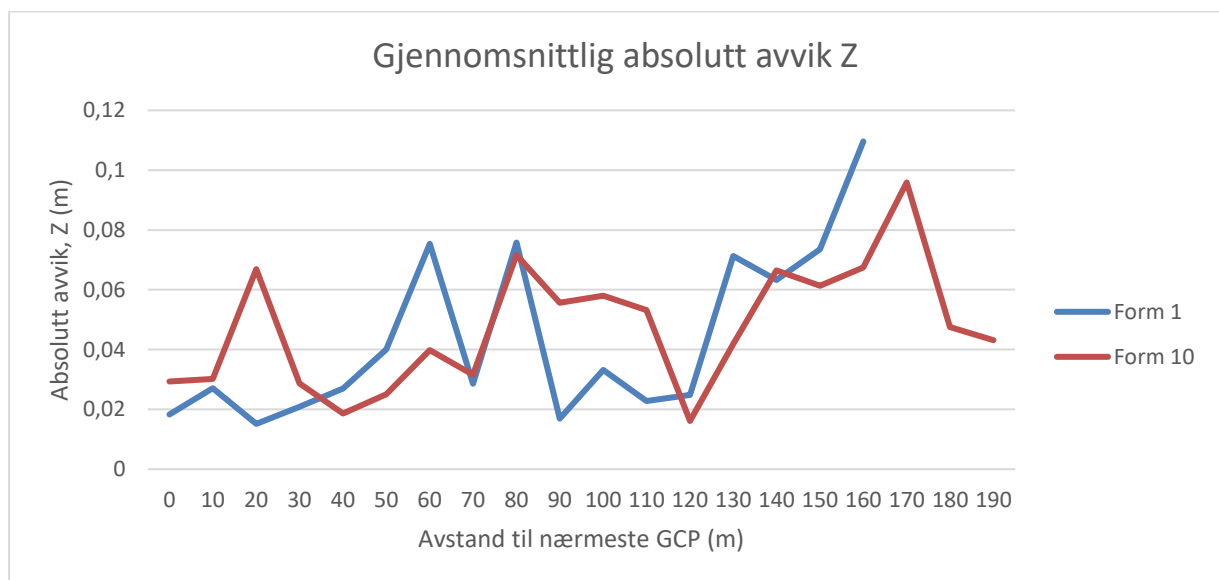


Graf 43: Gjennomsnittlig absolutt avvik i grunnriss for de to variantene av den liggende formen fra test 1.

Det en ser i test 2 er at en vinkel form gir gode resultater i form av lavt avvik i ukjent område. Den liggende formen er testet for å se hvordan resultatene påvirkes om denne speilvendes. Det en ser er at vi oppnår et lavere avvik i datasettet når kjent område ligger på nord-øst siden av AOI. Dette samsvarer med de en kunne se i testen der en så hvilken konfigurasjon av vinkelen som ga gode resultater. Testutvalgene presenteres i graf ss hvor vi ser sammenhengen mellom avstanden til GCP og høydeavviket. Vi tar derfor med oss disse to formene (Figur 44) videre til test 3 hvor vi skal teste antallet GCP'ers påvirkning på resultatene.



Figur 44: Kartpresentasjon av formene som tas med videre til test 3.



Graf 44: Testutvalgene i test 2. Gjennomsnittlig høydeavvik med avstand til nærmeste GCP.

3.4 Test 3 – GCP

I denne testen ser vi på hvordan de fotogrammetriske beregningene påvirker avvikene i det ukjente området ved ulikt antall Ground Control Point (GCP) i kjent område. Som input i testen har vi vinkelformen fra test 2 og det liggende datasettet fra test 1. Sammenligning av dette vil gi oss et bilde av påvirkninger fra formen til området og avstand fra kjent område. Vi forventer her at utvalgt form fra test 2 vil ha et lavere avstandsavhengig avvik fordi test 2 har som mål å finne en godt egnet form for bestemmelse av det ukjente område. Testens oppbygging og datasettene som beregnes ser vi i Tabell 22.

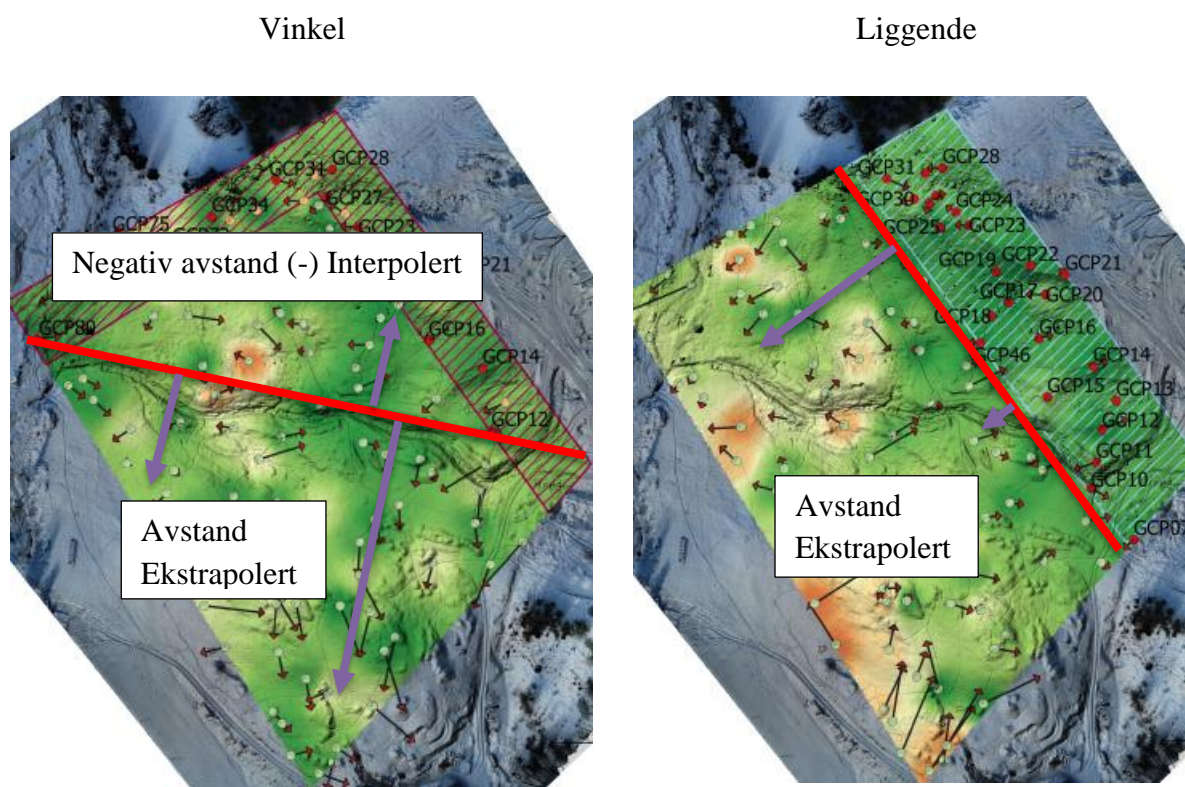
Tabell 22:

Navngivning og informasjon om oppbygningen og resultater i test 1.

Form	Valgbegrunnelse	Antall GCP	Navn
Test 3_Vinkel	Teoretisk minimum	3 GCP	Test3_V_3
	Praktisk minimum	4 GCP	Test3_V_4
		6 GCP	Test3_V_6
	Valgt for alle tidligere tester	8 GCP	Test3_V_8
		10 GCP	Test3_V_10
		14 GCP	Test3_V_14
		18 GCP	Test3_V_18
	Maksimalt mulige	24 GCP	Test3_V_24
Test 3_Liggende	Teoretisk minimum	3 GCP	Test3_L_3
	Praktisk minimum	4 GCP	Test3_L_4
		6 GCP	Test3_L_6
	Valgt for alle tidligere tester	8 GCP	Test3_L_8
		10 GCP	Test3_L_10
		14 GCP	Test3_L_14
		18 GCP	Test3_L_18
	Maksimalt mulige	24 GCP	Test3_L_24

Resultatet vil først presenteres med et utvalg av dataene. Her belyses ytterpunkter og et av de midterste datasettene for å gi forståelse av testens resultater. Videre ser vi på overordnet kvalitet- og prosesseringsbeskrivelse av alle datasettene for å se på sammenhengen. Deretter deles dataene opp i de to ulike formene, vinkel og liggende.

Testen gir resultater som presenteres med den avstandsavhengige påvirkningen, slik som hypotesen, test 1 og 2 bekrefter at finnes. Avstanden beregnes fra kjent område, slik at enkeltpunktens avstand er lik for alle testene på samme form. For å se på avviket fra kjent område er det definert to referanselinjer som fungerer som avstandsberegningens nullpunkt (Figur 45).

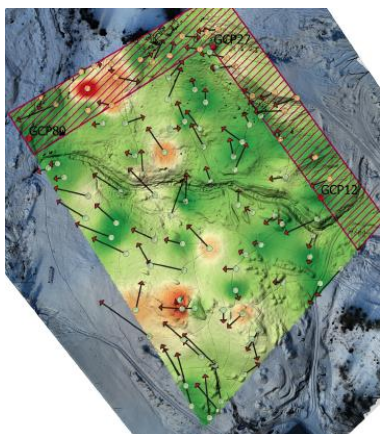


Figur 45: Avstandsberegning for test 3. Avstand ut fra kjent område. Et mål på hvor langt et UCP-punkt befinner seg unna det kjente området.

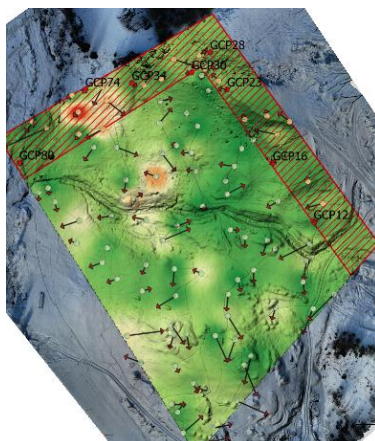
I Figur 46 ser vi et utvalg av beregninger gjort på vinkelen fra test 2 og viser test 3 sin nederste grense med 3 GCP'er, et datasett i midten med 8 GCP'er og øverste grense med 24 GCP'er.

Utvalget belyser resultatforskjeller i datasettet ved ulik GCP tetthet i kjent område. De visuelt dårligste resultatene er 3 GCP'er. Når antallet GCP'er øker i datasettene under ser vi en forbedring i kartet fra datasettet med 3 til 24 GCP'er. Forskjellen er størst fra 3GCP'er til 8GCP'er i ukjent område, mens vi ser en tydelig forskjell i kjent område mellom 8GCP'er og 24GCP'er.

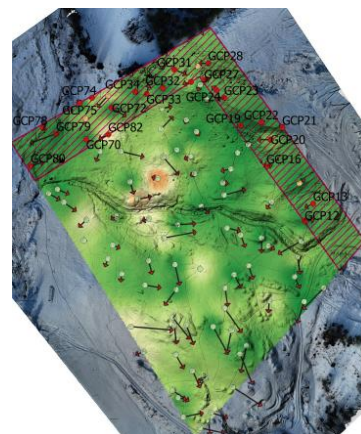
Test3_V_3GCP



Test3_V_8GCP

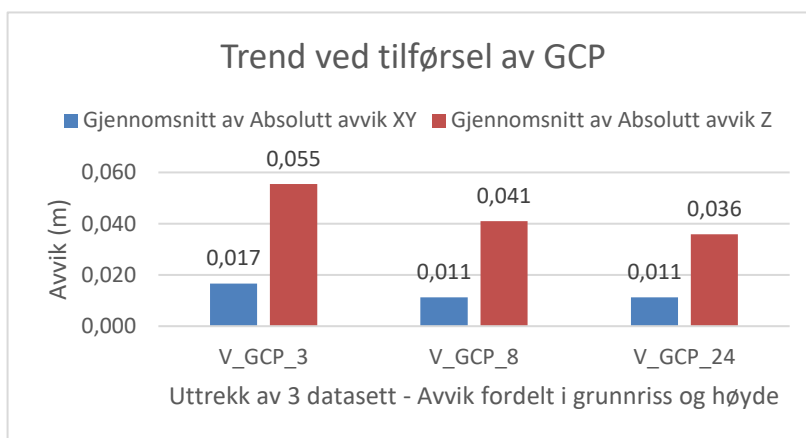


Test3_V_24GCP



Figur 46: Kartvisning av et resultatutvalg. Laveste antall, midten og høyest antall GCP. Et uttrekk for å vise hvordan dataene er presentert og vurdert opp mot hverandre. Røde punkter er GCP, kjent område er innrammet og ukjent område vises som primærområdet.

Den visuelle kontrollen i Figur 46 bekreftes i de gjennomsnittlige avviksverdiene for datasettene. Graf 45 bekrefter forbedringen, lavere eller likt avvik både for grunnriss (XY) og høyde (Z) i datasettene ved økt antall GCP.



Graf 45: Avvik i grunnriss og høyde for de 3 utvalgte testene. Grafen viser oss en trend som kan beskrives basert på disse datasettene med at avviket synker ved tilføring av flere GCP'er.

Tabell 23:

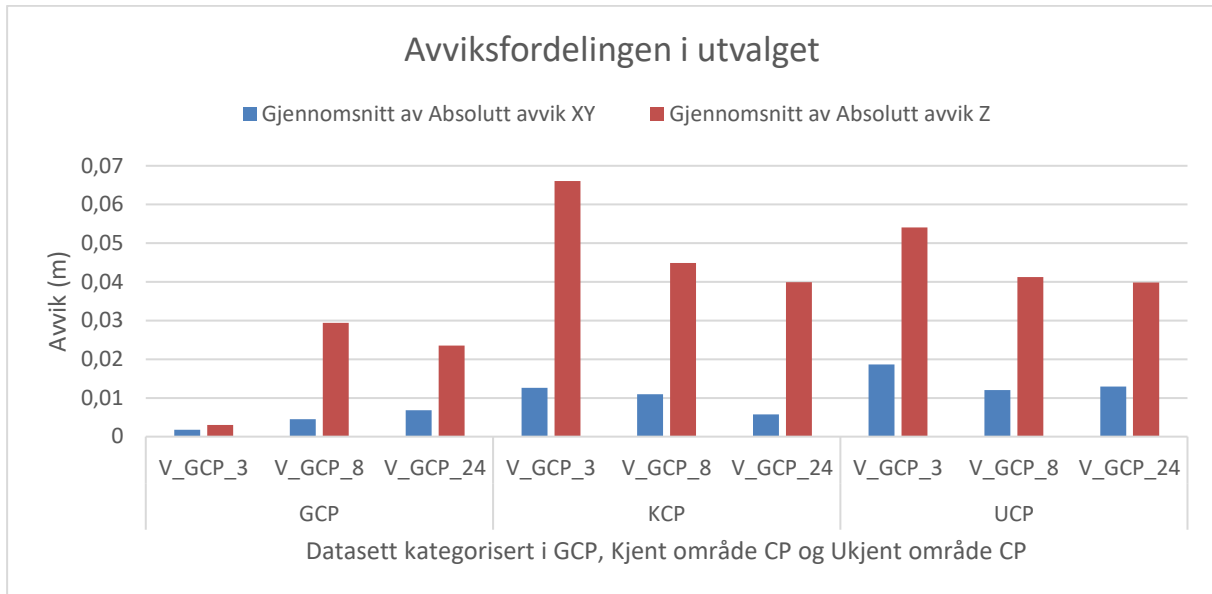
Gjennomsnittlig avvik for grunnriss og høyde med testens punktfordeling.

Datasett		Gjennomsnitt avvik		Fordeling
		XY	Z	Antall
V_GCP_3				100
	GCP	0,002	0,003	3
	KCP	0,013	0,066	25
	UCP	0,019	0,054	72
V_GCP_8				100
	GCP	0,005	0,029	8
	KCP	0,011	0,045	20
	UCP	0,012	0,041	72
V_GCP_24				100
	GCP	0,007	0,024	24
	KCP	0,006	0,040	4
	UCP	0,013	0,040	72

I Figur 46 og Graf 45 ser vi at det gjennomsnittlige avviket for grunnriss og høyde reduseres ved tilførelse av flere GCP'er med et unntak. Avviket i høyde er som forventet større enn grunnriss. Samtidig er det også høydeavviket som påvirkes mest av flere GCP'er.

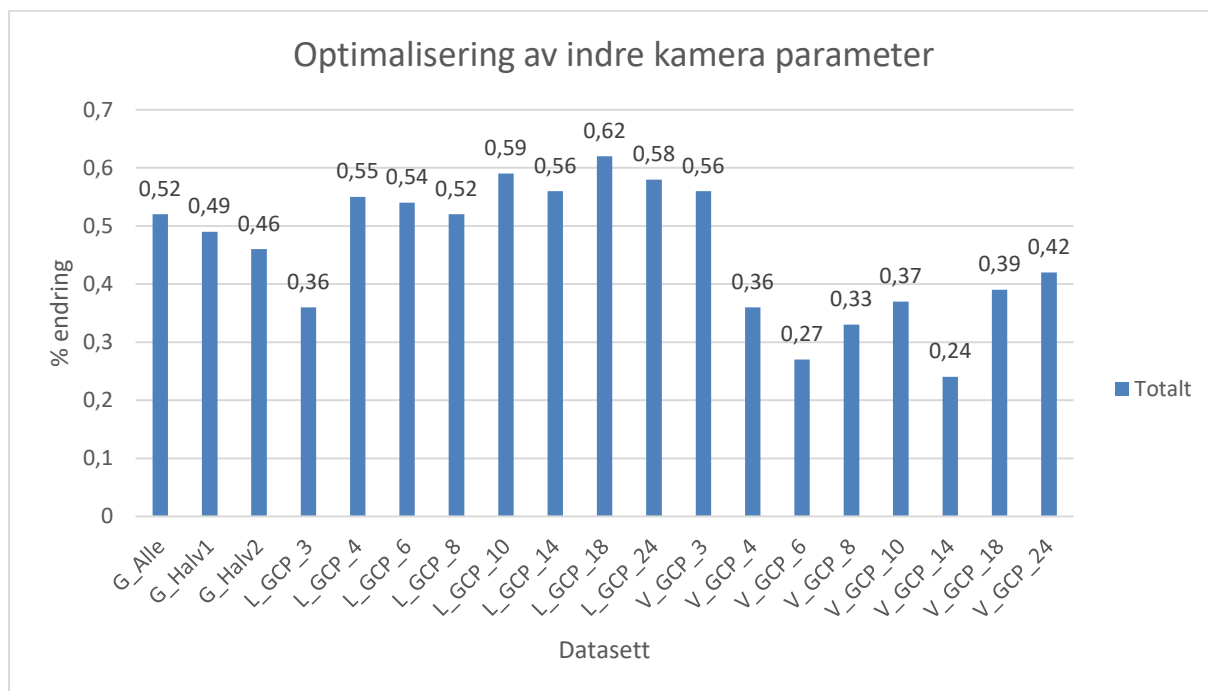
Høydeavviket er 3+ ganger så stort som avviket i grunnriss. I Tabell 23 ser vi fordelingen av antall GCP/UCP/KCP sammen med avvik for XY og Z for hver type.

Graf 46 viser avviksfordelingen. Her viser dataene at ved økt antall GCP, så øker gjennomsnittlig avvik for GCP. Samtidig som dette skjer så er trenden motsatt i KCP og UCP. Her reduseres avvikene ved flere GCP i beregningen. Vi ser en tydelig endring med minste forskjell mellom datasettet beregnet med 8 GCP og 24 GCP. Om dette er tilfeldig eller om dette forteller noe om hvordan programvaren klarer å håndtere flere GCP'er har vi ikke nok data til å belyse her. Ser vi på test V_GCP_24 og sammenligner avviket i grunnriss for GCP og kjent område CP så jevner disse seg ut.



Graf 46: Avviksfordelingen for GCP, KCP og UCP til testutvalget.

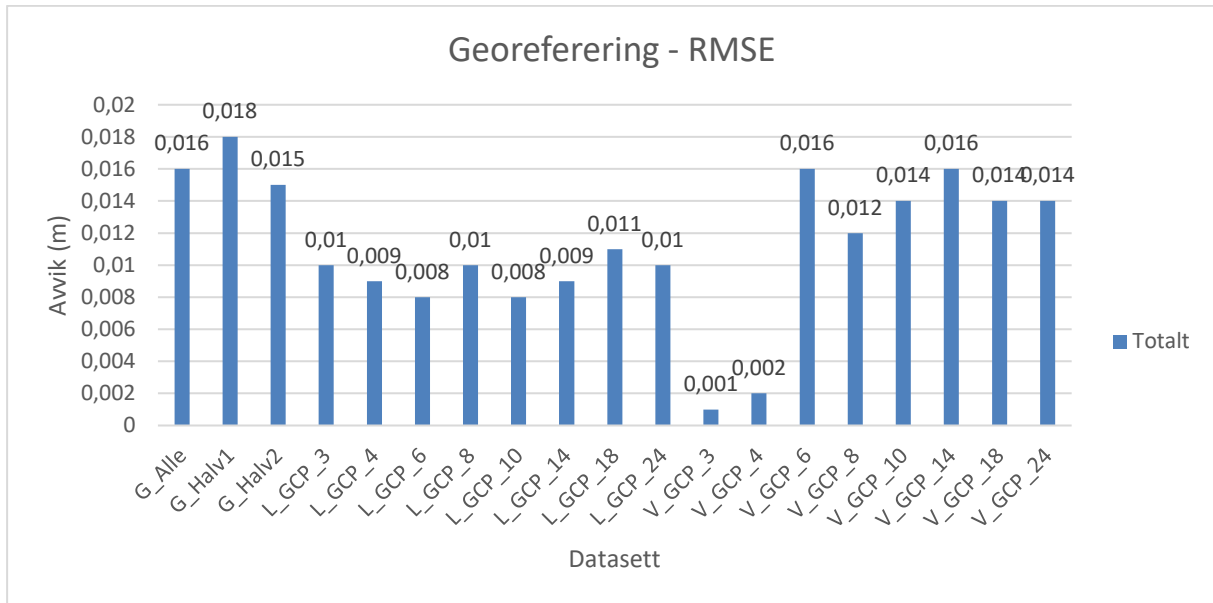
Alle datasettene i test 3 har noen fellesparameter som kan bidra til å se på trend og helheten til resultatet i datasettene. I Graf 47, Graf 48 og Graf 49 beskrives tre av disse felles parameterne. Grafene inneholder 3 datasett som til en viss grad kan benyttes som en referanse. Disse datasettene er beregnet med alle og halvparten av alle punktene som GCP og vil dermed ha realistiske kvalitetsbeskrivelser av forventet resultat hvis vi har kontroll på grunnlaget. Kamera optimaliseringen beskriver variasjoner mellom testens datasett. Med minste verdi på 0,24% endring og største endring på 0,62% fra initiell modell får vi største differanse mellom 19 datasett på 0,38%.



Graf 47: Sammenligning av datasettene i test 3. Kvalitetsrapportens optimalisering av indre kameraparameter

I forhold til datasettene der alle 100 punktene er brukt som GCP og to datasett med hver sin halvdel av punktene som GCP så ligger det liggende datasettet generelt sett høyere. For datasettene med vinkel formen ser vi av grafen at disse verdiene er lavere enn «referansene». Disse datasettene har da mindre korrigering og endring fra initiell modell enn liggende datasett og referanse.

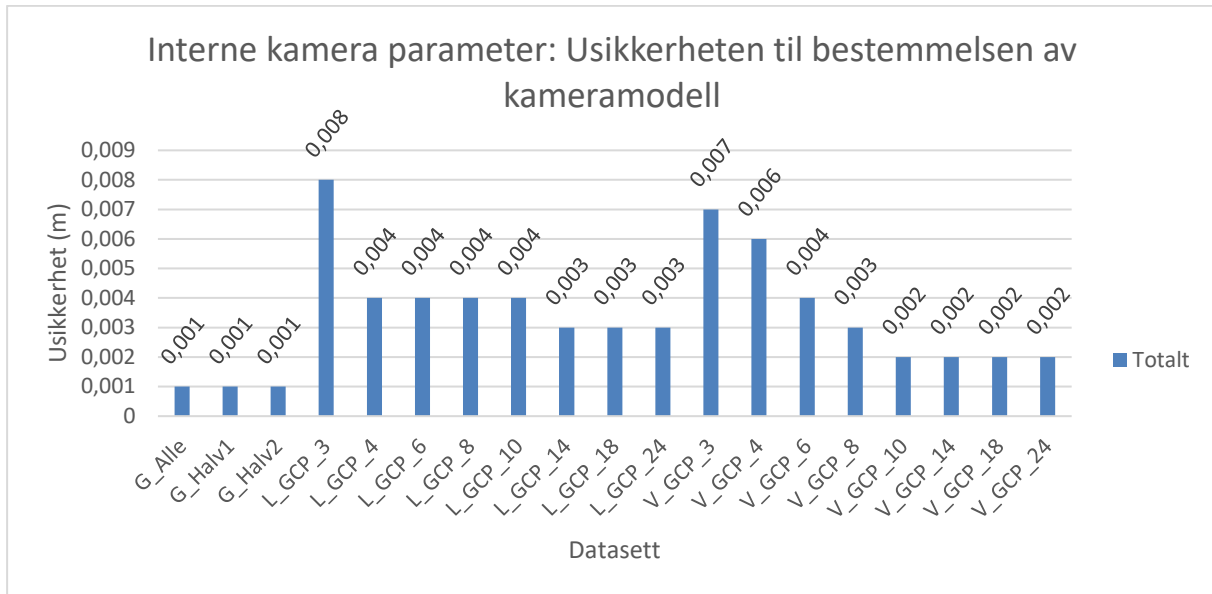
Graf 48 nedenfor beskriver middelveiden (X,Y,Z) til georefereringen til hvert datasett. Datasettene georefereres primært fra GCP'er, da disse vektet betydelig mer enn GNSS posisjonen til bildene. Utregningen av vekten som benyttes i programvaren er ikke kjent, men GCP'ene får en bedre kvalitetsbeskrivelse (5 mm) enn kameraposisjonene (XY 5 m, X 10 m). Uten at vi kan si noe mer konkret om hva tallet faktisk har av betydning og hva som påvirker dette ut ifra tabellen, så har vi allikevel et sammenligningsgrunnlag mellom de ulike datasettene. Vi ser for eksempel at det er relativt liten variasjon i løsningen for de liggende datasettene. Det samme er for datasettene i vinkelformen hvor det er 6 eller flere GCP'er i beregningen. Variasjonen er på mellom ca. 2 og 4 mm. Middelveiden for vinkel datasettene er noe høyere enn de liggende. Her skjer det også noe i datasettene beregnet med 3 og 4 GCP'er. Disse får et veldig lavt avvik i forhold til de andre datasettene. Mellom vinkel datasettene er det noe større variasjon enn mellom de liggende.



Graf 48: Kvalitetsbestemmelsens beskrivelse av georefereringen på datasettet, presentert med RMSE (root mean square error).

I Graf 49 under ser vi på usikkerheten programvaren beregner for de optimaliserte interne kameraparameterne. Her stabiliserer verdiene seg på litt ulik måte mellom de to ulike formene. Den liggende formen stabiliserer seg umiddelbart etter 4 GCP'er. Ved tilføring av flere GCP'er, over 14 i beregningen blir programvaren enda sikrere på løsningen. For vinkelen tar det flere GCP'er før resultatet stabiliseres. Når det har stabilisert seg, over 10 GCP'er kommer riktignok usikkerheten ned på en lavere verdi.

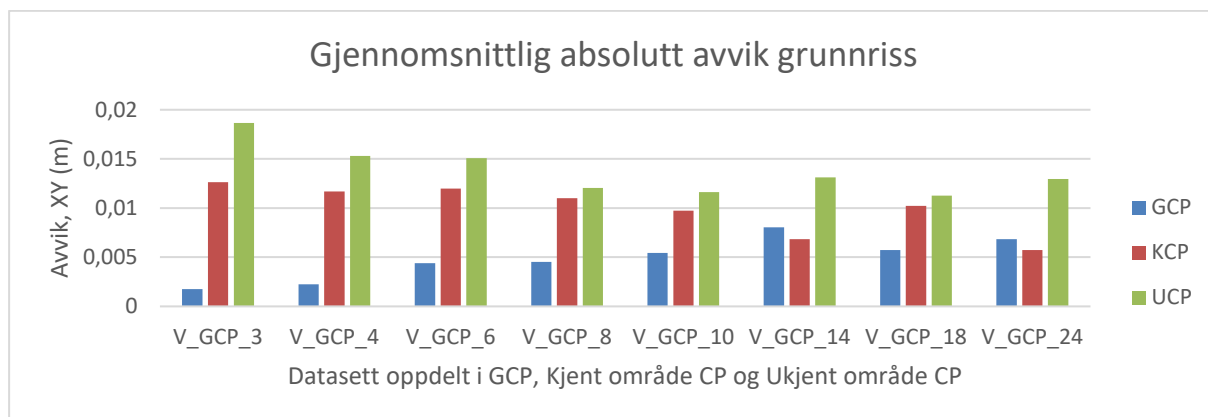
Sammenlignes disse resultatene med datasettene produsert med 50 og 100 GCP'er, kan vi tenke oss at programvaren blir sikrere på resultatet basert på antall GCP'er som tilføres, i sammen med formen/distribusjonen av GCP'ene.



Graf 49: Kvalitetsrapportens beskrivelse av usikkerheten til bestemmelse av kameramodell. Sammenligning av testens 2 former og 3 datasett beregnet med henholdsvis, Alle, halvparten og andre halvparten av 100 GCP'er.

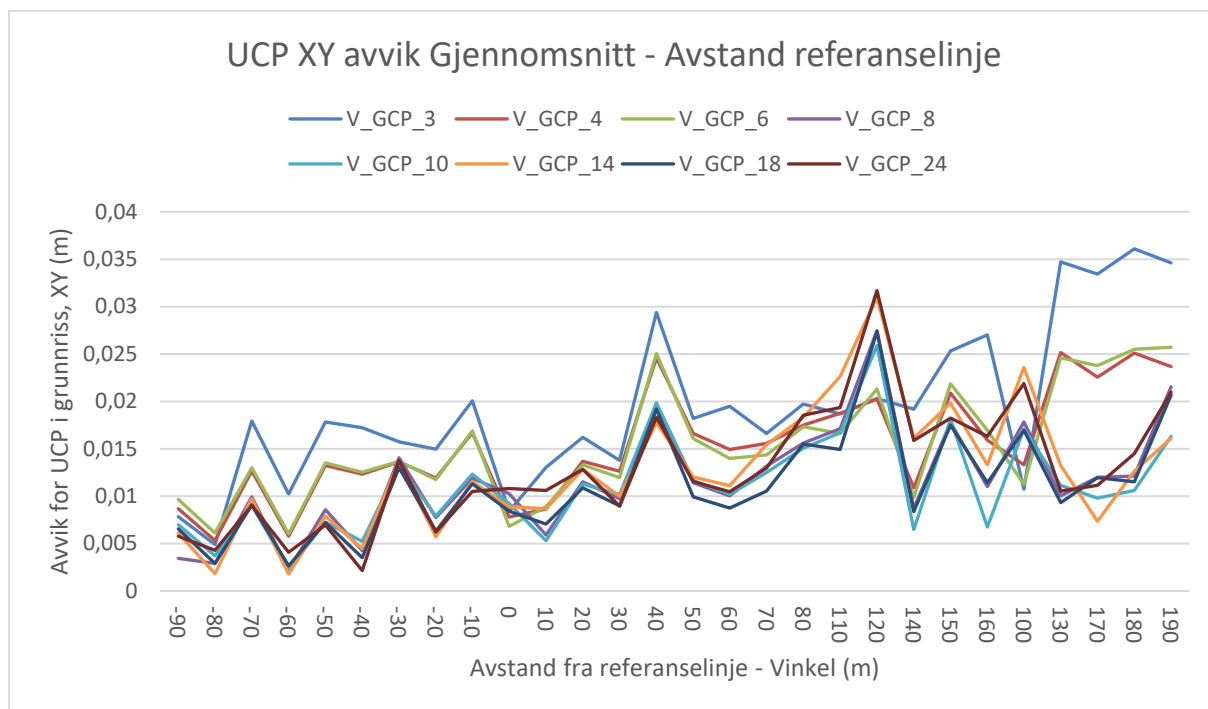
For å gå i dybden i testene må vi dele de opp i liggende og vinkel. Oppdelingen gjøres for å sammenligne færre variabler. I hver form er det kun antall, utvalg og distribusjon som forandres. Sammenlignet er det også forskjell i området, form og lengste/korteste avstand mellom GCP'er. Vinkelformen på kjent område er den formen som test 2 mener har størst mulighet til et godt resultat. Dette betyr ikke at vi ikke kan oppnå et bra resultat i datasettet fra test 1 fordi denne er ikke benyttet i sammenligningen av former i test 2.

Nedenfor ser vi resultatet for alle vinkel-testene. Først vises resultatet for avvik i grunnriss før avvik i høyde vises. I grafenes avstandspresentasjon har vi et nullpunkt. Dette nullpunktet er utgangspunktet for avstandsberegningen og er basert på Figur 45. Negative avstander er interpolert i vinkelen, positive er det vi ekstrapolerer ut i datasettet. Vi ser i grafene at de interpolerte avstandene har mindre spredning i resultatene og holder seg relativt likt i avviksverdi for alle avstander. Som forventet er også dette området jevnt over bestemt bedre enn det som ekstrapoleres.



Graf 50: Gjennomsnittlig absolutt avvik grunnriss, fordelt på GCP, KCP og UCP.

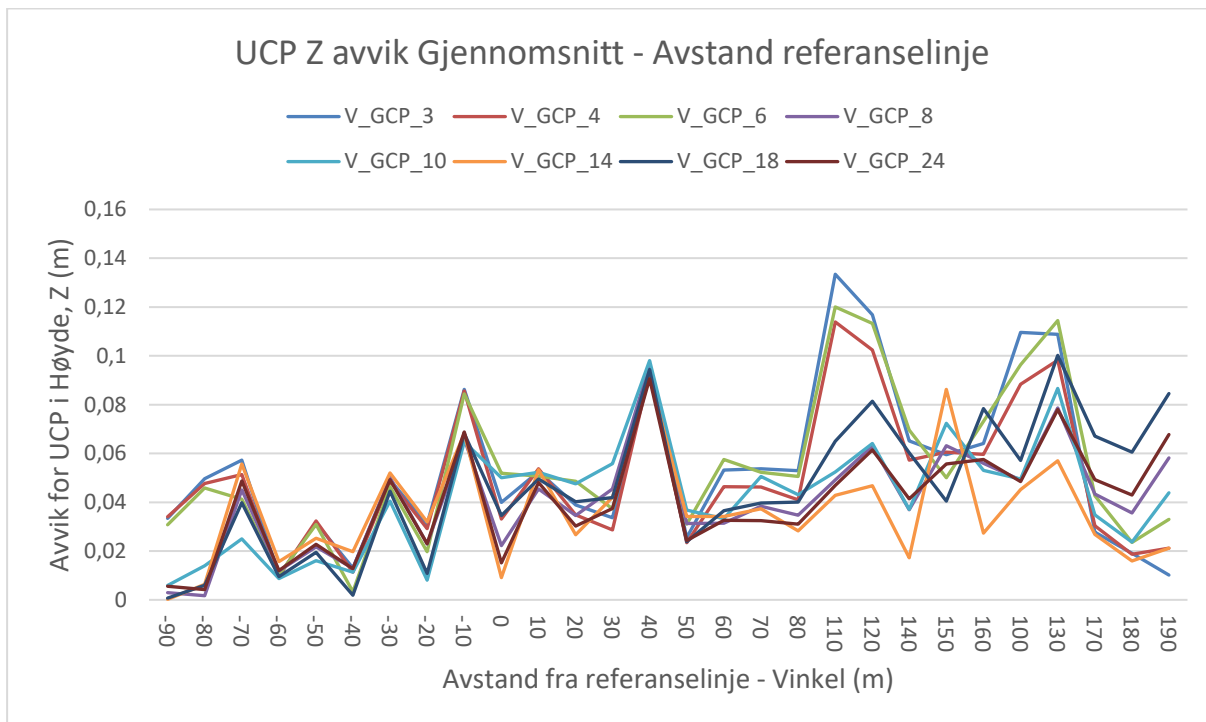
Graf 50 viser XY avvik for alle punkter (GCP, KCP og UCP) og vi ser at avvikene i GCP og KCP har lavere avvik enn UCP. GCP og KCP reduserer derfor det totale avviket og tas ikke med videre. Vi ser og i grafen en trend frem til V_GCP_14 er som gjør at avviket i UCP og KCP synker når flere GCP'er tilføres. Noe som kan beskrive hva som skjer er at den optimale løsningen for akkurat dette datasettet er nådd, eller at det er punkter som er definert som KCP i datasettet V_GCP_10 har store avvik og i datasettet V_GCP_14 blir definert som GCP. Dette kan da forklare den uventede avviksfordelingen i V_GCP_14. Ved at GCP avviket øker omtrent tilsvarende mye som KCP avviket synker. Ser vi på datasettene V_GCP_18 og V_GCP_24 er det derimot lite som tyder på at disse fortsetter å følge den tidligere trenden. Dersom vi kun ser på UCP'ene får vi grafen under (Graf 51).



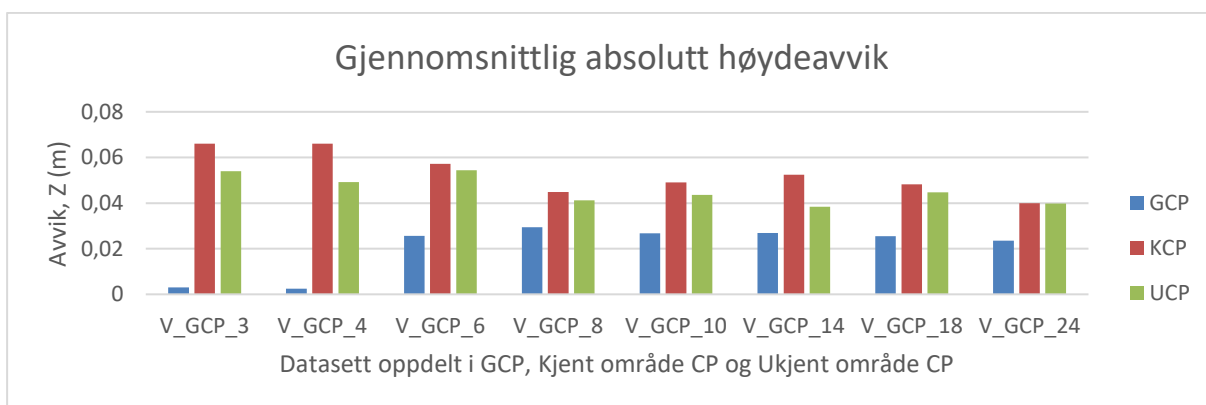
Graf 51: Vinkel datasett med ulikt antall GCP'er brukt i beregningen. Grafen viser et gjennomsnittlig avvik i grunnriss, XY vist på avstand fra referanselinje. Linjene beskriver ulike datasett med ulikt antall GCP brukt i beregningene. Eks V_GCP_14 inneholder 14 GCP'er.

Ser vi på Graf 51 som en helhet viser den en tendens til at avviket øker med avstanden. På flere avstander er datasettene samlet kun med små avviksforskjeller. Denne forskjellen i avvik mellom datasettene ser også ut til å øke utover. Den spredningen som forekommer i det interpolerte området gjelder spesielt 3 datasett som skiller seg ut. V_GCP_3, V_GCP_4 og V_GCP_6. Disse får tidlig et høyere avvik enn de andre datasettene som følger hverandre bedre. De tre datasettene har også de høyeste sluttverdiene sammenlignet med resterende 5 datasett.

I høydeavviket under (Graf 52) er ikke samme trend som i grunnrissavviket (XY) like tydelig. Avviket i datasettene følger hverandre bedre frem til 60 meter. Der skiller de samme tre datasettene seg ut fra de andre.



Graf 52: Gjennomsnittlig høydeavvik i ukjent område. Negativ avstand er "interpolert" i vinkelen, positiv avstand «ekstrapoleres» utenfor vinkelformen. Linjene beskriver ulike datasett med ulikt antall GCP brukt i beregningene.

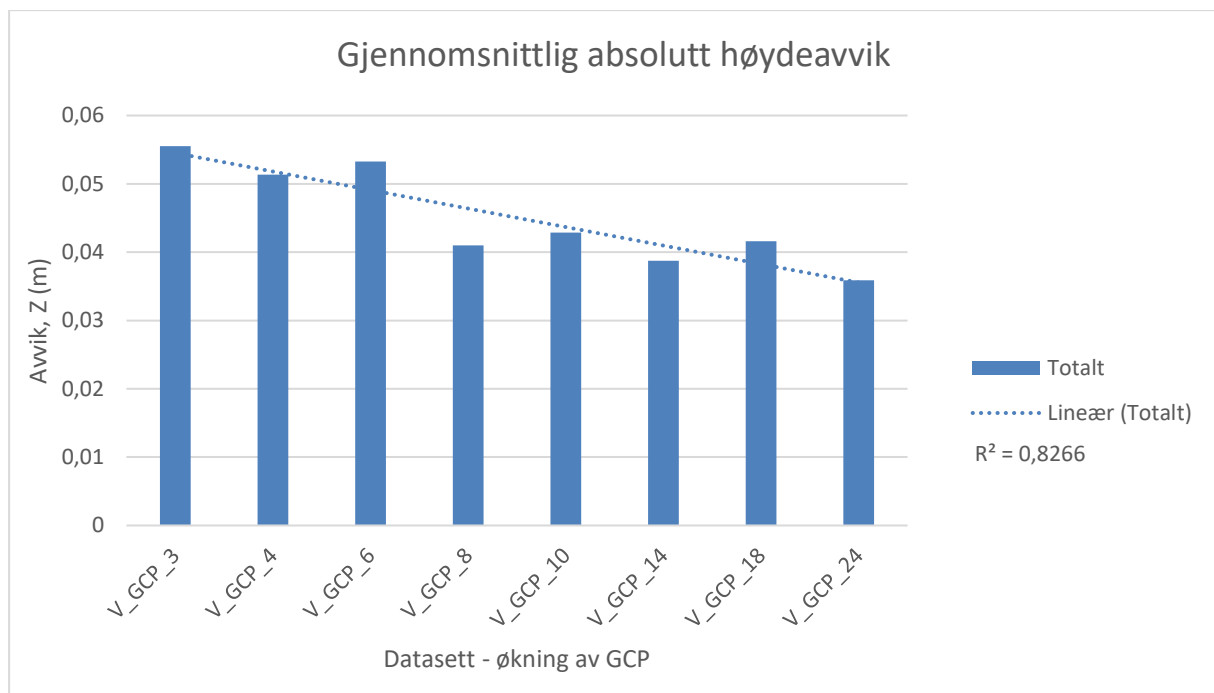


Graf 53: Gjennomsnittlig absolutt høydeavvik for vinkelformen fordelt i GCP, KCP og UCP.

Den samme trenden ser vi ikke i like stor grad i avviksfordelingen for Z avviket (Graf 53). Her er avviksfordelingen relativt lik etter V_GCP_8. Kun små variasjoner som ikke viser noen klar trend, annet enn at det totale avviket for hver test ser ut til å reduseres ved bruk av flere GCP'er.

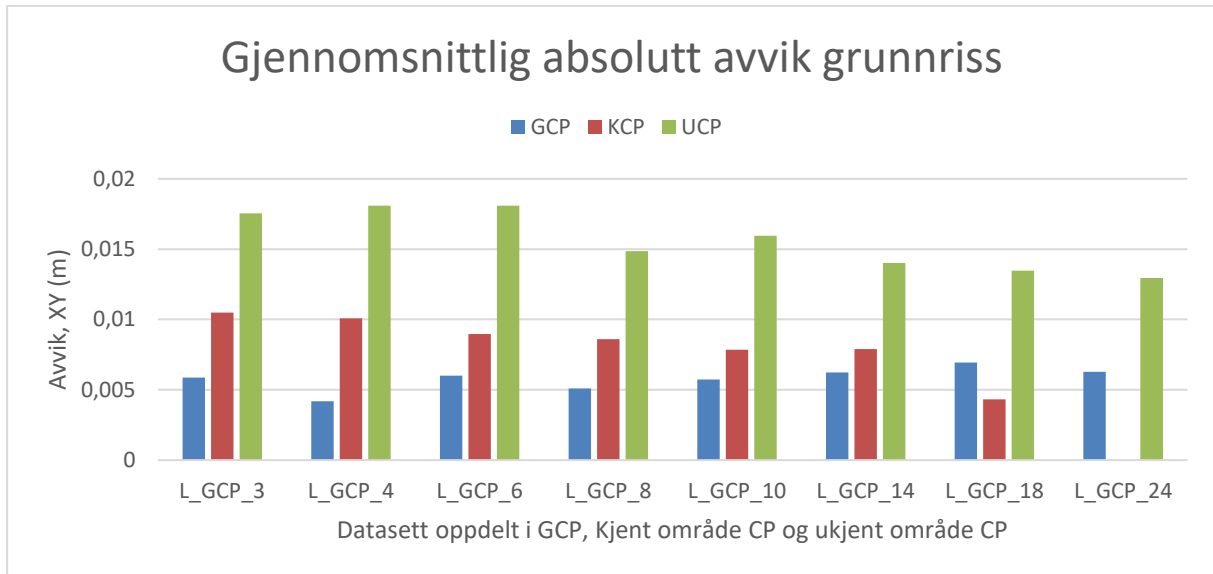
Datasettet med 3 og 4 GCP'er ser ut til å gi urealistiske verdier nå vi sammenligner GCP avviket med de andre datasettene hvor GCP avviket først og fremst er mye høyere, men og jevnere mellom datasettene.

En mulig trend mellom datasettene i Graf 53 ovenfor bevises ved sammenslåing av alle avvikene. Graf 54 viser en tydelig trend, selv om avviksforskjellene og reduksjonen mellom hvert datasett er relativt liten i datasett med flere enn 8GCP'er.



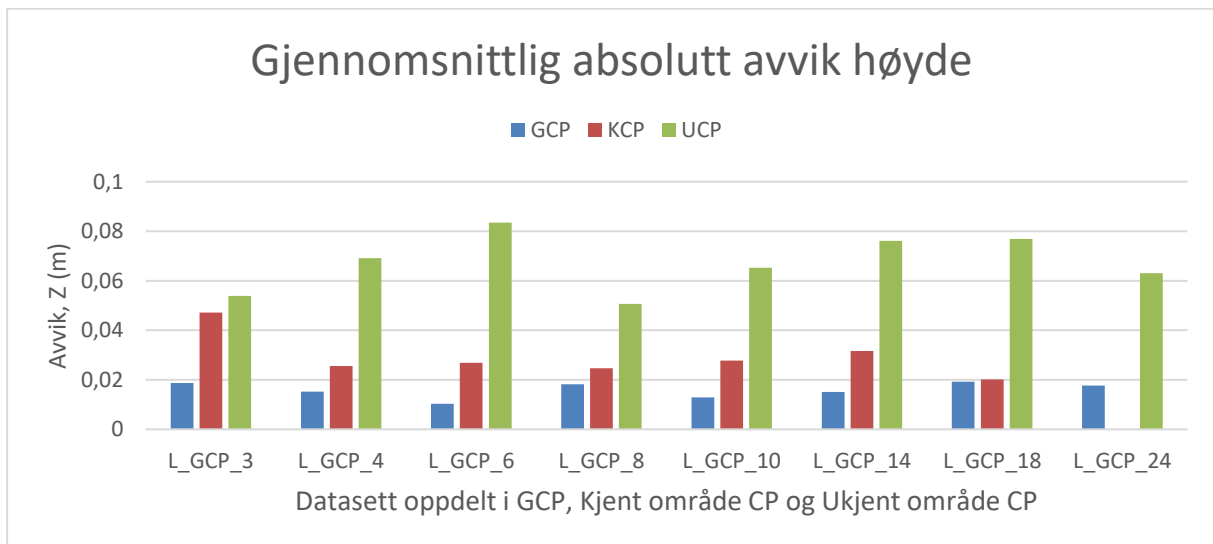
Graf 54: Gjennomsnittlig høydeavvik for vinkelformen med ulikt antall GCP'er. Trenden i alle datasettene beskrives av trendlinjen i grafen. Denne baserer seg på alle datasettene i grafen og er egnet til å se på gradvis endring, i dette tilfellet en relativt jevn nedgang. Den lineære utregningen i grafen ville stemt helt til den lineære trenden hvis $R^2=1$. R verdien beskriver hvor godt den lineære trenden er tilpasset grafen. Grafen viser en tendens til at avviksnivået har en tydelig nedgang over 6GCP'er.

For de liggende datasettene gjøres like graf fremstillinger, men avstandsbestemmelsen er i henhold til Figur 45. Beregnet fra ytterkant av kjent område for liggende test. Den overordnede trenden i de to påfølgende grafene (Graf 55 og Graf 56) er at avvikene er relativt samlet tett opp mot kjent område. Ut i området øker avviket og forskjellen mellom datasettene øker, beskrevet i spredningen mellom linjene lengst ut i datasettet.



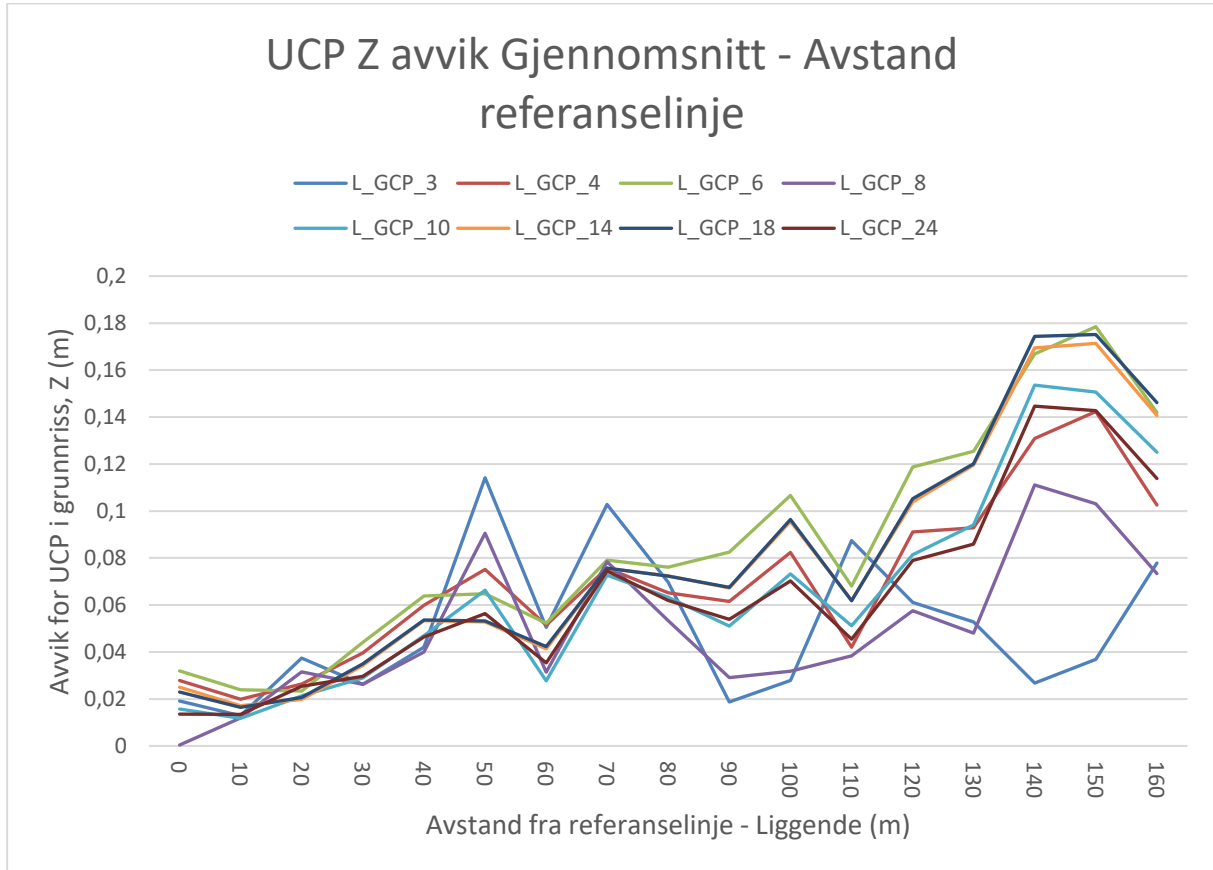
Graf 55: Gjennomsnittlig absolutt avvik i grunnriss, XY. Fordelt på GCP, KCP og UCP.

Graf 55 beskriver avviket i grunnriss. Her ser datasettene mer like ut, enn for vinkelen. Det er kun noen få datasett som skiller seg litt ut. Slik som GCP3 og GCP14. Disse følger ikke helt de andre linjene i grafen.



Graf 56: Gjennomsnittlig absolutt avvik høyde for liggende datasett. L_GCP_24 har ikke avvik på KCP, fordi datasettet ikke har kontrollpunkter i kjent område. Da det kun er tilgjengelig 24 punkter totalt i området og disse er benyttet som GCP.

Dette ser vi også i trenden til i høydeavviket under (Graf 57). Her er det flere datasett som ligner og følger samme kurve med større og større spredning og økt avvik. De datasettene som skiller seg ut her er GCP3, GCP6 og GCP8.



Graf 57: Gjennomsnittlig avvik for ukjent område CP i liggende datasett. Avstand fra kjent område, i henhold til Figur 45.

4 Diskusjon

Oppgaven har klare rammer som beskriver begrensning og forutsetninger for å besvare problemstillingen. Det er mange elementer og variabler som kan påvirke resultatet, og det er ikke mulig å hverken teste eller beskrive alle elementene og variablene. Vi prøver derfor så godt det lar seg gjøre å isolere disse variablene, ved å kun endre form på området eller antall GCP'er. Sammen med et stort datagrunnlag fra alle beregningene etablerer vi et grunnlag for å kunne se hvordan enkle variabelforandringer påvirker resultatet. Valgene vi gjør for hvordan vi samler og prosesserer data tar vi basert på den informasjonen vi får fra programvareprodusenten, litteratur og egne tester. Ved å gjøre det slik er det en fare for å kunne få falske resultater da det ikke er sikkert at metoder og innstillinger vi blir anbefalt vil egne seg like godt på vårt datasett. For å minske denne usikkerheten er vi er kildekritiske og prøver å finne flere kilder som støtter valgene vi tar. På denne måten kan vi begrense oppgavens omfang ved at vi ikke nødvendigvis må finne de beste metodene og innstillingene selv. Det legges også til grunn i denne vurderingen at det behandles flere flyvninger og datasett i perioden enn det som er beskrevet i oppgavens rammer. En forutsetning for resultatene er å ha kontroll på gjennomføringen av datainnsamlingen. Vi ville trolig ikke oppnådd samme resultat dersom det var første, andre eller tredje gangen vi utførte en slik datainnsamling, da det er enkelt å overse eller innføre feil som kanskje ikke vil bli oppdaget.

Basert på datainnsamlingen, bildekvaliteten og visuell kontroll av selve modellen ser det ut som om vi oppnår gode resultater. Vi har et overbestemt bildemateriale på 650 bilder som sammen med overveide valg for område, metode og tid for gjennomføring sørger for at det er lite vi umiddelbart kan si at har en stor usikkerhet ved seg. Dette kommer av at valgene som er tatt ikke er grenseverdier for anbefalte metoder. Når noe er nevnt i flere litteraturstudier som et minimumskrav legger vi oss over for å være innenfor anbefalingene. Det kan føre til at vi innfører «for gode» metoder som kan skape falske resultater, men vi mener å ha funnet en god middelvei for å ikke innføre dette. Vi ser ikke hvordan resultatet oppfører seg opp mot minsteverdier eller maksverdier for ulike innstillinger og innsamlingsmetoder, så om vi innfører de usikre elementene kommer an på hvor godt annenmanns litteratur stemmer overens med de andre valgene vi tar og i dette testområdet. Oppgavens metoder ivaretar ikke en kontroll av datainnsamlingsmetoden mot annet utstyr eller andre metoder. Hva ville skjedd dersom vi fløy for fort? Eller dersom vi ikke har så høyt overlapp?

Vi har ikke testoppsett eller data til å kunne svare på den type vurderinger, det vi har mulighet for å kunne svare på er metoden for hvordan etableringen av et kjent område kan gjøres i forhold til et ukjent område. Dataene gir også svar på hva som skjer i ukjent område. Området utenfor der vi plasserer GCP'er og som vi normalt sett har kontroll på.

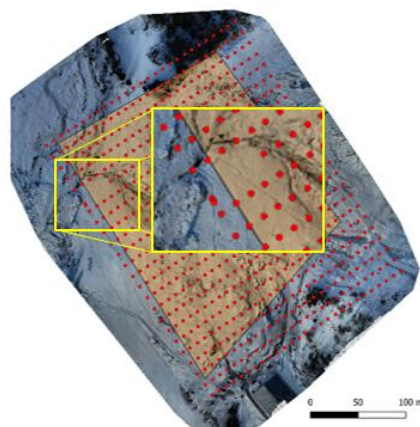
Området for testen har egnet seg godt for vårt formål, men vi har ikke kontroll på hvordan et annet område ville påvirket resultatet. Testområdet har varierende terreng som gir kontraster i alle bildene, enkel tilgang som forenkler gjennomføringen, snødekke med kontrast i terrengdetaljer, flere overflatetyper og høydeforskjeller. Sammen mener vi at dette øker pålitelighet til datainnsamlingen og derav resultatet, da det ikke nødvendigvis er et enkelt terreng å beregne med fotogrammetri, men et realistisk område for bruk av metoden.

Datainnsamlingen er fundamentet for hvor bra en modell kan beregnes fordi resultatet er direkte beregnet fra bildematerialet og innmålingskvaliteten til de koordinatfestede punktene. Dette gjør at påliteligheten og testens resultater må ses i forhold til usikkerheten som finnes og kvaliteten på datainnsamlingen.

De initielle testene, kontrollen av grunnlaget og oppgavens 3 primærttester viser at resultatet påvirkes av sammensatte elementer. Det finnes flere usikre elementer i fotogrammetri og etableringen av kontrollgrunnlaget enn de vi får belyst i denne oppgaven. Oppgaven belyser i test 1 at avvik utenfor kjent område har en avstandsavhengig faktor og at inngrepsretningen på AOI påvirker resultatene i ukjent område. Test 2 belyser at formen på et kjent område har påvirkning på resultatet i et ukjent område og bekrefter funn fra test 1. Test 3 belyser deretter effekten ved å tilføre flere bakkekontroll punkter (GCP) i beregningen og viser en klare forskjeller i hvordan test 1 og test 2 definerer kjent område i utvalget. Det bekreftes funn fra test 1 og 2 i metode ved å se de to formene mot hverandre og ved å fokusere på avvik gitt på en bestemt avstand fra referanselinje. Metoden vi bruker når vi lager de 3 testene og når vi analyserer dataene egner seg ikke til å finne ut hvordan alle elementene og variablene henger sammen og påvirker hverandre. Metoden krever flere datasett for å kunne utnytte de få endringene som gjøres mellom beregningene. Dette tillater oss å se på trend og sammenligne flere datasett basert på mye informasjon. Det er en tidkrevende prosess med mye databehandling, men en god metode når det er så mange ukjente verdier som det er i fotogrammetri.

4.1 Datainnsamling

Flyplanen som er laget i forbindelse med datafangsten er nøye gjennomtenkt og det ble utført flere tester i forkant av oppgaven for å bestemme en god flyhøyde, kamerainnstillinger, og flyhastighet. Flyplanen har vi designet med den hensikt at det skal være gode forhold for å finne fellespunkter i bildene. Dronen som er brukt i oppgaven har et fastmontert kamera med en 20-megapiksels bildesensor og vi bør derfor kunne nøye oss med 75% overlapp i henhold til programvareleverandørens anbefaling for å sikre nok fellespunkter. Økning av overlapp er et av tiltakene programvareleverandøren henviser til dersom det er snakk om datainnsamling av homogene overflater. Vi velger derfor å øke dette til 85% overlapp slik at vi er sikre på at alle bildepar vil ha ett større grunnlag for å finne mange fellespunkter. Dette gjør vi slik at vi er godt over anbefalingen for å sørge for nok fellespunkter samtidig som vi og tar høyde for at AOI vil være snødekt og det dermed vil være krevende å finne fellespunkter mellom bildene. For mye overlapp kan føre til falske resultater og økt prosesseringstid fordi det vil være for mye overbestemmelse mellom bildepar. Vi ser ingen effekt som indikerer at vi har for høyt overlapp. Slik som lang prosesseringstid eller at beregningene skaper falske resultater.



Figur 47: Illustrasjon som viser kameraposisjoner med utheving av området der det ikke er tatt alle planlagte bilder

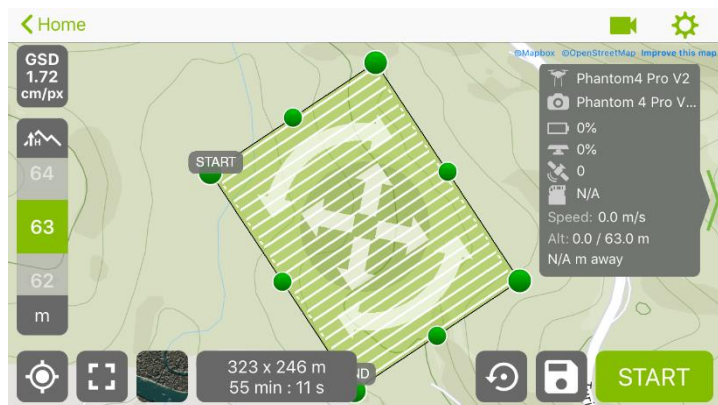
Ulempen med å bruke høyt overlapp er at flytiden går opp dersom flyhøyden ikke forandres. Økt flyhøyde vil kunne holde flytiden nede, men fører da til at GSD øker. Overlapp mellom bilder på 85% gjør at det må utføres 2 batteribytter under datainnsamlingen. I Figur 47 ser vi en feil som oppstått under batteribytte. Her er det ikke tatt bilder i området hvor det mangler røde prikker som symboliserer kameraposisjonene. Det reduserer antall potensielle fellespunkter, men det er fortsatt nok til overbestemmelse i beregningen. Det er ikke funnet noe som tilsier at dette har hatt noen stor påvirkning på resultatene.

Den homogene terrengoverflaten som et snødekt landskap representerer, var en bekymring frem til vi fikk belyst hvordan snødekte områder kunne tolkes og utnyttet (Chudley et al., 2019, Bühler, 2016, Nolan et al., 2015). Artiklene dannet grunnlag for «Snø-testen» som

avgjorde når på dagen det er fornuftig å fly. Testen gir klare svar på at algoritmen håndterer bedre belyste områder hvor det er skarpe skygger og god kontrast enn mørke områder. De tre datasettene i «snø-testen» er basert på samme flyplan og innstillinger i programvaren, slik at det bare er tidspunkt for datafangsten som er forskjellen. På denne måten har vi større grunnlag til å stole på testen, ved at det er få elementer som endres annet enn lysforholdene. Om ytre påvirkninger eller andre innstillinger påvirker resultatet i denne testen, kontrolleres ikke.

Av litteraturen vi leser ser vi at et snødekt område må behandles som en levende overflate, hvor tiden påvirker snøen ved at den krystalliseres og forurenses (Singh et al., 2010). Når datainnsamlingen for oppgaven gjennomføres er det flere dager siden forrige snøfall og med plussgrader på dagtid er det grunnlag for å anta at snøen er krystallisert. Det etableres over 100 punkter som skal brukes som GCP og CP. Disse fungerer også som gode kontrastforskjeller mot snø. Mellom disse punktene er det noe vegetasjon, synlige steiner, gjerder og oppgatte områder. Alle forandringer i terrenget bidrar til et godt resultat. Hvis området ikke hadde vært snødekt, ville det vært mindre jobb med utplassering av kontrollpunktene og færre hensyn å ta i forhold til tid for gjennomføring og lysforhold.

Det ble brukt en flyhøyde på 63 m over ett punkt som lå omtrent midt i AOI noe som gir oss en gjennomsnittlig GSD på 1.82 cm. Dette gir oss mye detaljer i bildene som vil kunne bidra til å finne flere fellespunkter i bildene. Det er ikke testet videre om en annen flyhøyde ville produsert de samme resultatene vi ser i kapittel 3. Av litteratur som omhandler dette har vi (Oniga et al., 2018) hvor resultatene der ble det samme uavhengig av en endring på 7 m i flyhøyde. Det kommer ikke frem i denne artikkelen om det ville blitt samme resultat ved større endringer i flyhøyden, men den kan fortelle oss at vi mest sannsynlig ville fått de samme resultatene uavhengig av en liten endring i høyden vi fløy på.



Figur 48: Flyplanleggeren til Pix4D med AOI.

Flyhastigheten som ble brukt var den laveste som dronen automatisk kunne fly. Dette ble gjort for å sikre bildeskarpheiten, samtidig som å stoppe ved hvert bilde blir for tidkrevende.

Dette resulterte i en høy flytid (55 minutter) og 2 batteribytter. Når en senere ser igjennom bildematerialet som ble tatt ser en at de fleste bildene er tatt med en lukkertid raskere enn 1/500s. Dette betyr at dronen fint kunne hatt en hastighet på opp mot 9m/s uten å produsere uskarpe bilder. Laveste hastighet i programvaren som styrte dronen under datafangst ligger på rundt 3m/s til 4m/s, godt under det vi kunne hatt uten å få uskarpe bilder. Dersom det er tilfelle at vi oppnår samme bildekvalitet ved raskere flyvning, medfører dette at et større område kan dekkes med samme flytid. Datainnsamlingen i oppgavens testområde ville også blitt utført raskere og tiden mellom hvert bilde ville blitt redusert. Tidsdifferansen mellom bilder kan være avgjørende ved skiftende lysforhold hvis skygger, mørke og lyse elementer endres så mye at fellespunktene i bildene reduseres. Ved så høyt overlapp som er brukt, vil denne differansen uansett ha liten betydning og den vurderes som ikke betydelig for datainnsamlingen.

Et usikkert moment i oppgaven er innmålingskvaliteten og påliteligheten til GCP'ene. Da alle GCP'ene er målt 1 gang og kun 18 av disse er kontrollert med ny innmåling, er det ikke grunnlag for å avdekke grove feil. Ved å ha 3 uavhengige målinger i alle punktene ville vi hatt bedre kontroll med mulighet for å luke ut grove feil. Dette var urealistisk å gjennomføre i datainnsamlingen da terrenget vi opererte i var vanskelig å ferdes i slik at det da tok lang tid å måle inn GCP'ene. Ved lengre innmålingsperiode ville vi økt virkningen av ytre påvirkninger, slik som snøsmelting. Vi vurderte å etablere alle punktene dagen før og starte innmålingene, men basert på en helhetsvurdering ble heller innmålingen og flyvningen gjort samme dag med et utvalg av 18 GCP'er som ble målt en ekstra gang slik at en kunne kontrollere størrelsen til avviket i perioden og gi en kvalitetsbeskrivelse basert på dette utvalget. De kontrollerte punktene representerer 18% av alle punktene og gir oss et relativt lavt utvalg, samtidig som det representerer dataene relativt spredt i området. Punktene distribueres i hele lengderetningen med hovedtyngde på de lengste avstandene fra totalstasjonen. Dette gir kontroll på differanser og ytre påvirkninger som snøsmelting i disse 18 punktene, men avdekker ikke grove feil. De kontrollerte punktene viser at vi har målinger som statistisk sett distribuerer seg normalfordelt og det ser ut til at utvalget kan brukes som en representasjon for alle innmålingene. Dette utelukker ikke feil, men er med på å styrke påliteligheten til kontrollen. Målekvaliteten til instrumentet som måler inn kontrollpunktene har en signifikant bedre nøyaktighet enn GSD-størrelsen. Dette gjør at vi uavhengig av faktisk kvalitetsbeskrivelse av kontrollpunktene trolig ikke oppnår særlig bedre kvalitetsbestemmelse

av hvert kontrollpunkt enn usikkerheten til kanskje 1/2 piksel (0,91 cm) i tillegg til usikkerheten programvaren legger til grunn ved bildemarkering av GCP.

Vi benytter oss av disse 18 kontrollerte punktene i en referansemodell for å kunne lage et datasett som kan være med på å kontrollere kvaliteten til de resterende 82 bakkekontrollpunktene i området. De 18 kontrollerte punktene bestemmer kameraets indre orientering i beregningen av ett datasett. Vi låser så kameramodellen for å beregne nye datasett som kontrolleres mot datasett som ikke har samme indre orientering. Alle datasettene bygger på de samme bildene, slik at vi forventer ikke særlig store endringer. Grunnen til å beregne flere datasett med samme bildeorientering er fordi den indre orienteringen i kameramodellen som beregnes fra de 18 kontrollerte punktene har vi uavhengig målekontroll på. Målet er at disse kameraparameterne fra de kontrollerte punktene hvor vi har kontrollert for grove feil gir oss god bestemmelse av skala, orientering etc. som gjør at når dette låses i andre datasett bruker vi et kontrollert grunnlag i en del av beregningene. Dette fjerner en del usikre momenter i beregningene, samtidig som vi vet at Structure-from-Motion (SfM) metoden egentlig er best egnet til den flytende tilnærmingen. Resultatet av dataene er tenkt at skal kunne belyse eventuelle grove feil og punkter med større usikkerhet enn de andre. Vi oppnår her resultater som kan markere ut enkeltpunkter med potensielle feil. Men har vi egentlig grunnlag for å utelukke enkeltpunkter på denne måten?

GCP72 er det ene punktet som spesifikt skiller seg ut fra de andre kontrollpunktene. Som vi ser i Graf 13 har dette punktet differanse fra minste til største beregnet avvik som GCP på 9 cm. Dette er da sett opp mot datasettet beregnet motsatt av kontrolldatasettet på 18GCP'er. Datasettet beregnet med 82 GCP'er har dermed flere av punktene rundt GCP72 definert som UCP og vi har allerede avdekket at dette datasettet sannsynligvis dytter mye feil i UCP punktene for å tilpasse mest mulig i GCP-punktene. Det er derfor ikke mulig å ta beslutninger basert på disse 9 cm. Derimot kan vi forholde oss til de to andre datasettene som er beregnet med lik kameramodell. Avviket her er på 7,7 cm mot likt antall GCP i beregningen og 5,25 cm mot referansedatasettet med de 18 kontrollerte punktene. GCP72 Kan ha en grov feil i høyde, men det er også mulig avviket kommer av programvareinnstillinger, GCP konfigurasjon eller lignende og det er derfor ikke grunnlag for å utelukke punktet. Vi kan nok heller ikke bruke dette testoppsettet som en kvalitetskontroll av de 82 GCP'ene som ikke ble kontrollmålt med totalstasjon. Det er for mange elementer som endres og avvikene ser ikke ut til å luke ut grove feil.

Som et ledd i kontrollen av innmålingskvaliteten til bakkekontrollpunktene, ser vi på målingenes repeterbarhet. Dette vil kunne beskrive innmålingskvaliteten, med andre ord hvilken presisjon vi måler inn hvert punkt med. Resultatene av denne testen er relativt gode og gir et bilde på hvor mye usikkerhet vi påfører i enkeltpunkter ved innmåling. Gjennomsnittskoordinaten til de 17 enkeltmålingene brukes som referanse til punktets senter og viser at det er små forskjeller i innmålingene. Vi ser og at høyden blir bestemt med bedre presisjon enn grunnriss. Kontrollen innehar nok punkter til å utelukke grove feil og se på målingenes varians. Dette viser at vi måler inn punktene inn med en god presisjon, men dette gir ingen videre kontroll for de andre 100 kontrollpunktene i form av grove feil og kvalitet.

Kvalitetsfastsettelsen av GCP i programvaren kan være vanskelig å fastsette, da den som beskrevet i oppgaven er et produkt av flere elementer. Alle disse elementene har vi ikke kontroll på i oppgaven da det er ytre påvirkninger som snøsmelting og andre forhold, sammen med innmålingspresisjon, kvaliteten til totalstasjonen og programvareleverandørens krav i forhold til GSD størrelsen. For å redusere usikkerheten kontrollerer vi hvilken påvirkning det vil ha på resultatet ved endring av kvalitetsfastsettelsen. Her ser det ut til at de fleste verdiene under 15mm kvalitetsbeskrivelse for hver GCP oppnår relativt likt resultat som kvalitetsfastsettelsen på 5 mm. Det er noen enkeltforskjeller og alle aspektene her er ikke undersøkt, men enkeltforskjellene er ikke gjeldene for begge datasettene som kontrolleres. Ved å se på resultatet til datasettet med 100 GCP'er har vi heller ingen kontroll på hva som skjer utenfor de punktene som er med i beregningen. Dette er en svakhet i testen og det burde vært benyttet et lavere utvalg slik at man kunne se på resultatet i punkter uten påvirkning fra beste tilpasning i beregningen. Kvalitetsfastsettelse på 2 og 3 mm for 100 GCP'er gir lave verdier, men om dette er fordi det er realistisk eller om det er et falskt resultat kan diskuteres. Da vi ikke ser det samme resultatet i det andre datasettet antar vi at dette er et falskt resultat, uten at vi undersøker eller tester dette mer. Vi har ikke klart å avdekke om 5 mm kvalitetsfastsettelse som vi har satt er riktig, men testen antyder at løsningen blir den samme om den hadde blitt endret noen millimeter.

Ved å teste de innmålte GCP'ene og kontrollere bildematerialet og innstillinger ser vi at vi mangler kontroll på datainnsamlingen til GCP'ene slik at vi ikke kan utelate eller se om det er grove feil i datasettet. Men ser vi på helheten er det ikke sikkert at mangelen på kontroll påvirker videre test av metode i datasettet. Hvis testen av GCP kvalitetens betydning (3.1.3) er gjeldende oppnår vi bedre resultater når kvaliteten på GCP'ene settes bedre (lavere verdi)

noe som indikerer at målingene jevnt over er gode. Målingene er også målt inn med et instrument som i utgangspunktet er mer presist enn størrelsen på GSD i dataene. Det vi ikke har kontroll på og som fortsatt kan forekomme er grove feil.

Vi har ikke kontrollert området grundigere, da dette vil kreve mye ressurser og også muligens en ny datainnsamling. Med lite innsyn i hva som faktisk skjer i programvaren har vi ikke grunnlag til å forkaste punktet i beregningene, men det skal nevnes at det er noe i området rundt dette punktet som ofte slår ut negativt i flere av datasettene.

4.2 Test 1 – Retning og areal

Ved å bruke likt testoppsett for begge retninger etableres det et sammenligningsgrunnlag mellom likt areal i de ulike retningene. De ulike arealene sammenlignes i hver sin retning fordi det er flere faktorer enn retningen som endres. Forskjellen mellom datasettene er lengste og korteste avstand mellom GCP og lengste avstand fra GCP til ytterkant av datasettet. Testen er utformet for å beregne et så stort ukjent område som mulig. Siden vi forventer at vi må plassere ut et visst antall GCP for å oppnå ønsket resultat settes minste areal for kjent område til 15%. Testen består av 4 områder med god spredning opp til 50% areal. I disse fire testene belyser vi som forventet effekten av å bestemme et stort eller lite område. Testen bekrefter hypotesen i forhold til avstandsbetinget avvik fra GCP. Siden det ikke testes mer enn 4 arealer er det ikke mulig å si om det er en trend for alle ulike arealfordelinger eller hvordan den eventuelt ville sett ut med andre GCP konfigurasjoner. Det vi ser er en tilsynelatende trend og vi får avklaringer på hvilken retning og areal vi skal bruke i videre test. Vi kunne med fordel beregnet flere arealer og testet flere mulige angrepsvinkler på AOI, men om dette ville tilført noe annet eller på bedre måte kunne fastsette disse forholdene kan vi ikke vite. Det vi kunne gjort var å endre på noen av parameterne i de datasettene vi opplever avvik. For å se om en liten arealendring eller andre GCP'er ville påvirket avviket. Da hadde vi fått kontroll på om det var andre parameter som påvirket testen eller om arealet var hovedårsaken til endringen.

Vi ser tidlig i test 1 at vi har enkeltpunkter som skiller seg betydelig ut mellom de ulike datasettene. Resultatene i testen er motstridende, på den måten at det ikke er en helhetlig trend mellom alle testene. Når resultatene ikke gir helhetlig svar og vi forandrer på flere elementer er det vanskelig å finne ut årsaken til resultatforskjellene. Beslutninger som gjøres med

bakgrunn i dataene må ha flere elementer for vurdering, ikke kun direkte sammenligning av resultatmaterialet.

For å forstå resultatet og se om vi får svar på hvorfor enkeltpunkter har store avvik i bare noen av testene beregnes det flere datasett for å se om vi kan forstå sammenhengen og vi ser om det er noen sammenheng mellom testene som får enkeltpunktavvik. Vi oppnår ikke konsise og sammenstemte data i disse ekstra datasettene og forkaster resultatet da det ikke tilfører mer kontroll. Det antas at punktdifferansene er et utslag på flere elementer, uten at vi på dette tidspunktet klarer å isolere disse. Ser vi på tidligere nevnt litteratur fra blant annet programvareleverandøren (Pix4D, 2018) oppnår vi også forventet kvalitetsbeskrivelse, 1-2xGSD for grunnriss og 1-3xGSD i høyde, tett inntil kjent område, i testene og på bakgrunnen av en helhetsvurdering mener vi at test 1 har oppnådd et realistisk resultat. Derfor velger vi å gjennomføre de neste testene basert på det utvalget testen gir oss.

4.3 Test 2 - Form

Teste 2 er utformet slik at det først testes ulike former som konstrueres ved å plassere GCP'ene på en slik måte at de representerer formen som skal testes. Deretter velges den formen som viser gode resultater for å testes videre. I test 2 ser vi at det er formene hvor vi har GCP'er plassert i AOIs fire hjørner (form 4 og form 5) som gir de beste resultatene. Dette var noe vi hadde forventet da det er anbefalt i litteraturen (Osborn J, 2017, Raczynski, 2017). Vi tar et valg og velger disse formene bort da disse er urealistiske former med tanke på vår problemstilling fordi disse formene i grunn krever tilgang til alle kantene i AOI. Vi konkluderer med at vinkelformen kan gi gode resultater og velger å teste denne videre.

Vi startet med å se om det har noe å si hvilken retning denne vinkelen stod i datasettet. Det vi ser er at små forskjeller i gjennomsnittsavviket for grunnriss og høyde mellom de ulike retningene vi setter denne formen. De ulike datasettene viste en gjennomsnittlig forskjell på 2.0 cm i høyde og 0.5 cm i grunnriss (Graf 37 og Graf 38). Dette viser at det faktisk spiller en rolle hvordan denne formen plasseres i datasettet. Akkurat hva den forskjellen skyldes er vanskelig å isolere. Dette området gir gode resultater også for andre former som blir plassert der. Vi velger å ta med den beste retningen av denne vinkelen videre og teste hvordan GCP'enes utstrekning påvirker resultatet. Vi ser at når GCP'ene står tett samlet med liten

utstrekning øker avvikene kraftig (Figur 39 og Graf 39). Dette kan antyde at GCP'ene spredning har stor betydning for resultatet, noe som litteraturen (Sanz-Ablanedo et al., 2018) og kan antyde da det her fremkommer en anbefaling om å spre GCP'ene jevnt i datasettet.

Som en kontroll av funnene fra test 1 testet vi ulik arealfordeling mellom kjent og ukjent område for vinkelen. Det vi så kunne bekrefte funnene fra test 1 ved at de laveste avvikene i ukjent område ble oppnådd når GCP'ene ble distribuert i 25% av AOI. Som en avslutning av test 2 ble det testet om det hadde noe for seg å snu formen som vi tar med oss fra test 1 (L_25). Her så vi en klar fordel ved å snu formen slik at den ligger i det nord-østre siden av AOI. Dette er det samme vi så for vinkelformen, noe som kan bety at det er topografien, innmålingskvalitet eller andre ting i området som gir gode resultater. Området inneholder det høyeste partiet i datasettet og vi vil derfor ha mest detaljer i bildene. Hvorfor vi oppnår bedre resultater når kjent område er her sier ikke testen, men det kan indikere at det ikke er arealet av kjent område som har så mye å si, heller andre forhold som hvilke GCP'er som brukes i beregningene, hvordan området er, GSD osv.

Test 2 har relativt store variasjonene i resultatet til de ulike datasettene. Dette er kanskje en bekreftelse på at feilen påvirkes av hvilke GCP'er som benyttes i beregningen og hvor disse er plassert. Utfordringene med testen er at noen av formene har en stor ulikhet og dermed gjør det vanskelig å sammenligne mange elementer fra hver test med de andre resultatene. Det gjør det riktignok mulig ved å se på avstand fra GCP, fordi denne vil kunne generaliseres slik at den kan gjøres gjeldene for alle testene. I utvalget blir det mer en helhetsvurdering av formenes egenskaper. Vi er avhengige av at utvalget kan benyttes i neste test for å bestemme et ukjent område lengst mulig unna kjent område samtidig som vi ønsker å bruke best egnet form. De best egnede formene for å bestemme hele AOI med lavest mulig avvik, ser ut til å være de som har GCP'er mest mulig fordelt i rammen til området. Dette gjør at hele området interpoleres mellom punktene og vil være et oppsett relativt likt litteraturens anbefaling. Da dette fører til at resultatet ikke konkret kan belyse problemstillingen, velges disse bort på riktig grunnlag. Det vi tar med oss fra utvelgelsen er at en jevn distribusjon som er brukt i fordelingen av GCP'er i alle testene er fordelaktig for å bestemme et kjent område. Så resultatet gir oss bekreftelse på våre inngangsverdier, selv om disse ikke velges ut og brukes videre. Utvalgt form fra test 2, Vinkel, gir muligheter for å se på resultater i store deler av AOI i tillegg til at dette er et fornuftig testutvalg da det låser flest mulig av sidene til AOI mens det fortsatt ivaretar et relativt stort ukjent område.

4.4 Test 3 - GCP

Når vi tester påvirkningen av antall GCP'er som blir brukt i det kjente området øker vi gradvis antallet GCP'er. Ved økning av antall GCP'er har vi forsøkt å kun legge til nye GCP'er og beholdt de som allerede var brukt som GCP dersom dette har ivaretatt en jevn distribusjon. Dette for at resultatene ikke

skal bli påvirket for mye av hvilke GCP'er som er brukt. Testen inneholder 8 datasett for hver av testens 2 former med ulikt antall GCP'er mellom 3 GCP og 24 GCP. Disse 8 datasettene ser ut til å representere et realistisk utvalg. Utvalget har minst variasjon ved få GCP'er fordi det antas at det vil være størst forandring her, noe som viser seg å stemme. Testen er ikke tett nok til å beskrive en detaljert trend og et usikkeret moment vil være distribusjonens påvirkning.

Vi starter denne testen med å sammenligne tre datasett (Figur 29, Graf 45 og Graf 46). Det vi får belyst her er at det er en positiv trend ved at det gjennomsnittlige absolutte avviket i grunnriss og høyde synker ved tilførsel av flere GCP'er, med størst reduksjon i høydeavviket. Videre ser vi på optimaliseringen av kameraparameterene. Dette er et parameter som er vrient å si noe om da vi her ikke har noen fasit på hva som egentlig er korrekt. Det vi har informasjon om er hva optimaliseringen er når vi bruker GCP'er som er spredt i hele datasettet. Derfor kan man vurdere datasettene opp mot denne referansen og definere de datasettene med lavere avvik i forhold til dette som bedre enn de andre uavhengig av hvor høy eller lav optimaliseringsverdien er. Da ser vi at det er L_GCP_8 og V_GCP_24 som er nærmest optimaliseringsverdiene til de datasettene hvor GCP'ene har vært jevnt fordelt i hele datasettet. Vi ser og i resultatene at vi er godt innenfor kategorien under 5% optimalisering for alle datasettene som er Pix4D sin grense for når vi må vurdere tiltak på dataene.

Kvalitetsrapporten belyser kvalitetsfastsetter RMSE for georefereringen av datasettet. Denne forteller oss hvor godt datasettene er romlig bestemt i forhold til koordinatsystemet som er angitt. Her ser vi at de liggende datasettene jevnt over gjør det bedre enn vinkel-datasettene. Det er to datasett som viker fra normen (Graf 48). Dette er datasettene V_GCP_3 og V_GCP_4 som begge har avvik som er 10-15 ganger lavere en de resterende datasettene. Uten videre testing er det vanskelig å si hva dette skyldes. Men det kan være et resultat av lite overbestemmelse i transformasjonen, slik at dette er resultatene til en falsk løsning.

Den siste overordnede enheten vi tar med oss fra kvalitetsrapporten er usikkerheten til bestemmelsen av kameramodellen. Her ser vi tydelig en reduksjon av usikkerheten ved økt antall GCP'er. Programvaren får da flere punkter å bruke i fastsettelsen av skala og orientering. Grunnen til at vinkel formen er bedre enn den liggende, henger trolig sammen med at GCP'ene distribueres i et større område av AOI. Dette skaper flere ulike avstander og vinkler som kan beregnes mellom GCP'ene i bestemmelsen av kameramodellen.

Om vurderingen av de overordnede kvalitetsbestemmelsene gir realistiske verdier i forhold til andre datasett er ikke kjent, men formålet her er som i test 3 å belyse forskjellen mellom kvalitetsbeskrivelsen av de ulike datasettene og avdekke store avvik.

For vinkel-datasettene ser vi at både grunnriss- og høydeavvik synker når man tilfører flere GCP'er frem til man har 8 GCP'er og stabiliserer seg når man har 14 GCP'er. Det kan her virke som man har funnet en mer eller mindre optimal løsning og å tilføre flere GCP'er har liten effekt. Ser man dette opp mot Graf 52 ser man at datasettene hvor man har mindre enn 8 GCP'er passerer et høydeavvik på 10 cm ved en avstand på 110 m. De andre datasettene med fler enn 8 GCP'er passerer aldri dette avviksnivået, selv ikke på maksimal avstand på 190 m fra referanselinjen. Ser man på Graf 53, kan en se at det er ved 14 GCP'er man har det lavest gjennomsnittsavviket i det ukjent området og dette er med å bekrefte at den optimale løsningen er funnet ved 14 GCP'er for vinkel formen.

For de liggende datasettene ser vi en klar trend ved at gjennomsnittlig absolutt avvik i grunnriss (Graf 55) i det ukjente området synker ved tilførsel av GCP'er. Ved å se høydeavviket opp mot en referanselinje (Graf 57) ser man en klar og tydelig sammenheng mellom avvik og avstand. Avviket øker jo lenger fra referanselinjen (kjent område) UCP'ene står. For absolutt avvik i høyde (Graf 56) er ikke trenden like klar som vi så ved grunnriss. Her finner vi de laveste avviksverdiene i ukjent område for kontrollpunktene i datasettene med 3 og 8 GCP'er. Siden beregningene med 3 og 8 GCP'er ikke følger kurvene til de andre datasettene kan det tenkes at disse viser et falskt resultat, det er naturlig å tenke at dette i alle fall gjelder for datasettet med 3 GCP'er da dette er en minimumsløsning i beregningen. De fleste andre liggende datasettene følger en gitt kurve og det er ingen klar sammenheng mellom antall GCP'er og avviksnivå mellom de ulike datasettene.

Vi ser at mellom 8 og 14 GCP'er gir gode resultater i begge formene og det kan her virke som om vi finner det som er testens optimale antall GCP'er for både liggende og vinkel

datasettene, selv om . For å finne det optimale antallet vil det være naturlig å teste alle tilstøtende antall til denne testen. Ved å beregne flere datasett på 6-14 GCP'er vil dette kunne bekreftes, eller motbevises ved at det er et tilstøtende antall som er optimalt for denne spesifikke testen.

Test 3 gir bekreftelse på at antall GCP'er har en betydning. Vi får ulike resultater og det ser ikke ut til at det er en direkte sammenheng mellom tilførsel av GCP'er og lave resultater. Vi mangler den lineære trenden mellom datasettene og det må være flere andre elementer som spiller inn og skaper sprik i resultatet. Det er beskrevet av programvareleverandøren at 5-10 GCP'er stort sett er nok og at tilføring av flere GCP'er ikke forbedrer avvikene signifikant (Pix4D, 2019f). Basert på vårt testoppsett hvor vi kun tester et utvalg, klarer vi ikke helt å se detaljert på tilføringen av GCP. Dette gjør at vi ikke kan si at over x antall GCP'er så er forbedringen y antall prosent. Skulle vi kunne sett konkret på dette eller en annen detaljert vurdering, måtte vi sannsynligvis testet alle antall fra 3-24 i vårt oppsett og muligens også distribusjon og ulike GCP'er med samme antall.

Alle tre testene inneholder ukjente variabler som vi ikke helt har kontroll på. Dette kan føre til at vi gjør et feil utvalg når vi velger det beste datasettet å gå videre med til neste test. Noen av disse variablene finner vi svar på i de senere testene slik som optimalt antall GCP'er. For å få enda bedre kontroll på disse variablene burde vi brukt en iterativ prosess slik at vi kunne kontrollere de resultatene vi fikk for å se om vi ville fått samme resultatet med de nye inngangsverdiene. Testens metode og tidsramme tillater ikke denne tilnærmingen, men som kontroll av oppgavens resultater kan det være mulig å lage et oppsett med en iterativ tilnærming.

4.5 Resultatkontroll

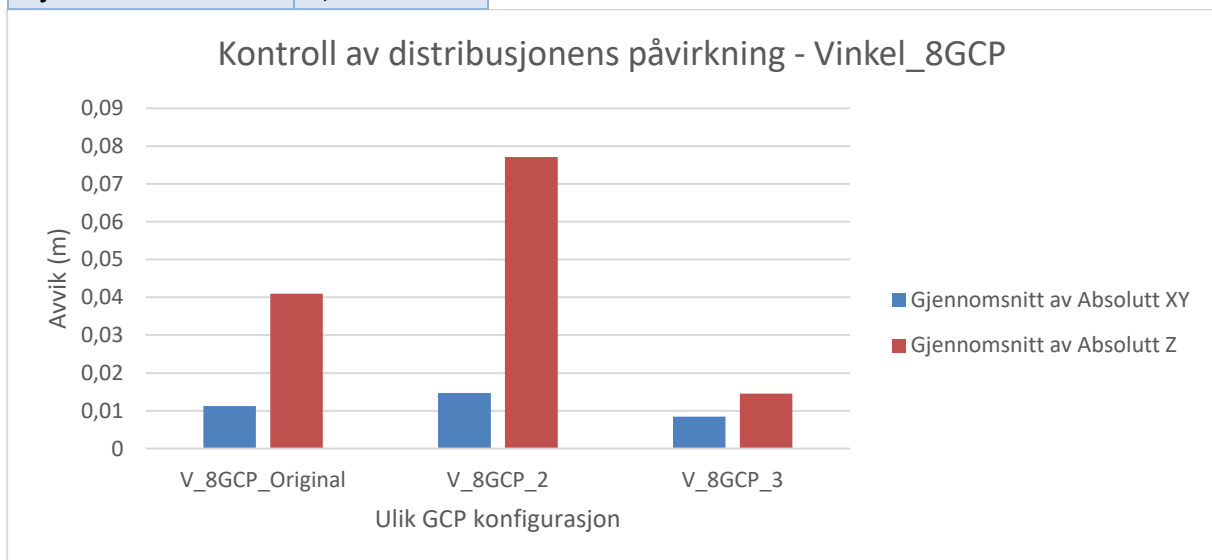
Det er mange parametere som kan ha en innvirkning på resultatene våre. Et av disse parametere er GCP-distribusjonen i kjent område. Dette ble enkelt testet i test 2 hvor vi så at dette hadde en stor påvirkning, spesielt ved liten spredning mellom GCP'ene. For å videreføre denne kontrollen ble det gjort en ny kontroll av resultatene fra test 3. Dette gjøres for å avdekke testoppsettet pålitelighet og resultatenes kvalitet. Denne testen av distribusjonens påvirkning ble utført for å øke sikkerheten i testoppsettet og derav resultatet. Ved å

kontrollere dette for et datasett vil vi kunne få et bilde på hvilken usikkerhet vi har i resultatverdiene dersom vi hadde valgt andre GCP'er. Det ene testresultatet, vinkelformen velges ut for kontroll med 3 ulike GCP-distribusjoner av 8 GCP'er i kjent område. 8 GCP'er er gjennomgående for alle testene og dette er høyeste antall GCP'er som tillater oss å ikke gjenbruke punkter som GCP mellom testene.

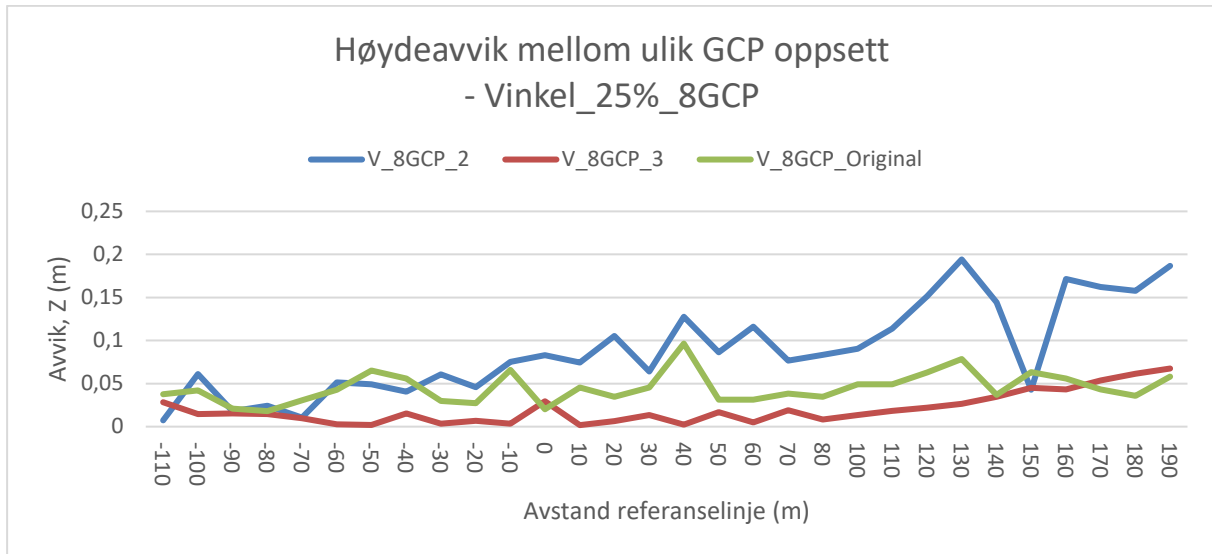
Tabell 24:

Variasjoner mellom 3 distribusjoner av datasettet Vinkel_8GCP.

Variasjon i datasettene	
Min	0,08 cm
Maks	15,82 cm
Gjennomsnitt	4,42 cm



Graf 58: Sammenligning av gjennomsnittlig grunnriss og høydeavvik mellom 3 distribusjoner av 8GCP'er i kjent område med form «Vinkel 25% kjent område».



Graf 59: Resultatpresentasjon i ukjent område basert på datasettene i Graf 58. Grafen presenterer avviket i området basert på avstand fra referanselinje.

Vi ser i Graf 58 og Graf 59 over at resultatene for datasettene hvor det er brukt ulike GCP'er i vinkelformen med 25% spriker veldig. En viss variasjon hadde vi forventet, men variasjonen på omtrent 6 cm ved -50 meter (interpolert) og 50 meter (ekstrapolert) er i overkant av hva vi forventer at usikkerheten i programvaren innfører og dette forteller oss at det er mye tilfeldigheter involvert da vi kan oppnå så store forskjeller i resultatene ved forskjellige utvalg av GCP'er. Avviket mellom disse 3 datasettene er større enn de fleste differansene vi har sett mellom datasett i de ulike testene og vi må anta at det noe i grunnlaget eller feil innstillinger som påfører denne feilen. For å avdekke feilkilden går vi tilbake til grunnlaget og testene for å kontrollere disse.

Vi ser tilbake på kvalitetsbestemmelsen av GCP'er og tester dens påvirkning uten markante forskjeller, vi gjennomgår bildene og hvilke typer fotogrammetrisk signal (selv platen som definerer GCP) som er benyttet i området uten konkluderende resultater. Videre går vi dypere i testen og kontrollerer igjen datagrunnlaget for feil uten at dette gir resultater. Neste steg er å opprette en ny beregning i programvaren og fastsette alle inngangsparameter på nytt. Vi beslutter dette basert på resultatkontrollen som ikke er konsis og siden vi i grunnlagstesten ikke får avdekket alle feilkilder og da alle testene har enkeltpunkter som skiller seg betydelig ut fra verdiene til de fleste andre punktene i datasettet.

Oppstart av nytt prosjekt i Pix4D involverer å sette opp alle innstillinger, importere bilder, GCP'er og fastsette kvalitetsbestemmelser på nytt. Alt gjøres uavhengig av de andre testene, men med de samme dataparameterne. Med det mener vi at verdiene som er benyttet settes likt, men vi kontrollerer først kilder og programvareleverandørens anbefalinger på nytt. Vi stiller kritiske spørsmål inngangsverdiene som, GCP og geotagg kvalitetsfastsettelse, koordinatsystem, bildemarkering av GCP og prosesseringsinnstillinger.

Når vi ikke klarer å avdekke noe særlig ny informasjon fra kartleggingen i starten, engasjerer vi PointGeo AS for en uavhengig kontroll av datasettet i programvaren Agisoft. PointGeo AS er et firma som jobber i bransjen og har kompetanse og erfaring med fotogrammetri både fra DJI Phantom 4 Pro og DJI M600 med kamera Sony A7IIR. Denne uavhengige kontrollen fører til en kommentar som fører til videre kontroll av datagrunnlaget.

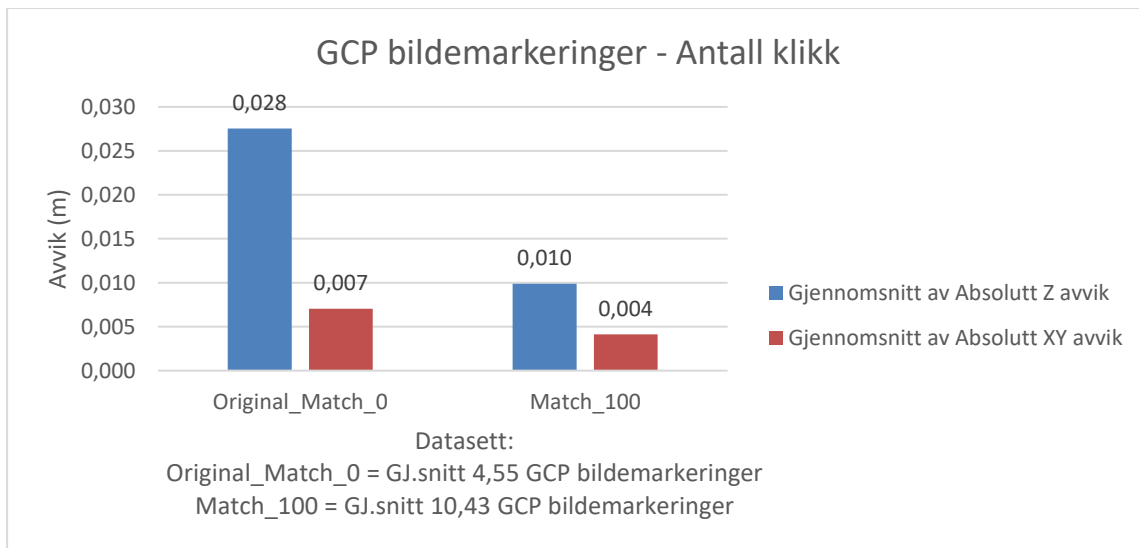
«Erfaringsmessig er det litt lite å markere GCP i bilder med et snitt på 4,55 som i deres tilfelle. Jeg har markert noen få GCP'er i flere bilder og resultatet forbedres. Erfaringsmessig lønner det seg å markere GCP i en god del bilder.» Tormod Urke, PointGeo AS

Etter vi fikk kommentaren fra Tormod Urke startet vi å kontrollere testens forhold rundt GCP markering i bilder. Vi hadde forholdt oss til det programvareleverandøren viste til i en artikkel som omhandlet oppstart av et prosjekt og bildemarkering hvor de setter minsteverdi til å markere hver GCP i minst to bilder hver uten å videre anbefale nivå. Om det var andre kilder hos programvareleverandøren som beskrev konkrete verdier for bildemarkeringen på dette tidspunktet vet vi ikke. Vi hadde riktignok mer en dobbelt av det som ble satt som minstekrav fra programvareleverandøren, men ifølge kommentaren fra Tormod Urke kunne selv dette være lite.

Vi undersøker nærmere om vi kan finne bestemt litteratur vedrørende antall GCP markeringer i bilde. Litteratursøket fører ikke frem og de artiklene som er nevnt i oppgaven ser ikke ut til å ha informasjon om metode, beskrivelse av inngangsverdier eller resultater for GCP markering i bilder. Et søk på programvareleverandørens nettside fører imidlertid frem til at vi finner et svar i diskusjonsforumet hvor programvareleverandøren anbefaler å markere hver GCP i 5 bilder (Pix4D, 2017). Dette er et høyere anbefalt nivå enn det som er brukt i denne oppgaven.

Her finner vi også link til en oppdatert artikkel som beskriver metode for bildemarkering i en av programvarens metode, hvor man skal bruke den automatiske gjenkjennelsen i dataene.

Alternativet i manuell markering holdes det til 5-10. Denne artikkelen er trolig oppdatert etter at vi gjorde litteratursøket fordi i oppstartsperioden fant vi ingen klar informasjon om at automatisk gjenkjennelse for GCP bildemarkering var anbefalt (Pix4D, 2019a). Vi finner fortsatt litteraturen brukt i oppstarten hvor anbefalingen er 4-5 bildemarkeringer. Det finnes derfor motstridende informasjon på programvareleverandørens hjemmeside. For å kunne si noe om hvordan antallet bilder man markerer GCP'ene i påvirker resultatene våre, prosesserte vi flere datasett hvor vi markerte GCP'ene i enda flere bilder. Dette gjorde vi slik at vi kunne beskrive denne påvirkningen og om vi kunne finne en troverdig måte vi kunne beskrive denne påvirkningen for alle våre datasett. Vi forholdt oss her til anbefalt verdi og ikke automatisk gjenkjennelse.



Graf 60: Avviksforskjeller i beregning med økt GCP bildemarkeringer. Fra 4,55 til 10,43 bildemarkeringer pr GCP.

En initiell vurdering (Graf 61) viser at vi kan anta å oppnå mye bedre resultater enn de vi har oppnådd fordi det ser ut til at økt antall GCP bildeklikk fører til lavere punktavvik ved prosessering. Neste spørsmål vil være om trenden og forskjellen mellom de ulike datasettene vil være like, slik at forandringen i resultatene kun vil være samme redusert avvik for alle testene eller om dette innfører andre usikre momenter. Kontrollen av bildemarkeringen omtales videre som test 4.

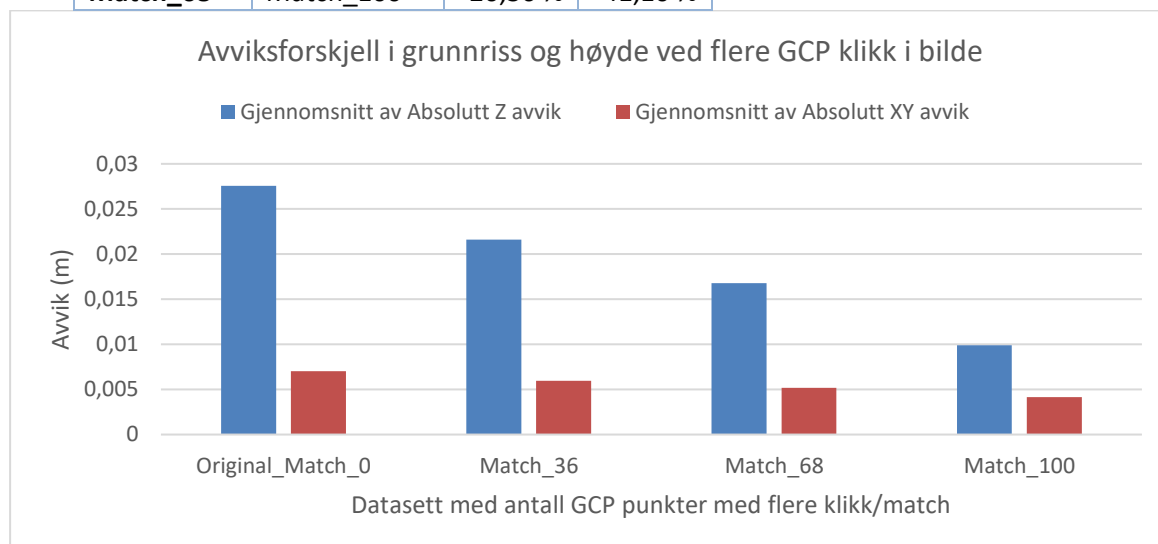
Graf 61 og Tabell 25 viser endringene i grunnriss og høydeavvik totalt i datasettet beregnet med 100 GCP med ulikt antall GCP'er med økt antall bildeklikk. Grafen viser avviksnivået for hvert datasett, mens tabellen forteller hvor stor avviksreduksjonen er fra datasettet med færre GCP bildemarkeringer. «Original_Match_0» er datasettet som representerer oppgavens

tester. Her er det et snitt på 4,55 GCP bildemarkeringer. I datasett «Match_36» er 36 av 100 GCP'er bildemarkert i ca. 10 bilder (gjennomsnitt = 6,76 bildemarkeringer). «Match_68» har 68 av 100 GCP'er markert i ca. 10 bilder (gjennomsnitt = 8,35 bildemarkeringer) og i datasettet «Match_100» er alle GCP'ene markert i flere bilder, med et gjennomsnitt på 10,43 bildemarkeringer.

Tabell 25:

Reduksjon av avvik i grunnriss og høyde ved økt antall GCP'er som har økt antall bildeklikk. Reduksjon fra ett datasett til et med flere GCP'er med økt antall bildeklikk.

Datasett		Avviksreduksjon	
Fra	Til	XY	Z
Match_0	Match_36	15,36 %	21,66 %
Match_36	Match_68	12,61 %	22,23 %
Match_68	Match_100	20,36 %	41,10 %



Graf 61: Økning av GCP markeringer i bilder, testet på x antall av 100 bilder. Representert som kategorinavn, eks Match_36 har 36 GCP'er som har økt antall bildemarkeringer.

Da vi ser hvor store forskjeller antall klikk for å markere GCP'ene kan innføre må resultatene presentert i oppgaven leses med en viss usikkerhet. For å avdekke hvilken påvirkning dette har, kontrolleres noen av utvalgene i testene. Her ønsker vi å få svar på om feilen vil ha et systematisk avvik slik at trend og utvalg ikke påvirkes, ved at alle datasettene forandres likt og vi ser på hvilket avviksnivå vi vil havne på. Kontrollen vil også gi oss et inntrykk av hva som skjer i enkeltpunkt og på avstand, ved å markere GCP'ene manuelt i flere bilder. Hvis vi nå kan bevise at trenden er lik (dårligst er fortsatt dårligst, best fortsatt best) og avviksnivåene reduseres likt eller innenfor et gitt verdiområde vil vi kanskje kunne beskrive usikkerheten som at trenden ser ut til å bevares og at påvist feil reduserer avviksnivået med en gitt verdi

eller verdiområde. Utvalget representerer derfor enten utvalget i testene eller største, midterste og laveste resultatverdier hentet fra hver enkelt test ut ifra graffremstillingen for avstand.

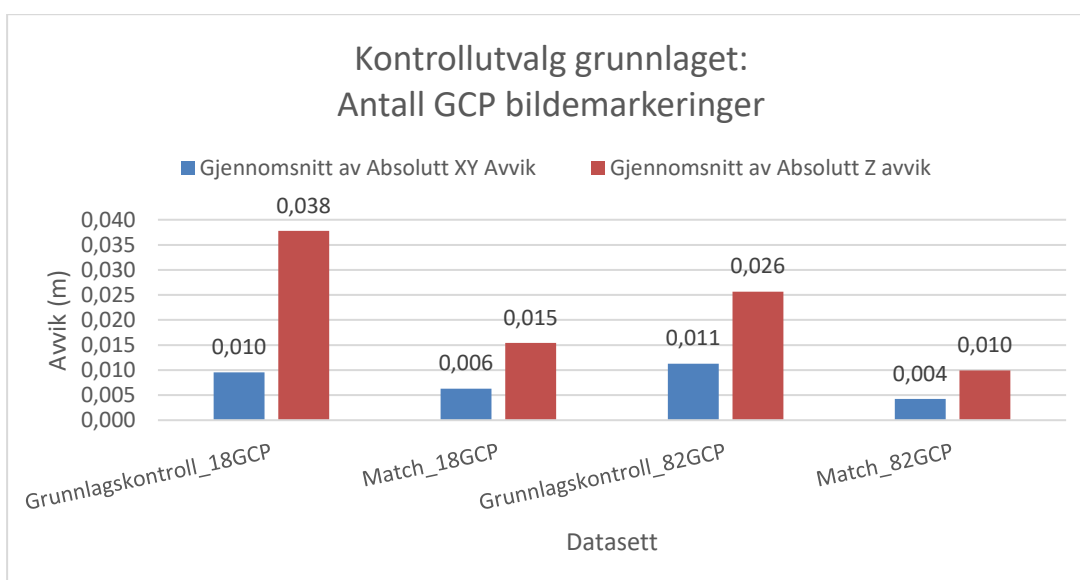
Med grunnlagskontrollen forsøker vi å beskrive påliteligheten vi har på testens inngangsverdier ved å få kontroll på de innmålte kontrollpunktene som benyttes i testen. To sentrale datasett i testen kontrolleres for avvik i Graf 65 og enkeltpunkt som er flagget med avvik større enn 3cm kontrolleres i Graf 63.

Testutvalget i grunnlagstesten viser en forbedring i høydeavvik på ca. 60% (Tabell 26). Forholdet mellom datasettene ser ut til å bevares (Graf 62). For enkeltpunktkontrollen blir grunnlagstestens avvik redusert til en verdi som gjør kontrollen irrelevant. Det er i Graf 63 tydelig at punktavviket vi har sett på tidligere blir sterkt påvirket av antall bildemarkeringer av GCP. Vi ser at det fortsatt er avvik i enkeltpunkter, men disse forekommer primært kun i ett av datasettene og er trolig påvirket av noe annet.

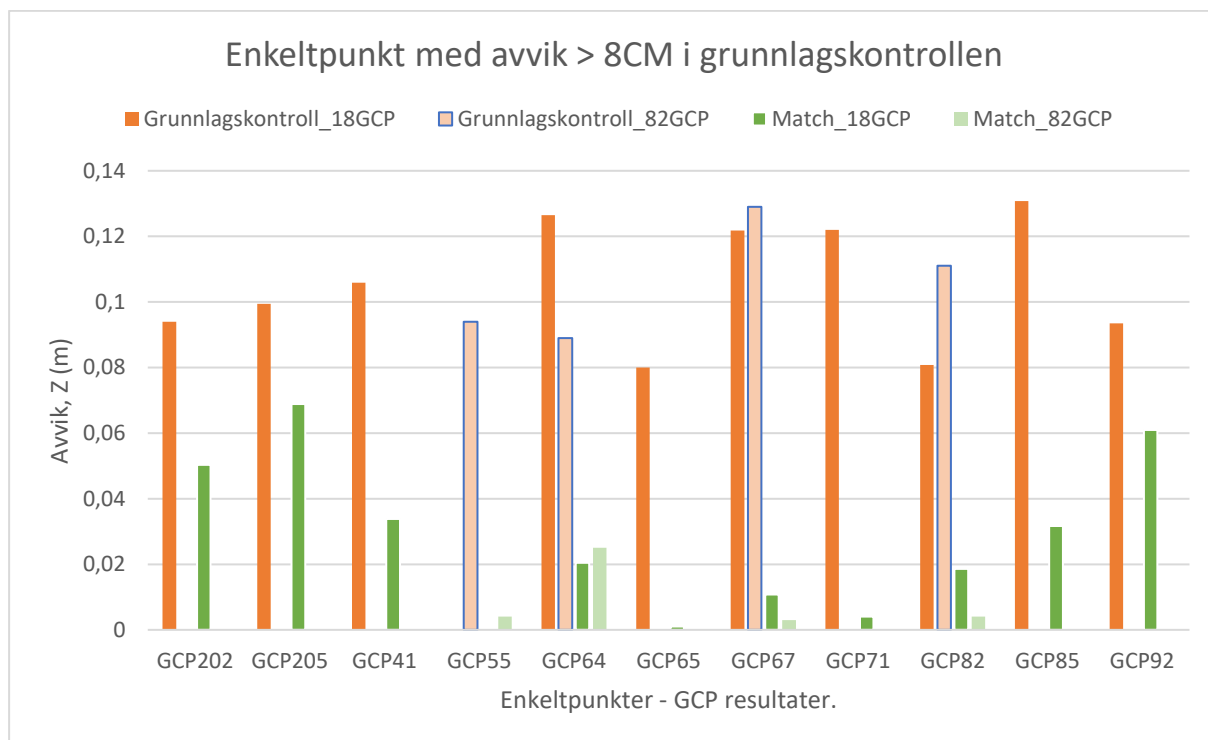
Tabell 26:

Grunnlagskontroll: Forbedring i grunnriss (XY) og høyde (Z) ved gjennomsnitt på 10,43 bildemarkeringer.

	Reduksjon XY Avvik	Reduksjon Z Avvik
Grunnlagskontroll 18GCP	34,04 %	59,18 %
Grunnlagskontroll 82GCP	62,39 %	61,32 %



Graf 62: Påvirkning av antall GCP bildemarkeringer på resultatet i grunnlagskontrollen. Gjennomsnittsverdier for absoluttavvik i Grunnriss (XY) og Høyde (Z).



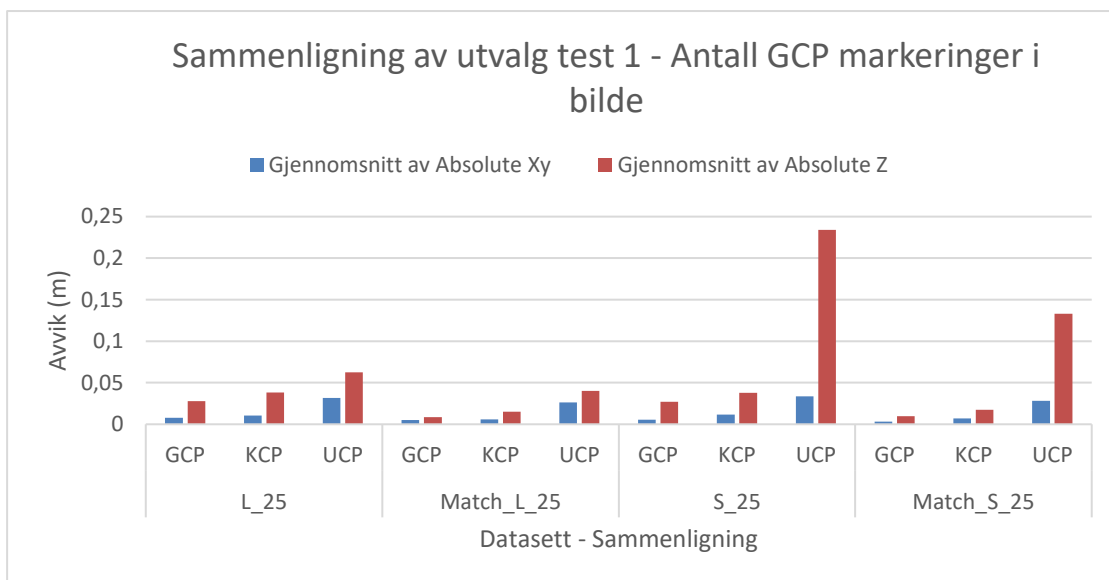
Graf 63: Enkeltpunktavvik med et høydeavvik over 8cm i grunnlagskontrollen.

I test 1 velges det ut to datasett. De som har best resultater og vurderes i testens utvalgelse for inngangsverdi til test 2, liggende og stående med 25% areal. Datasettene har en jevn avviksreduksjon i grunnriss og det stående datasettet har noe større reduksjon i høydeavviket (43,10%) enn det liggende datasettet (36,02%) i ukjent område. Det stående datasettet har lengre gjennomsnittlig avstand fra kjent område og vi ser i Graf 62 at den største høydereduksjonen skjer på avstander lengre ut enn for det liggende, samtidig som det liggende jevnt over har lavere avvik. Forholdet mellom utvalget beholdes og testens innhold, utvalg og trend ser ut til å ivaretas ved å se på testutvalget både i grunnriss (Graf 66) og høyde (Graf 65). Vi ser og at linjen som beskriver avvikene i forhold til en avstand fra kjent område glattes ut ved at det er en reduksjon i de største enkeltpunktavvikene.

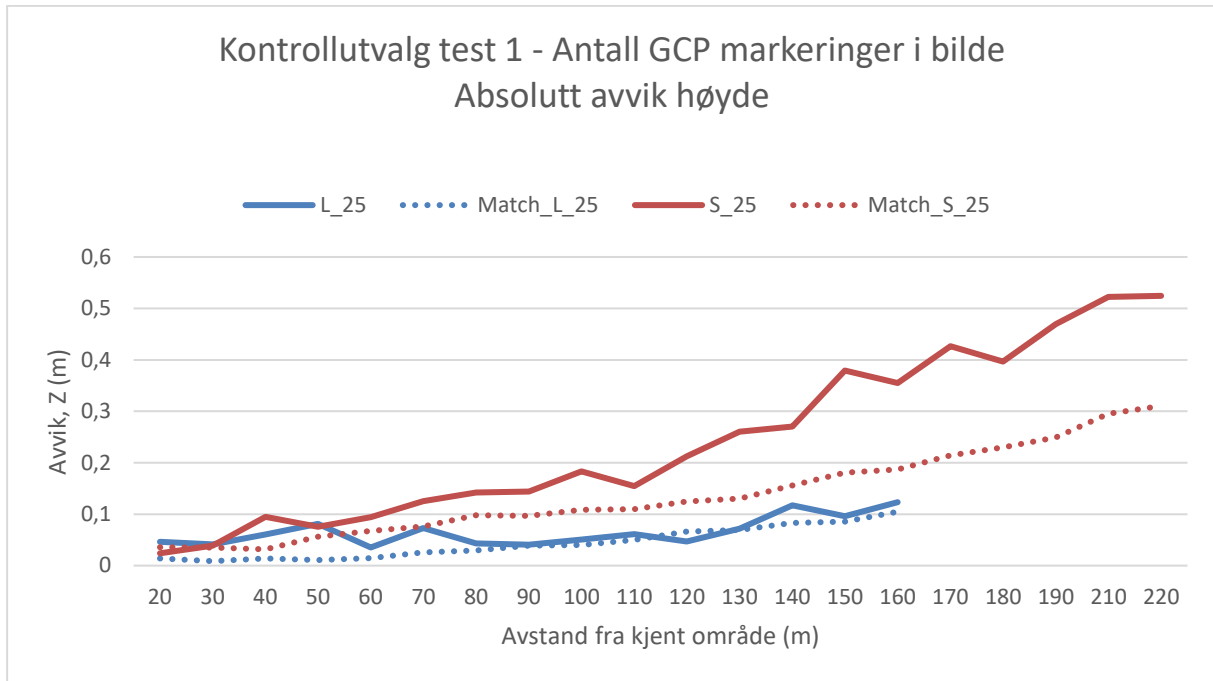
Tabell 27:

Avviksreduksjon for liggende og stående datasett i testutvalget for test1.

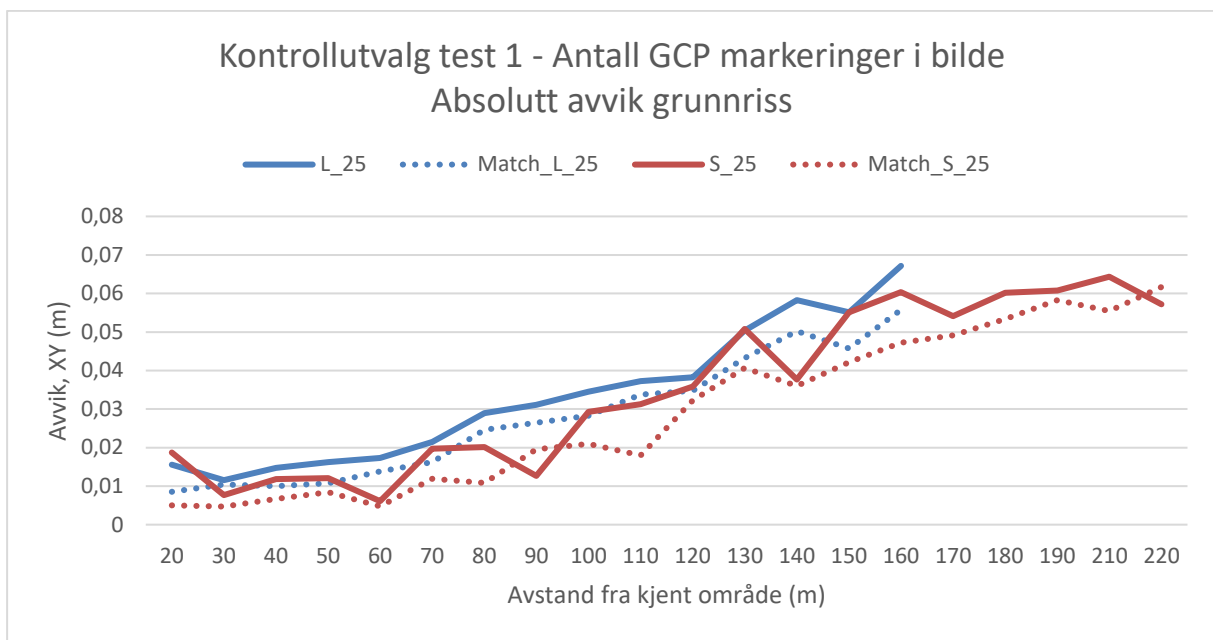
Retning	Gjennomsnittlig avvik XY		Gjennomsnittlig avvik Z		Reduksjon av avvik	
	L_25	Match_L_25	L_25	Match_L_25	Grunnriss, XY	Høyde, Z
GCP	0,008	0,005	0,028	0,009	34,86 %	68,92 %
KCP	0,010	0,006	0,038	0,015	43,92 %	60,22 %
UCP	0,032	0,026	0,063	0,040	16,41 %	36,02 %
Stående	S_25	Match_S_25	S_25	Match_S_25		
GCP	0,006	0,003	0,027	0,010	43,06 %	63,43 %
KCP	0,012	0,007	0,038	0,017	41,22 %	54,53 %
UCP	0,034	0,028	0,234	0,133	16,41 %	43,10 %



Graf 64: Datasettene i utvalgsfasen av test 1. Sammenligning mellom utvalget og resultatene etter flere antall GCP bildemarkeringer.

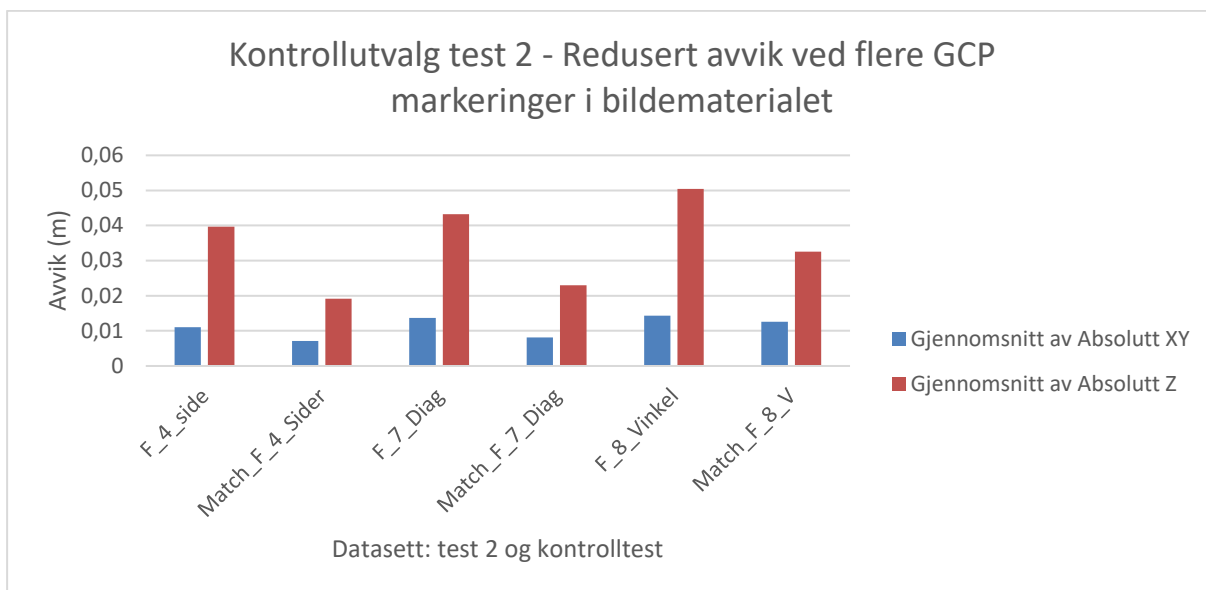


Graf 65: Sammenligning av høydeavviket i testutvalget i test 1.

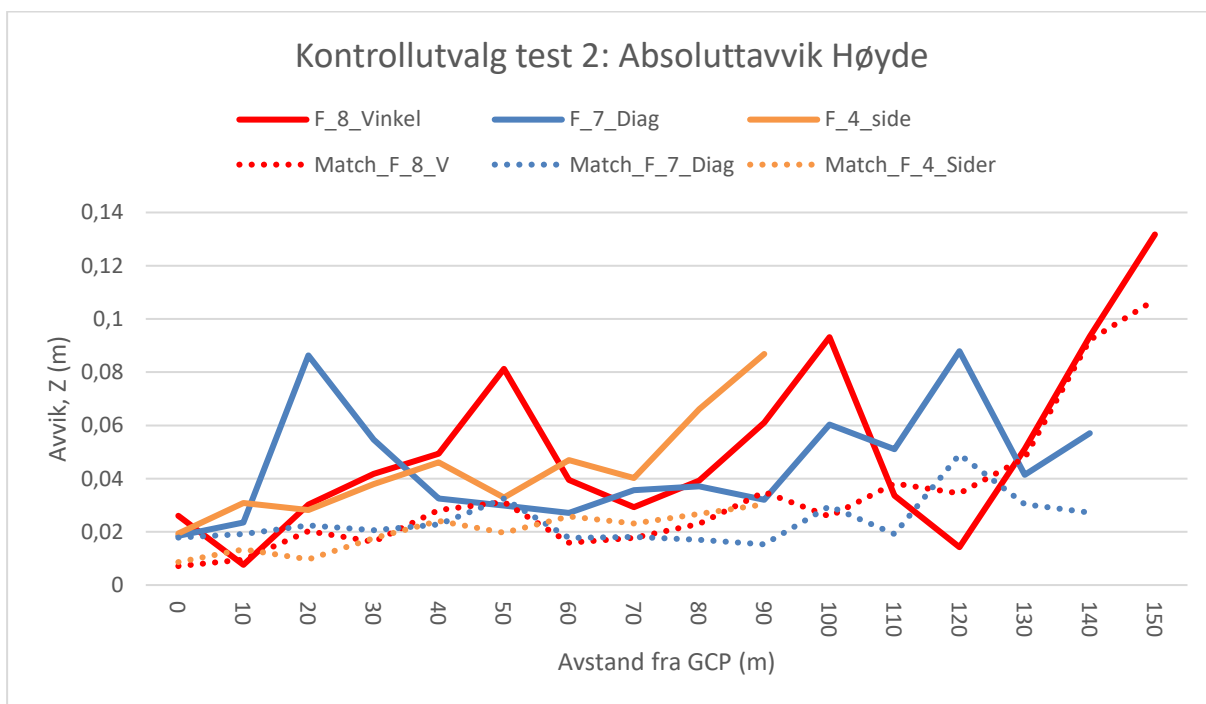


Graf 66: Sammenligning av grunnrissavvik for testutvalget i test 1.

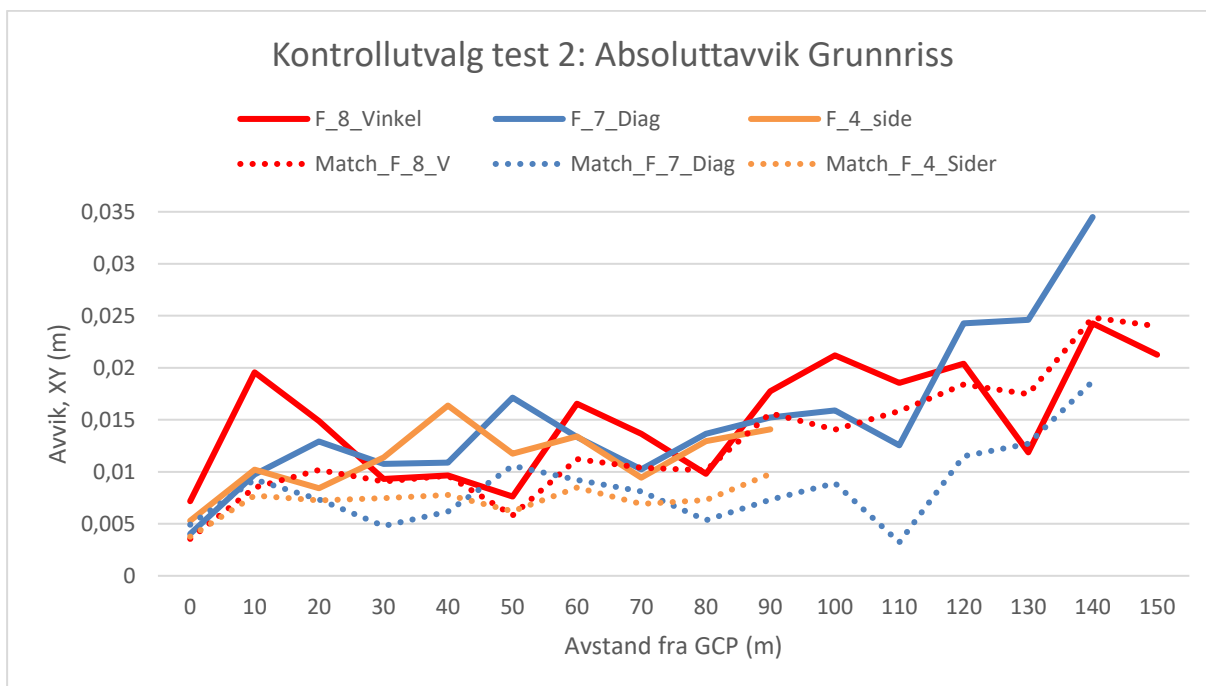
Fra test 2 er det plukket ut 3 datasett for kontroll av et godt utvalg. Disse er utvalgt som datasettene med minst, midterst og størst avvik i testens avstandsavhengige graf som er vurdert for både grunnriss og høyde. Alle datasettene viser et tydelig redusert avvik (Graf 67) og en viss sammenheng i testenes trend (Graf 68 og Graf 69). I grafene ser vi tydelig at enkeltpunkter drar opp avviket i den opprinnelige testen. Dette ser vi av linjens tydelige utjevning. Flere av linjene har store forandringer som forsvinner helt. Dette betyr at det kan være elementer i utvelgelsen og analysen av formene i test 2 som kan resulteres i valg av en annen form enn testens valgte vinkel. Om dette er tilfelle må kontrolleres ved å beregne testens datasett på nytt. Vi ser allikevel på høydeavviket for datasettene i Graf 68 at det holder et jevnt lavt avviksnivå og at de ulike formene får et jevnere og mer likt resultat. Forskjellene som kan ses i Graf 67 mellom de nye datasettene har omtrent det samme avviksforholdet, noe som styrker testens utvalgte vinkelform.



Graf 67: Datasettene i utvalgsfasen av test 2. Sammenligning mellom utvalget og resultatene etter flere antall GCP bildemarkeringer.



Graf 68: Sammenligning av høydeavviket i testutvalget for test 2.

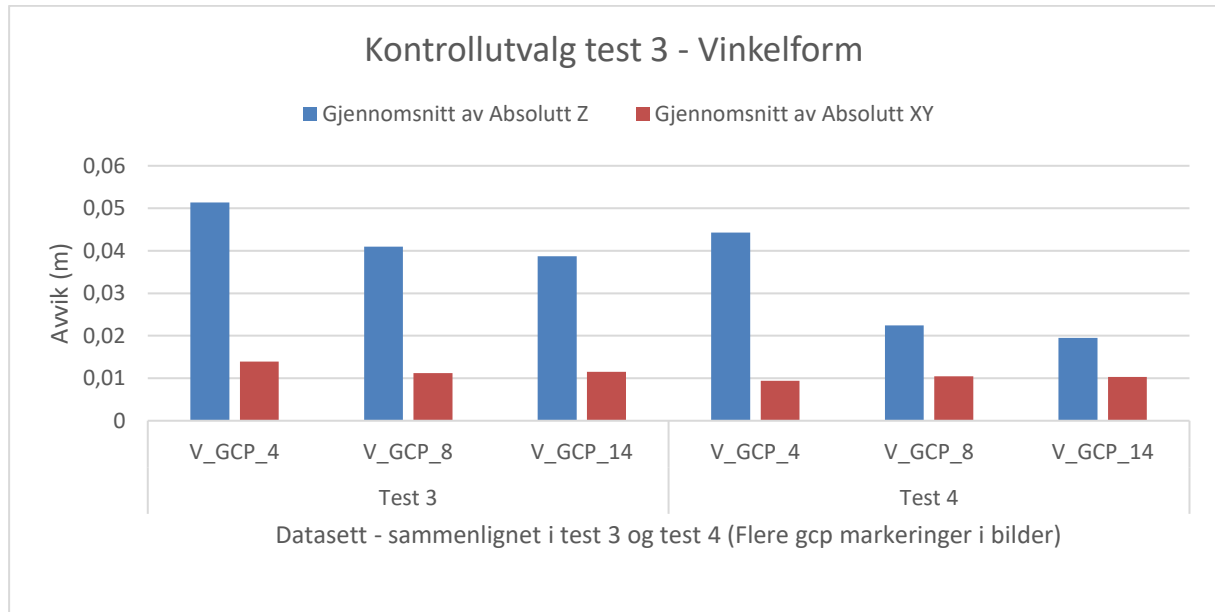


Graf 69: Sammenligning av grunnrissavviket i testutvalget for test 2.

Antall GCP'er i datasettet kontrolleres for 2 former og internt i formene er noen av datasettene relativt like. Kontrollen utføres på hver av formene med utvelgelse av dårligst, best og et mellom disse som representerer antallet brukt som basis i alle testene. Det er de 2 datasettene av vinkelen i denne testen som har størst reduksjon i høyde og liggende har jevnt over en større reduksjon i grunnrissavvik bortsett fra når det kun var brukt 4 GCP'er.

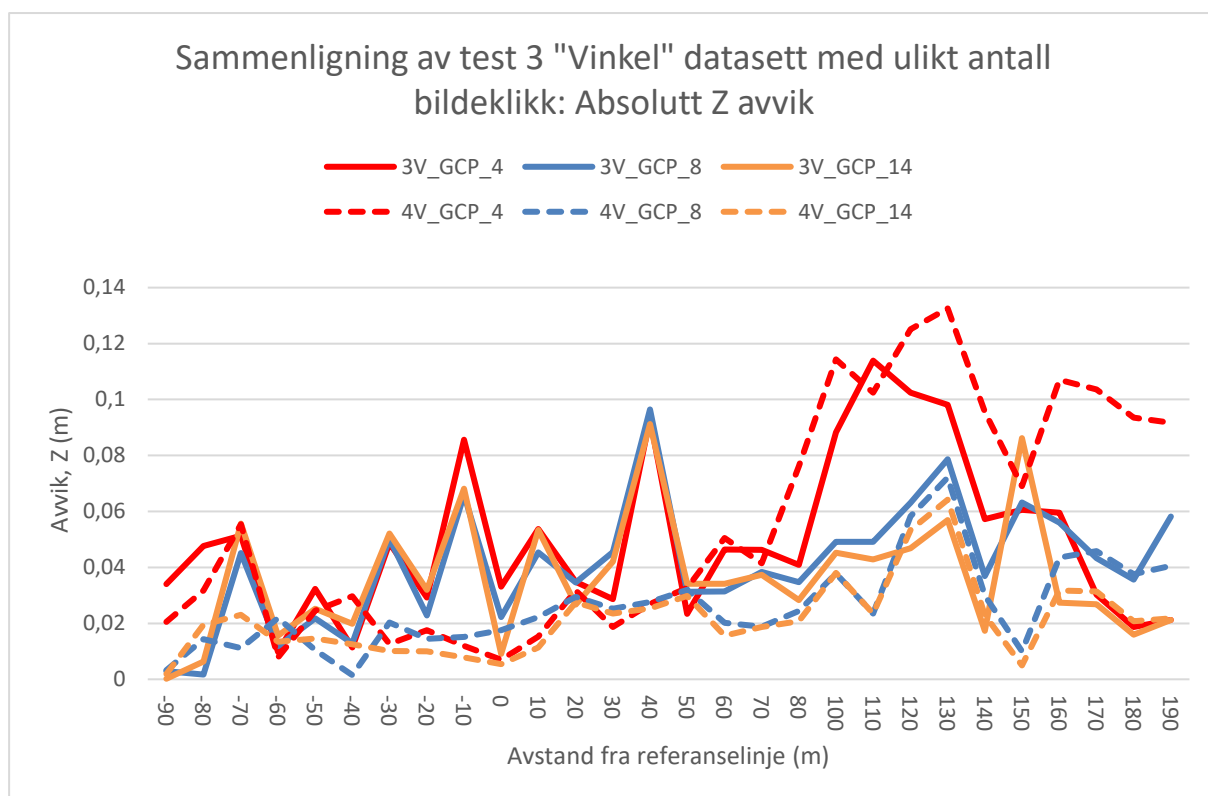
Tabell 28: Avviksreduksjon i testutvalget fra test 3. Datasett i vinkelform med 4GCP, 8GCP og 14GCP og Liggende form 4GCP, 8GCP og 24GCP

Test 3 – Avviksreduksjon i 3 datasett fra testutvalget			
Vinkel	GCP 4	GCP 8	GCP 14
Absolutt Z avvik	-1,53 %	36,13 %	42,43 %
Absolutt XY avvik	32,51 %	-0,90 %	0,00 %
Liggende	GCP4	GCP 8	GCP 24
Absolutt Z avvik	11,01 %	3,35 %	22,59 %
Absolutt XY avvik	14,38 %	17,83 %	24,53 %



Graf 70: Kontrollutvalg test 3. Vinkelform med 4GCP, 8 GCP og 14 GCP.

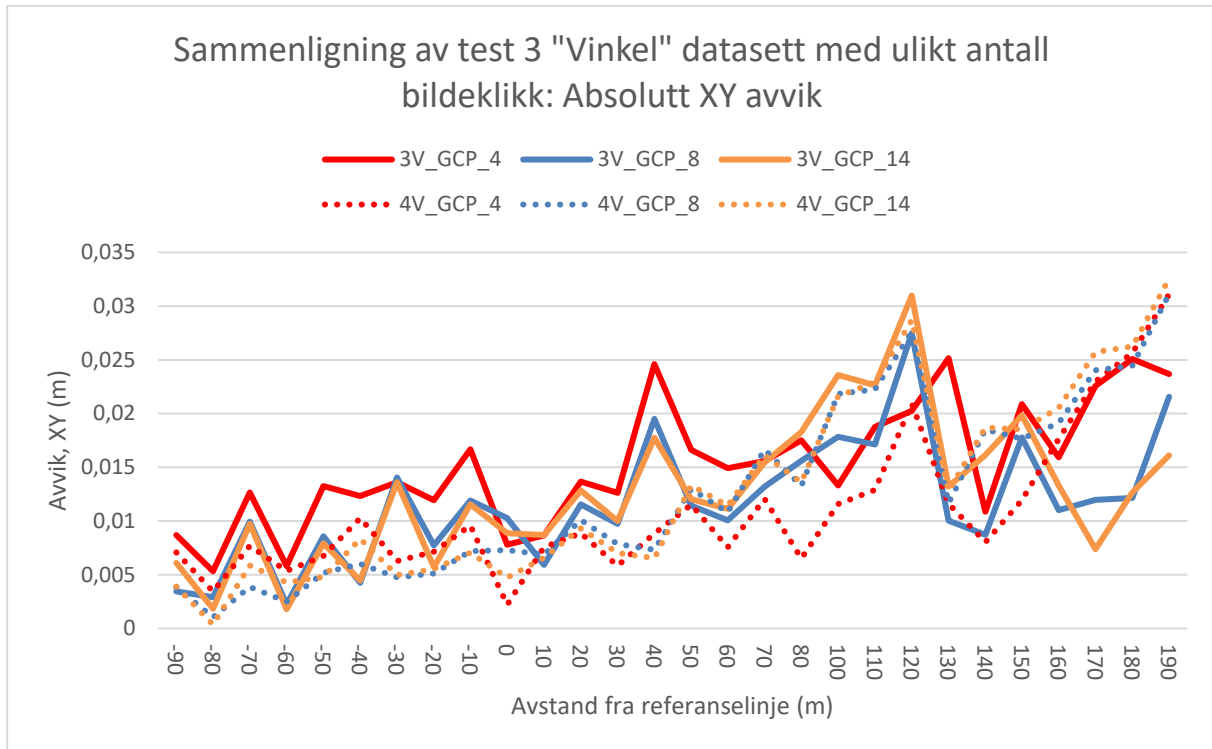
Trenden mellom datasettene til vinkelformen ivaretas fra test 3 til test 4, hvor GCP'ene markers i flere bilder (Graf 67).



Graf 71: Kontrollutvalg test 3. Vinkelform med 4GCP, 8 GCP og 14 GCP. Negativ avstand "Interpolert" i vinkelen, positiv ekstrapolert utenfor vinkelen. (Figur 45). Høydeavvik i avstandskategorier.

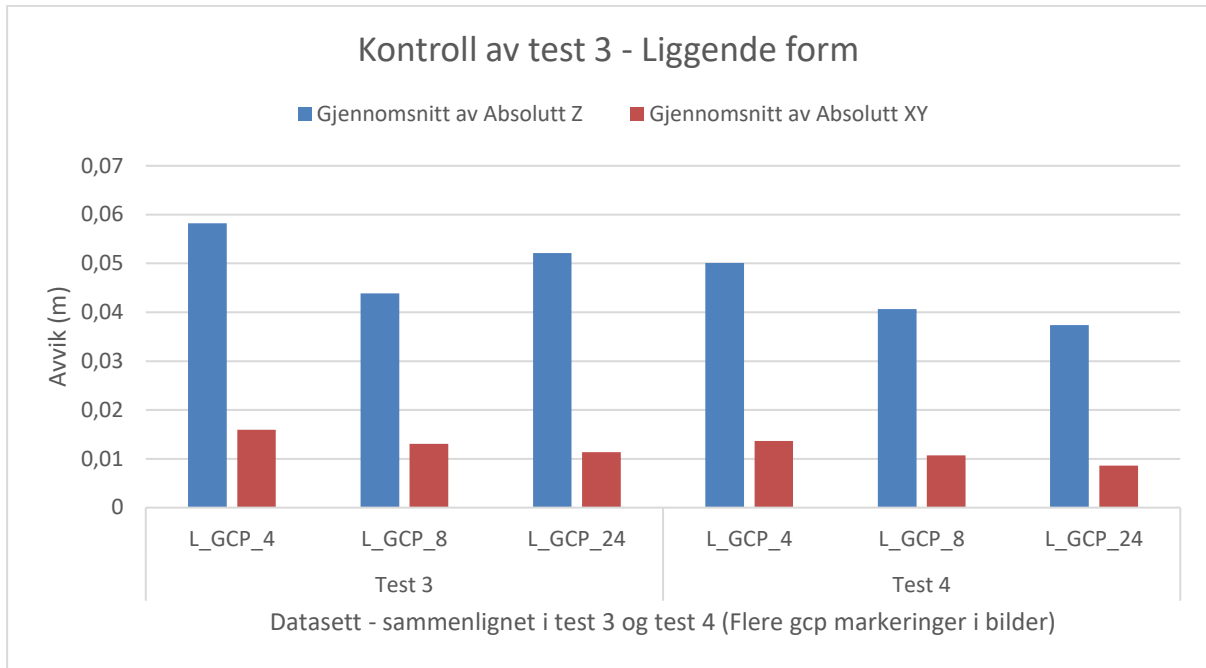
For høydeavviket til vinkelen i test 3 (Graf 71) utjevnes avvikene for 2 av testutvalgene.

Testens beste datasett ser fortsatt ut til å være datasettet beregnet med 14 GCP. Dette ser også ut til å være gjeldende for grunnriss i Graf 72 under. Her kommer riktignok datasettet med 4 GCP'er bedre ut, men totalt sett vil høydeavviket telle mer for utvalget i testen.

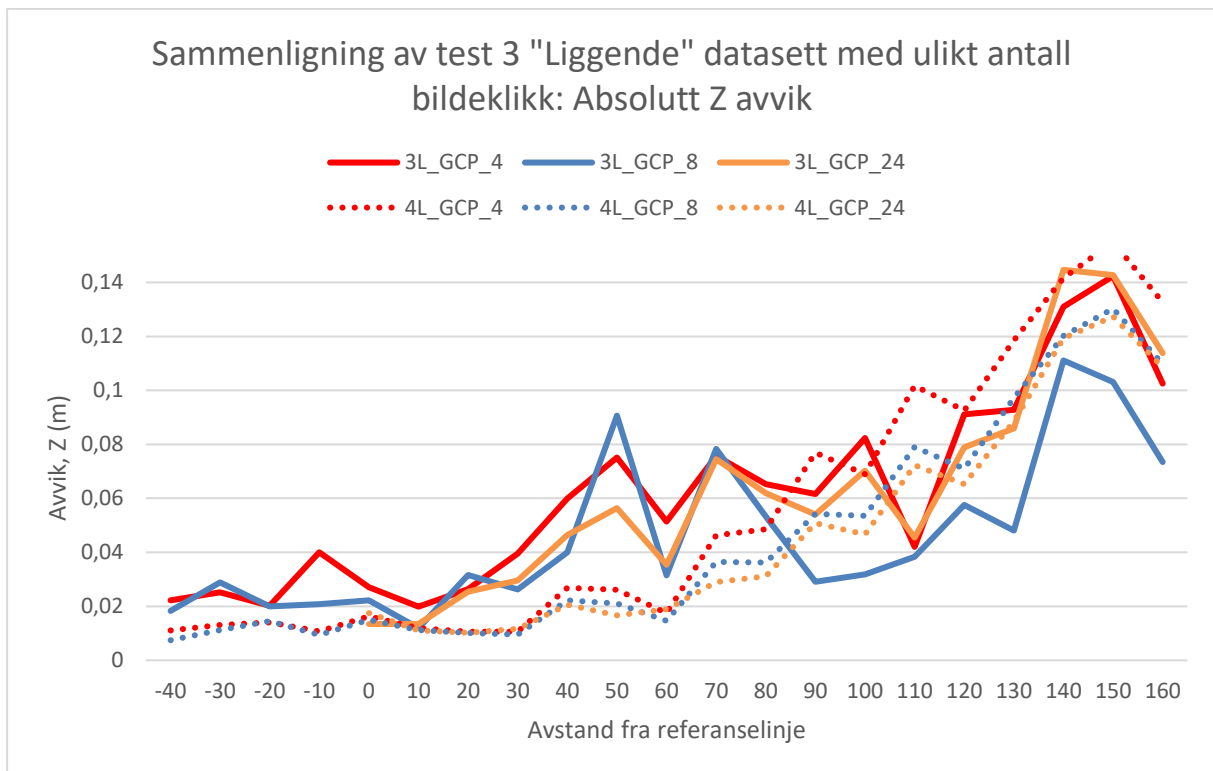


Graf 72: Kontrollutvalg test 3. Vinkelform med 4GCP, 8 GCP og 14 GCP. Negativ avstand "Interpolert" i vinkelen, positiv ekstrapolert utenfor vinkelen. (Figur 42). Grunnrissavvik i avstandskategorier.

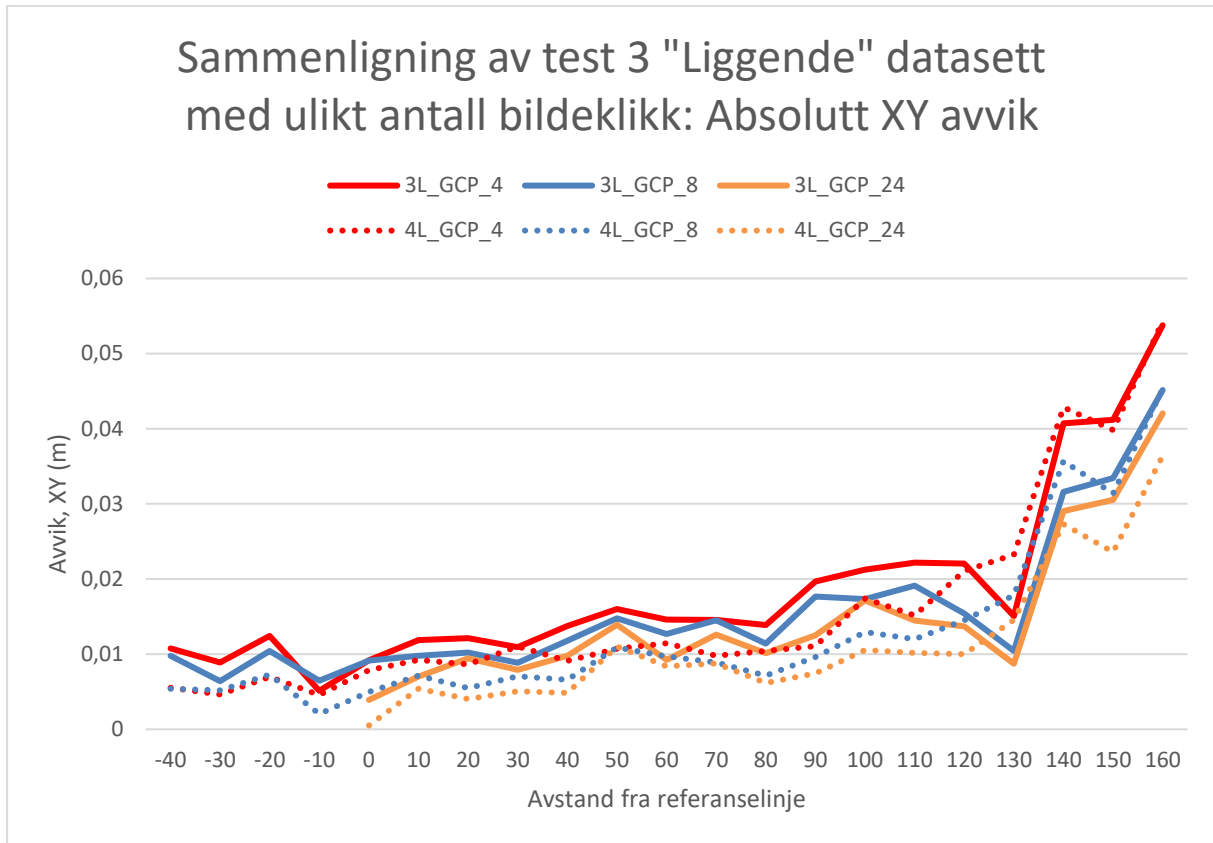
Testutvalget for liggende form i test 3 utjevnes. Vi ser en samling av datasettene i Graf 73 under. For gjennomsnittlig avvik i grunnriss ivaretas trenden mellom datasettene. Z avviket endrer derimot avviksfordelingen. I test 3 hadde liggende datasett med 8 GCP'er laveste gjennomsnittlige verdi, men i denne testens kontrollutvalg oppnår datasettet med 24 GCP'er lavest gjennomsnittlig høydeavvik (Graf 73). Når vi kontrollerer Graf 74 og ser på linjene til test 3 ser vi at datasettet med 8 GCP'er ligger relativt mye under alle andre linjene i grafen, dette antyder at datasettet muligens har falske resultater i test 3. Dette forklarer hvorfor trenden ikke ivaretas og det er mulig at trenden ivaretas, men at datasettet i test 3 ligger unormalt lavt. Grunnrissavviket i grafen ivaretar trenden og har mindre forbedring enn i høyde. Dette kan bekrefte at det er noe i høydeavviket fra test 3 datasettet med 8 GCP'er som har et falskt resultat.



Graf 73: Kontrollutvalg test 3. Liggende form med 4GCP, 8 GCP og 24 GCP.



Graf 74: Kontrollutvalg test 3. Liggende form med 4GCP, 8 GCP og 24 GCP. Avstand normalt på kjent område. (Figur 42). Høydeavvik i avstandskategorier.



Graf 75: Kontrollutvalg test 3. Liggende form med 4GCP, 8 GCP og 24 GCP. Avstand normalt på kjent område. (Figur 42). Grunnrissavvik i avstandskategorier.

Kontrollen belyser at avvik XY reduseres i området 0,22 cm – 0,27 cm og Z avviket reduseres i området 0,3 cm – 1,5 cm. Trenden som er belyst i testene ser ut til å fortsatt være gjeldene, mens de beskrevne store punktavvikene reduseres betraktelig for de oppdaterte datasettene hvor det er brukt flere bildeklikk av GCP.

5 Konklusjon

Oppgaven omhandler et aktuelt tema innenfor kartlegging av terrengmodeller med UAV, som i takt med teknologi- og programvareutviklingen er i rask endring. Oppgaven ser konkret på beregning av en terrengmodell utenfor området vi kan etablere GCP'er i. Annen litteratur og egne tester danner basisen for innsamlingsmetoden, som brukes uten videre kontroll.

Resultatet er gjeldende for dette testområde med gitte inngangsverdier, men avviksnivået er i det ukjente området like bra eller bedre enn annen litteratur som bestemmer oppgitt avvik som et produkt av GSD innenfor det kjente området. Underveis i oppgaven ble det avdekket en feil i et av programvarens parameter ved at GCP'ene har blitt bildemarkert for få ganger. Dette påvirker hele oppgavens resultater med en avviksreduksjon og utjevning av gjennomsnittsverdier. For oppgavens kontrollutvalg presentert i 4.5 tilsvarer dette en avviksreduksjon opptil 68 %. Tallene som presenteres i konklusjonen er hentet fra dette kapitlet og våre funn tilsier at eventuelle avvik i grunnlaget har liten innvirkning på resultatet.

Dersom man må velge inngrepsretning på AOI, viser våre testresultater at man oppnår lavere avvik i ukjent område dersom man kan fastsette den lengste siden til AOI. Her oppnår vi blant annet et lavere høydeavvik med en roligere avviksvekst enn ved bestemmelse av kortsiden.

Når et ukjent område skal bestemmes avdekker testen at arealforholdet mellom kjent område og ukjent område har en påvirkning. Vi oppnår best resultat når kjent område tilsvarer 25% av AOI

Formen på kjent område har stor påvirkning på resultatet i ukjent område. Testoppsettet i oppgaven gjør at vi ikke får avdekket hva denne variasjonen kommer av. Vi ser at de beste formene for kjent område er de som lar oss plassere GCP'er jevnest mulig i AOI. Eksempelvis plassering i alle hjørner, i omkretsen av ukjent område etc. Disse velges bort, da formene ikke egner seg for å definere et ukjent område som ligger bortenfor kjent område. Vi finner at det er vinkelformen som egner seg best til å bestemme et ukjent område.

I testområdet på 25% av AOI trenger vi over 8 GCP'er for å oppnå et godt resultat i ukjent område. Færre GCP'er gjør at avviket spriker, flere GCP'er tilfører lite ekstra. For de to

formene vinkel og liggende, finnes trolig et optimalt antall GCP'er rundt eller over 8 GCP'er. Etter dette avtar avviksforskjellen ved tilføring av flere GCP'er.

Testene for retning, areal og antall GCP'er forandrer GCP-plasseringen og har et ukritisk forhold til GCP-distribusjonen. Dette er en av de ukjente faktorene som vil kunne forandre oppgavens resultater, men som er forsøkt redusert ved å bruke anbefalte metoder for å fordele GCP'ene jevnt i kjent område.

I oppgaven endres GCP-distribusjonen i alle testene. Hvilken påvirkning dette har på oppgavens resultater er ikke kjent. Oppgavens tester er kontrollert hver for seg, men for å se på den optimale løsningen for utformingen av kjent område er ikke disse testene tilstrekkelig. Vi mangler en iterativ kontroll som kan kontrollere alle enkelttestene med resultatene fra de andre deltestene.

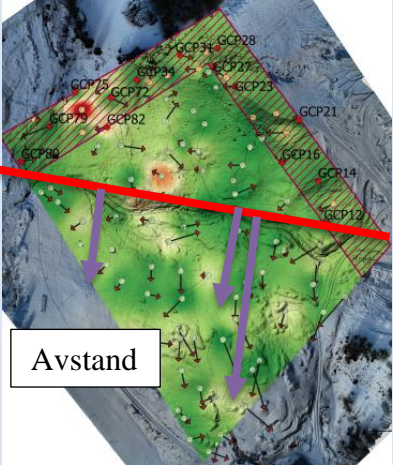
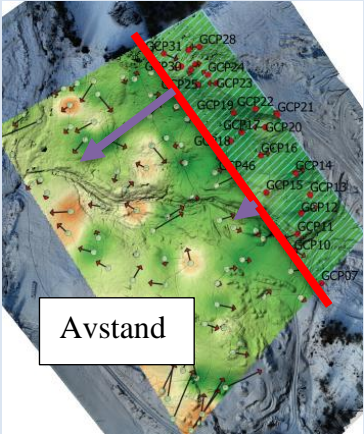
Testområdet har en utstrekning som begrenser resultatverdiene til å gjelde maksimalt ut til 190 meter. Hva som skjer etter dette viser ikke oppgaven. Det vi vet er at avvikene er jevne ut i ukjent område, før alle testene viser en tendens til økende avvik på varierende avstand.

Testområdet er for lite til å si hvor raskt avviket stiger ved lengre avstander.

Ved å bruke oppgavens metode for datainnsamling og utforming av kjent område klarer vi å produsere en god terrengmodell utenfor området som har bakkekontrollpunkter (GCP). Vi kommer frem til to mulige inngrepsvinkler på AOI, hvor den ene bestemmer langsiden og den andre har en vinkelform. Det er vinkelformen som best bestemmer de lengste avstandene. Denne formen er et resultat av å låse liggende og stående retning med en arealfordeling på 25% kjent område og 75% ukjent område. Vi oppnår testens laveste resultater ved 14 GCP'er, men forskjellen mellom 8 GCP, 10 GCP og 14 GCP er liten.

Disse to formene bestemmer ukjent område med et avviksnivå i forhold til GSD (1,82 cm) til:

Tabell 29: Presentasjonsvisning av oppgavens viktigste resultater.

	Forklaring	Målt frem til ca. avstand	Grunnriss -avvik lavere enn:	Høyde-avvik lavere enn:
Vinkel		80 meter	1 x GSD	1,5 x GSD
		100 meter	2 x GSD	2 x GSD
		120 meter	2 x GSD	3 x GSD
		180 meter	2 x GSD	4 x GSD
Liggende		30 meter	1 x GSD	1 x GSD
		60 meter	1 x GSD	2 x GSD
		80 meter	1 x GSD	3 x GSD
		110 meter	1 x GSD	4 x GSD

Som en anbefaling til andre som skal gjøre lignede forsøk kan vi anbefale en iterativ forsøksprosess. Dette kan underbygge de funnene som blir gjort på en annen måte enn vi får belyst i denne oppgaven. Oppgavens metode for datafangst kan videre anbefales da denne sørger for høy redundans og legger opp til gode vilkår for å finne fellespunkter mellom bildene. Vi ønsker og å anbefale både til dem som skal gjøre lignende forsøk, men og andre som driver med fotogrammetri å markere på GCP'ene i så mange bilder som mulig da vi ser at dette har stor påvirkning spesielt i høydeavvikene. Å bevise at det ikke finnes grove feil i GCP'enes koordinater har i denne oppgaven vært vanskelig. Vi vil derfor anbefale alle til å måle inn alle GCP'er minst 3 ganger slik at det er mulighet for å oppdage og luke ut grov feil.

6 Videre arbeid

Da det har vist seg å finnes svært lite litteratur som omhandler effekten av antall markeringer av hver GCP i bildene. Dette er noe som vi har sett har stor påvirkning på resultatene og vi ser avvikene synker kraftig ved å øke antallet bilder man markerer hver GCP i. Vi kontrollerte vår test med et snitt på over 10 bildemarkeringer pr. GCP. Er dette nok? Det hadde vært meget interessant å sett videre på dette for å bedre kunne beskrive denne avviksreduksjonen og for å sett om man kunne finne en grense for hvor det å markere GCP'ene i flere bilder ikke lenger gir noe bedre resultat. Hvilket resultat kunne vi oppnådd dersom vi hadde kjent den optimale verdien?

Det kunne vært interessant og sett hvilke konsekvenser det har om GCP-kvalitetsbeskrivelsen settes feil i programvaren.

GCP-distribusjon er godt beskrevet i litteraturen og det kommer frem flere anbefalinger om hvordan GCP'ene skal fordeles i et AOI. Vi har forholdt oss til disse anbefalingene i denne oppgaven, men et mulig videre arbeid kunne ha vært å sett mer på påvirkningen av andre GCP-distribusjoner i vårt datasett med fokus på å bestemme et ukjent område.

Litteraturliste

- BÜHLER, Y. S., ANDREAS & ADAMS, MARC & BÖSCH, RUEDI & GINZLER, CHRISTIAN 2016. UAS Photogrammetry of Homogenous Snow Cover. *Dreiländertagning av DGPF, OVG og SGPF*. Bern, Sveits: Researchgate.
- CHUDLEY, T. R., CHRISTOFFERSEN, P., DOYLE, S. H., ABELLAN, A. & SNOOKE, N. 2019. High-accuracy UAV photogrammetry of ice sheet dynamics with no ground control.
- DANDOIS, J. P., OLANO, M. & ELLIS, E. C. 2015. Optimal Altitude, Overlap, and Weather Conditions for Computer Vision UAV Estimates of Forest Structure. 7, 13895.
- DICK, Ø. B. 2018. *fotogrammetri* [Online]. snl.no. Available: <https://snl.no/fotogrammetri> [Accessed 26.04.2019].
- ENGINEERING, D. O. S. S. G., ARCHITECTURE, F. O., SURVEYING, P. A. & MARA, U. T. 2013. AN EVALUATION ON DIFFERENT NUMBER OF GROUND CONTROL POINTS IN UNMANNED AERIAL VEHICLE PHOTOGRAMMETRIC BLOCK.
- FORLANI, G., DALL'ASTA, E., DIOTRI, F., CELLA, U. M. D., RONCELLA, R. & SANTISE, M. 2018. Quality Assessment of DSMs Produced from UAV Flights Georeferenced with On-Board RTK Positioning. 10, 311.
- FORSKRIFT OM LUFTFARTØY SOM IKKE HAR FØRER OM BORD 2015. Forskrift om luftfartøy som ikke har fører om bord.
- GINDRAUX, S., BOESCH, R. & FARINOTTI, D. 2017. Accuracy Assessment of Digital Surface Models from Unmanned Aerial Vehicles' Imagery on Glaciers. 9, 186.
- GIROD, L. 2018a. *Improved measurements of cryospheric processes using advanced photogrammetry*. Doctoral thesis, Universitetet i Oslo.
- GIROD, L. 2018b. Introduction to Photogrammetry. Available: http://folk.uio.no/lucg/docs/Photogrammetry_GEO4530_2018.pdf [Accessed 17.01.2019].
- GRUBER, M., PONTICELLI, M., WECHERT, A 2011. UltraCam, A Brand for Continuous Developments.
- HÖHLE, J. 2012. MEDIUM-FORMAT CAMERAS AND THEIR USE IN TOPOGRAPHIC MAPPING.
- LAPORTE-FAURET, Q., MARIEU, V., CASTELLE, B., MICHALET, R., BUJAN, S. & ROSEBERY, D. 2019. Low-Cost UAV for High-Resolution and Large-Scale Coastal Dune Change Monitoring Using Photogrammetry.
- LEBERL, F., IRSCHARA, A., POCK, T., MEIXNER, P., GRUBER, M., SCHOLZ, S. & WIECHERT, A. I. 2010. Point Clouds : Lidar versus 3 D Vision.
- LEE, H. L., YIN CHAI WANGB & CHEAHB, W. S. 2012. Evaluation of Control Points' Distribution on Distortions and Geometric Transformations for Aerial Images Rectification. *Lee Hung Liew et al. / Procedia Engineering 41 (2012) 1002 – 1008*, 41.
- LI, J., HUANG, D. & YANG, P. 2018. *Inspection method of images' overlap of UAV photogrammetry based on features matching*.
- LOWE, D. G. 2004. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. *International Journal of Computer Vision*, 60, 91-110.

- M.J. WESTOBY, J. B., N.F. GLASSER, M.J. HAMBREY, J.M. REYNOLDS 2012. 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. 179, 300-314.
- MENG, X., WANG, L., SILVÁN-CÁRDENAS, J. L. & CURRIT, N. 2009. A multi-directional ground filtering algorithm for airborne LIDAR. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64, 117-124.
- MOUSA, Y. H., PETRA BELTON, DAVID 2017. New DTM extraction approach from airborne images derived DSM.
- NOLAN, M., LARSEN, C. & STURM, M. 2015. Mapping snow depth from manned aircraft on landscape scales at centimeter resolution using structure-from-motion photogrammetry. *The Cryosphere*, 9, 1445-1463.
- ONIGA, V.-E., BREABAN, A.-I. & STATESCU, F. 2018. Determining the Optimum Number of Ground Control Points for Obtaining High Precision Results Based on UAS Images. 2, 352.
- OSBORN J, D. M., STONE C, IQBA I, LACEY M, LUCIEER A, MCCOULL C 2017. Photogrammetry for Forest Inventory: Planning Guidelines. In: DISCIPLINE OF GEOGRAPHY AND SPATIAL SCIENCES, U. O. T. F. S., NSW DEPARTMENT OF PRIMARY INDUSTRIES (ed.). <https://www.fwpa.com.au>: Forest & Wood Products Australia.
- PIX4D. 2014. *Pix4D Webinar: Introduction to Modern Photogrammetry and Optimal Flight Plans* [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=NGdZ8O2cWks&list=PLH7s0x2QPud3aFJ5kWLhaagGx2ys8rFYn> [Accessed 06.05 2019].
- PIX4D. 2017. *The idea of the new functionality* [Online]. Available: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/community/posts/115017512943-The-idea-of-the-new-functionality> [Accessed 08.04.2019].
- PIX4D. 2018. *Accuracy of Pix4D outputs* [Online]. Available: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202558889-Accuracy-of-Pix4D-outputs> [Accessed].
- PIX4D. 2019a. *How to mark GCPs in the rayCloud* [Online]. Available: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202560769> [Accessed 04.03.2019].
- PIX4D. 2019b. *Menu Project > Basic GCP / MTP Editor > Preview* [Online]. Available: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557589-Menu-Project-Basic-GCP-MTP-Editor-Preview> [Accessed 08.02.2019].
- PIX4D 2019c. Processing Options Default Templates.
- PIX4D. 2019d. *Quality report help* [Online]. Available: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202558689-Quality-Report-Help> [Accessed].
- PIX4D. 2019e. *Step1. Before starting a project > 4. Getting GCPs on the field or through other sources (optional but recommended)* [Online]. Available: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557489-Step-1-Before-Starting-a-Project-4-Getting-GCPs-on-the-field-or-through-other-sources-optional-but-recommended-> [Accessed].
- PIX4D. 2019f. *Step 1. Before Starting a Project > 4. Getting GCPs on the field or through other sources.* [Online]. Available: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557489-Step-1-Before-Starting-a-Project-4-Getting-GCPs-on-the-field-or-through-other-sources-optional-but-recommended-> [Accessed].
- POPESCU, A. C. & FARID, H. 2005. Exposing digital forgeries in color filter array interpolated images. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 53, 3948-3959.

- RACZYNSKI, R. J. 2017. *Accuracy analysis of products obtained from UAV-borne photogrammetry influenced by various flight parameters*. Master, Norwegian University of Science and Technology.
- SANZ-ABLANEDO, E., ORDÓÑEZ, C., CHANDLER, J. H. & RODRÍGUEZ-PÉREZ, J. R. 2018. Accuracy of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and SfM Photogrammetry Survey as a Function of the Number and Location of Ground Control Points Used.
- SINGH, S. K., KULKARNI, A. V. & CHAUDHARY, B. S. 2010. Hyperspectral analysis of snow reflectance to understand the effects of contamination and grain size. *Annals of Glaciology*, 51, 83-88.
- SNAVELY, N., SEITZ, S. M. & SZELISKI, R. 2008. Modeling the World from Internet Photo Collections. *International Journal of Computer Vision*, 80, 189-210.
- SZ DJI TECHNOLOGY CO., L. *DJI Phantom 4 Pro V2.0 – Specs, Tutorials & Guides – DJI* [Online]. <https://www.dji.com/>: SZ DJI Technology Co., Ltd. Available: <https://www.dji.com/no/phantom-4-pro-v2/info#specs> [Accessed 31.03.2019].
- TONKIN, T. N. & MIDGLEY, N. G. 2016. Ground-Control Networks for Image Based Surface Reconstruction: An Investigation of Optimum Survey Designs Using UAV Derived Imagery and Structure-from-Motion Photogrammetry. 8, 786.
- TRIGGS, B., MCLAUCHLAN, P. F., HARTLEY, R. I. & FITZGIBBON, A. W. Bundle Adjustment — A Modern Synthesis. *In*: TRIGGS, B., ZISSERMAN, A. & SZELISKI, R., eds. *Vision Algorithms: Theory and Practice*, 2000// 2000 Berlin, Heidelberg. Springer Berlin Heidelberg, 298-372.

Referanseliste for figurer

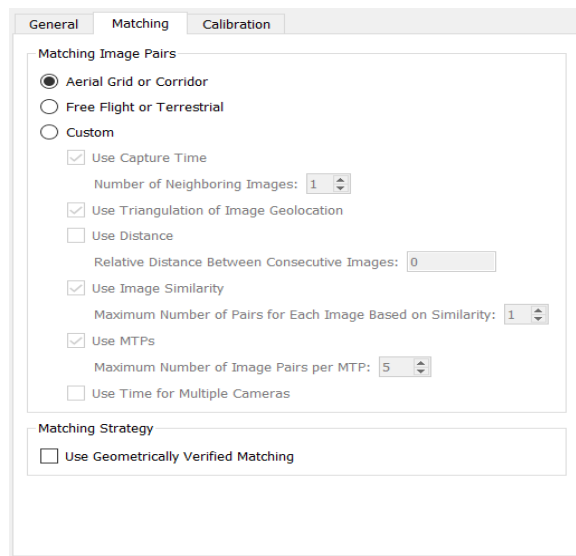
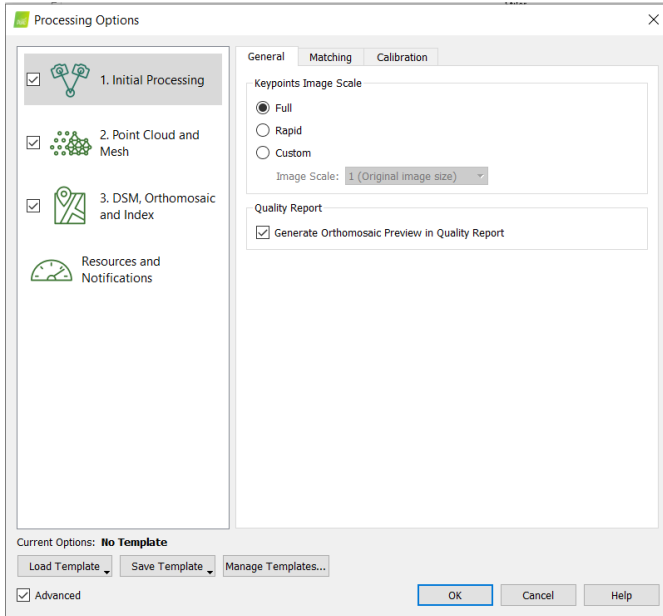
Figur 3 er gjengitt med tillatelse fra Luc Girod og er hentet fra Introduction to Photogrammetry s.5

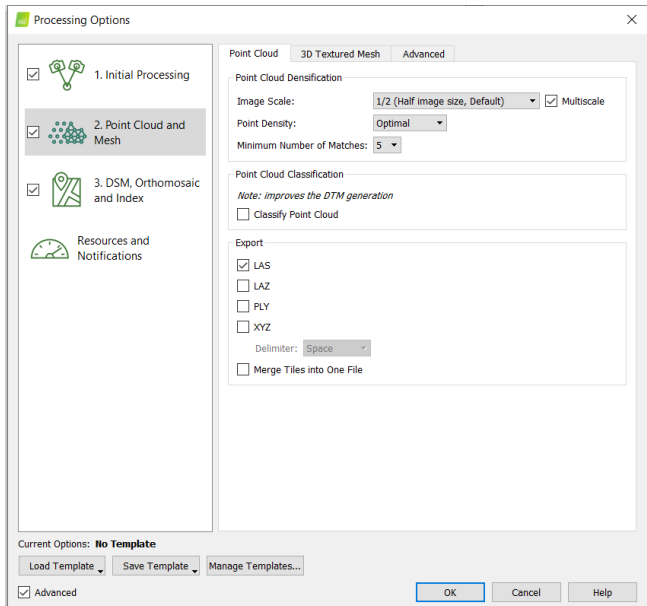
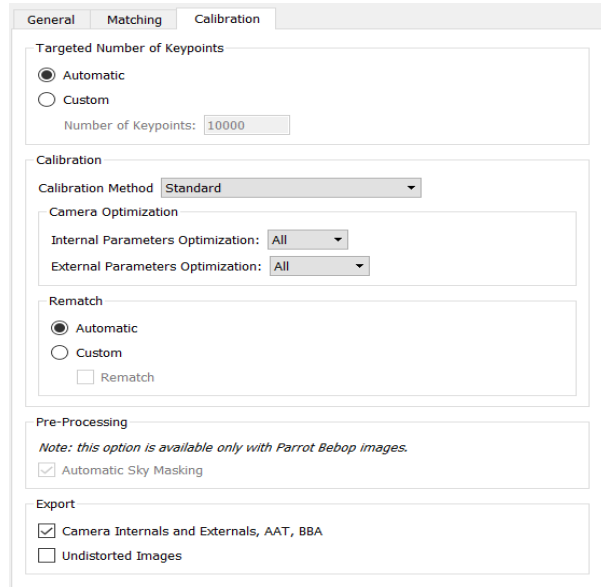
URL: https://folk.uio.no/lucg/docs/Photogrammetry_GEO4530_2018.pdf

Figur 5 er gjengitt med tillatelse fra Pix4D og er hentet fra What is accuracy in an aerial mapping project?

URL: <https://www.pix4d.com/blog/accuracy-aerial-mapping>

Vedlegg 1 – Prosesseringsinnstillinger





Point Cloud 3D Textured Mesh Advanced

Generation

Generate 3D Textured Mesh

Settings

High Resolution
 Medium Resolution (default)
 Low Resolution
 Custom

Maximum Octree Depth:

Texture Size [pixels]:

Decimation Criteria: Quantitative

Maximum Number of Triangles:

Qualitative

Strategy:

Use Color Balancing for Texture

Export

PLY
 FBX
 DXF
 OBJ
 Tiled Texture

3D PDF Logo:

Point Cloud 3D Textured Mesh Advanced

Point Cloud Densification

Matching Window Size:

Image Groups

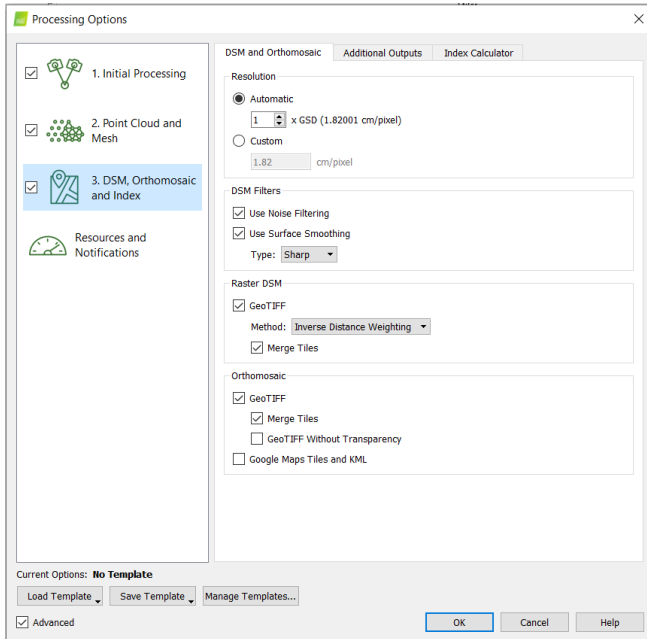
Point Cloud	Mesh Geometry
<input checked="" type="checkbox"/> group1	<input checked="" type="checkbox"/> group1
	Mesh Texture
	<input checked="" type="checkbox"/> group1

Point Cloud Filters

Use Processing Area
 Use Annotations
 Limit Camera Depth Automatically

3D Textured Mesh Settings

Sample Density Divider:



DSM and Orthomosaic Additional Outputs **Index Calculator**

Radiometric Processing and Calibration

FC6310_8.8_5472x3648 (RGB)

Correction Type: **No Correction**

Calibration:

Resolution

Automatic

x GSD (1.82001 cm/pixel)

Custom

cm/pixel

Downsampling Method: **Gaussian Average**

Reflectance Map

GeoTIFF

Merge Tiles

Indices

Note: these options are available only when "Reflectance Map > GeoTIFF" is selected.

red = red

green = green

blue = blue

grayscale = $0.2126 * \text{red} + 0.7152 * \text{green} + 0.0722 * \text{blue}$

Export

Note: these options are available only when "Reflectance Map > GeoTIFF" and at least one index in "Indices" are selected.

Index Values as Point Shapefiles (SHP)

Grid Size [cm/grid]:

Index Values and Rates as Polygon Shapefiles Resamples the index map into gridded sh

Grid Size [cm/grid]:

