



BACHELOROPPGAVE I GEOMATIKK, VÅREN 2014

**Bruk av RPAS til kartlegging av
avdekket fjell**

Avdeling

Teknologi, Økonomi og Ledelse
ved Høgskolen i Gjøvik

FORFATTER

Jonas Gjersaas Arnesen

19. Mai 2014

Sammendrag

Tittel:	Bruk av RPAS til kartlegging av avdekket fjell	Dato:	19.05.2014
Deltaker:	Jonas Gjersaas Arnesen		
Veileder:	Stein Ivar Øvergaard		
Oppdragsgiver:	Statens vegvesen Region Øst, Eiendom- og Landmålingsseksjonen v/ seksjonsleder Einar Gladhaug og geomatiker Per Mathisen.		
Nøkkelord:	Drone, fotogrammetri, profilering, masseberegning.		
Antall sider/ord: 68 / 18 150	Antall vedlegg: 7	Publiseringsavtale inngått: Ja	
<u>Kort beskrivelse av bacheloroppgaven:</u> Denne bacheloroppgaven omhandler Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS) og ønsker å finne svar på om dette er et verktøy som kan benyttes til kartlegging av avdekket fjell – ”Use of RPAS for surveying revealed rocks”. Kartlegging med RPAS har mange likhetstrekk med tradisjonell flyfotografering fra fly og helikopter, og det er flybilder som er utgangspunktet for å generere de triangulerte terrengmodellene. Resultatene fra RPAS-flygningen vil bli sammenliknet med referansemålinger foretatt på bakken, for å teste hvor nøyaktige og pålitelige resultater man kan forvente fra RPAS. Ettersom Statens vegvesen er oppdragsgiver er oppgaven rettet mot fjellmålinger og masseberegninger på veganlegg, og det vil derfor bli utarbeidet ulike rapporter og beregninger for de kartlagte områdene, for å se om tradisjonelle kartleggingsmetoder og flybilder fra RPAS gir sammenfallende resultater.			

Abstract

Title:	Use of RPAS for surveying revealed rocks	Date:	19.05.2014		
Participant:	Jonas Gjersaas Arnesen				
Supervisor:	Stein Ivar Øvergaard				
Employer:	Statens vegvesen Region Øst, Eiendom- og Landmålingsseksjonen. w/ Einar Gladhaug and Per Mathisen.				
Keywords	Drone, photogrammetry, profiling, mass calculation.				
Number of pages/words:	68 / 18 150	Number of appendix:	7	Availability:	<i>Open</i>
<u>Short description of the bachelor thesis:</u> <p>This bachelor thesis deals with Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS) and wants to find out whether this is a tool that can be used for surveying revealed rocks. RPAS is in many ways similar to traditional aerial photography from airplanes and helicopters, and there are aerial photographs which are the basis for generating triangulated terrain models.</p> <p>The results from the RPAS-flight will be compared to reference measurements taken in the field, so it will be possible to find out how accurate and reliable the results from the RPAS actually are. Since Statens vegvesen is a part of this project the thesis will be about rock surveying and mass calculation related to road projects, and it will therefore be prepared various reports and calculations from the surveyed areas, to see if traditional surveying methods and aerial photographs from the RPAS provides similar results.</p>					

Forord

Denne bacheloroppgaven markerer slutten på min treårige bachelorgrad i Geomatikk ved Høgskolen i Gjøvik, avdeling for Teknologi, Økonomi og Ledelse.

Jeg har valgt studieretning landmåling og derfor var det ønskelig at min bacheloroppgave var praktisk rettet mot en aktuell teknologisk problemstilling.

Gjennom ulike sommer- og deltidsjobber har jeg fått et innblikk i noen av de utfordringene en geomatiker står ovenfor på en bygg- og anleggsplass. Mye skal gjennomføres på kort tid og det er avgjørende at resultatet har god kvalitet.

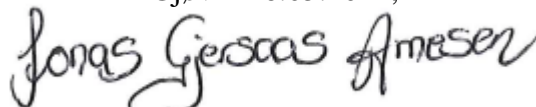
Ny kunnskap skaper ny teknologi – dette gir nye muligheter til hvordan tradisjonelle arbeidsoppgaver kan utføres på en annerledes og forhåpentligvis bedre måte.

Opgavens problemstilling ble utarbeidet i samarbeid med Statens vegvesen Region Øst og tar for seg et dagsaktuelt og ikke minst fremtidsrettet tema som kan bli en revolusjonerende begivenhet innen blant annet bygg- og anleggsbransjen.

Mine kontaktpersoner og veiledere i Vegvesenet har vært leder for Eiendom- og Landmålingsseksjonen på Lillehammer, Einar Gladhaug, og geomatiker Per Mathisen.

Jeg vil innledningsvis benytte muligheten til å takke min oppdragsgiver som har gitt meg mulighet til å få et innblikk i et nytt og spennende fagfelt, og som har bidratt finansielt til at oppgaven kan gjennomføres på en god måte ved hjelp av egnet programvare. Jeg vil også takke min veileder ved Høgskolen i Gjøvik, førsteamanuensis i Geomatikk, Stein Ivar Øvergaard, og alle dere andre som har bidratt med faglig kompetanse og veiledning underveis i arbeidsprosessen.

Gjøvik 16.05.2014,



Jonás Gjersaas Arnesen

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	2
Abstract	3
Forord	4
Ordforklaringer og definisjoner	7
1 Innledning	9
1.1 Bakgrunn.....	10
1.1.1 Oppdragsgiver og andre involverte parter.....	11
1.2 Problemstilling.....	12
1.3 Mål	13
2 Material og metode	14
2.1 RPAS – Remotely Piloted Aircraft System	15
2.1.1 Kamera	16
2.1.2 GPS – Global Positioning System.....	17
2.1.3 INS – Inertial Navigation System	17
2.1.4 Akselerometer	18
2.1.5 Gimball og gyroskop.....	18
2.1.6 Strømsensor.....	19
2.1.7 Radiosignal.....	19
2.1.8 Servostyring	19
2.2 RPAS-flygning.....	21
2.2.1 Avbildningens geometri	21
2.2.2 Bildeorientering.....	22
2.2.3 Flyfotografering	23
2.2.4 Flyplan.....	25
2.3 Testing og gjennomføring i felt	27
2.3.1 Referansemodell.....	27
2.3.2 Feltarbeid.....	29
2.3.3 Profilerings.....	30
2.3.4 Flygning	31
2.4 Programvare.....	33
2.4.1 Mission Planner.....	33
2.4.2 DroidPlanner	35
2.4.3 Agisoft PhotoScan Professional Edition	35
2.4.4 Gemini Terreng & Entreprenør 7.3	36
2.5 Databehandling og etterprosessering	37
2.5.1 Bildebehandling	37

2.5.2 Rydde, eksportere og triangulere punktsky	39
2.6 Sammenlikningsmetode	42
3 Resultater	44
3.1 Volumberegning – helhetlig sammenlikning	44
3.2 Tverrprofiler – spesifikk sammenlikning.....	45
3.3 Geometrisk kontroll – detaljert og statistisk sammenlikning	47
4 Diskusjon.....	48
4.1 Volumberegning	48
4.2 Tverrprofiler.....	51
4.2.1 Profil 14.500.....	52
4.2.2 Profil 6.000.....	53
4.3 Geometrisk kontroll	56
4.3.1 Resultattabell 3.2	57
4.4 Tidsforbruk	61
4.5 Oppsummering.....	63
4.6 Videre arbeid.....	65
5 Konklusjon.....	66
Tabell- og figurliste	67
Referanser	68
Vedlegg	
1 Utjevningsrapport fra ScanOBS.....	I
2 Rapport fra Agisoft PhotoScan Professional Edition (APP).....	IV
3 Masserapport mellom teoretisk flate og referansemodell.....	VIII
4 Masserapport mellom teoretisk flate og terrengmodell.....	IX
5 Tverrprofiler.....	X
6 Geometriske kontroller.....	XXII
6.1 Kuperte områdetyper.....	XXII
6.2 Jevne områdetyper.....	XXV
6.3 Hele testområdet.....	XXVIII
7 Fisher-test.....	XXXIII

Antall ord i oppgaveteksten: 18 150.
Vedlegg telles ikke.

Ordforklaringer og definisjoner

Absolutt nøyaktighet	Et objekts beliggenhet i forhold til et entydig definert system som flere uavhengige objekter refererer til.
APP	Forkortelse brukt for bildebehandlingsprogrammet Agisoft PhotoScan Professional Edition.
CPOS	Posisjonstjeneste fra Kartverket som gir satellittbaserte koordinatbestemmelser på centimeternivå. Satellittsignalene korrigeres ved en eller flere av kartverkets basestasjoner som befinner seg nærmest brukeren i felten.
EASA	European Aviation Safety Agenda – myndighet som delegerer flytillatelser. Hovedkontor i Köln i Tyskland og ble formelt etablert i oktober 2002. Norge ble medlem i 2005 som følge av at nye flysikkerhetsbestemmelser ble tatt inn i EØS-avtalen, og som deretter ble en del av EUs regelverk. ^[8]
GPS	Global Positioning System – amerikansk satellittsystem, opprinnelig ment for militære formål, men som i dag er offentlig tilgjengelig for alle.
IMU	Inertial Measuring Unit – bevegelsessensor. Benyttes ofte sammen med GPS for å registrere et objekts bevegelse og posisjon.
KOF	Format laget av Norkart Geoservice i 1988 for utveksling og lagring av bl.a. koordinater, observasjoner og linjer; fortrinnsvis for datautveksling mellom målebok og programvare.
Landsnett	Nettverk i Norge bestående av godt bestemte fastmerker som det var nødvendig å etablere for å fortette det eksisterende <i>stamnettet</i> .
LIDAR	Light Detection And Ranging – lasermåling fra laserskanner.
Nøyaktighet	Nøyaktighet oppnås når et resultat bestemmes uten tvetydigheter eller avvik. Et resultat kan være nøyaktig uten at det trenger å være verken <i>pålitelig</i> eller riktig, dersom resultatet <u>ikke</u> baserer seg på flere uavhengige kilder, observasjoner eller overbestemmelser.
Passpunkt	Koordinatbestemt og markert punkt på bakken som er synlig i flybildene og som benyttes for å etablere georefererte terrengmodeller. Samme som <i>signalpunkt</i> .
Profilering	Målemetode for å måle inn en terrengoverflate med enkeltpunkter på en slik måte at den kan gjenskapes digitalt ved å tegne linjer (kalt <i>triangulere</i>) mellom punktene.
Pålitelighet	Pålitelighet oppnås når <u>flere</u> uavhengige og overbestemte observasjoner eller kilder med god og nøyaktig kvalitet underbygger et entydig resultat.

Referansemodell	Triangulert og georeferert modell over testområdet, generert ut i fra innmålte profileringspunkter med totalstasjon.
Relativ nøyaktighet	Et objekts beliggenhet i forhold til et annet objekt i umiddelbar nærhet, referert til et <u>lokalt</u> referansesystem.
RGB	Rødt, Grønt og Blått – fargemodell som angir farger vha. tre tonerekker med hver sin tallverdi, der det er én rekke for hver av de tre primærfargene.
RPA	Remotely Piloted Aircraft – begrep som omfatter <u>bare</u> det <i>ubemannede luftfartøyet</i> som befinner seg i luften.
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System – begrep som omfatter et <i>ubemannet luftfartøy</i> og dens autopilot bestående nødvendige sensorer og instrumenter.
RPS	Remote Pilot Station – omfatter den bakkebaserte delen av et <i>ubemannet luftfartøy</i> som operatøren benytter for kontrollere luftfartøyet uten å være i fysisk kontakt med det.
Signalpunkt	Koordinatbestemt og markert punkt på bakken som er synlig i flybildene og som benyttes for å etablere georefererte terrengmodeller. Samme som <i>passpunkt</i> .
Stamnett	Nettverk i Norge bestående av godt bestemte fastmerker – etablert og posisjonsbestemt mellom 1994 og 1997 av Kartverket, Vegvesenet og lokale kommuner i forbindelse med innføringen av EUREF89 i 1993.
Terrengmodell	Triangulert og georeferert modell over testområdet, generert ut i fra flybildene som er tatt fra <i>RPAS</i> .
Triangulere	Metode som tegner linjer mellom enkeltstående punkter for å etablere en sammenhengende flate som kan gjenskape en fysisk gjenstand eller objekt. For eksempel en bygning eller et fjell.
Ubemannet luftfartøy	En flygende farkost som ikke består av en pilot, men i form av en operatør som har kontroll på fartøyet uten å være i fysisk kontakt med det ved hjelp av en trådløs styrekontroll. Operatøren må til enhver tid vite hvor farkosten befinner seg og dersom operatøren ikke kan opprettholde direkte øyekontakt med farkosten til enhver tid under flygningen, må det i følge norsk lov, være videooverføring mellom farkosten og operatøren.
UAS	Unmanned Aircraft System – tilsvarende begrep som <i>RPAS</i> .
UAV	Unmanned Aerial Vehicle – tilsvarende begrep som <i>RPA</i> .

1 Innledning

I dagens samfunn stilles det stadig større krav til nøyaktighet og effektivitet på de landmålingsoppgavene som utføres. Tradisjonelle målemetoder med totalstasjon blir fortsatt benyttet der kravene til nøyaktighet og pålitelighet er størst, men takket være nyere utstyr og ny teknologi vil man stadig oftere kunne både forvente å kreve stor nøyaktighet levert på kort tid. I mange sammenhenger er det fortsatt totalstasjonen som er det eneste pålitelige verktøyet å benytte, dersom man i det hele tatt skal kunne klare å oppnå den nøyaktigheten som forventes og kreves på det aktuelle arbeidet. Men i noen tilfeller kan det være aktuelt å se på andre muligheter for å finne ut om det eksisterer andre alternativer som kan effektivisere datainnsamlingen i felten. For eksempel innen bygg- og anlegg.

I Norge pågår det mange ulike byggeprosjekter innen både bygg og anlegg, og i tråd med det samfunnet vi lever i blir både prosjektene og tidspresset større. Det blir stadig oftere behov for å kartlegge store landområder på kort tid, slik at man kan etablere tredimensjonale modeller (3D-modeller) for å beregne volum og andre forskjeller mellom dagens- og den prosjekterte fremtidens område. Innmåling og profilering av store landområder tar lang tid med tradisjonelt landmålingsutstyr som totalstasjon og håndholdt GPS, men til gjengjeld resulterer dette som oftest i resultater med god kvalitet. På den andre enden av skalaen finner vi fotogrammetri fra fly eller helikopter. Som regel blir også her resultatet til slutt godt nok, men ofte kan denne prosessen bli både ressurskrevende og omfattende, og derfor vil fotogrammetri fra fly og helikopter egne seg best for de aller største kartleggingsjobbene.

Det er tydelig behov for noe som er en mellomting av tradisjonell landmåling på bakken og flyfotografering fra propellfly eller helikopter i luften, og man kan stille seg spørsmålet:

Finnes det et verktøy som kan kartlegge et større område i felten på en rask og effektiv måte, uten bruk av alt for store ressurser, og som gir et resultat som er pålitelig og nøyaktig nok til det formålet man ønsker å benytte det til? Et ubemannet luftfartøy, en såkalt drone, kan kanskje være svaret.

Begrepet drone har først og fremst fått fotfeste på folkemunne gjennom medias bruk av begrepet i flere tiår om nærmest alle moderne luftfartøyer som ikke er bemannet. I tillegg til dette finnes det utallige begreper og forkortelser som benyttes i sammenheng med dronebegrepet for å beskrive dette best mulig. De to vanligste, som det er verdt å nevne, er UAS – Unmanned Aircraft System og RPAS – Remotely Piloted Aircraft System. Begge begrepene beskriver hele ”dronesystemet” som består av selve luftfartøyet i luften med de

nødvendige komponentene dette består av, i tillegg til en bærbar enhet på bakken, i nærheten av droneoperatøren, som benyttes til overvåkning og manuell kontroll av luftfartøyet.

Betegnelsen UAS er likevel noe misvisende for selv om dronen er ubemannet ("unmanned"), på den måten at det ikke sitter en person i selve luftfartøyet, så er det et lovfestet krav om at operatøren til enhver tid skal ha kontroll og oversikt over dronen og hvor den befinner seg i luften, slik at man til enhver tid skal ha mulighet til å ta over flygningen manuelt dersom noe uforutsett skulle skje. Derfor er RPAS en mer beskrivende betegnelse fordi den understreker at dronen er fjernstyrt – *remotely piloted*.^[8]

På bakgrunn av dette vil begrepene RPAS, luftfartøy og drone bli benyttet i denne oppgaven.

1.1 Bakgrunn

Det som mange forbinder med droner er nok i militær sammenheng der bruk av ubemannede droner som både overvåkingsfartøy og fiendtlig våpenbærere har blitt benyttet helt siden begynnelsen av 1980-tallet. I takt med ny teknologi og økt kunnskap har militærdronenes design og teknologiske finurligheter bidratt til at de er både mindre, smidigere, mer nøyaktig og har en mye større rekkevidde enn tidligere. Som følge av dette har bruken av militære droner nærmest eksplodert siden begynnelsen av 2000-tallet og frem til i dag.

Det er imidlertid ikke bare militærdronene som har blitt bedre og mer benyttet som følge av nyere teknologi. De siste årene har også den sivile interessen av droner økt betraktelig; ikke bare som personlig fritidshobby, men også til kommersielt bruk i ulike næringsvirksomheter. Til tross for at dronenes løftekapasitet ikke er all verden – foreløpig, er det likevel ikke noe problem å feste et digitalkamera til dronen slik at man kan ta bilder av bakken fra fugleperspektiv. Dette er mye brukt for å markedsføre hus og hytter i prospektkort fordi det gir et mye mer helhetlig bilde av beliggenheten, sammenliknet med bilder tatt *på* bakken.

Bilder tatt *av* bakken *fra* luften kan også benyttes på samme måte som tradisjonell flyfotografering, fra propellfly eller helikopter, til å etablere tredimensjonale terrengmodeller. Ved å fly parallelle flystriper ved siden av hverandre, samtidig som man fotograferer det området man ønsker å kartlegge, kan man ut i fra bildene etablere en terrengmodell av det aktuelle området. Denne prosessen kalles *fotogrammetri* og dette var noe jeg ønsket å finne ut om var mulig å gjennomføre ved hjelp av et vanlig digitalkamera montert på et ubemannet luftfartøy.

1.1.1 Oppdragsgiver og andre involverte parter



Statens vegvesen



Gjennom sommerjobb kom jeg i kontakt med landmålere på Statens Vegvesens regionskontor på Lillehammer, og de hadde et forslag til problemstilling som var interessant å ta tak i. De hadde tidligere hatt varierende erfaring med kvaliteten på terrengmodeller som var basert på bilder tatt fra RPAS, og derfor ønsket de å finne ut hva dette skyldtes og hvor god kvalitet det er mulig å oppnå. Vegvesenet ble derfor valgt som oppdragsgiver for bacheloroppgaven og kontaktpersoner og veiledere der har vært Einar Gladhaug og Per Mathisen. De er begge geomatikere og sitter i seksjonen for Eiendom Landmåling som Gladhaug er seksjonsleder for.

Oppgaven vil nødvendigvis bestå av en praktisk del som omfatter flygning med RPAS over et valgt område. Derfor kontaktet vi, etter forslag fra Vegvesenet, oppmålingsfirmaet ScanSurvey AS. Firmaet ble etablert i 1989, har kontorer i Oslo og har lang fartstid i bransjen. ScanSurvey tilbyr en rekke oppmålingstjenester; alt fra tradisjonelle målinger med totalstasjon og GPS til laserskanning fra bil, fly og helikopter, i tillegg til masseberegning, kontraktoppfølging, industrimålinger og ”As-built”-dokumentasjon for å nevne noe. Firmaet ønsker videre å satse mer på bruk av RPAS som verktøy for å generere terrengmodeller basert på flybilder, og derfor var dette en bedrift som kunne hjelpe oss med oppgavens praktiske del. Kontaktperson i ScanSurvey AS har vært Ole Martin Gladhaug.

1.2 Problemstilling

Med bakgrunn i den enorme teknologiske utvikling og samfunnets stadig tøffere krav til effektivitet og pålitelighet på de landmålingsoppgavene som utføres, ønsket jeg å finne ut om bruk av RPAS kan være et verktøy for å effektivisere og forenkle noen av de utfordringene landmåleren står ovenfor. I den sammenheng er det mange forhold som det er mulig å ta tak i; hva kan RPAS brukes til, hvor kan det brukes, hvor kan det *ikke* brukes, hva slags utstyr er nødvendig og så videre. Ut i fra Vegvesenets ønske valgte jeg å rette temaet på oppgaven mot en anleggsplass og et veganlegg, for å ta tak i noen av de utfordringene stikkeren står ovenfor der. På bakgrunn av dette, og det som er omtalt i de foregående delkapitlene, ble følgende problemstilling utarbeidet:

Kan bruk av RPAS effektivisere stikkeren på anleggsplass ved profilering av avdekket fjell, og vil resultatet bli nøyaktig nok for pålitelig masseberegning?

Vi ønsker gjennom denne problemstillingen å få svar på om det er mulig å benytte RPAS effektivt og nøyaktig nok til at denne metoden kan ta over for tradisjonelle målemetoder på bakken. Igjen er det mange variable faktorer det er mulig å inkludere og ta hensyn til underveis. Det være seg flyhøyde over bakken, avstanden mellom flystripene og overlapp på flybildene, vær- og vindforhold, hva slags drone man benytter og ikke minst hva slags underlag (skog, myr, fjell, gress...) det er på bakken i det området man ønsker å kartlegge.

I denne oppgaven hadde vi ikke på langt nær nok tid til å teste alt dette på en god nok måte, fordi dette ville krevd mye testing over en lang periode i ulike vær- og situasjonsforhold. Derfor valgte vi å spesifisere oppgaven til det problemstillingen omfatter. Det benyttes kun én type drone og vær- og vindforhold testes det ikke variasjoner av, men målingene er ønsket foretatt når vær- og vindforhold er optimale, i likhet med tradisjonell flyfotografering fra propellfly eller helikopter. Det vil si høy solhøyde, for å unngå lange skygger, og lite vind, for å få luftfartøyet og kamerabildene mest mulig stabile. Andre variasjoner som blant annet flyhøyde, bildeoverlapp og kameratype har vi valgt heller ikke mulighet til å teste variasjoner av i denne oppgaven; disse faktorene bestemmes ut i fra det som forutsetter best resultat basert på grunnleggende teori og RPAS-operatørens erfaring.

Det som det imidlertid er ønskelig å teste og finne ut av er om et enkelt håndholdt digitalkamera kan ta gode nok bilder fra et ubemannet luftfartøy slik at bildene kan benyttes for å etablere en nøyaktig og pålitelig terrengmodell i etterkant. Oppgavens problemstilling ønsker også å få svar på *effektivitet* og det er derfor ønskelig å finne ut hva som kreves av ressurser i form av feltarbeid og etterprosessering av de ulike kartleggingsmetodene.

1.3 Mål

Målet med denne prosjektoppgaven er å besvare problemstillingen så godt som mulig ved hjelp av pålitelige, dokumenterte resultater fra feltmålinger. Det er ønskelig å utføre repeterbare overflygninger med RPAS slik at man får *flere uavhengige* bildedatasett, og dermed mulighet til å generere flere uavhengige terrengmodeller i etterkant som kan sammenliknes med hverandre. På denne måten kan vi dokumentere de resultatene vi får på en best mulig måte, sammenliknet med om vi bare hadde flydd over et område én gang. For å sammenlikne resultatene fra RPAS er det ønskelig å profilere det samme området på bakken med totalstasjon og dermed triangulere disse punktene til en referansemodell som kan benyttes til å sammenlikne terrengmodellen, som genereres ut i fra flybildene, mot.

For å nå ut til oppdragsgiveren, utdanningsinstitusjonen og andre involverte parter og interessenter er det opprettet en egen hjemmeside for prosjektet slik det er mulig å få et innblikk i oppgaven, fremdriften underveis og hva som forhåpentligvis fremkommer av resultater etter hvert. Hjemmesiden er ment å være en helhetlig presentasjon av oppgaven, forankret i denne prosjektrapporten, og den vil være tilgjengelig på nett også etter at prosjektet er avsluttet. Siden kan besøkes på <http://hovedprosjektblog.hig.no/v2014droner/>.

2 Material og metode

Som det er nevnt innledningsvis i oppgaven har begrepet drone i stor grad fått fotfeste gjennom medias bruk av uttrykket, men en mer beskrivende terminologi av det ubemannede luftfartøyet som er benyttet i denne oppgaven er RPAS – Remotely Piloted Aircraft System. Luftfartstilsynet krever at luftfartøyet til enhver tid kan overvåkes og kontrolleres av operatøren slik at det er mulig å gripe inn dersom noe uforutsett skulle skje, og derfor er RPAS best beskrivende. RPAS brukes derfor som fellesbetegnelse for alle ubemannede luftfartøy som ikke utelukkende benyttes for rekreasjon, konkurranse eller annen sport, og derfor vil mange av de reglene som gjelder for bemannende luftfartøy (fly/helikopter) også være gjeldene for RPAS-flygning.

Blant annet må man innhente tillatelse fra Luftfartstilsynet dersom RPAS skal benyttes til kommersiell flygning i næringsvirksomhet og man må ha tillatelse fra Nasjonal Sikkerhetsmyndighet (NSM) dersom man skal fotografere bakken fra luften. Det er ikke lov å ta bilder av personer uten tillatelse og derfor må man søke til NSM for dette. Med mindre man har mulighet til å kontakte samtlige personer som *kan* befinne seg i det området man ønsker å avbilde.

Videre har luftfartøyets vekts betydning: Har fartøyet en avgangsvekt under 150 kg er det den enkelte nasjon som har myndighet til å gi flytillatelse, og dermed den enkelte nasjon som har det overordnede ansvaret for hva det er som tillates. Dersom vekten ved utskyting overstiger 150 kg er det ikke lenger nasjonen, men EASA – European Aviation Safety Agenda som står ansvarlig. Dette er en myndighet som ligger i Tyskland og som lager Europeiske retningslinjer og regler som bare er gjeldende i Europa.

2.1 RPAS – Remotely Piloted Aircraft System

Det finnes ulike typer RPAS og formålet med datainnsamlingen vil på mange måter være med på å bestemme hva slags luftfartøy som er best egnet. Kort sagt vil et RPAS-fly være best egnet når større landområder skal avbildes og der det vil være aktuelt å fly lengre parallelle flystriper. Dersom området er mindre vil et quadro-, hekso-, eller octacopter være gunstigere fordi disse er mer manøvrerbare i luften. Desto flere propeller på copteret, jo stødigere flyr det i luften og mer løftekapasitet vil det ha.



Figur 2.1: Forskjellige RPAS

I denne prosjektoppgaven er det benyttet et quadrocopter med fire propeller. Oppgavens problemstilling er rettet mot kartlegging av avdekt fjell på anlegg og til dette formålet kan det være behov for å kartlegge både store og små områder, men i denne oppgaven er testingen gjennomført på et mindre område på cirka 250 kvadratmeter. Derfor vil et copter være mest hensiktsmessig å benytte.

Quadrocopteret er laget av ScanSurvey AS og selve bærekonstruksjonen består av diolen, glassfiber og karbon. Disse materialene bidrar sammen til at copteret blir lett, vannavstøtende og ikke minst til at det ikke blir alt for dyrt, samtidig som det gjør det motstandsdyktig og slitasjebestandig. Derfor er dette svært egnede byggematerialer som gjør det mulig å bygge copteret slik man selv ønsker, uten at det krever store ressurser for å få tak i de ulike byggematerialene. De fire karbonpropellene på 17 tommer drives av hver sine 5010 børsteløse elektriske motorer som har en kapasitet på 360 RPM/V. Batteriet er på 8Ah, noe som gir en flytid på opptil 20 minutter.

Med andre ord er ikke copteret laget av noe ekstremt dyrt eller spesielt materiale, men likevel er det både solid og enkelt å reparere. Til sammen veier det omtrent 3 – 4 kilo.



Figur 2.2: Benyttet quadcopter.

Quadrocopteret består av en rekke forskjellige sensorer og instrumenter som registrerer blant annet flyhøyden, batterinivået og akselerasjonen. Alle disse sensorene er samlet i luftfartøyets *autopilot*, og i underkapitlene nedenfor blir hvert enkelt instrument beskrevet mer i detalj og hvilken funksjon det har i et RPAS.

2.1.1 Kamera

På grunn av begrenset løftekapasitet er det avgjørende at kameraet som benyttes er så lett som mulig slik at det ikke påvirker flyegegenskapene og batteritiden mer enn nødvendig. Derfor er det her benyttet et helt vanlig 12 megapiksler Canon PowerShot S100 (5,2 mm) håndholdt digitalkamera. Det viktigste er at kameraet tar gode og skarpe bilder slik at terrenget kommer tydelig frem på bildene for at passpunkt og andre fellespunkter kan angis og bestemmes korrekt i etterkant.

På quadrocopteret som er benyttet her er kameraet kun festet ved hjelp av et 3D-printet plastikkignende feste (PET+), montert under RPAS, som er tilpasset kameraet slik at det peker vertikalt ned mot bakken. I overgangen mellom RPAS og innretningen som holder kameraet på plass er det støtdempende materiale (PU-skum) som skal bidra til å absorbere vibrasjoner fra propellene slik at bildene skal bli så tydelige som mulig.

2.1.2 GPS – Global Positioning System

Som en del av luftfartøyets autopilot er det også et GPS-system. Dette er ikke nødvendig for å få en georeferert terrengmodell, ettersom dette kan gjøres ved hjelp av koordinatbestemte passpunkter på bakken, men det er likevel svært nyttig og i mange sammenhenger nødvendig. Uten GPS har man ikke mulighet til å definere en flyplan på forhånd som RPAS kan fly etter og man er nødt til å fly manuelt på stedet. Dette er ikke umulig, men det er heller ingen fordel dersom området som skal kartlegges er stort. Med GPS kan flyplanen defineres av operatøren på forhånd (dette omtales mer i kapittel 2.3) og det er mulig å følge med på hvor RPAS befinner seg i forhold til den forhåndsdefinerte flyplanen, slik at man kan ha kontroll på om den flyr der operatøren har bestemt. På denne måten får man bedre oversikt og man har også i ettertid mulighet til å se hvor RPAS har flydd, slik at man kan bruke dette som dokumentasjon til en eventuell arbeidsgiver. Videre kan GPS være nyttig for å kontrollere luftfartøyets høyde slik at operatøren hele tiden vet hvor RPAS befinner seg i forhold til øvrig vegetasjon, bygninger eller andre objekter på bakken. Foruten GPS består autopiloten også av et *barometer* som benyttes til å bestemme hvor høyt RPAS er over bakken. Som kjent blir lufttrykket lavere i større høyder og ut i fra dette kan barometeret bestemme høyden med ± 50 cm nøyaktighet dersom lufttrykket ved bakkenivå er kjent.

2.1.3 INS – Inertial Navigation System

RPAS er lett og veier ofte ikke mer enn tre til fem kilo og derfor er det veldig utsatt for vær- og vindforhold. INS består av en Inertial Measurement Unit (IMU) som måler akselerasjon og vinkelhastighet i tre retninger; både i og rundt de tre aksene i koordinatsystemet (X, Y og Z). Dette brukes for å se hvor stabilt RPAS er under flygningen og ved hjelp av en enkel applikasjon på mobilen kan operatøren følge med på dronens stabilitet mens flygningen pågår.

Det er seks ukjente orienteringsparametere for hvert bilde; tre for å bestemme lengde- og høyderetning (X, Y og Z) i forhold til de tre koordinataksene, og tre for å bestemme rotasjonen (φ , ω , κ) rundt de tre aksene. Alle disse parameterne blir bestemt ved hjelp av GPS og INS. Når bildene eksporteres til et bildebehandlingsprogram er det mulig å knytte denne informasjonen til hvert enkelt bilde.

2.1.4 Akselerometer

Et akselerometer fungerer på den måten at det reagerer på hvilken fart og retning et objekt har i forhold til de tre aksene (X, Y og Z) ved hjelp av fart og tyngdekraft. Selve prinsippet går ut på å måle forskjellen mellom ingen bevegelse, som defineres ved kalibrering på forhånd, og de bevegelsene som instrumentet registrerer når objektet det er festet til er i bevegelse.

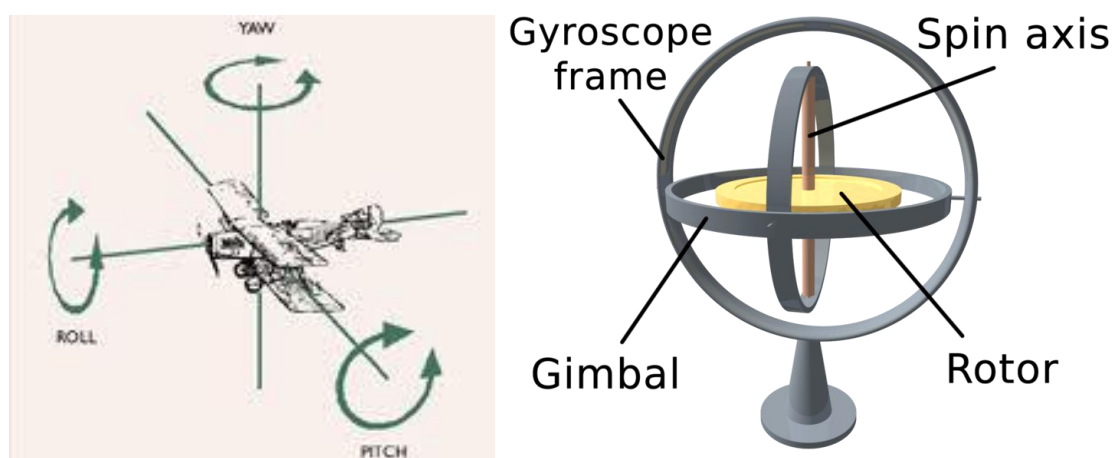
Bevegelsen blir vanligvis registrert ved hjelp av magneter eller lodd som beveger seg i spoler langs aksene. Hvor raskt disse beveger seg og hvor fort de skifter retning langs aksene blir registrert og sier dermed noe om hvor fort objektet beveger seg. Det finnes også instrumenter som benytter laserlys til å måle akselerasjon, men dette er dyre- og mindre brukte instrumenter.^[1]

Akselerometeret kan foreta registreringer langs både én, to eller tre akser, men det er absolutt mest vanlig å benytte tre-aksede akselerometere – rett og slett fordi det er disse som gir brukeren mest informasjon. Akselerasjonen måles enten i m/s^2 eller i g -krefter. Én g tilsvarer tyngdekraften på jorden og er cirka $9,81 m/s^2$.

2.1.5 Gimball og gyroskop

GPS, INS og akselerometeret bidrar alle til å *registrere* hvor og hvordan RPAS beveger seg, men det er gunstig å benytte noe som bidrar til å *stabilisere* kameraet slik at bildene blir tydeligst mulig. Til dette formålet blir det benyttet gimball og gyroskop som stabiliserer kameraet og fokuserer det vertikalt ned mot bakken uavhengig av luftfartøyets vridning og dreining *rundt* X-, Y- og Z-aksene, kalt roll, pitch, yaw.^[2]

Dette er noe som ikke er benyttet i denne oppgaven og derfor omtales ikke dette nærmere, men det er likevel verdt å nevne fordi dette er noe som stadig blir mer benyttet ettersom RPAS' løftekapasitet forbedres og den ønskede bildekvaliteten øker.



Figur 2.3: Roll, pitch og yaw.

2.1.6 Strømsensor

En viktig komponent i dronens autopilot er strømsensoren. Denne overvåker batterinivået i luftfartøyet og kan sende informasjon om dette til en trådløs enhet hos operatøren på bakken. Man er ikke *avhengig* av å ha en strømsensor for å få flydd, men det er et nyttig hjelpemiddel som bidrar til å optimalisere flygningen ved at operatøren til enhver tid vet hvor mye strøm det er igjen på batteriet. Dette bidrar til å effektivisere flygningen ved at operatøren kan utnytte batterikapasiteten i større grad, uten at sikkerheten påvirkes.

2.1.7 Radiosignal

Kommunikasjonen mellom RPAS og en bærbar enhet på bakken foregår ved hjelp av *telemetri*. Dette er en form for fjernmåling og er en trådløs overføring av måledata fra RPAS til PC, mobil, nettbrett eller annen bærbar enhet som operatøren har tilgjengelig på bakken. Overføringen av data kan foregå optisk med laser eller infrarødt lys, men det vanligste er via radiobølger som det er benyttet i dette tilfellet.

Det kan enten være enveis eller toveis kommunikasjon avhengig om det skal være mulig for operatøren på bakken å få kontrollsignaler *tilbake* fra RPAS i luften, i tillegg til de signalene operatøren sender *fra* bakken. Det er uten tvil mest hensiktsmessig med toveis kommunikasjon fordi dette gjør det mulig å overvåke blant annet batterinivået på RPAS, dersom autopiloten består av en *strømsensor*. Da kan luftfartøyet sende meldinger til den trådløse enheten på bakken om hvor mye strøm det igjen på batteriet; for eksempel når det er igjen 90 % batterikapasitet, 80 % og så videre.

Radiosignalene til ScanSurveys RPAS har en rekkevidde på opptil 150 meter og blir sendt med en 3DR-radio med en frekvens på 433 MHz. Styringen går over en vanlig 2,4 GHz RC-kontroller.

2.1.8 Servostyring

Radiosignalene som sendes fra den fjernstyrte enheten på bakken og opp til RPAS i luften registreres i luftfartøyets *styremotor* i autopiloten. Disse såkalte servosignalene som RPAS' mottar, konverteres til motorsignaler og sendes deretter ut til dronens elektriske styremotorer og propeller slik at de endringene som operatøren ønsker at skal skje, skjer.

Servosignalene konverteres til motorsignaler ved hjelp av Electronic Speed Control (ESC). ESC gjør at motorsignalene og -bevegelsene blir jevnere og mer nøyaktige, sammenliknet med de mekaniske og ”hakkete” bevegelsene man kan oppleve dersom man benytter ren servostyring i stedet. ^[3]

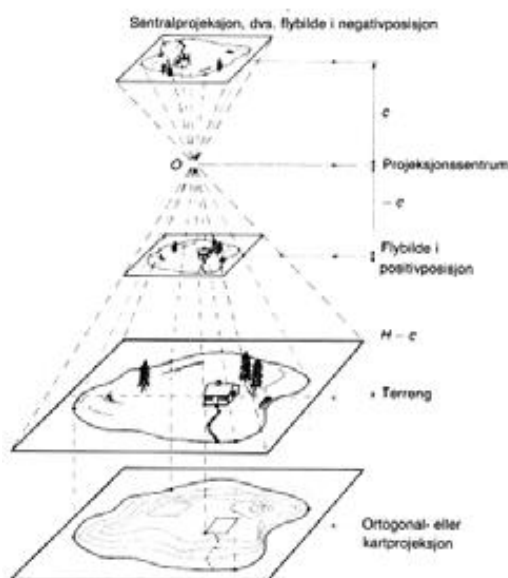
Servosignalene registreres ofte forskjellig avhengig om det er fly eller copter. I fly går signalene direkte til de elektriske motorene uten ESC, fordi flyet ikke er like følsomt for rotor- og propellendringer som copteret. I copteret er det imidlertid mer gunstig å ha ESC fordi små propellendringer gir større utslag på copterets bevegelser, og derfor går servosignalene *via* styremotoren i autopiloten før signalene konverteres til motorsignaler, dersom copteret har ESC.

2.2 RPAS-flygning

Før flygningen med RPAS kan påbegynnes i felten er det viktig å bruke tid i området på forhånd til å rekognosere og finne ut hvordan terrenget ser ut. Spesielt viktig er det å kjenne til terrengformasjonen og objekter som kan være til hinder for dronen under flygningen. Dette kan være trær, mobilmaster, høyspentlinjer, bygninger og liknende. I liknet med tradisjonell flyfotografering fra fly ønsker man å ta bildene i tilnærmet lik høyde over bakken slik at bildemålestokken blir den samme. Derfor må man kjenne til terrengets beliggenhet over havet slik at man kan avgjøre hvilken flyhøyde som er mest gunstig. Flyhøyden avhenger selvsagt av formålet med kartleggingen, hvor stort området er og hva man skal bruke dataene til i etterkant, men vanligvis er en flyhøyde mellom 50 og 100 meter over bakken å foretrekke.

2.2.1 Avbildningens geometri

Ved fotografering med kamera sendes det ut en rekke lysstråler mot bakken, kalt *strålebunt*, som går via kameraets projeksjonssentrum, før det blir reflektert fra objekter på bakken og sendt tilbake gjennom objektivet (kamerallinsen) og videre til selve filmen der avbildningen blir eksponert. Dette kalles *sentralprojeksjon* fordi strålebunten fra kameraet går via ett felles punkt. Avstanden mellom bildefilmen og projeksjonssenteret kalles *brennvidde* eller kamerakonstant og dersom man kjenner til flyets høyde over terrenget kan man beregne målestokktallet i både bildet og på bakken.



Figur 2.4: Sentral- og normalprojeksjon.

Som det fremgår av figur 2.4 blir terrengets avbildning på bildet motsatt enn det er på bakken fordi lysbunten fra kameraet går via projeksjonssenteret. Når man tar utgangspunkt i

flybildene for å lage kart og andre måleriktige modeller bruker man *normalprojeksjon* slik at ethvert punkt blir transformert vinkelrett inn i kartplanet. Forskjellen mellom sentral- og normalprojeksjon illustreres i tabellen under.

Tekst	Sentralprojeksjon	Normalprojeksjon
Bruksområde	Bilder	Kart, ortofoto
Målestokk	Varierende	Konstant
Egenskaper	Kan brukes for å beregne romlige (stereoskopiske) målinger.	Kan brukes for å beregne reelle avstander, arealer og vinkler.

Tabell 2.1: Sentral- og normalprojeksjon.

2.2.2 Bildeorientering

For og kunne orientere bildene er man avhengig av å ha punkter i terrenget som er synlige i flere bilder. Dette kan for eksempel være bygninger, telefonstolper, biler, fjelltopper eller andre objekter som har en tydelig fremtoning i bildet. Slike objekter kalles *fellespunkter*, men det vil være nødvendig å ha enda flere punkter i tillegg, som er kjent i grunnriss og høyde slik at man kan georeferere modellen. Slike punkter kalles ofte *passpunkter* eller *signalpunkter*.

Etter at bildene er orientert i forhold til hverandre i stereomodellen kan modellen tilpasset et definert koordinatsystem på bakken. For å få dette til må sju størrelser bestemmes: Modellens dreining om koordinataksene (φ , ω , κ), modellens posisjon i forhold til koordinataksene (X , Y , Z) og modellens målestokk (m). Hvordan dette foregår programteknisk omtales nærmere i kapittel 2.5.1.

Det trengs teoretisk to passpunkter som er kjent i både grunnriss og høyde, og et passpunkt som bare er kjent i høyde for å bestemme alle de ukjente. Dette er som regel ikke nok fordi man ikke har mulighet til å avdekke eventuelle feil eller unøyaktigheter dersom man ikke har noen overbestemmelser. Derfor er det avgjørende for modellens pålitelighet at man har *flere* passpunkt enn nødvendig. Passpunktene plassering er heller ikke likegyldig og de bør ligge på en slik måte at det *omkranser* det geografiske området som modellen ligger i.

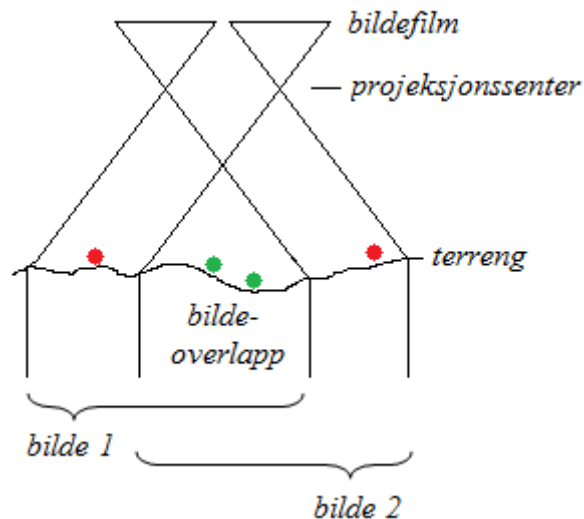
En metode for å redusere nødvendigheten av antall passpunkter på bakken er *aerotriangulering*. Det går ut på å binde sammen stereomodeller fra enkeltstriper eller flere parallelle flystriper til én stor sammenhengende flate. Dette gjøres ved at man tar for seg en og en stereomodell fra bildeserien, uavhengig om den er langs eller på tvers av flyretningen, og måler fellespunkter mellom modellene for å binde dem sammen og skape et felles nettverk. Uansett er antall passpunkter, og nøyaktigheten på disse, en avgjørende faktor for hvor god modellen potensielt kan bli.

2.2.3 Flyfotografering

Dagens bruk av ulike typer RPAS til kartlegging av terrengformasjon følger samme prinsipp som tradisjonell flyfotografering fra propellfly og helikopter. Forutsetningene for å ta gode bilder fra RPAS er de samme; rekognosering og kjennskap til det terrenget man ønsker å kartlegge er avgjørende for å få et best mulig resultat.

Flyplanen må planlegges slik at samme punkt på bakken blir synlig i flere bilder. Hensikten med å ta overlappende bilder er å bruke dette som utgangspunkt for å danne en modell av terrenget man skal kartlegge. Dette kalles *stereofotogrammetri* eller *dobbeltbildefotogrammetri* og prinsippet er at man bruker minst to bilder som overlapper hverandre. I det området på bakken som er synlig i begge bildene vil man få en stereoskopisk modell som gjør at man kan betrakte terrenget i 3D.

Dette illustreres i figur 2.5. Her ser man at bare de grønne punktene kan betraktes stereoskopisk fordi de er synlige i *begge* flybildene, mens de røde punktene – som kun er synlige i et av bildene – ikke vil kunne betraktes stereoskopisk.



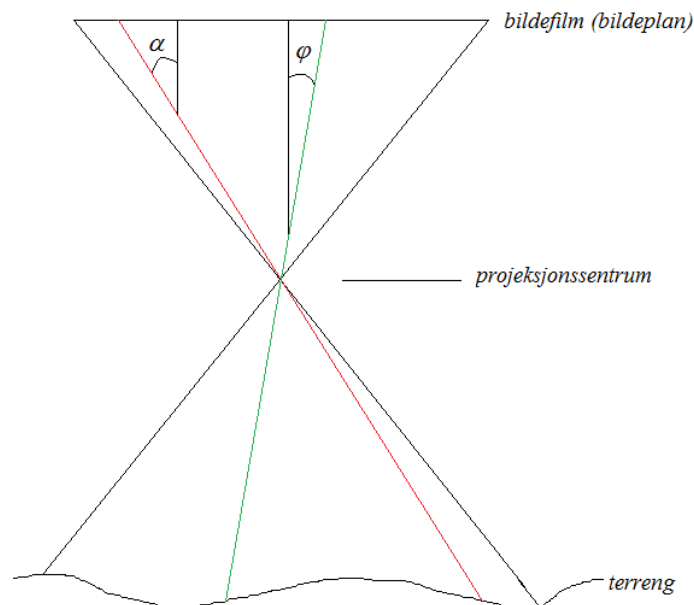
Figur 2.5: Bildeoverlapp og fellespunkter.

Figur 2.5 viser også at det er cirka 60 % overlapp på bildene. Til tradisjonell flyfotografering er det mest vanlig med 20 % overlapp i sideretning og 60 % overlapp i lengderetning, men dette vil variere noe avhengig av topografien i området. Mye skog, høye bygninger og fjell, dype daler, by- eller jordbrukslandskap er alle avgjørende faktorer som spiller inn når man skal bestemme bildenes overlapp.

Ved flyfotografering fra RPAS brukes det ikke på langt nær like dyre og avanserte kameraer som det brukes ved tradisjonell flyfotografering fra propellfly eller helikopter. Da vil ofte kameraet koste opp mot én million kroner, men til RPAS-flygning brukes det som

regel et vanlig digitalkamera til noen tusen kroner. Derfor vil det være desto viktigere å ha større overlapp på bildene fordi man ikke ønsker stereoskopisk betraktning av fellespunkter på bakken som ligger langt ut mot bildekanten i bildene. Grunnen til dette er at bildets skarphet, det vil si pikslenes kvalitet, reduseres desto lenger unna bildets sentrum man kommer. Dette gjør at det blir stadig vanskeligere å bestemme posisjonen til et punkt i bildet entydig korrekt, og differansen mellom et punkts faktiske- og beregnede beliggenhet i bildet vil øke desto lenger unna bildets sentrum man kommer. Denne differansen kalles *fortegning* og skyldes blant annet at avstanden og vinklene mellom kameraets projeksjonssentrum og selve fotografiet (bildefilmen) i bildeplanet øker desto nærmere bildekanten, og lenger unna bildesenter, man kommer (se figur 2.6).^[4] I tillegg til dette er det også andre faktorer som spiller inn, som har med blant annet unøyaktigheter i både kameraet og kameranlinsen å gjøre og det finnes uttallige matematiske formler og uttrykk for og både måle og korrigere for alle disse elementene, men det vil bli alt for omfattende å gå mer i detalj på dette i denne oppgaven.

Det som imidlertid er viktig å poengtere er at det er en egen optimaliseringsprosess for dette i bildebehandlingsprogrammet Agisoft PhotoScan Professional som er benyttet i denne oppgaven. Fremgangsmåten i programvaren og optimaliseringsprosessen blir nærmere beskrevet i kapittel 2.5.1.



Figur 2.6: Passpunktets beliggenhet.
Proporsjonene mellom terrenget og bildefilmen er ikke riktig.

Som figur 2.6 viser ønsker man minst mulig vinkel mellom bildeplanet og strålebunten som sendes fra ut av kameraet, mot passpunktet på bakken og som deretter blir reflektert tilbake på bildefilmen i det hvert enkelt bilde blir tatt. Derfor er en vinkel tilsvarende φ på figuren mer

gunstig enn en vinkel tilsvarende α , fordi avbildingen vil skje nærmere bildets sentrum når vinkelen er liten, og da vil også fortegningen være minst. En motstridende faktor til dette argumentet er at man ønsker at passpunktene skal være mest mulig spredt slik at man oppnår god geometri mellom dem; på samme måte som man ønsker god spredning på kjentpunktene man sikter til når man foretar frioppstilling med totalstasjon. Derfor er det avgjørende å finne en fornuftig balanse mellom disse to argumentene slik at man unngår at alle passpunktene ligger i en klynge midt i bildet eller at alle passpunktene ligger helt ute i bildekanten. Best forutsetning for et godt resultat vil man oppnå dersom passpunktene er jevnt spredt rundt i bildet, slik at de omkranser det området som skal kartlegges, uten at noen av punktene blir liggende helt ute i bildekanten på flybildene.

Ettersom det i dette tilfellet er benyttet et enkelt håndholdt Canon PowerShot S100 (5,2 mm) digitalkamera med 12 megapiksler er det grunn til å tro at det er spesielt viktig å korrigere for fortegning. Det er også viktig at passpunktene ligger nærmere bildets sentrum, lenger unna bildekanten, og derfor er en bildeoverlapp i lengderetning opp mot 80 % vanlig. I sideretning er gjerne 30 – 40 % overlapp vanlig, fordi mer enn dette vil kreve mange tette flystriper, flere bilder og dermed større ressurser knyttet til både datainnsamlingen og -behandlingen. I tillegg til dette vil også et RPAS være mer følsomt for vær og vind, og det vil ikke være like stabilt i luften som et fly eller helikopter. Derfor er det hensiktsmessig med større overlapp i både lengde- og sideretning for å kompensere noe for dette også.

2.2.4 Flyplan

Det er en rekke faktorer som påvirker hvordan flyplanen bør planlegges og gjennomføres. Under følger en liste over noen av de viktigste momentene som bør vektlegges:

1. Bildemålestokken bør være mest mulig konstant – oppstikkende detaljer på bakken bør ikke være høyere enn 15 % av gjennomsnittlig flyhøyde.
2. Det må være nok holdepunkter i bildene slik at man kan opprette en stereoskopisk modell basert på fellespunkter og passpunkter. Passpunktene bør være gunstig plassert, jmfør kapittel 2.2.3, og det er viktig bildeoverlappen er stor nok i både lengde- og sideretning.
3. Objekter som kan skjule bakenforliggende terreng; bygninger, fjellskjæringer, daler og lignende.
4. Oppstikkende objekter fra bakken (trær, vegetasjon, bygninger, kraftlinjer ol.) som kan være til hinder for RPAS.

5. Gode bildeforhold som gir skarpe kontraster i bildene slik at detaljer kommer synlig frem; enten klar himmel eller høyt, jevnt og tynt skydekke uten dis eller tåke. Stor solhøyde for å unngå lange skyggepartier.
6. Rolige og stabile vindforhold for å unngå unødvendig bevegelser på RPAS og utydelige bilder.
7. Flyplanen må dekke det området som man ønsker kartlagge slik at *hele* området kan betraktes stereoskopisk i 3D. Dette forutsetter at pkt. 2 oppfylles. Flyplanen må bestemmes ut i fra dronens og kameraets tekniske spesifikasjoner; som blant annet flyhastighet og tiden mellom hver bildeeksponering.

Det finnes i dag programmer der man kan legge inn spesifikasjoner fra det RPAS og det kameraet man skal benytte under flygningen, slik at flyplanen automatisk blir tilpasset det området man ønsker å kartlegge. Dette er nærmere omtalt i kapittel 2.4.1.

2.3 Testing og gjennomføring i felt

Problemstillingen omfatter hvordan bruk av RPAS eventuelt kan effektivisere stikkeren på anleggsplass og derfor var det ønskelig å sammenlikne arbeidsprosessen ved å profilere et område manuelt på bakken mot det å fly over samme det området med RPAS. Det var også avgjørende for oppgaven at overflaten på det avdekte fjellet hadde varierende topografi med varierende høydeforskjeller, slik at det var mulig å teste RPAS' evne til å fange opp detaljer på fjellet. Derfor var fjellets beliggenhet, areal og topografiske utforming det som var avgjørende når testområdet skulle velges ut.

I utgangspunktet var det ønskelig å teste RPAS på et veganlegg i nærheten av Gjøvik for å få en så realistisk arbeidssituasjon som mulig. Det ble brukt mye tid på å komme i kontakt med sentrale personer i Vegvesenet som var knyttet til E6-fellesprosjektet nord for Minnesund og som kunne hjelpe oss med å komme i direkte kontakt med entreprenørene. Jeg kom etter hvert i kontakt med Hæhre Entreprenør AS som har ansvar for andre parsell (FP2) på E6-fellesprosjektet, cirka fire kilometer nord for Minnesund, og etter å ha få en avklaring rundt sikkerhet og HMS ble det gjennomført en befaring på anlegget. Området ville vært gunstig og benyttet som testfelt, men dessverre kunne ikke testflygningene bli gjennomført her fordi dette ville blitt for sent i forhold til prosjektoppgavens innleveringsfrist.

I stedet ble flygningene, etter anbefaling fra ScanSurvey, foretatt på en cirka 20 ganger 15 meter stor fjellknaus i Oslo. Dette området var i den størrelsesorden vi hadde sett for oss, og i tillegg var den utenfor et anleggsområde, slik at det var mulig å foreta målingene og flygningene når vær- og vindforhold var optimale, uten og måtte ta hensyn til annen anleggstrafikk. Knausen hadde også en varierende topografisk geometri med varierende høyder, mindre sprekker og groper, slik at RPAS' evne til å fange opp detaljer på fjellet kunne testes. På bakgrunn av dette mener vi at fjellknausen er godt egnet som testområde fordi den har tilsvarende faktorer som de man kan komme borti på en bygg- eller anleggsplass.

2.3.1 Referansemodell

En avgjørende faktor for å kunne si noe om hvor godt RPAS er egnet til å kartlegge fjell er å ha en nøyaktig og pålitelig referansemodell å sammenlikne med. Tradisjonelle innmålinger av avdekket fjell på byggeplasser og andre anlegg blir i stor gjort ved hjelp av GPS. GPS-målinger med CPOS eller RTK er de metodene som benyttes, og på anlegg blir RTK ofte benyttet, sammen med en tilhørende basestasjon som sender korreksjoner til mottakeren, slik at forutsetningen for å få nøyaktige og riktige høydebestemmelser blir best mulig. Det ble derfor vurdert om GPS skulle benyttes her også slik at det er mulig å sammenlikne resultatene

fra RPAS-flygningene med den metoden som blir mest benyttet i daglig sammenheng. Ettersom problemstillingen tar for seg om bruk av RPAS er *nøyaktig* nok som datainnsamlingsmetode på fjell, og at det knyttes en viss usikkerhet til GPS-målinger, ble det manuelle profileringsarbeidet på bakken gjennomført med totalstasjon. Det er ønskelig å få en referansemodell som er så nøyaktig og pålitelig som mulig, spesielt i høyderetning, og derfor ble totalstasjon benyttet.

Formålet med sammenlikningen mellom RPAS og tradisjonelle målinger på bakken er først og fremst å se hvor godt terrengmodellene stemmer overens i *høyde*, ettersom datainnsamlingen skal være utgangspunktet for videre masseberegning. Punktentes absolute geografiske plassering i grunnriss er derfor ikke like relevant, så lenge samtlige punkter refererer til samme høydegrunnlag og at punktenes *relative* nøyaktighet i forhold til hverandre er god.

For å opprette referansemodellen vil samtlige passpunkter først bli målt inn med GPS (CPOS) for å bestemme punktentes geografiske plassering i grunnriss. Deretter måles passpunktene inn med totalstasjon, uten noen referanse til et offentlig koordinatsystem, slik at passpunktenes relative plassering i grunnriss og høyde blir nøyaktig bestemt.

Under etterprosesseringen av dataene i egnet beregningsprogram bestemmes passpunktenes koordinater ved hjelp av en utjevning mellom gjennomsnittet av CPOS-målingene i grunnriss og retning- og avstandsmålingene fra totalstasjonen. Ved å ”låse” høyden i et stabilt punkt og deretter bruke totalstasjonsmålingene mellom punktene, kan man beregne høyden til samtlige punkter ut i fra det punktet med ”låst” høyde. Denne metoden bidrar til å definere et entydig koordinatsystem som modellen fra det manuelle profileringsarbeidet og terrengmodellen fra RPAS-bildene kan referere til. Ettersom høyden til passpunktene beregnes ut i fra et selvbestemt referansepunkt vil ikke nødvendigvis høyden på passpunktene være riktig i forhold til punktets absolute posisjon i et nasjonalt datum. Dette er heller ikke nødvendig så lenge formålet er å sammenlikne de to terrengmodeller med *hverandre*. Da er det viktigste at begge modellene referer til det samme koordinatsystemet.

I dette tilfellet ligger det et landsnettpunkt, kalt *Ola Narr*, sentralt på fjellknausen og det var derfor naturlig å bruke dette punktet som utgangspunkt for å beregne høyden på passpunktene og profileringspunktene. Koordinatene til dette punktet, og samtlige stam-, lands- og nivellements punkt i Norge, er å finne på Norgeskart.no.

2.3.2 Feltarbeid

Arbeidet i felten omfatter først å bestemme og merke opp godt synlige passpunkter på bakken. Det er avgjørende at passpunktene blir synlige på bildene slik at punktene kan benyttes for å orientere bildene som blir tatt. Passpunktene form og fasong avhenger av flyhøyden og hvordan terrenget ser ut. Dersom punktene er for store kan det bli unøyaktig å definere passpunktene senter, både på bildene og ved innmåling på bakken, samtidig som små passpunkt kan være vanskelig å finne igjen på bildene dersom flyhøyden er stor. Videre må punktene ha god kontrast mot underlaget slik at de kommer tydelig fram i bildet.

Det ble lagt ut totalt 11 signalpunkter, i tillegg til landsnettpunktet, spredt plassert både rundt og oppå fjellknausen. Punktene er runde, hvite og omtrent 25 cm i diameter og er sprayet direkte på bakken med en svart ring rundt for å få god kontrast mot terrenget. Teoretisk er det ikke nødvendig med så mange passpunkter som 11 på et så forholdsvis lite område som det benyttets her, men ettersom det er ønskelig å teste nøyaktigheten vil det være gunstig å ha ekstra mange fellespunkter i bildene. Dersom det viser seg at noen av passpunktene har dårligere kvalitet enn andre kan man fjerne disse punktene uten å være avhengig av å ha dem med videre for at det ikke skal få en negativ konsekvens for senere beregninger. Hensikten med passpunktene er å koordinatfeste samtlige punkter til et definert koordinatsystem, orientere bildene og gjøre det mulig å foreta avstands- og volumberegninger i modellen.

Etter at samtlige passpunkter var markert i terrenget ble de målt inn to ganger med CPOS. Hver måling er et gjennomsnitt av 10 observasjoner i hvert punkt og det er et mellomrom på cirka 15 minutter mellom hver innmåling. Hensikten med dette er å bestemme passpunktene geografiske plassering i grunnriss.

Alle passpunktene, og landsnettpunktet, ble målt inn med totalstasjon for å finne den relative høyden mellom punktene. Totalstasjonen ble satt opp på to forskjellige steder og de fleste passpunktene, i tillegg til landsnettpunktet, ble målt inn fra begge stasjonsetableringene. I tillegg til dette ble det også brukt to andre nivellements punkter, utenom lands- og passpunktene, som ble målt inn fra begge stasjonsetableringene for å få et målenett med flest mulig overbestemmelser.



Figur 2.7: Kart over pass-, nivellements- og landsnettpunkt.

2.3.3 Profilering

Profileringsarbeidet på bakken kan på mange måter være en usikkerhetsfaktor og det er derfor spesielt viktig at landmåleren er nøye og tar seg god tid til dette arbeidet. Terrengmodellens nøyaktighet avhenger av landmålerens evne til å profilere fjellet på en slik måte at fjellets geometriske form blir riktig gjenspeilet i modellen. Det er viktig å finne balansen mellom tidsbruk i felt og hvor omstendelig målingene skal utføres. Generelt er det ønskelig å benytte færrest mulig punkter og at de punktene man har beskriver fjellets form på en riktig måte. Samtidig må man være klar over at utelatte punktmålinger kan medføre at modellen blir feil. I dette tilfellet er det profilert terrenglinjer i over- og underkant av der fjellet har større naturlige knekklinjer og høydeforskjeller. Hensikten med dette er at trianguleringslinjene, som etableres senere i programvaren, ikke skal krysse disse terrenglinjene og gjenskape fjellets geometri feil. Dette er en metode som er mye brukt og som bidrar til at fjellets topografi gjenskapes best mulig etter trianguleringen. For øvrig er det innmålt enkeltstående punkter for å gjenskape fjellets geometri. Totalt er det målt inn cirka 250 punkter på det omtrent 250 kvadratmeter store fjellområdet.

Det er vanskelig å gi noen mer konkret beskrivelse av profileringsarbeidet fordi hver enkelt landmåler vil utføre dette forskjellig, og selv om samme person profilerer det samme fjellet flere ganger vil man mest sannsynlig få resultater som avviker noe fra hverandre.

2.3.4 Flygning

Forberedelsene før flygningen, og selve gjennomføringen av den, kan grovt sett gjøres på to forskjellige måter. Enten kan flyplanen defineres og tilrettelegges i en egnet programvare på forhånd, slik at RPAS følger denne ved hjelp av komponentene i autopiloten under flygningen. Eller så kan operatøren fly dronen manuelt, uten at det defineres noen bestemt flyplan på forhånd.

Dersom området som skal kartlegges er stort, kanskje 500 kvadratmeter eller mer, vil en forhåndsdefinert flyplan være å foretrekke fordi det vil bli vanskelig å fly parallelle flystriper over et så stort område på frihånd. I dette tilfellet, og i andre tilfeller der arealet på området er forholdsvis lite, vil det være like enkelt å fly dronen manuelt.

Det ble derfor tatt en vurdering på stedet knyttet til flysikkerheten og måten flyplanen skulle gjennomføres på for at det hele skulle bli best mulig.

I det aktuelle området var det ingen bygninger, høye trær, kraftlinjer eller andre høye objekter som kunne komme i konflikt med RPAS under flygning. I testområdet var det heller ingen daler, kløfter eller andre spesielle terrengformasjoner som ville gi store blindsoner på flybildene. Det som var nødvendig å ta spesielt hensyn til var personer som oppholdt seg i nærheten og hva vi skulle gjøre dersom noe uforutsett skulle skje. I den grad det er mulig å forutse uforutsette ting ble egnet plass for nødlanding avklart på forhånd.

En faktor som vil påvirke utsatte områder på fjellknausen er solen. Flygningen ble foretatt mellom klokken 12 og 13 på dagen og på tross av dette vil noen sprekker i fjellet havne i skyggepartier. Passpunktene som ble lagt ut ble også selvsagt tatt med i flyplanvurderingen og så lenge kameraet fra RPAS tar vertikale bilder mot bakken, og operatøren flyr over området som planlagt, vil et flertall av punktene bli synlige på et flertall av bildene.

Kameraet er ikke programmert til å ta bilder ved spesielle tidspunkt, men det tar bilder kontinuerlig cirka hvert andre sekund. Kameraet settes i gang når RPAS står på bakken slik at det tar bilder helt til operatøren slår det av etter landingen. Denne metoden fungerer bra og det ble tatt til sammen 130 bilder på den omtrent fire minutter lange flygningen over området. Det er ikke på langt nær nødvendig med så mange bilder, men da har man i ettertid mulighet til å plukke ut de dårligste bildene uten at man er avhengig av å ha dem med.

Selve flygningen startet systematisk fra den ene siden av fjellknausen, cirka 35 meter over bakken, og fortsatte frem og tilbake i fire flystriper i samme flyhøyde. Grunnen til at en flyhøyde på 35 meter ble valgt var fordi fjellknausen var forholdsvis liten, slik at en høyere flyhøyde ville resultert i at mer eller mindre hele området ville blitt avbildet på *ett* flybilde. Det er som tidligere nevnt ønskelig å finne fellespunkter på bakken i *flere* bilder, i tillegg til at

man ønsker å få frem mest mulig detaljer på bildene, og derfor ville en større flyhøyde vært lite gunstig. Etersom dette også er et testprosjekt for å bestemme RPAS' nøyaktighet og fordi det ikke var noen objekter som ville komme i konflikt med luftfartøyet under flygningen, var en flyhøyde på cirka 35 meter over terrenget mest gunstig.

Fjellområdet er som tidligere nevnt omtrent 250 kvadratmeter stort; cirka 20 meter langt og 15 meter bredt. Dermed blir det omtrent $\left(\frac{20 \text{ meter}}{4 \text{ flystriper}}\right)$ fem meter mellom hver flystripe og med totalt 130 flybilder blir dette $\left(\frac{130 \text{ bilder}}{4 \text{ flystriper}}\right)$ cirka 33 flybilder i hver stripe. Når hver flystripe er cirka 15 meter lang vil copteret bevege seg $\left(\frac{33 \text{ flybilder/flystripe}}{15 \text{ meter}}\right)$ cirka 2,2 meter mellom hver bildeeksponering. Hvis man går ut i fra at kameraet tar bilder hvert andre sekund kan man anta at copteret har en flyhastighet på cirka $\left(\frac{2,2 \text{ m}}{2 \text{ s}} \cdot 3,6\right)$ fire kilometer i timen. Dette resulterer i en bildeoverlapp som er langt over det som er teoretisk nødvendig og man vil dermed ha mulighet til å fjerne dårlige og utydelige bilder i etterkant, uten at dette nødvendigvis vil påvirke resultatet i negativ retning. Det er verdt å kommentere at disse beregningene er *omtrentlige* og de er bare ment som et overslag ved optimale forhold, fordi det ikke er tatt hensyn til ytre faktorer som blant annet vær og vind.

Selv om det ikke her er definert en flyplan på forhånd så er dette likevel en meget relevant situasjon knyttet til flygning på anlegg. Også der kan det være aktuelt å fly over et mindre fjellområde der det ikke vil være hensiktsmessig med en forhåndsdefinert flyplan. Derfor mener vi at denne metoden er like god som noen annen så lenge området er lite og RPAS-operatøren har manuell flygeerfaring fra tidligere.

2.4 Programvare

Det finnes en rekke ulike programvarer å benytte både for å planlegge flyplanen, behandle flybildene og triangulere og sammenlikne terrengmodellene i ettertid. Også her er det nødvendig å foreta en begrensning fordi det verken vil være nok tid eller ressurser til å teste flere ulike programløsninger. De programmene som er benyttet i denne oppgaven er valgt ut i fra tidligere erfaring og ikke minst ut i fra anbefalinger fra fagpersoner innenfor fagfeltet. I de følgende underkapitlene vil hvert program som enten er benyttet i denne oppgaven eller som vil være sentrale i gjennomføringen av en tilsvarende oppgave bli presentert.

2.4.1 Mission Planner

Mission Planner er et program utviklet av blant annet Michael Osborne og er et av mange kartleggingsprogrammer som kan benyttes for å planlegge hvordan flygningen skal gjennomføres. Programmet kan lastes ned gratis på datamaskinen og vil være et godt hjelpemiddel under flyplanleggingen. Overføring av data mellom programvaren og autopiloten i RPAS skjer vanligvis ved hjelp av en USB-kabel.



Figur 2.8: Skjermdump fra Mission Planner.

For og kunne lage en flyplan i Mission Planner angir man først området man ønsker å kartlegge ved å tegne et avgrensede polygon rundt området. Videre angir man hva slags kamera man benytter, hvor stor overlapp man ønsker på bildene i lengde- og sideretning og

hvor høyt over terrenget man ønsker å fly. På bakgrunn av dette beregner programmet selv en flyplan som viser flystripene og hvor hvert enkelt bilde skal tas for å avbilde området tilstrekkelig. Brukeren kan selv gå inn å justere retningsvinkelen på flystripene og endre take-off- og landingsområdet dersom det er behov for dette.

Underveis i planleggingsprosessen kan man hele tiden se blant annet hvor lang flyruten vil bli, hvor lang tid det vil ta, hvor mange bilder som skal tas og hvor god oppløsningen bakken vil få på bildene. Dette gjør det mulig for operatøren å foreta små endringer underveis i planleggingsprosessen som kan bidra til å optimalisere flyplanen best mulig, slik at man kan redusere tid og ressurser samtidig som kvaliteten ivaretas. Denne optimaliseringen er viktig; spesielt i forhold til hvor lang tid flyturen vil ta. Blir flyturen for lang i forhold til RPAS' batteritid er det nødvendig å dele opp flygningen i mindre deler med kontrollerte landinger underveis, før enheten går tom for strøm.

Når brukeren er fornøyd med optimaliseringsprosessen i programvaren kan flyplanen overføres til dronens autopilot. Ved hjelp av GPS og IMU foretar dronen flygningen på egenhånd og lander på det stedet som er definert i flyplanen. Brukeren skal uansett ha mulighet til å ta over kontrollen på luftfartøyet manuelt til enhver tid, dersom noe uforutsett skulle skje.

Som nevnt i foregående delkapittel er ikke dette programmet benyttet for å planlegge flygningen i denne oppgaven.



Figur 2.9: Skjermdump som viser eksempel på flyplanlegging.

2.4.2 DroidPlanner

DroidPlanner er en applikasjon for mobiltelefoner som er utviklet av Arthur Benemann, og som fungerer på tilsvarende måte som Mission Planner. Fordelen med DroidPlanner er at det også er mulig å følge med på dronens flyhøyde og hvor mye strøm det er igjen på batteriet samtidig som flygningen pågår. Spesielt batteritiden er det en fordel å ha kontroll på slik at man manuelt kan ta over flygningen å lande dronen kontrollert før batteriet er tomt. Samtidig kan det være greit å ha med seg en trådløs enhet i felten som kan brukes til å planlegge en ny flyrute dersom det skulle bli nødvendig å foreta endringer eller justeringer. I tillegg er det mulig å følge med på hvor dronen befinner seg underveis, for å se hvor identisk den flyr i forhold til den planlagte flyplanen.

Denne applikasjonen ble benyttet under flygningen for å ha kontroll på batteriforbruket og flyhøyden over terrenget.



Figur 2.10: Skjermdump fra DroidPlanner.

2.4.3 Agisoft PhotoScan Professional Edition

Agisoft PhotoScan Professional (APP) er utviklet av Autodesk Inc og er et program som blant annet kan brukes for å orientere og sette sammen flybilder, samt generere georefererte punktskyer, terrengmodeller og ortofoto. Programmet er enkelt å benytte og prosessen med å orientere bildene, finne fellespunkter og generere punktskyer skjer automatisk. Passpunktene finner programmet selv igjen i de bildene de er synlige, etter at brukeren har markert dem i ett

bilde. Likevel er det nødvendig å finjustere passpunktets plassering for å oppnå best mulig nøyaktighet.

Programmet er ressurskrevende og det er nødvendig med en rask datamaskin med god ytelse for at databehandlingen skal foregå optimalt. Dette finner man informasjon om på programmets [hjemmesider](#). (agisoft.ru → wiki → Tips and Tricks → 11 Recommended Hardware).^[5]

Agisoft har blitt benyttet gjennom hele bildebehandlingsprosessen; fra importering og orientering av flyfotografiene til eksporteringen av terrengmodellen i form av en punktsky.

2.4.4 Gemini Terreng & Entreprenør 7.3

Gemini Terreng & Entreprenør er utviklet av Powel AS og benyttes av både planleggere, konsulenter og entreprenører til blant annet prosjektering og kontrollering på bygg- og anleggsplasser.

I denne oppgaven er Gemini benyttet til å triangulere punktene fra profileringsarbeidet og punktskyen generert ut i fra flybildene. Videre er programmet benyttet for å sammenlikne de to terrengmodellene med hverandre og beregne hvor stor forskjell det eventuelt er mellom dem. I stor grad er det rapportene som utarbeides i Gemini som vil være dokumentasjonen og forankringen på de resultatene som etter hvert vil fremkomme i denne prosjektrapporten.

Grunnen til at det er benyttet versjon 7.3 og ikke den nyeste versjonen 8.0 er at min personlige erfaring baserer seg på versjon 7.3 og at de brukermanualene jeg har tilgjengelig er for denne versjonen. Ut i fra de stort sett programtekniske tingene som er nytt i versjon 8.0 har jeg konkludert med at hvilken programvareversjon som benyttes ikke vil ha betydning for oppgavens resultat.

2.5 Databehandling og etterprosessering

Etter nødvendig datainnsamling i felt er første skritt i etterprosesseringen av dataene å tilpasse passpunktene og profileringspunktene med hverandre. Som tidligere nevnt ligger det et landsnettpunkt midt på fjellet som er profilert og derfor beregnes høydene på passpunktene og profileringspunktene ut i fra dette punktet.

Det foretas derfor en utjevning mellom samtlige passpunkter og landsnettpunktet.

Gjennomsnittet av de to CPOS-målingene er med på å bestemme passpunktenes grunnriss-koordinater, mens retning- og avstandsmålingene fra totalstasjonen gir høydekoordinater til punktene ut i fra målinger til og fra det koordinatbestemte landsnettpunktet.

Profileringspunktene får følgelig også koordinater ut i fra dette.

Utjevningsrapport og koordinater på samtlige pass- og profileringspunkter ligger vedlagt i vedlegg 1. Utjevningen ble foretatt i det danske utjevningsprogrammet ScanOBS, som er utviklet av det danske CAD-systemet GeoCAD, og som det fremgår av utjevningsrapporten ble passpunktene bestemt med god nøyaktighet.

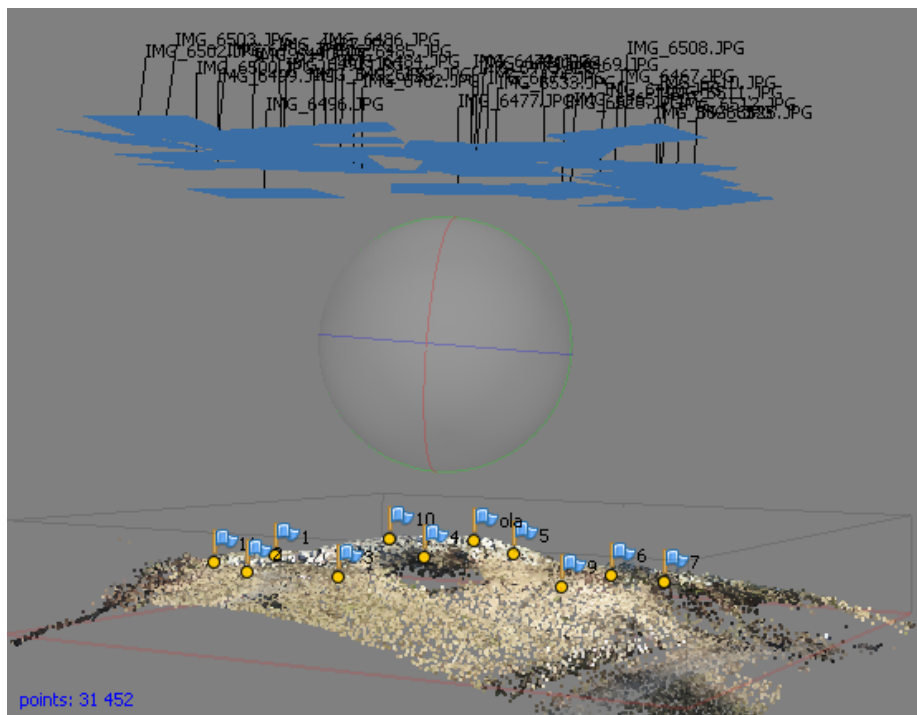
2.5.1 Bildebehandling

For å etablere en terrengmodell fra RPAS-bildene må bildene orienteres i forhold til hverandre og samme punkt på bakken må være synlig i minst to bilder. På denne måten får man en stereoskopisk modell som gjør at man kan se terrengpunkter i 3D, slik at man kan etablere en terrengmodell. Teorien og prinsippene bak fotogrammetri er nærmere forklart i kapittel 2.2.

Ettersom kameraet på RPAS stilles inn til å ta bilder kontinuerlig må bilder som er tatt i forbindelse med letting og landing sorteres bort, slik de bildene man sitter igjen med er tatt i omtrent samme flyhøyde. Deretter blir utydelige bilder sortert bort. Bildene man nå sitter igjen med importeres i Agisoft PhotoScan Professional (APP) slik at programmet automatisk kan lete etter fellespunkter og orientere bildene i forhold til hverandre. Bildeorienteringen tar utgangspunkt i hvert enkelt piksel i hvert enkelt bilde. Hvert piksel har sine egne fargeverdier (RGB) som baserer seg på de fargene som pikselet består av. Disse RGB-fargene uttrykkes ved hjelp av tre forskjellige *tallverdier*. Når programmet skal orientere bildene i forhold til hverandre leter det etter piksler i de forskjellige bildene som har tilsvarende tallverdier og som dermed avbilder det samme geografiske området i terrenget. Piksler fra forskjellige bilder som har felles fargeverdier blir definert som fellespunkter med tilhørende koordinater. Alle disse fellespunktene danner til sammen en koordinatbestemt punktsky av det avbildede

området, men inntil videre har ikke punktskyen georefererte koordinater.

Når denne prosessen er ferdig kan man igjen se over bildenes plassering og eventuelt slette de bildene som ligger over hverandre eller som av andre grunner ikke skal eller trenger å være med i videre beregninger. Dette kan være bilder som er utydelige, utenfor området eller som er tatt på skrå i forhold til bakken. Når man får gjort dette sitter man igjen med de beste orienterte bildene og en punktsky bestående av fellespunkter som APP har funnet i bildene.



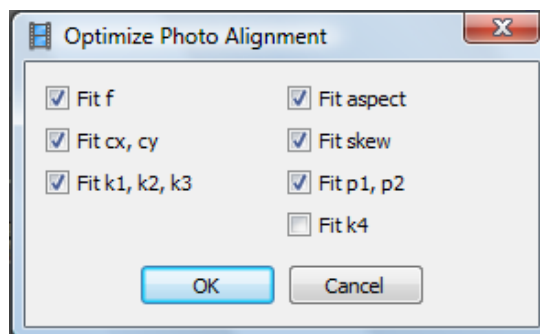
Figur 2.11: Skjermdump som viser punktskyen og de orienterte bildene i APP.

Av de 130 bildene som ble tatt under flygningen sitter vi nå igjen med bare 33 bilder. De resterende bildene var enten utydelige, tatt på skrå i forhold til bakken eller de ble tatt under letting og landing. De aller fleste bildene som ble tatt bort lå imidlertid mer eller mindre over hverandre og det er ikke hensiktsmessig å ha med bilder som har mer enn 95 % overlapp, fordi det ikke vil være sannsynlig at slike bilder vil bli benyttet i en praktisk sammenheng. På tross av alle bildene som er fjernet er det fortsatt god bildedekning i området og som det fremkommer av den vedlagte rapporten fra APP, i vedlegg 2, er mesteparten av fjellknausen dekket av mer enn ni flybilder. Teoretisk hadde det kanskje ikke vært nødvendig med mer enn 20 – 25 bilder, men ettersom man etterstreber overbestemmelser og kontrollerbare datasett er det avgjørende for påliteligheten at man har flere bilder enn det som er teoretisk nødvendig. Spesielt i en oppgave der man ønsker å teste nettopp nøyaktighet er resultatets pålitelighet elementært.

Neste trinn i prosessen er å markere passpunktene manuelt i bildene. Dette gjøres ved at man manuelt peker på passpunktet i et bilde og angir punktets navn. APP finner automatisk igjen det markerte punktet i de andre bildene som punktet er synlig i, på tilsvarende måte som fellespunktene fastsettes, men det er likevel nødvendig at brukeren ser over samtlige bilder og finjusterer punktangivelsen for at nøyaktighet skal bli optimal. Dette må gjøres med samtlige passpunkter før punktenes koordinater kan importeres fra for eksempel KOF-format (*.kof). Passpunktens koordinater er, som tidligere nevnt, beregnet ved utjevning og har koordinater i EUREF89, UTM-sone 32. Først nå kan samtlige punkter i punktskyen georefereres til et offisielt datum ved hjelp av passpunktens kjente koordinater, men riktig datum og koordinatsystem må velges i programvaren.

Etter at passpunktene er markert og koordinatsystemet er angitt bør bildeorienteringen optimaliseres ytterligere. Ettersom det her benyttes en helt vanlig 12 megapiksler Canon PowerShot S100 (5,2 mm) digitalkamera kan dette, som tidligere nevnt, være et argument for å optimalisere bildeposisjonene ytterligere sammenliknet med om det hadde blitt benyttet et profesjonelt flykamera.

Som figur 2.12 viser inngår følgende parametere i optimaliseringsprosessen i APP og uten å gå ytterligere i detalj på dette her, annet enn det som allerede er omtalt i kapittel 2.2.3, er dette korreksjoner og matematiske modeller som korrigerer for unøyaktigheter i selve kameraet og kameralinsen som medfører fortegnig i fotografiet.



Figur 2.12: Optimaliseringsprosess i APP.

2.5.2 Rydde, eksportere og triangulere punktsky

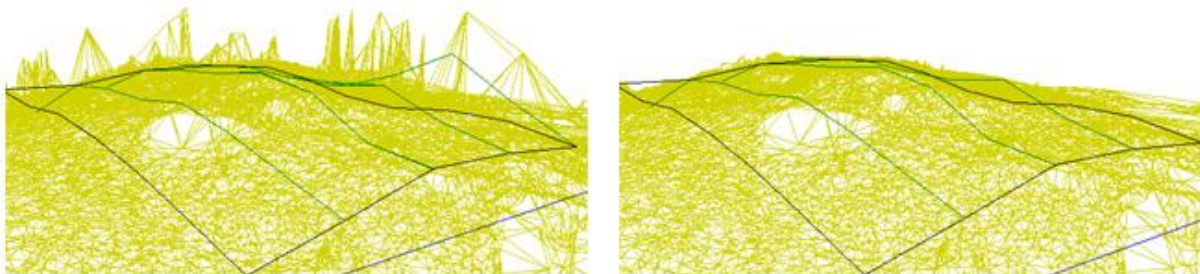
Før optimaliseringsprosessen gjennomføres i APP består modellen av en del enkeltpunkter og mindre punktgrupper som man tydelig kan se at er feil. Disse punktene kalles *støy* og det var omtrent 150 – 200 slike punkter i modellen. Selv om dette ikke er spesielt mange er man likevel avhengig av å fjerne dem for at modellen ikke skal bli feil.

Etter at optimaliseringsprosessen er utført består modellen av noe mindre støy, men det er

fortsatt nødvendig å fjerne disse enkeltpunktene. Ut i fra det jeg har funnet ut i APP finnes det ingen funksjon som fjerner støy automatisk, så man er nødt til å slette disse punktene manuelt ut i fra det man observerer visuelt i programvaren. Dette er for så vidt ikke noe problem ettersom området her er så lite, men ved større prosjekter bør det vurderes om dette arbeidet skal utføres i en annen egnet programvare (TerraSolid, 3DReshaper el.) for å spare tid og effektivisere dataflyten. Arbeidet med å rydde i punktskyen har ikke tatt all verden med tid; anslagsvis er 30 minutter benyttet på dette arbeidet.

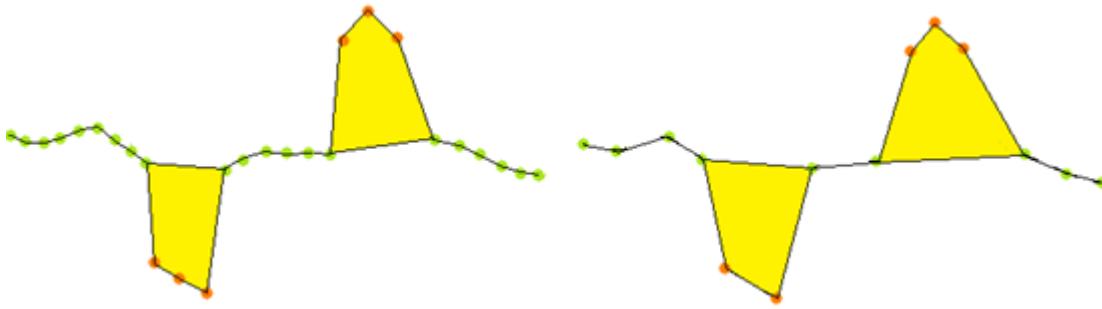
Når punktskyen er ferdig ryddet eksporteres den fra APP på punktskyformatet LAS (*.las) slik at den kan importeres i Gemini og trianguleres der.

Som figur 2.13 illustrerer blir den triangulerte terrengmodellen ganske forskjellig om man fjerner støy eller ikke.



Figur 2.13: Triangulert punktsky før og etter fjerning av støy.

Punktskyen består av langt flere punkter enn det som ble profilert manuelt med totalstasjon. For å gjenskape fjellets geometri er det ikke nødvendig med så stor punkttetthet, men meg bekjent finnes det ingen automatisk prosess i APP som kun fjerner overflødige punkter. Punkter som kan være feil, basert på dårlig bildematchingen eller i områder med dårlig bildedekning, kan fjernes ved hjelp av mer eller mindre automatiske prosesser i APP ved at programmet velger ut punkter basert på valg som brukeren foretar. Utenom dette vil den eneste metoden å fjerne overflødige punkter på være å rydde i punktskyen i Gemini. Her kan man angi minimum punktavstand mellom punktene, og ved å øke denne avstanden vil punkter som ligger nærmere hverandre bli fjernet. Likevel er ikke dette en optimal metode, fordi eventuelle punkter som er støy, og som fortsatt befinner seg i modellen, vil kunne bidra til at terrengmodellen blir enda mer feil. Dette skyldes at ”støypunktene” har større punktavstand fra de andre punktene som ligger tett og er riktige, og derfor vil man ikke oppnå å fjerne de punktene som er feil selv om man reduserer modellens datamengde.



Figur 2.14: Risiko ved å fjerne enkeltpunkter ved å angi minimum punktavstand.

Figur 2.14 er et eksempel på hva som i verste fall kan skje dersom man reduserer punkttettheten ved å angi minimum punktavstand. Datamengden vil bli redusert, men punktene som er feil vil fortsatt være inkludert fordi disse ligger lenger unna de andre punktene som er riktige. Dermed vil man ende opp med å slette riktige punkter slik at volumet som feilen utgjør, i verste fall vil øke fremfor å minke.

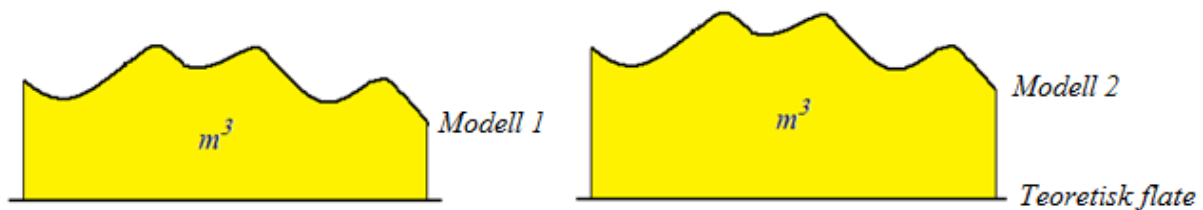
På bakgrunn av dette er derfor er samtlige punkter inkludert i trianguleringen, fordi man da enklere vil kunne se hvilke områder som eventuelt er feil i modellen. I dette tilfellet har ikke det vært noe problem å beholde alle punktene, fordi området er forholdsvis lite. Området på fjellknausen består av cirka 10 000 punkter.

Punktene som ble profilert manuelt med totalstasjon ble eksportert fra måleboka på KOF-format og importeres derfor direkte inn i Gemini på samme format. Punktene trianguleres på vanlig måte og ved hjelp av terrenglinjene som ble benyttet når punktene ble innmålt i felten, vil ikke trianguleringslinjene og terrenglinjene krysse hverandre i programvaren.

Profileringspunktene har allerede koordinater i riktig koordinatsystem (EUREF89, UTM-sone 32) slik at det neste steget i prosessen vil være å sammenlikne de to terrengmodellene med hverandre.

2.6 Sammenlikningsmetode

Det er ønskelig å sammenlikne de to modellene med hverandre på en entydig og oversiktlig måte. Dette gjøres ved at det defineres en *teoretisk flate* som ligger lavere enn *terrengmodellen* generert fra flybildene og den profilerte *referansemodellen* fra totalstasjonsmålingene (profileringspunktene). Ved å beregne hvor mange kubikk (m^3) det er mellom den teoretiske flaten og opp til hver av de to modellene kan man enkelt finne ut hvor mange kubikk forskjell (Δm^3) det eventuelt vil være mellom dem. Antall kubikk som beregnes mellom den teoretiske flaten og opp til referansemodellen vil bli benyttet som referanse, ettersom profileringspunktene som denne modellen baseres på er utført med totalstasjon.



Figur 2.15: Helhetlig sammenlikningsmetode.

Ut over dette er det også ønskelig å sammenlikne spesifikke deler av terrengmodellen for å se om det er spesielle områder på fjellknausen der de to modellene avviker mer eller mindre i forhold til hverandre. Dette skal gjøres ved å definere *tverrprofiler* i Gemini som illustrerer overflaten på begge modellene, slik at man enkelt kan se hvor i testområdet det eventuelt er avvik. Denne metoden skal bidra til å finne konkrete områder som har avvik og til å finne ut *hvorfor* det er forskjell akkurat der.

I tillegg skal det, som en enda mer detaljert metode, utføres en *geometrisk kontroll* mellom de to modellene. Denne beregningen sammenlikner enkeltstående profileringspunkter mot den sammenhengende triangulerte terrengmodellen, generert fra flybildene, slik at man kan se eksakt hvor i modellen det er avvik, og eventuelt hvor avvikene er størst. Det er ønskelig å sammenlikne punkter fra flate- og kupertede områder hver for seg, for å se om det er større forskjell i ulike områdetyper. De geometriske kontrollene beregner også standardavvik og gjennomsnittlige avvik, slik at vil være mulig å anslå *nøyaktigheten* på resultatene ved hjelp av *deskriptiv* statistikk. Ved å bruke en statistisk signifikanstest vil man i tillegg kunne teste *sannsynligheten* for om det faktisk *er* forskjell mellom modellens ulike områdetyper, basert på resultatene fra de geometriske kontrollene. I denne oppgaven vil det bli benyttet en statistisk Fisher-test, såkalt *F-test*.^[6]

Grensen for hva som blir definert som avvik i de geometriske kontrollene er satt til 5,00 cm forskjell i høyderetning. Grunnen til dette er at det ikke finnes noen standarder eller

retningslinjer som angir noen absolutte krav til hvor god nøyaktighet profileringspunktene skal bestemmes med. Det eneste kravet som stilles til innmåling av profilert fjell i pratisk sammenheng er at det skal gjøres på en slik måte at fjellets overflate blir gjenskapt korrekt i forhold til virkeligheten når profileringspunktene blir triangulert i egnet programvare. Dette er forskjellig fra for eksempel oppbygningen av ulike forsterknings- og frostsikringslag i veg, der det er angis maksimale avvik på enkeltpunkter og gjennomsnittlige avvik for større innmålte flater i hvert enkelt oppbygningslag som vegen består av.

Tradisjonelt benyttes det som oftest GPS til profilering og derfor er akkurat 5,00 centimeter valgt, fordi dette er den nøyaktigheten man dårligst kan forvente når man benytter en GPS-mottaker som får korreksjoner fra en oppsatt basestasjon i nærheten. Dette tallet kan selvfølgelig variere avhengig av forholdene i området og på det aktuelle stedet i felten der mottakeren befinner seg, men det benyttes fem centimeter som entydig verdi i denne rapporten.

3 Resultater

Hensikten med å benytte tre ulike sammenlikningsmetoder, som omtalt og beskrevet i delkapittel 2.6, er at de sammen skal bidra til at det endelige resultatet baserer seg på en helhetlig-, spesifikk- og detaljert analyse av datasettet, og at de skal gi en dokumentert begrunnelse på det denne prosjektrapporten er forankret i.

Resultatene baserer seg dessverre kun på én overflygning med RPAS. Ideelt sett burde resultatene vært utledet fra flere repeterbare, uavhengige flygninger for at rapportens resultat skulle vært enda mer pålitelig. Likevel kan rapportens resultat knyttes opp til annen relevant forskning som kan vise til liknende resultater. Dette bidrar til å styrke denne rapportens troverdighet.

I dette kapitlet blir kun oppgavens resultater presentert kort og konkret sammen med en enkel kommentar, uten noen utdypende analyser eller vurderinger, men samtlige resultater kommenteres grundig i kapittel fire.

3.1 Volumberegning – helhetlig sammenlikning

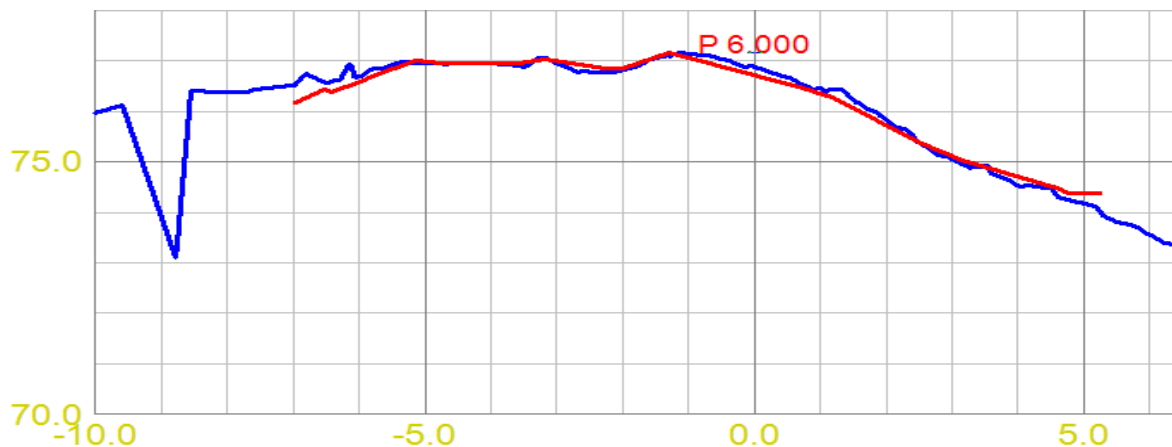
Den teoretiske flaten, som de to modellene skal sammenliknes mot for å beregne volumforskjell, er definert *under* begge de to modellene med en konsekvent høyde over havet lik 73,000 meter. Denne høyden er valgt fordi det laveste profileringspunktet i referansemodellen er 73,013 meter over havet. Arealet og begrensingskonturen på den teoretiske flaten er identisk (i *grunnriss*) med området som er profilert manuelt, **273,5 m²**, mens høydene selvfølgelig er forskjellige slik at det er mulig å beregne volum mellom flatene. Resultatet fra volumberegningene er presentert i tabell 3.1: *Alle tall i kubikk (m³)*.

Tekst	Teoretisk flate
Referansemodell	672, 8
Terrengmodell	686, 0
Avvik (Δm^3)	13, 2
Avvik pr. 100 m ² ($\Delta m^3/100m^2$)	4, 8

Tabell 3.1: Volumforskjell [m³] beregnet etter integralmetoden i Gemini.

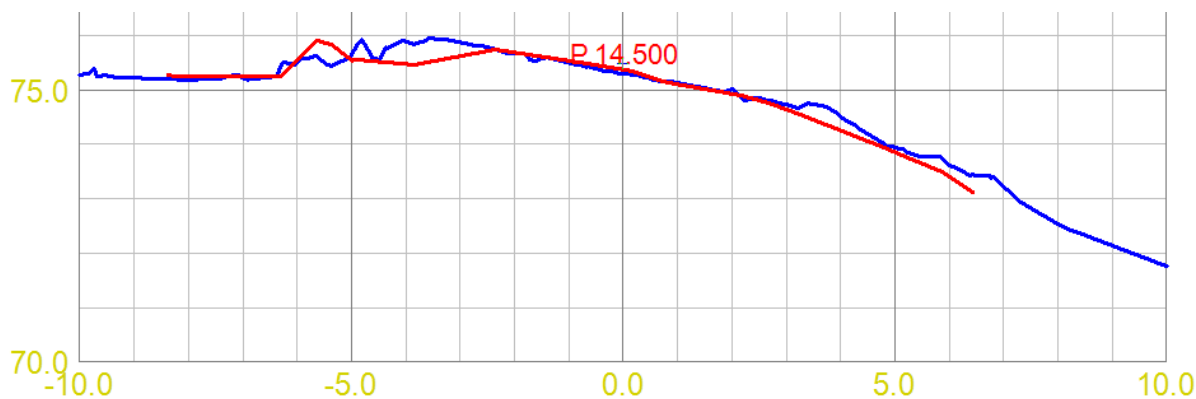
Som det fremkommer av volumberegningene i Gemini ser vi at det er **13,2 m³** forskjell mellom referanse- og terrengmodellen i forhold til den teoretiske flaten, når arealet det beregnes volum for er 273,5 m² stort. For å få et mer sammenliknbart tall er det valgt å regne om til hvor stort avvik dette utgjør pr. 100 m². Dersom avviket er 13,2m³ når arealet er 273,5 m² stort, vil avviket pr. 100 m² være $\left(\frac{13,2 m^3}{2,735}\right)$ **4,8 m³**.

Som figur 3.1 viser er det god overbestemmelse mellom de to modellene, og selv der fjellet har skiftende topografi er modellene sammenfallende.



Figur 3.2: Tverrprofiltegning for profil 6,000.

Figur 3.2 viser at terrenget har noen partier med svært skiftende geometri. En mulig årsak til dette *kan* være støy i punktskyen. Profil 6.000 viser også et eksempel på at terrenget har en mer varierende overflate enn referansemodellen noe steder.



Figur 3.3: Tverrprofiltegning for profil 14,500.

Tverrprofil 14,500 i figur 3.3 viser hvor de to modellene er minst sammenfallende. Slike tilfeller er det spesielt interessant å finne årsaken til når man ønsker å bestemme RPAS' nøyaktighetspotensial.

3.3 Geometrisk kontroll – detaljert og statistisk sammenlikning

For å kontrollere nøyaktigheten til terrengmodellen opp mot profileringspunktene er det benyttet Geminis funksjon for geometrisk kontroll. Her blir hvert enkelt punkt som er målt med totalstasjon sett i forhold til den sammenhengende triangulerte terrengmodellen for å avgjøre hvor store avvik det eventuelt er mellom referansepunktene og modellen. Det er til sammen utført tre geometriske kontroller: én kontroll av punktene i testområdet *kuperte* og *ujevne* partier, én kontroll for de mer flate og *jevne* partiene og én geometrisk kontroll som omfatter samtlige profileringspunkter i *hele* testområdet.

Tallene som blir presentert i tabell 3.2 beregnes når de geometriske kontrollene kjøres i Gemini hver for seg, og alle de tre kontrollene ligger vedlagt i sin helhet i vedlegg seks.

Tekst	Kuperte partier	Jevne partier	Hele området
Antall profileringspunkt	84	103	187
Punkt <i>utenfor</i> krav	46	2	48
Andel godkjente punkt	45 %	98 %	74 %
Laveste avvik	- 0, 246 m	- 0, 114 m	- 0, 246 m
Høyeste avvik	0, 474 m	0, 054 m	0, 474 m
Gjennomsnittlig avvik	- 0, 019 m	0, 005 m	- 0, 006 m
Standardavvik	0, 127 m	0, 022 m	0, 087 m

Tabell 3.2: Resultater fra geometriske kontroller i Gemini.

For å teste sannsynligheten for at det faktisk *er* en reel forskjell mellom fjellets jevne- og kuperte partier er det foretatt en manuell F-test i Microsoft Excel som tar utgangspunkt i resultatene fra de geometriske kontrollene i Gemini. Resultatet fra F-testen presenteres i tabell 3.3 og hele testen ligger vedlagt i vedlegg sju der det fremgår hvordan testen er gjennomført.

Tekst	Antall profileringspunkt	Feilkvadratsum	Beregnet F-verdi	Teoretisk F-verdi (tabellverdi)	
				95 %	99 %
Kuperte partier	84	1, 3775	30, 9386	1, 4152	1, 6370
Jevne partier	103	0, 0525			
Totalt	187	1, 4300			

Tabell 3.3: Resultater fra F-test.

Som vi ser er feilkvadratsummen i de kuperte områdene på fjellet markant større enn i de jevne områdene. Uavhengig av om testen regnes på 95 % eller 99 % -nivå er den beregnede F-verdien, som kalkuleres ut i fra feilkvadratsummene i de to områdetypene og antall profileringspunkter, vesentlig større enn tabellverdiene. Forskjellen mellom fjellknausens jevne- og kuperte partier er dermed *signifikant* med mer enn 99 % sikkerhet.

4 Diskusjon

Hensikten med dette diskusjonskapitlet er å kommentere rapportens resultater å gjøre rede for de valgene som er tatt og de programtekniske forsøkene som er gjort underveis i arbeidsprosessen, for å komme frem til de resultatene som er presentert i kapittel tre. Videre vil denne hovedoppgavens resultater bli sammenliknet med andre relevante rapporter, som omhandler de samme temaene og problemstillingene, for å se om det er noen likheter eller andre sammenhenger mellom resultatene.

4.1 Volumberegning

Som det fremgår av tabell 3.1 er det 13,2 kubikk som utgjør forskjellen mellom referansemodellen og terrengmodellen. For å knytte dette tallet opp til en praktisk sammenheng vil en fullastet lastebil med tilhenger ha en nyttelast på til sammen 20 kubikk løsmasser, så lenge dette ikke overstiger bilens- og tilhengerens tillatte totalvekt. Derfor er ikke dette avviket spesielt mye, så lenge det bare utgjør litt over ett lastebillass, men det er likevel noen momenter som det vil være interessant å kommentere til dette resultatet.

Området som er benyttet som testområde er 273,5 kvadratmeter stort og omtrentlig 22 ganger 12 meter i utstrekning. Sett i forhold til et veganlegg der det kan være ønskelig å kartlegge store områder med fjell som kanskje er både ti eller hundre ganger så store, vil det være av interesse å finne ut om avviket i kubikk er proporsjonalt med arealet som kartlegges. I så fall vil et område på i underkant av 3 000 kvadratmeter få et avvik på omtrent 130 kubikk, avhengig av om det aktuelle området kartlegges ved hjelp av RPAS eller GPS/totalstasjon. Da *kan* denne forskjellen i masseberegning få større konsekvenser for prosjektets fremdriftsplan og økonomi.

I forbindelse med denne oppgaven har jeg vært i kontakt med Hæhre Entreprenør AS som i samarbeid med oppmålingsfirmaet TerraTec AS har gjennomført omfattende testing av flere typer RPAS i ulike områdetyper. Hensikten med deres testing var å få svar på det samme spørsmålet som det denne oppgaven stiller. I rapporten fra Hæhre Entreprenør AS og TerraTec AS^[7] er de ulike dronene testet i flere områdetyper der blant annet to av områdene består av rensket, jevnt terreng med lite vegetasjon, som skal tilsvare et område som er i en ”bearbeidingsprosess”. Uten å vite nøyaktig hvordan dette terrenget så ut, kan det ut i fra tverrprofilene i deres rapport se ut som om dette området er mye flatere og mindre kupert enn det testområdet som er benyttet i denne oppgaven. Tverrprofilene er også nærmere 50 meter brede, så detaljeringsgraden på disse er ikke like stor som i denne oppgaven.

Derfor kan ikke resultatene sammenliknes på *identisk* grunnlag; først og fremst fordi testområdene ikke er identiske, men også fordi denne oppgavens testområde muligens er mer kupert og har mer varierende topografi. Videre har ikke Hæhre og TerraTec benyttet totalstasjon for å generere deres referanseflate, slik det er gjort her, men det er benyttet LIDAR-laserskanner fra propellfly for å generere referanseflaten. Drone- og kameratype er heller ikke det samme, men de er *liknende* på det som er benyttet her. Likevel vil det være svært interessant å sammenlikne resultatene med hverandre fordi de er *uavhengige* av hverandre, og fordi de faktisk er gjort på forskjellige måter. Dersom resultatene er noenlunde sammenfallende vil dette kunne bidra til å styrke begge rapportenes troverdighet.

En av droneprodusentene som Hæhre og TerraTec tester er et Camflight octacopter bestående av en gyrovugge for å stabilisere et Olympus PEN kamera. I likhet med denne oppgaven er volumforskjellen mellom terreng- og referansemodell bestemt ved å sammenlikne beregnet volum ned til en teoretisk bestemt flate som ligger *lavere* enn begge modellene.

I område 1 har Camflight et avvik på $2,05 \text{ m}^3/100\text{m}^2$ og i område 2 er avviket minus $1,47\text{m}^3/100\text{m}^2$. I forhold til denne oppgavens resultat på $4,8 \text{ m}^3/100\text{m}^2$ er dette noe forskjellig og det kan være mange årsaker til dette. Først og fremst er det benyttet et RPAS som har dobbelt så mange propeller som det luftfartøyet som er benyttet i denne oppgaven. Dette bidrar til at luftfartøyet er mer stabilt i luften, og med en gyrovugge i tillegg, for å stabilisere kameraet ytterligere, gjør dette at man får veldig gode forutsetninger for å ta gode flybilder. Til sammen vil dette være en av flere faktorer som kan være positivt for å fange opp alle detaljene i terrenget og deretter lage en mer detaljert og riktig terrengmodell.

Kameraet som er benyttet i denne oppgaven er et Canon PowerShot S100 (5,2 mm) digitalkamera med 12 megapiksler. Det har en oppløsning på 4000×3000 , med en pikselstørrelse på $1,86161 \times 1,86161 \mu\text{m}$. De aller fleste bildene som ble benyttet for å generere terrengmodellen i denne oppgaven var tydelige, men noen bilder var litt mer utydelige uten at det var noe problem å se mindre detaljer. Likevel kan bildekvaliteten med stor sannsynlighet forbedres ved å benytte gyrovugge for stabilisering. Det vil være viktig at bildekvaliteten er god i områder der topografien er varierende og der det er mange mindre detaljer på bakken som det er ønskelig at gjenskapes korrekt i modellen. Kameraet som Hæhre og TerraTec benyttet kjenner jeg ikke kvaliteten på, men selvfølgelig vil valg av kamera ha avgjørende betydning for bildekvaliteten.

Selv om det er opptil $6,3$ kubikk forskjell pr. 100 m^2 mellom område 2 og denne oppgavens resultat, trenger ikke dette være ensbetydende med at noen av resultatene er *feil*.

Hæhre og TerraTec har benyttet et annet copter og kameraoppheng som man på generelt grunnlag kan si at har gode forutsetninger for å levere et godt resultat. Dersom området er forholdsvis flatt i tillegg, vil også dette bidra positivt for resultatet.

Denne oppgaven benytter et forholdsvis vanlig kamera og et annet RPAS, som likevel tar gode bilder med skarpe kontraster, men uten gyrovugge. Området er også mest sannsynlig mer varierende og topografien gjør det utfordrende å fange opp alle detaljene i terrenget. Som det fremgår ut i fra tverrprofiltegningene i kapittel 3.2 kan man se at de to terrenglinjene er nærmest identiske i jevnt terreng, mens de blir mer forskjellig når terrenget blir mer kupert og krevende.

Uten å kjenne til alle elementene i den andre rapporten kan det se ut som at RPAS har en god evne til å gjenskape terrenget på en riktig måte dersom bakken er forholdsvis jevn, men at det i mer kupert områder blir mer utfordrende for RPAS å fange opp alle detaljene.

For å prøve å finne svar på hvorfor avviket mellom terreng- og referansemодellen blir større i kupert områder har vi prøvd å benytte en mer spesifikk sammenlikningsmetode i form av tverrprofiler.

4.2 Tverrprofiler

Som det fremgår av tverrprofiltegningene som presenteres i kapittel 3.2 ser man at referanse- og terrengmodellen er mer eller mindre identiske i områder der fjellet har en forholdsvis jevn overflate. Dette kan tyde på at RPAS har en god evne til å gjenskape terrengformasjonen på en riktig måte så lenge flybildene og passpunktene har god kvalitet.

I kapittel 2.3.2 omtales det hvordan passpunktene markeres i terrenget og hvordan de koordinatbestemmes i et nasjonalt datum. Som det fremgår i nevnte kapittel ble det lagt ut totalt 11 passpunkter for å koordinatfeste hele terrengmodellen, men bare ni av disse ble benyttet. Grunnen til dette er at under bildebehandlingsprosessen i Agisoft PhotoScan Professional (APP) angir man samtlige passpunkter visuelt i bildene, før man importerer passpunktens beregnede koordinater i programvaren. Deretter blir det beregnet en avviksverdi, angitt i meter i terrenget og i piksler i bildet, som sier noe om forskjellen mellom angitt og tidligere koordinatbestemt passpunkt. I denne prosessen ble to av passpunktene, nummer fire og sju, bestemt med mer enn ti ganger dårligere nøyaktighet enn de andre punktene. Ut i fra de to passpunktens beliggenhet i modellen kan det tyde på at denne feilen er reel, fordi det ene punktet ligger delvis under et lite tre slik at noen av kvistene kan skape skygge og dårligere bildedekning over punktet. Punkt sju ligger derimot litt utenfor selve testområdet og derfor havnet punktet stort sett helt ut i kanten på samtlige flybilder. Dette er heller ikke en ønsket situasjon, fordi *fortegningen* i fotografiet øker desto nærmere bildekanten man kommer (fortegning, se kapittel 2.2.3). Derfor ble også dette passpunktet ekskludert fra videre beregninger i APP.

De resterende passpunktene har til sammen en unøyaktighet på 0,004 meter, i følge rapporten fra APP som ligger vedlagt i vedlegg to.

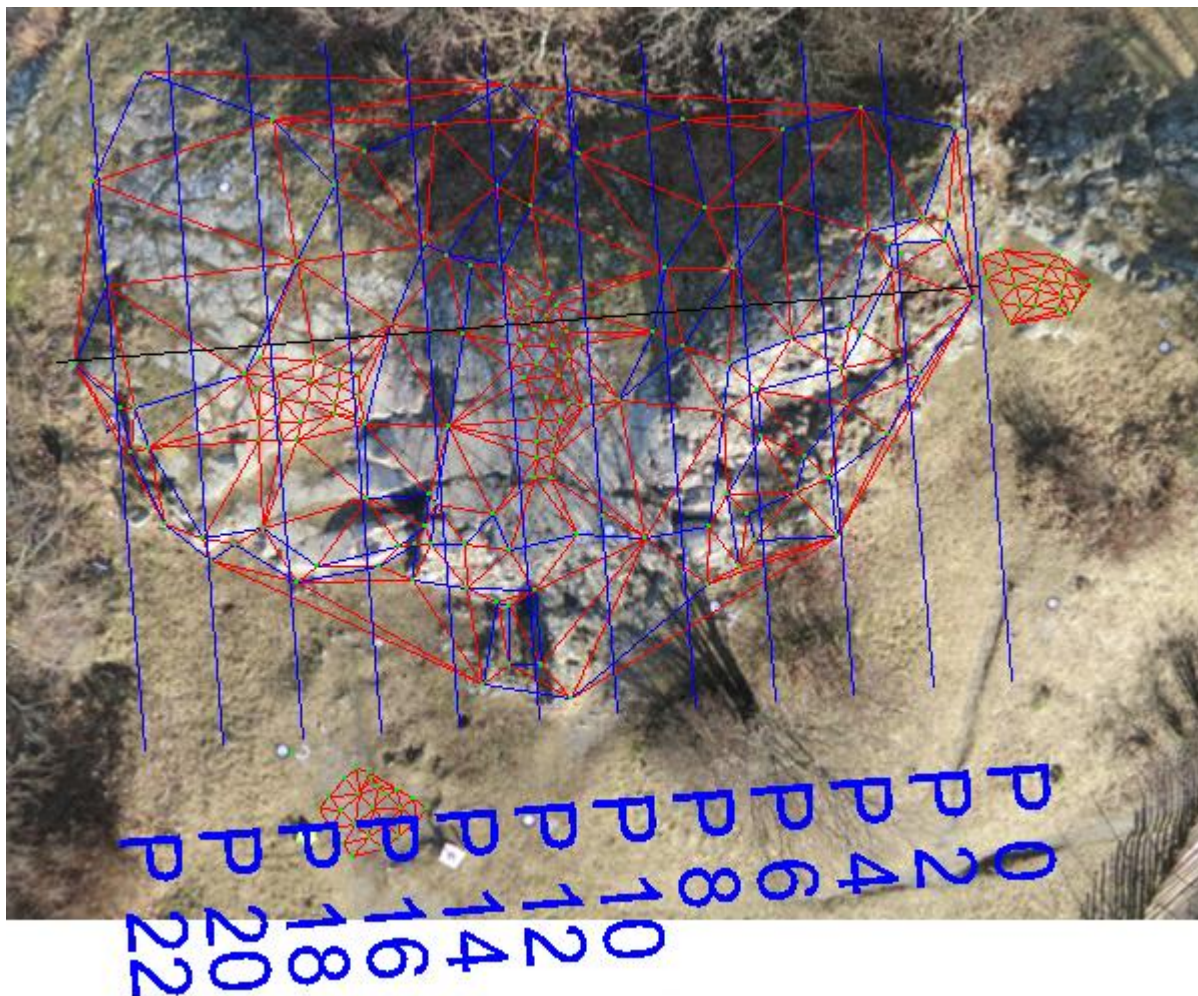
Videre fremgår det fra den vedlagte rapporten at RPA holdt en gjennomsnittlig flyhøyde på cirka 35 meter over terrenget og at det holdt en fart på cirka 4 – 5 km/t. Selve flygningen ble gjennomført mellom klokken 12 og 13 på dagen i klart og vindstille vær. Til sammen bidrar dette til at flybildene blir tydelige og at de fanger opp mange detaljer i terrenget.

Med bakgrunn i den nøyaktighet som passpunktene er bestemt med, og med tanke på at det er benyttet flere passpunkter enn det som er teoretisk nødvendig, slik at punktene overbestemmer hverandre, og at det er holdt en forholdsvis lav flyhøyde, er det rimelig å fastslå at terrengmodellen er bestemt med god geografisk nøyaktighet. Derfor er det også troverdig å anta at terrengmodellen er riktig og pålitelig på fjellknausens jevne partier.

4.2.1 Profil 14.500

I forhold til de partiene på fjellknausen der terreng- og referansemodellen ikke stemmer like godt overens, er det spesielt én faktor det er ønskelig å kommentere.

Det er grunn til å tro at problemene oppstår når fjelloverflaten varierer, og ettersom flygningen ble gjennomført i sollys kan det oppstå skyggepartier i disse områdene. Det er derfor interessant å se på profil 14.500 som er presentert i figur 3.3. Her er det et tydelig avvik på profilets venstre side og gjennom figur 4.1 får man en forståelse av hvor dette er på fjellknausen.



Figur 4.1: Triangulerte profileringspunkter sammen med profilnumrene langs *profillinja* som tverrprofilene refererer til.

Som figur 4.1 viser ligger profilnummer 14.500 over et parti på fjellknausen som har en del skygge. Markeringsstrekene som angir profilnumrene på den definerte profillinja er 10 meter lange på profillinjas venstre side. Ut i fra dette, og bildemålestokken, er det litt over fire meter fra profillinja til midten på skyggepartiet. Ut i fra tverrprofilutsnittet i profil 14.500 er den største forskjellen mellom modellene fire til seks meter til *venstre* for profillinja. Med andre

ord er avviket mellom terreng- og referansemodellen størst der det er skygge på bildet. I likhet med tradisjonell flyfotografering fra propellfly er det avgjørende at terrenget er synlig på flybildene. Til tross for at det i dette tilfellet er fløyet midt på dagen, når solhøyden er størst, vil det ikke være til å unngå at det vil bli skygger i sprekker og groper på fjellet. Spesielt med tanke på at flygningen er gjennomført i midten av mars, når solhøyden er lavere enn om sommeren. Det eneste man kan gjøre for å unngå dette er å fly når det ikke er sol i det hele tatt, men utfordringen da vil være å få tydelige nok bilder med god kontrast. En annen løsning, som ikke er veldig utprøvd, og som det kunne vært interessant og testet, er bruk av infrarødt (IR) kamera. Da vil man ikke behøve å ta hensyn til lysforholdene i like stor grad, og det ville kanskje bidratt til å få bedre bildedekning i utfordrende skyggeområder. Uansett er det meget sannsynlig at skygge på flybildene er en av faktorene som bidrar til at de to modellene er mindre sammenfallende i områdene rundt profil 14.500.

4.2.2 Profil 6.000

Til forskjell fra de andre tverrprofilutsnittene er profilnummer 6.000 litt forskjellig. Her har terrenget modellen en plutselig skiftende geometri, kalt *spiker*, cirka ni meter fra profillinjas senter. I tillegg til at modellen er litt mer uregelmessig enn det flesteparten av de andre tverrprofilutsnittene gir uttrykk for. For å finne ut hva dette kan skyldes vil det være naturlig å se på hva som er gjort og hvilke valg som er tatt i APP for å generere punktskyen ut i fra flybildene.

Først og fremst er det interessant å se på bildedekningen og flyhøyden. I henhold til den vedlagte rapporten i APP (vedlegg to) har flyhøyden vært cirka 35 meter over terrenget, noe som var planlagt i henhold til de argumentene som ble lagt til grunn i kapittel 2.3.4. Videre viser også rapporten at den terrengmodellerte fjellknausen er synlig i flere enn ni av de totalt 33 bildene som ble benyttet. Ettersom bildedekningen er god og at det er benyttet flere flybilder enn det som er teoretisk nødvendig, kan man med god rimelighet fastslå at ingen av disse elementene har stor negativ påvirkning på modellens nøyaktighet. Som tidligere kommentert er også terrenget modellen georeferert ved hjelp av ni nøyaktige og pålitelige overbestemte passpunkter som *omkranser* terrenget modellen. Ingen av punktene ligger konsekvent i utkantene av flybildene og alle punktene har gode kontraster mot terrenget.

Arbeidsprosessen i APP er omtalt i kapittel 2.5 og som det gis uttrykk for der, består modellen av noe støy både før og etter optimaliseringsprosessen. For å redusere andelen av fellespunkter som er feil bestemt, og som bidrar som støy i modellen, ble følgende metoder utprøvd:

4.2.2.1 Reprojection error

Denne prosessen går ut på å finne og fjerne fellespunkter i modellen som er bestemt med dårlig geometrisk nøyaktighet. Det vil si punkter som får varierende beliggenhet i modellen avhengig av hvilket flyfoto man beregner posisjonen fra. Brukeren bestemmer selv hvor streng punktfiltreringen skal være, og det ble derfor prøvd å fjerne en større og større andel av punkter for å se om modellen og resultatet ble forskjellig.

Uavhengig av om 10, 20 eller 40 % av punktene i modellen ble fjernet, på bakgrunn av *antatt* dårlig geometri, fikk både modellen og det endelige resultatet i kubikk dårligere resultat. Dette skyldtes at ingen av punktene som var støy ble eliminert, men i stedet ble punkter som lå tett sammen med andre punkter slettet. Dermed ble spredningen mellom støypunktene og de andre fellespunktene enda større, slik at feilene ble fordelt enda mer utover. Dette illustreres i figur 2.14 på side 41.

4.2.2.2 Image count

En annen funksjon i APP som fjerner antatt dårlige fellespunkter er *Image count*. Denne prosessen fjerner fellespunkter som har blitt bestemt ut i fra et fåfall av flybildene. Dette kan være hensiktsmessig å benytte dersom områder i modellen har dårligere bildedekning enn andre. Ettersom rapporten fra APP viser at den terrengmodellerte fjellknausen blir dekket av ni bilder eller flere, og at totalt 33 bilder er benyttet for å dekke det omtrent 274 kvadratmeter store området, er det lite sannsynlig at dette påvirker andelen støy.

Funksjonen ble likevel prøvd ut og over 50 % av punktene ble valgt bort, uten at noen av støypunktene i det hele tatt ble markert.

4.2.2.3 Rydde i punktsky

I både APP og Gemini er det automatiske funksjoner for å rydde i punktskyen både før og etter triangulering. I begge programmene går denne prosessen ut på å angi minimum punktavstand mellom samtlige punkter. Prosessen ser ikke på punktenes geometriske beliggenhet i forhold til hverandre, men utelukkende på hvor lang avstand det er mellom dem. Dermed resulterte denne metoden i at punktene som var støy fortsatt ble inkludert, fordi disse ligger lenger unna de andre punktene, slik at feilen blir spredt utover. Modellen ”glattes ut” og feilen spres dermed utover.

Som det fremgår av de metodene som ble testet ut i både APP og Gemini førte ingen av dem frem til å redusere andelen støy i modellen, eller til å forbedre resultatet på noen måte.

Likevel vil det være rimelig å påstå følgende etter dette arbeidet: De punktene som fremstår

som støy i modellen skyldes verken dårlig bildematching eller dårlig bildedekning, for da ville disse punktene blitt markert ved henholdsvis ”Reprojection error” eller ”Image count” som tar for seg nettopp dette. Støypunktene kan skyldes en rekke faktorer; alt fra partikler i luften, lysforhold og lysbrytning, urenheter i kameraet eller katedralinsen, skygger eller liknende.

Det er ingen automatisk prosess i APP som fjerner støy og derfor ble dette gjort manuelt, ut i fra det som kunne betraktes visuelt i modellen. Dette arbeidet var ikke spesielt tidkrevende, men ved større modeller bør det benyttes et egnet program som gjør dette mer automatisk. Det kan selvfølgelig rettes spørsmål ved hvordan støyen ble fjernet, men de punktene som var støy var tydelig forskjellig fra de andre punktene som lå tett, slik at det var tydelig å se at disse var feil. Anslagsvis ble 150 – 200 ”støypunkter” fjernet.

Det ble derfor valgt og ikke rydde mer i punktskyen etter at støypunktene ble slettet manuelt, men samtlige gjenværende punkter ble beholdt slik at man enklest mulig ville se hva som var unaturlig og mest sannsynlig feil når punktene ble triangulert. Dette er tverrprofilen i profilnummer 6.000 et eksempel på. Her er det en tydelig spiker i terrenngmodellen som man med god pålitelighet kan fastslå at er feil, fordi fjellet ikke har noen plutselige høydeforskjeller i dette området. Hadde denne feilen blitt spredt utover, ville ikke spikeren vært like markant og den ville vært vanskeligere å oppdage.

4.3 Geometrisk kontroll

Den samlede volumforskjellen mellom referanse- og terrengmodellen, og et flertall av tverrprofilene viser at det er forholdsvis god overbestemmelse mellom de to modellene. Derfor er det hensiktsmessig å beregne noen konkrete tall som sier noe om *hvor* nøyaktig datainnsamling fra RPAS kan være, og hvor i testområdet resultatene er best.

Som det fremkommer av resultattabell 3.2 er det rimelig stor forskjell mellom fjellknausens to partier. De to modellene er tydelig mer sammenfallende i de flate partiene der fjelloverflaten er jevn, uten noen sprekker, groper eller annen utfordrende geometri. Av de 103 profileringspunktene som ble innmålt med totalstasjon er det bare to av disse som har større avvik fra terrengmodellen enn 5,0 cm. Hvor mye disse to punktene avviker fra resten fremkommer av laveste og høyeste punktverdi i tabellen: Ved et profileringspunkt ligger terrengmodellen 11,4 cm lavere, mens ved et annet punkt ligger modellen 5,4 cm over. Likevel bidrar disse variasjonene til at det gjennomsnittlige avviket bare er på 5 mm og at det samlede standardavviket i dette partiet er på litt over to centimeter.

Det som trekker modellens samlede resultat i negativ retning er fjellknausens partier som har skiftende topografi, bestående av blant annet groper og sprekker i fjellet. Her er avvikene større, slik at standardavviket er på nesten 13 cm, til tross for at det gjennomsnittlige avviket er på underkant av to centimeter. En sannsynlig forklaring på dette kan være at modellen avviker fra profileringspunktene i både positiv og negativ høyderetning slik at gjennomsnittet av dette blir bra.

Før tallene i tabell 3.2 kommenteres ytterligere er det ønskelig å kommentere resultatene fra F-testen i tabell 3.3, som baserer seg på resultatene fra de geometriske kontrollene og som sier noe om hvorvidt det er sannsynlig at det faktisk *er* forskjell mellom fjellknausens kuperte- og jevne partier.

Allerede ut i fra feilkvadratsummen er det rimelig å anta at det faktisk er en forskjell mellom de kuperte- og jevne partiene fordi feilkvadratsummene mellom de to områdetypene er veldig forskjellig. Feilkvadratsummen bestemmes ved å summere alle avvikene, opphøyd i andre, mellom hvert enkelt profileringspunkt og terrengmodellen. Derfor ønsker man at dette tallet skal være så nært null som mulig, for da har datasettet minst avvik. Dette ser vi at nærmest er tilfellet i de jevne partiene, med en verdi på 0,0525, mens det i de mer kuperte partiene er en større feilkvadratsum på 1,3775. Dette gjelder også hvis man ser hele området under ett.

Med utgangspunkt i feilkvadratsummene mellom de to områdepartiene jevnt og kupert, er det beregnet en F-verdi. Ved å sammenlikne denne verdien med en teoretisk F-

verdi, som beregnes på bakgrunn av ønsket testnivå og antall observasjoner (profileringspunkter) i hvert områdeparti, kan man avgjøre om forskjellen mellom partiene er signifikant.

Som vi ser er den beregnede F-verdien markant større, uavhengig om F-testen utføres på 95 % eller 99 % -nivå, og ut i fra dette kan vi derfor fastslå følgende:

Ettersom *beregnet* F-verdi er markant større enn *teoretisk* F-verdi, når testen kjøres på 99 % -nivå, er det en signifikant forskjell mellom fjellknausens kuperte- og flate partier med over 99 % sikkerhet.

4.3.1 Resultattabell 3.2

Som det fremkommer av resultatene fra de geometriske kontrollene kan det se ut som at det er vesentlig forskjell mellom testområdets to partier. Dette argumentet styrkes ytterligere gjennom resultatene fra den statistiske F-testen, og det er derfor interessant å se på hvilke faktorer som eventuelt kan påvirke denne forskjellen.

I likhet med tradisjonell flyfotografering er man avhengig av at terrenget har god kontrast og er godt synlig på flybildene. Som det kommenteres i avsnitt 4.2.1 (P14.500) kan en mulig årsak til dårlig overbestemmelse være at groper, sprekker og andre høydeforskjeller på fjellet blir mindre opplyst på grunn av skygge. Ved å se på figur 4.1 ser vi at det er en del mørke partier på flybildet langs fjellknausens sørlige side. Figur 4.2 på neste side illustrerer også dette, og ved å zoome inn i bildet ser vi at det er utfordrende topografi og skyggepartier i testområdets sørlige del. Skyggene kan skyldes både høydeforskjeller på selve fjellet, men også mindre trær i nærheten. Til sammen kan disse faktorene bidra til at man får et tilsvarende tilfelle som ved profil 14.500, men at det ikke er like synlig på tverrprofilene fordi detaljeringsgraden på de geometriske kontrollene er større.

Passpunkt fire, som ligger ned mot høyre i bildet på figur 4.2, måtte utelates fra videre beregninger fordi det hadde en usikkerhet på opp mot fire centimeter i forhold til de andre passpunktene, som hadde en nøyaktighet på 1 – 2 millimeter. Disse tallene beregnes på bakgrunn av passpunktets beregnede koordinater ut i fra punktets plassering i flybildene, og de koordinatene som punktene får bestemt med GPS og totalstasjon i felten. Dette omtales også i kapittel 2.5.1 og 4.2.



Figur 4.2: Flybilde tatt fra RPA. Bildet er zoomet inn.

En annen faktor som det er verdt å kommentere, og som allerede er nevnt, er kvaliteten på flybildene og stabiliteten på selve RPA. Noen av flybildene er mindre tydelige enn andre, og dersom man zoomer inn på bildene blir detaljene noe utydelige. Derfor ville være svært interessant å foreta en ny flygning der kameraet var montert i en gyrovugge for å se om dette bidrar til en positiv forskjell på resultatet.

Det er uansett viktig å være klar over at detaljeringsgraden som testes i dette datasettet er forholdsvis stor. Som det fremkommer på flybildet i figur 4.2 er fjellet svært kupert der de to modellene avviker fra hverandre. Fjellet har svært skiftende høyder og vertikale skråninger som kan være utfordrende å gjenskape ut i fra flybildene. Ut i fra tverrprofilene ser vi at RPAS registrerer at fjellet er høyere ved passpunkt 10 og at det deretter blir lavere frem til passpunkt fire og videre sørover, selv om det er spesielt mellom disse to punktene det er størst og flest avvik mellom modellene. Avstanden mellom passpunkt ti og fire er omtrent 3,5 meter.

Sett i en mindre målestokk registrerer RPAS høydeforskjellen, men det er når målestokk og ønsket detaljeringsgrad øker at det kan bli utfordrende å fange opp alle terrengformasjonene.

Resultattabell 3.2 viser at det er opptil 47 centimeter forskjell mellom modellene i kuperte områder. Dette er et stort avvik som kan bidra til at masseberegningen blir veldig forskjellig. Ettersom det er forholdsvis store avvik i både positiv og negativ høyderetning blir gjennomsnittet av målingene i underkant av bare to centimeter. Selv om tallet er bra, er standardavviket på nesten 13 centimeter forholdsvis høyt. Dette skaper et datasett med dårlig pålitelighet fordi avvikene varierer.

På fjellknausens jevne partier er resultatet svært bra. Omtrent samtlige kontrollpunkt er sammenfallende med terrengmodellen og standardavviket er på bare 2,2 centimeter. Dette er nesten bedre nøyaktighet enn det som kan forventes fra GPS og med bakgrunn i de svært sammenfallende resultatene er også standardavviket pålitelig.

Det som trekker testområdet samlete resultat i negativ retning er områdets kuperte og delvis skyggelagte partier. Tar man et grovt gjennomsnitt av tallene fra flate og jevne partier ender man omtrent opp med det som er gjeldene for hele området.

For og kunne gi en ytterligere vurdering av resultattabell 3.2 henvises det igjen til rapporten fra Hæhre Entreprenør AS og TerraTec AS ^[7]. De har også foretatt en geometrisk kontroll på tilsvarende måte med 5,0 centimeter avviksgrense, men de har ikke benyttet like mange kontrollpunkt. Kontrollpunktene er heller ikke målt i en sammenhengende flate, men i mindre punktgrupper på 12 – 15 punkt rundt i testområdene. Det sammenliknes igjen med octoapteret Camflight som er det RPA som ligner mest på quadcopteret som er benyttet her.

Ut i fra 15 kontrollpunkt er 13 punkt avvist; dette gir en godkjent andel på 13 %. Laveste punktavvik er 24,5 centimeter og høyeste avvik er 3,7 centimeter; til sammen blir gjennomsnittlig avvik minus 12,4 centimeter. Standardavviket er 7,3 centimeter. Vi ser at også de har fått forholdsvis varierende resultater som er svært sammenfallende med resultatet fra hele området i denne oppgaven; spesielt standardavviket og laveste avvik. Dette styrker troverdigheten på begge rapportenes resultater.

Denne oppgavens resultat baserer seg på langt flere kontrollpunkt og det gjennomsnittlige avviket er på bare seks millimeter; til forskjell fra den andre rapportens gjennomsnittlige avvik på minus 12,4 centimeter. Likevel trenger ikke dette bety bedre kvalitet, fordi datasettet varierer i både positiv og negativ høyderetning. Dermed vil i stedet resultatet være mindre pålitelig; noe standardavvikene også gir uttrykk for.

Samlet sett er ikke et standardavvik på 7,3 – 8,7 centimeter helt forkastelig, men det er kanskje i grenseland for hvor nøyaktig og pålitelig en høydemodell minst må være. Til

sammenlikning regner man vanligvis med å oppnå en nøyaktighet på bedre enn fem centimeter i høyde når man benytter GPS med tilknytning til en basestasjon, og høydeangivelse på millimeternivå dersom man benytter totalstasjon som har sikt til godt bestemte fastmerker. Sett i forhold til dette er nøyaktigheten fra RPAS dårligere.

Man skulle tro at resultatet til slutt ble tilfredsstillende ettersom terrengmodellen har avvik i både positiv og negativ høyderetning, og at de gjennomsnittlige avvikene er minimale, men ut i fra resultatet fra masseberegningen blir ikke dette helt riktig. De to modellene har tross alt et avvik på 13,2 m³ og ettersom de geometriske kontrollene og F-testen påviser at avvikene i de jevne områdene er minimale, kan dette tyde på at det beregnede avviket i kubikk mest trolig skyldes uoverbestemmelser i de kuperte områdene på fjellet.

Rapporten fra Hæhre og TerraTec konkluderer blant annet med at dronekartlegging ikke håndterer bratte og kuperte områder spesielt bra, og at det derfor bør overveies nøye hvor droner kan benyttes til kartlegging. Denne konklusjonen underbygges av denne rapportens resultat som viser en klar sannsynlig forskjell mellom testområdet jevne og kuperte områder.

4.4 Tidsforbruk

Prosjektoppgavens problemstilling stiller også spørsmål ved *effektivitet*. Basert på det arbeidet som er gjort i forbindelse med denne oppgaven er det umulig å komme med noen konkrete tallverdier i minutter og timer på hvor lengde et tilsvarende arbeid vil ta. Dette vil avhenge av brukerens programtekniske ferdigheter og erfaring, hvordan kartleggingsområdet ser ut (topografi), hvor stort området er, hva slags RPAS som benyttes og så videre. Det som det imidlertid er mulig å formene noe om er følgende:

Arbeidsprosessen med RPAS, fra markering og koordinatbestemmelse av passpunkter i terrenget, rekognosering, flyplanlegging, flygning, til databehandling og etterprosessering av datasettet i programvare, vil være den samme uavhengig av om området er 100 eller 10 000 kvadratmeter stort. Hvor lang *tid* de ulike elementene vil ta, vil selvfølgelig variere, men dersom det er mindre områder som skal kartlegges vil det være like raskt og effektivt å gjøre dette manuelt med GPS eller totalstasjon, fordi dette krever mindre forberedelser og etterprosessering.

Dersom man benytter GPS med tilknytning til en basestasjon trenger man bare å sørge for å ha kontakt med satellitter og basestasjonen før profileringen kan starte. Når profileringarbeidet er ferdig kan punktene eksporteres til et egnet program og trianguleres. Eksporteringen og trianguleringen tar anslagsvis to minutter og etter dette kan modellen sammenliknes med for eksempel en teoretisk flate for å beregne volum. Etterprosesseringen og databehandlingen knyttet til RPAS er langt mer tidkrevende og omfattende.

Hva som er små og store områder kan selvfølgelig diskuteres, men områder som er mindre enn 1000 kvadratmeter vil mest sannsynlig være like effektive å profilere fra bakken med enten totalstasjon, GPS eller laserskanner.

Det er ikke hensiktsmessig å gå inn på hvor lang tid noen av de forskjellige arbeidsprosessene har tatt i denne oppgaven, først og fremst fordi dette ikke er basert på et representativt utvalgt av fagpersoner. Både feltarbeidet og etterprosesseringen av dataene har tatt lenger tid enn normalt, fordi arbeidet er gjort mer nøyaktig og omfattende enn det som strengt tatt er nødvendig i vanlig sammenheng. Dette var nødvendig for å få et så pålitelig datagrunnlag som overhodet mulig. I tillegg vil spesielt etterprosesseringen av dataene variere sterkt i tid avhengig av om en faglært person i arbeidssammenheng gjør det, eller om det er en student gjør det som en del av en forsknings- og læreprosess.

Likevel kan man på bakgrunn av hvor omfattende *arbeidsprosessene* ved henholdsvis dronekartlegging og tradisjonell kartlegging på bakken er, anta at RPAS er best egnet for

større kartleggingsområder som har et anslagsvis større areal enn 1000 kvadratmeter. RPAS kan kanskje være et egnet verktøy å benytte i områder som kan være farlige eller spesielt krevende for mennesker å oppholde seg i. Eksempelvis myrområder, områder som kan være helseskadelige (farlige gasser, gifter ol.), søppelfyllinger eller områder med snøskredfare.

4.5 Oppsummering

Som det fremgår av resultatene i kapittel tre og diskusjonene i kapittel fire kan RPAS være et nyttig og effektivt hjelpemiddel å benytte i geografiske områder som ikke har svært krevende topografi eller store skyggepartier, og i områder som kan være farlige eller helseskadelige for mennesker å oppholde seg i.

Det er imidlertid viktig å poengtere at denne oppgavens resultat baserer seg på kun én overflygning med RPAS. Målet med oppgaven var å gjennomføre flere flygninger slik at man kunne sammenlikne *flere uavhengige* datasett med hverandre for å se om det var noen fellestrekk å hente. Dette lot seg dessverre ikke gjøre fordi ScanSurvey AS ikke hadde mer tid til rådighet å bruke på denne oppgaven, som følge av mange andre prosjekter. Derfor ble det bare mulighet til å gjennomføre én flygning og man kan derfor ikke konkludere alt for mye ut i fra dette.

Likevel er det positivt for oppgavens pålitelighet at Hæhre Entreprenør AS og TerraTec AS har foretatt en tilsvarende test med liknende utstyr, i liknende områdetyper, men på et forskjellig tidspunkt, og at deres resultater er noenlunde sammenfallende med de resultatene denne rapporten presenterer. De kommer også frem til at RPAS har større vanskeligheter med å gjengi terrenget korrekt når topografien er krevende, ujevn og bratt. Som denne rapporten viser, i tabell 3.2 på side 47, er det stor forskjell mellom hvor godt resultatene fra RPAS stemmer overens med referansemodellen i jevne og ujevne områder i testområdet. I jevne områder er modellene mer eller mindre sammenfallende, mens de i ujevne områder er mer forskjellig. Denne forskjellen er *signifikant* med over 99 % sikkerhet, basert på resultatene fra en F-test mellom de to områdetypene.

Det beregnes en forskjell på $13,2 \text{ m}^3$ mellom en teoretisk flate og opp til referanse- og terrengmodellen for et areal på $273,5 \text{ m}^2$. Dette utgjør et avvik på $4,8 \text{ m}^3/100\text{m}^2$. I praktisk sammenheng utgjør 20 m^3 en fullastet lastebil med tilhenger, slik at $13,2 \text{ m}^3$ vil få plass på ett enkelt lass. Selv om dette ikke er spesielt mye, kan forskjellen bli større dersom avviket i kubikk er proporsjonalt med arealet i kvadratmeter. Om dette faktisk er tilfellet er det ikke mulig å gi et dokumentert svar på ut i fra det arbeidet som er foretatt i denne oppgaven, men det er igjen mulig å henvise til Hæhre Entreprenør AS og TerraTec AS som har beregnet et avvik på $2,05 \text{ m}^3/100\text{m}^2$ i sin rapport. Deres avvik er noe mindre, men de har også benyttet et RPA med dobbelt så mange propeller, i tillegg til å benytte en gyrovugge for å stabilisere flykameraet. Om dette har positiv påvirkning for resultatet kan ikke dokumenteres, men det ville vært interessant å teste flere typer RPA i det samme området for å se om dette faktisk vil

ha betydning for resultatet.

Basert på tverrprofilene i deres rapport kan det se ut som om detaljeringsgraden er noe mindre enn i denne oppgaven, fordi tverrprofilene er 50 meter brede; i denne oppgaven er de 20 meter. Det kan også se ut som at området har mindre utfordrende topografi enn det testområdet som er benyttet her, basert på tverrprofilenes geometri. Til sammen *kan* disse faktorene bidra til et bedre resultat med mindre avvik.

Det beregnes et større volum mellom en teoretisk definert flate og opp til terrengmodellen, enn om man beregner volumet opp til referansemodellen. Dette betyr at terrengmodellen i gjennomsnitt ligger høyere enn referansemodellen. En del av testområdet har noe skygger forårsaket av groper og sprekker i fjellet, samt trær som står i nærheten. Dette kan være en sannsynlig årsak til at de to modellens tverrprofiler er noe mer forskjellige i testområdets skyggepartier, men igjen ville det krevd flere overflygninger og repeterbare datasett for og kunne avgjøre om dette virkelig *er* sannsynlig.

Ettersom de geometriske kontrollene viser at det er veldig god overbestemmelse i de jevne områdene på fjellet, og at det er de kuperte og utfordrende områdene det er størst avvik mellom modellene. Kan dette tyde på at det er avvikene i de kuperte områdene som mest trolig, og i størst grad, medfører at det beregnes forskjellig volum mellom den teoretiske flaten og opp til henholdsvis terreng- og referansemodellen.

Rapportens resultat styrkes ved at Hæhre Entreprenør AS og TerraTec AS har gjennomført en tilsvarende test som kommer frem til noenlunde tilsvarende resultater.^[7] Likevel ville det vært ønskelig at denne rapportens resultat baserte seg på flere uavhengige flygninger, gjerne foretatt på forskjellige dager, slik at man kunne sammenliknet *flere uavhengige datasett* med hverandre for å se om det faktisk ville vært noen sammenheng.

4.6 Videre arbeid

Ettersom denne rapportens resultat kun baserer seg på kun én overflygning med RPAS ville det vært svært ønskelig å foreta en ny flygning for å se om dette resulterer i sammenfallende resultater. Spesielt ville dette vært hensiktsmessig for å se om det fortsatt ville blitt større avvik i kuperte områder, og om det faktisk er skygger som bidrar til at modellene stemmer mindre overens i utsatte partier.

Kartlegging fra RPAS står ovenfor mange av de samme utfordringene som tradisjonell flyfotografering fra propellfly og en av de viktigste forutsetningene for et godt resultat er tydelige bilder med skarpe kontraster. Derfor ville det vært interessant og testet ulike typer kamera for å se om dette påvirker terrengmodellens kvalitet.

Videre kunne det også vært spennende og benyttet gyrovugge for å stabilisere kameraet ytterligere, for å se om dette bidrar til å ta tydeligere flybilder.

Dette er et stort og forholdsvis nytt fagfelt og det er nærmest ubegrenset hvilke elementer det er mulig å teste variasjoner av, hvis man har tid og ressurser nok til det.

5 Konklusjon

Rapportens resultat baserer seg på kun én overflygning med RPAS, og for og kunne påvise de faktiske forskjellene som denne rapportens resultater gir en indikasjon på, ville det vært nødvendig og foretatt *flere repeterbare og uavhengige* overflygninger.

Likevel kan man, hvis man sammenlikner denne rapportens resultater med andre tekniske fagrapporter, hevde at RPAS er et hensiktsmessig og nyttig verktøy å benytte til kartlegging av avdekket fjell i mange sammenhenger. Arbeidsprosessen fra flyplanlegging til ferdig terrengmodell er den samme for RPAS, uavhengig av hvor stort areal som skal kartlegges, og derfor vil RPAS være mest *effektivt* å benytte i større områder der det ville blitt svært tid- og ressurskrevende å bruke tradisjonelle metoder som totalstasjon eller GPS på bakken. RPAS kan også være gunstig å anvende i områder som kan være potensielt farlige eller helseskadelige for mennesker å oppholde seg i.

I områder som har terrengformasjoner med utfordrende topografi i form av groper, sprekker eller brått skiftende høydeforskjeller, eller i områder bestående av større skyggepartier, bør man i hvert enkelt tilfelle *vurdere* om RPAS er det beste verktøyet å benytte. Dette skyldes at detaljer i terrenget kan gå tapt eller bli gjengitt feil i den triangulerte terrengmodellen som baserer seg på flybildene. Samtidig indikerer en annen del av denne rapportens resultat på at RPAS har en god evne til å gjengi terrengformasjonen svært *nøyaktig* og korrekt dersom terrengoverflaten er jevn og har få elementer av utforende topografi eller store skyggepartier.

Tabell- og figurliste

- Figur 2.1 *Forskjellige RPAS. Skjermdump fra flyplanleggingsprogrammet Mission Planner.*
- Figur 2.2 *Benyttet quadrocopter. Bildet er gjengitt etter tillatelse fra Ole Martin Gladhaug i ScanSurvey AS.*
- Figur 2.3 *Roll, pitch og yaw. Tilgjengelig fra <http://www.qfom.com.au/principlesOfFlt.html> og <http://en.wikipedia.org/wiki/Gyroscope> (hentet 10. mars 2014).*
- Figur 2.4 *Sentral- og normalprojeksjon. Hentet fra utdelt studiekompene v/ HiG.*
- Figur 2.5 *Bildeoverlapp og fellespunkter. Utarbeidet personlig.*
- Figur 2.6 *Passpunktens beliggenhet. Utarbeidet personlig.*
- Figur 2.7 *Kart over pass-, nivellements- og landsnettpunkt. Skjermdump fra ScanOBS.*
- Figur 2.8 *Skjermdump fra MissionPlanner.*
- Figur 2.9 *Skjermdump som viser flyplanleggingen. Skjermdump fra MissionPlanner.*
- Figur 2.10 *Skjermdump fra DroidPlanner.*
- Figur 2.11 *Skjermdump som viser punktskyen og de orienterte bildene i APP. Skjermdump fra Agisoft PhotoScan Professional Edition.*
- Figur 2.12 *Optimaliseringsprosess i APP. Skjermtutklipp fra APP.*
- Figur 2.13 *Triangulert punktsky før og etter fjerning av støy. Skjermdump fra Gemini.*
- Figur 2.14 *Risiko ved å fjerne enkeltpunkter ved å angi minimum punktavstand. Utarbeidet personlig.*
- Figur 2.15 *Helhetlig sammenlikningsmetode. Utarbeidet personlig.*
- Figur 3.1 *Tverrprofiltegning for profil 18,600. Skjermdump fra Gemini.*
- Figur 3.2 *Tverrprofiltegning for profil 6,000. Skjermdump fra Gemini.*
- Figur 3.3 *Tverrprofiltegning for profil 14,500. Skjermdump fra Gemini.*
- Figur 4.1 *Oversikt over hvor de ulike profilene er på fjellknausen. Utarbeidet personlig.*
- Figur 4.2 *Flybilde tatt fra RPA. Bildet er zoomet inn.*
- Tabell 2.1 *Sentral- og normalprojeksjon. Utarbeidet personlig.*
- Tabell 3.1 *Volumforskjell [m^3] beregnet etter integralmetoden i Gemini. Utarbeidet personlig.*
- Tabell 3.2 *Resultater fra geometriske kontroller i Gemini. Utarbeidet personlig.*
- Tabell 3.3 *Resultater fra F-test. Utarbeidet personlig.*

Referanser

- [1] Andresen, Geir. (2010). *Akselerometer*, Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/akselerometer> (lest 12. mai 2014).
- [2] Ormestad, Helmut. *Gyroskop*, Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/gyroskop> (lest 12. mai 2014).
- [3] *Electronic speed control*. (2014). Wikipedia. Tilgjengelig fra: http://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_speed_control (lest 17. april 2014).
- [4] Andersen, Øystein m.fl. (1994). *Nye Bilde-Tall-Terreng*. Ås-NLH, Institutt for landmåling.
- [5] *Agisoft PhotoScan - Tips and Tricks*. (2013). Agisoft.ru, Agisoft. Tilgjengelig fra: http://www.agisoft.ru/wiki/PhotoScan/Tips_and_Tricks (lest 8. april 2014).
- [6] Weisstein, E. W. (2014). *Fisher's Exact Test*. Mathworld.wolfram.com, Wolfram MathWorld. Tilgjengelig fra: <http://mathworld.wolfram.com/FishersExactTest.html> (lest 29. april 2014).
- [7] Sageie, Jostein m.fl. (2013). *Rapport om dronetest på Ørgenvika*. Internt, Hæhre Entreprenør AS, TerraTec AS. 42 s.
Upublisert teknisk fagrapport som det refereres til i denne rapporten etter avtale og godkjenning fra Hæhre Entreprenør AS.
- [8] *Ubemannede luftfartøy - RPAS (FAQ)*. Luftfartstilsynet.no, Luftfartstilsynet. Tilgjengelig fra: <http://www.luftfartstilsynet.no/selvbetjening/allmennfly/RPAS-FAQ/> (lest 11. februar 2014).

Grunnen til at referanselisten er forholdsvis beskjedne skyldes at fagstoffet som er omtalt i rapportens tekniske og faglige kapitler er informasjon som jeg i løpet av arbeidsprosessen har blitt tillært gjennom muntlig kommunikasjon med mine veiledere i Statens vegvesen, min kontaktperson i ScanSurvey, min veileder ved utdanningsinstitusjonen HiG og andre erfarne fagpersoner i Statens vegvesen, Veidekke Entreprenør AS, Zenith Survey og Hæhre Entreprenør AS.

Vedlegg 1 - Utjevningsrapport

Følgende datafiler er indlæst:

M:\4000\gjovik\scanOBS\obs\profilering_fm.OBS
M:\4000\gjovik\scanOBS\FM-kjente\fm.kof
M:\4000\gjovik\scanOBS\FM-kjente\gps-fm.OBS

Tidspunkt for kørsel dd.mm.yy hh.mm: 11.03.14 00:56

* OPSTILLINGSUDJÆVNING I PLAN OG HØJDE *

LIDT STATISTIK

	Plan	Højde	Max v (mm) Plan	Højde
Antal punkter:	16	16		
Antal opstillinger:	2	2		
Antal punkter i opstillinger:	26	26		
Antal udvægtede ditto:	0	0	0	0
Antal fikspunkter:	23	23		
Antal udvægtede fikspunkter:	0	0	0	0
Sigma grundfejl (Sgp/Sgh):	0.003	0.001		
Sigma afstand (Sap/Sah):	3.000	0.200		
Antal overbestemmelser:	60	31		
Spredning på vægtenheden:	0.989	1.992		
Antal overbestemmelser opst.:	17	9		
Spredning på vægtenheden opst.:	1.452	1.856	6	3
Antal overbestemmelser fiksp.:	43	22		
Spredning på vægtenheden fiksp.:	0.728	2.044	13	46

Målforhold i planet: Afstandskorrektion: UTM zone 32->35
Afstandsreduktion til ellipsoiden

Sp = Sqrt (Sgp**2 + (L*sap*0.000001)**2) (Sp og L: meter; Sgp: meter; Sap: ppm)
Sh = Sqrt (Sgh**2 + (L*L*sah*0.000001)**2) (Sh og L: meter; Sgh: meter; Sah: ppm/meter)

Apriori spredning (mm) for 3 afstande (m):
Sp10: 3; Sp100: 3; Sp1000: 4
sh10: 1; sh100: 2; sh1000: 200

Der benyttes ikke centeringsspredninger som funktion af prismehøjder

OPSTILLINGSOBSERVATIONER sorteret efter opstilling

op = Antal observationer per punkt
#p = Antal ej udvægtede planeobservationer per punkt
#h = Antal ej udvægtede højdeobservationer per punkt
u = Udvalgt se herunder:
- = Udvalgt ved manuel markering
* = Udvalgt ved robust udjævning
= Udvalgt. Max afstand (250) overskredet
x = Udvalgt. Fri kode: FR 46 og FR 47

PktNr	op	#p	#h	OpstNr	lb	obsN (m)	obsE (m)	obsH (m)	dist2D (m)	ASN (mm)	ASE (mm)	ASH (mm)	VN (mm)	VE (mm)	u	VR (mg)	Vr (mg)	v.
1	1	1	1	om1	1	1192853.889	116016.937	82.266	13.470	3	3	1	-1	0	-3	0	-3	
2	1	1	1	om1	1	1192867.156	116011.454	83.091	12.231	3	3	1	-1	-3	6	-3	6	
3	1	1	1	om1	1	1192867.012	116005.101	83.686	9.589	3	3	1	-1	-3	5	-3	5	
4	1	1	1	om1	1	1192860.531	116002.299	84.634	3.463	3	3	1	0	-2	5	-2	5	
5	1	1	1	om1	1	1192850.968	115999.830	84.248	7.719	3	3	1	-1	-2	5	-2	5	
6	2	2	2	om1	1	1192851.241	115992.576	83.837	12.985	3	3	1	-6	-3	25	-3	25	
7	2	2	2	om1	1	1192838.533	115992.325	82.116	22.242	3	3	1	4	3	-21	3	-21	
8	2	2	2	om1	1	1192834.044	115983.302	82.026	31.248	3	3	1	-4	-2	12	-2	12	
9	1	1	1	om1	1	1192858.362	115993.596	83.680	10.398	3	3	1	2	3	-11	3	-11	
10	1	1	1	om1	1	1192859.331	116005.427	85.355	2.355	3	3	1	-2	4	-13	4	-13	
11	1	1	1	om1	1	1192860.505	116018.048	82.234	14.410	3	3	1	0	2	-2	2	-2	
o1a	2	2	2	om1	1	1192853.563	116001.799	85.217	4.482	3	3	1	3	4	-6	4	-6	
om1	3	3	3	om1	1	1192857.491	116003.957	87.002	0.000	3	3	1	2	-1	7	-1	7	
om2	3	3	3	om1	1	1192820.759	115980.544	82.421	43.559	3	3	1	1	0	-1	0	-1	
om2	2	2	2	om1	1	1192820.762	115980.541	82.421	43.559	3	3	1	4	-3	-11	-3	-11	
colt1	2	2	2	om1	1	1192834.798	115984.077	82.182	30.170	3	3	1	-1	0	5	0	5	
colt2	2	2	2	om1	1	1192814.410	115962.342	80.661	59.898	3	3	1	0	3	1	3	1	
6	2	2	2	om2	1	1192854.904	116036.638	88.421	32.783	3	3	1	5	-1	-11	-1	-11	
7	2	2	2	om2	1	1192851.428	116024.391	86.692	21.314	3	3	1	-4	-4	-4	-4	-4	
8	2	2	2	om2	1	1192858.743	116017.478	86.607	13.579	3	3	1	3	1	-4	1	-4	
o1a	2	2	2	om2	1	1192846.758	116041.541	89.799	39.086	3	3	1	0	3	0	3	0	
om1	3	3	3	om2	1	1192845.842	116045.931	91.581	43.560	3	3	1	1	-1	-2	-1	-2	
om1	3	3	3	om2	1	1192845.838	116045.929	91.580	43.559	3	3	1	-2	2	6	2	6	
om2	3	3	3	om2	1	1192857.491	116003.957	87.002	0.000	3	3	1	-4	3	6	3	6	
colt1	2	2	2	om2	1	1192858.222	116018.420	86.762	14.481	3	3	1	1	0	-2	0	-2	
colt2	2	2	2	om2	1	1192873.051	115992.564	85.241	19.285	3	3	1	0	-3	0	-3	0	

OPSTILLINGSOBSERVATIONER, sortert etter punktnummer

oo = Antal observationer per opstilling
u = Udvægtet se herunder:
- = Udvægtet ved manuel markering
* = Udvægtet ved robust udjævning
= Udvægtet. Max afstand (250) overskredet
x = Udvægtet. Fr1 kode: FR 46 og FR 47

PktNr	OpstNr	lb	oo	obsN (m)	obsE (m)	obsH (m)	dist2D (m)	ASN (mm)	ASE (mm)	ASH (mm)	VN (mm)	VE (mm)	u	VR (mg)	VA (mm)	u	VH (mm)	u
1	om1	1	17	1192853.889	116016.937	82.266	13.470	3	3	1	-1	0	-3	1	0			
2	om1	1	17	1192867.156	116011.454	83.091	12.231	3	3	1	1	-3	6	1	0			
3	om1	1	17	1192867.012	116005.101	83.686	9.589	3	3	1	-1	-3	5	2	0			
4	om1	1	17	1192860.531	116002.299	84.634	3.463	3	3	1	0	-2	5	1	0			
5	om1	1	17	1192850.968	115999.830	84.248	7.719	3	3	1	-1	-2	5	2	0			
6	om1	1	17	1192851.241	115992.576	83.837	12.985	3	3	1	-6	-3	25	5	2			
6	om2	1	9	1192854.904	116036.638	88.421	32.783	3	3	1	5	-1	-11	-1	-2			
7	om1	1	17	1192838.533	115992.325	82.116	22.242	3	3	1	4	3	-21	5	-2			
7	om2	1	9	1192851.428	116024.391	86.692	21.314	3	3	1	-4	-4	4	-5	3			
8	om1	1	17	1192834.044	115983.302	82.026	31.248	3	3	1	-4	-2	12	-3	0			
8	om2	1	9	1192858.743	116017.478	86.607	13.579	3	3	1	3	1	-4	2	0			
9	om1	1	17	1192858.362	115993.596	83.680	10.398	3	3	1	2	3	-11	-2	0			
10	om1	1	17	1192859.331	116005.427	85.355	2.355	3	3	1	-2	4	-13	-1	0			
11	om1	1	17	1192860.505	116018.048	82.234	14.410	3	3	1	0	2	-2	-2	1			
ola	om1	1	17	1192853.563	116001.799	85.217	4.482	3	3	1	3	4	-6	-5	-1			
ola	om2	1	9	1192846.758	116041.541	89.799	39.086	3	3	1	0	3	0	3	-3			
om1	om1	1	17	1192857.491	116003.957	87.002	0.000	3	3	1	2	-1	7	-1	-1			
om1	om2	1	9	1192845.842	116045.931	91.581	43.560	3	3	1	1	-1	-2	-1	0			
om1	om2	1	9	1192845.838	116045.929	91.580	43.559	3	3	1	-2	2	6	2	2			
om2	om1	1	17	1192820.759	115980.544	82.421	43.559	3	3	1	0	-1	0	0	0			
om2	om1	1	17	1192820.762	115980.541	82.421	43.559	3	3	1	4	-3	-11	0	0			
om2	om2	1	9	1192857.491	116003.957	87.002	0.000	3	3	1	-4	3	6	1	0			
colt1	om1	1	17	1192834.798	115984.077	82.182	30.170	3	3	1	-1	0	5	0	0			
colt1	om2	1	9	1192858.222	116018.420	86.762	14.481	3	3	1	1	0	-2	0	0			
colt2	om1	1	17	1192814.410	115962.342	80.661	59.898	3	3	1	0	3	1	3	0			
colt2	om2	1	9	1192873.051	115992.564	85.241	19.285	3	3	1	0	-3	0	-3	0			

FIKSPUNKTER

op = Antal observationer per punkt
#p = Antal ej udvægtede planobservationer per punkt
#h = Antal ej udvægtede højdeobservationer per punkt
u = udvægtet se herunder:
- = udvægtet ved manuel markering
* = udvægtet ved robust udjævning

PktNr	op	#p	#h	obsN (m)	obsE (m)	obsH (m)	ASN (mm)	ASE (mm)	ASH (mm)	VN (mm)	VE (mm)	u	VH (mm)	u
1	1	1	1	6644212.172	599461.752	74.196	9	5	13	5	-1	-28		
1	1	1	1	6644212.168	599461.750	74.197	12	5	14	9	1	-30		
2	1	1	1	6644197.957	599463.615	75.008	10	5	15	-6	4	-16		
2	1	1	1	6644197.961	599463.615	75.013	11	5	12	-10	3	-20		
3	1	1	1	6644196.438	599469.794	75.608	11	5	14	9	-3	-21		
3	1	1	1	6644196.447	599469.785	75.609	10	4	11	1	7	-22		
4	1	1	1	6644201.982	599474.171	76.553	9	5	17	1	1	-18		
4	1	1	1	6644201.980	599474.168	76.561	11	5	12	3	4	-26		
5	1	1	1	6644210.573	599479.022	76.175	10	5	14	7	4	-26		
5	1	1	1	6644210.569	599479.023	76.177	11	5	12	11	2	-29		
6	2	2	2	6644208.441	599485.955	75.752	8	4	13	-1	5	-12		
6	2	2	2	6644208.436	599485.957	75.771	11	5	12	4	3	-31		
7	2	2	2	6644220.661	599489.492	74.036	10	5	13	-4	-2	-22		
7	2	2	2	6644220.658	599489.484	74.053	12	5	12	0	5	-38		
8	2	2	2	6644222.651	599499.354	73.951	11	5	14	5	3	-24		
8	2	2	2	6644222.651	599499.359	73.973	13	6	16	5	-1	-46		
9	1	1	1	6644201.840	599483.146	75.602	10	5	11	-7	-4	-21		
9	1	1	1	6644201.845	599483.147	75.590	11	6	13	-12	-5	-9		
10	1	1	1	6644203.935	599471.468	77.275	9	4	11	13	-2	-18		
10	1	1	1	6644203.946	599471.473	77.276	10	5	13	3	-7	-20		
11	1	1	1	6644206.073	599458.975	74.170	11	5	11	3	-3	-34		
11	1	1	1	6644206.080	599458.974	74.163	10	5	11	-4	-2	-28		
ola	2	2	2	6644208.587	599476.459	77.117	0	0	0	0	0	0		

..

UDJÆVNEDE KOORDINATER

op = Antal observationer per punkt
 #p = Antal ej udvægtede planobservationer per punkt
 #h = Antal ej udvægtede koteobservationer per punkt
 fp = Antal ej udvægtede planfikspunktsobs. per punkt
 fh = Antal ej udvægtede kotefikspunktsobs. per punkt

PktNr	op	#p	#h	fp	fh	N (m)	E (m)	H (m)
1	1	1	1	2	2	6644212.177	599461.751	74.167
2	1	1	1	2	2	6644197.951	599463.619	74.992
3	1	1	1	2	2	6644196.447	599469.792	75.587
4	1	1	1	2	2	6644201.983	599474.172	76.535
5	1	1	1	2	2	6644210.580	599479.025	76.149
6	2	2	2	2	2	6644208.440	599485.960	75.740
7	2	2	2	2	2	6644220.658	599489.489	74.015
8	2	2	2	2	2	6644222.656	599499.357	73.927
9	1	1	1	2	2	6644201.833	599483.142	75.581
10	1	1	1	2	2	6644203.948	599471.466	77.256
11	1	1	1	2	2	6644206.076	599458.972	74.135
o1a	2	2	2	1	1	6644208.587	599476.459	77.117
om1	3	3	3			6644205.349	599473.356	78.902
om2	3	3	3			6644234.779	599505.453	74.322
colt1	2	2	2			6644222.131	599498.416	74.082
colt2	2	2	2			6644236.211	599524.674	72.562

TRANSFORMATIONSPARAMETRE

$N = a*n + b*e + tranN$
 $E = -b*n + a*e + tranE$
 $H = h + tranH$

sp.nP = Maks spredning (storakse) på et nypunkt (plan) i afstanden 0 meter fra opstilling/modelcenter
 sp.tH = Spredning på højdetransformationen

Geoidehøjden er sat til 39.500 meter

OpstNr	lb	a	b	tranN	tranE	PPMsys	PPMref	sp.nP (mm)	tranH (m)	sp.tH (mm)
om1	1	-0.9657886149	0.2581823989	7766303.352	1019483.467	-279	-19	3	-8.099	1
om2	1	-0.5292122909	-0.8481400975	7373897.236	-350814.099	-279	-18	6	-12.680	1

Vedlegg 2 – Rapport fra Agisoft PhotoScan Professional (APP)

Agisoft PhotoScan

Processing Report

10 May 2014



Survey Data

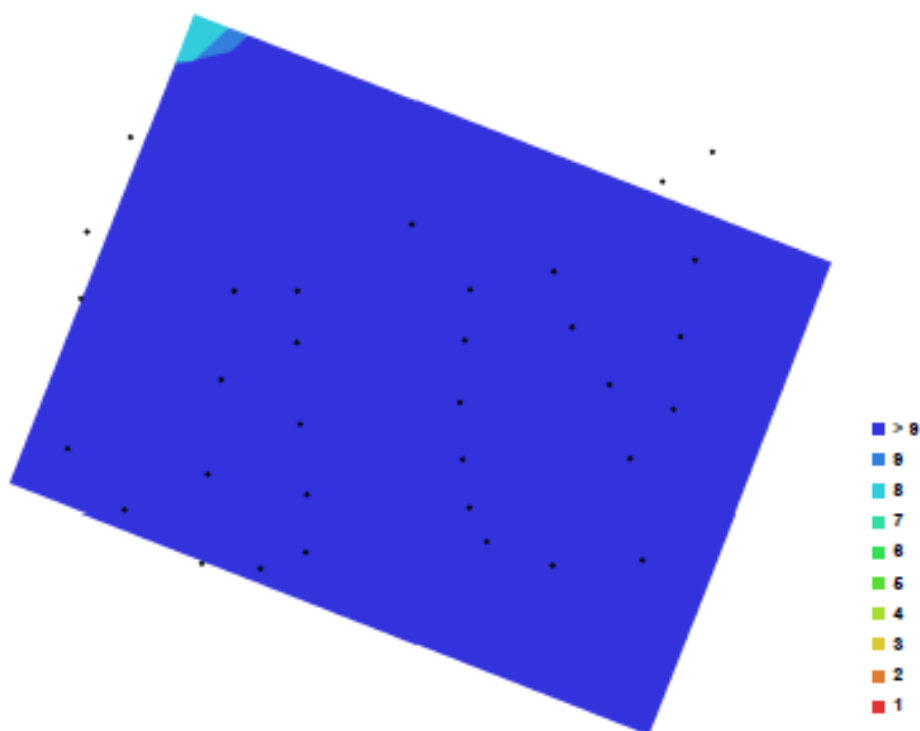


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	33	Camera stations:	33
Flying altitude:	34.7881 m	Tie-points:	14332
Ground resolution:	0.0110545 m/pix	Projections:	97945
Coverage area:	0.00105088 sq km	Error:	0.789312 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
Canon PowerShot S100 (5.2 mm)	4000 x 3000	5.2 mm	1.86161 x 1.86161 um	No

Table. 1. Cameras.

Ground Control Points

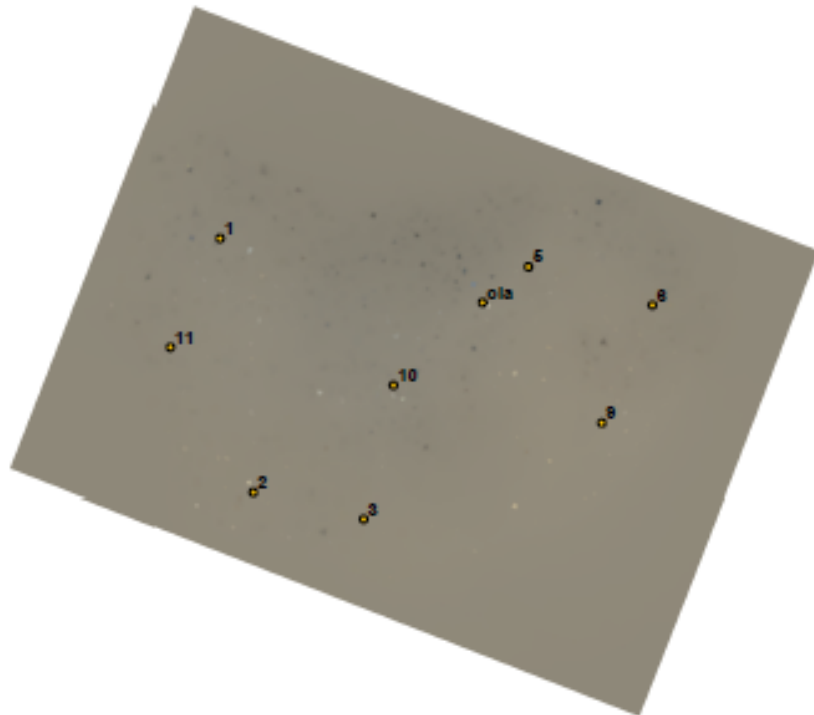


Fig. 2. GCP locations.

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
1	-0.000310	-0.001757	0.000598	0.001881	21	0.383252
10	-0.001620	0.001219	0.005738	0.006085	29	0.400640
11	0.001333	0.001510	-0.000032	0.002014	22	0.429413
2	-0.002957	-0.000139	-0.002947	0.004177	25	0.444345
3	0.003340	-0.001330	0.000835	0.003651	26	0.454847
5	-0.000073	0.001017	0.003563	0.003706	27	0.337684
6	0.003717	-0.000260	-0.001315	0.003952	25	0.375548
9	-0.003303	0.002150	0.000038	0.003941	27	0.306078
ola	0.000672	-0.002285	-0.007085	0.007475	29	0.392697
Total	0.002347	0.001475	0.003448	0.004424	231	0.393217

Table. 2. Control points.

Digital Elevation Model

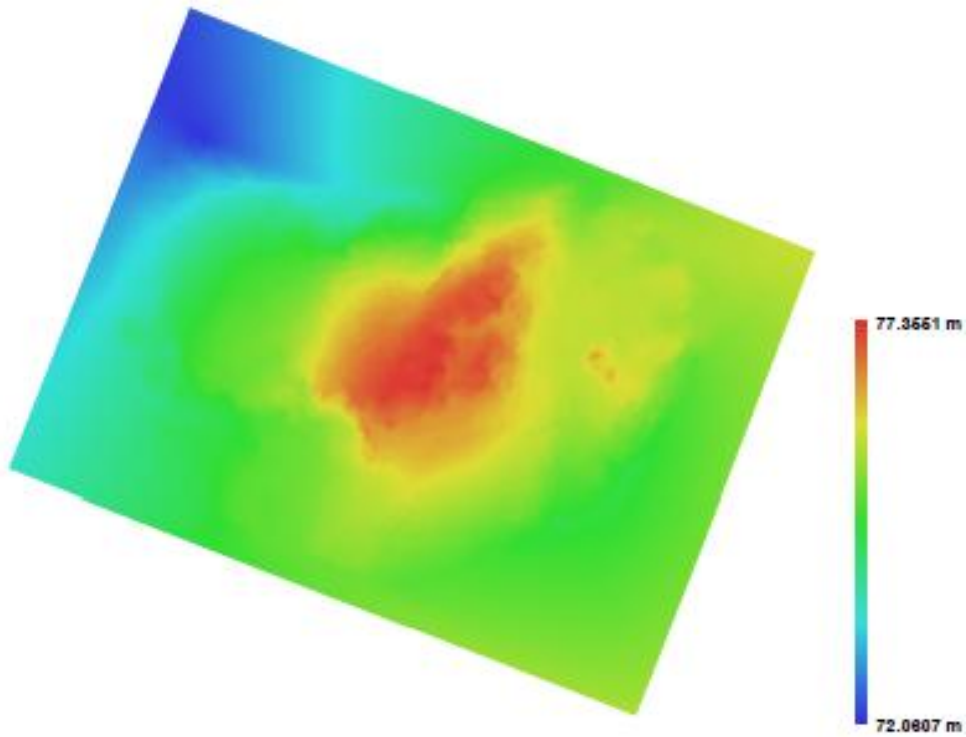


Fig. 3. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 0.195396 m/pix
Point density: 47177.2 points per sq m

Vedlegg 3 – Masserapport mellom teoretisk flate og referansem modell

Beregnet volum mellom teoretisk definert flate og triangulerte profileringspunkter, kalt referansem modell, innmålt med totalstasjon.

Masseberegning: BACH4005.res

Volum mellom lag

Inngr.nr.	m2 totalt	m2 fylling	m2 skjæring	m3 fylling	m3 skj.lag1	m3 skj.lag2
1	273.5	273.5	0.0	672.8	0.0	0.0

Integral størrelse: 0.100 x 0.100 - 0.010000 m2

Integraler og korreksjonsverdier for hovedinngrep

Inngr.nr.	#Integraler	#Fylling	#Skjæring	#Udefin.	Korr.faktor	subintegral
1	27348	27347	0	1	1.0001049346	

Masseberegninger er foretatt med integralmetoden i Gemini Terreng og Entreprenør 7.3.

Vedlegg 4 – Masserapport mellom teoretisk flate og terrengmodell

Beregnet volum mellom teoretisk definert flate og generert terrengmodell fra flybilder tatt med RPAS.

Masseberegning: BACH4005.res

Volum mellom lag

Inngr.nr.	m2 totalt	m2 fylling	m2 skjæring	m3 fylling	m3 skj.lag1	m3 skj.lag2
1	273.5	273.5	0.0	686.0	0.0	0.0

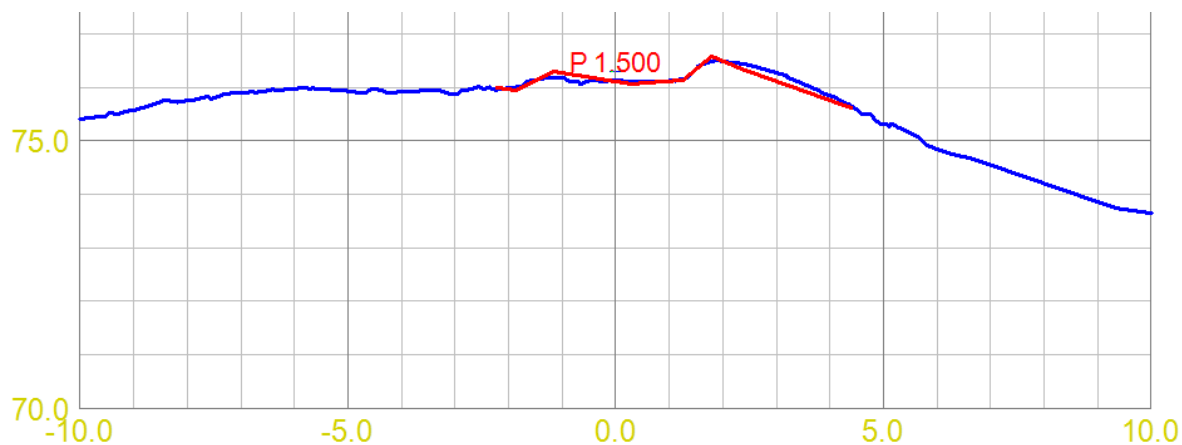
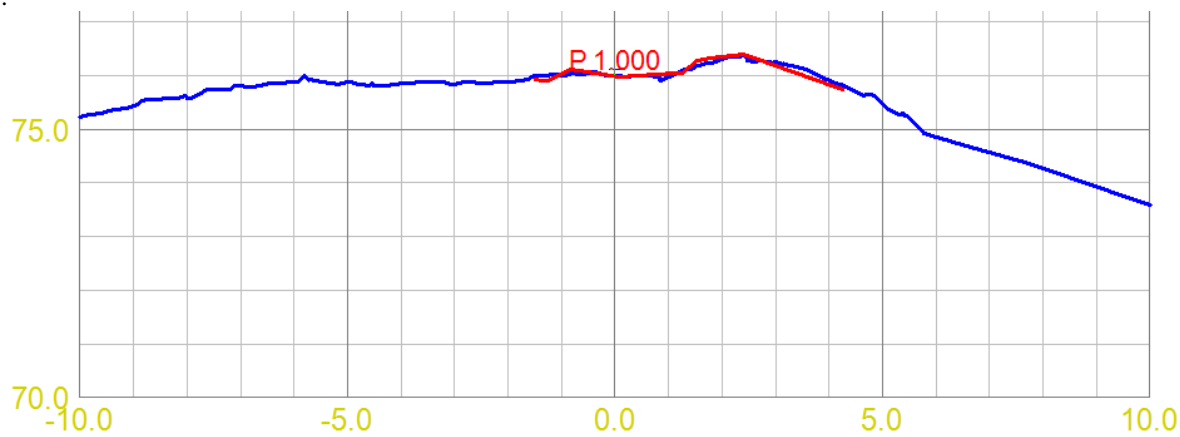
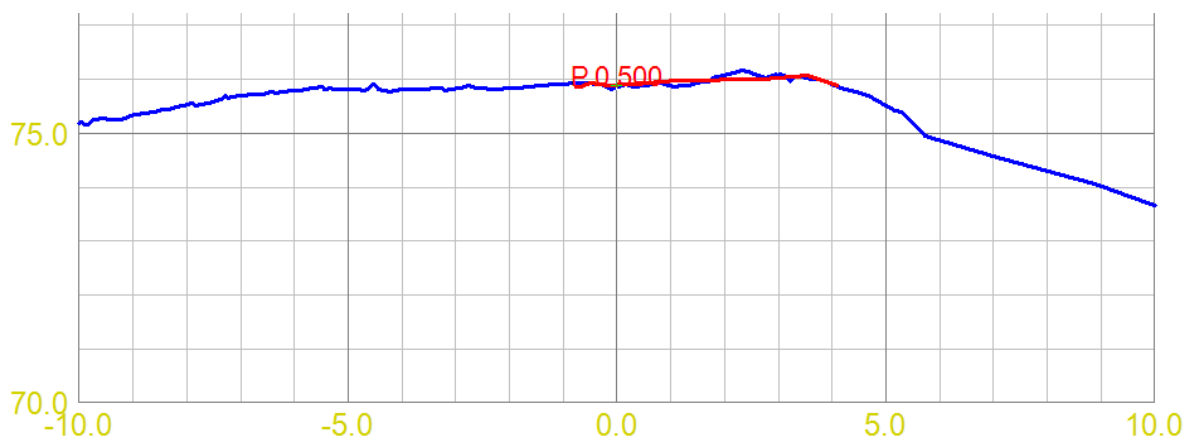
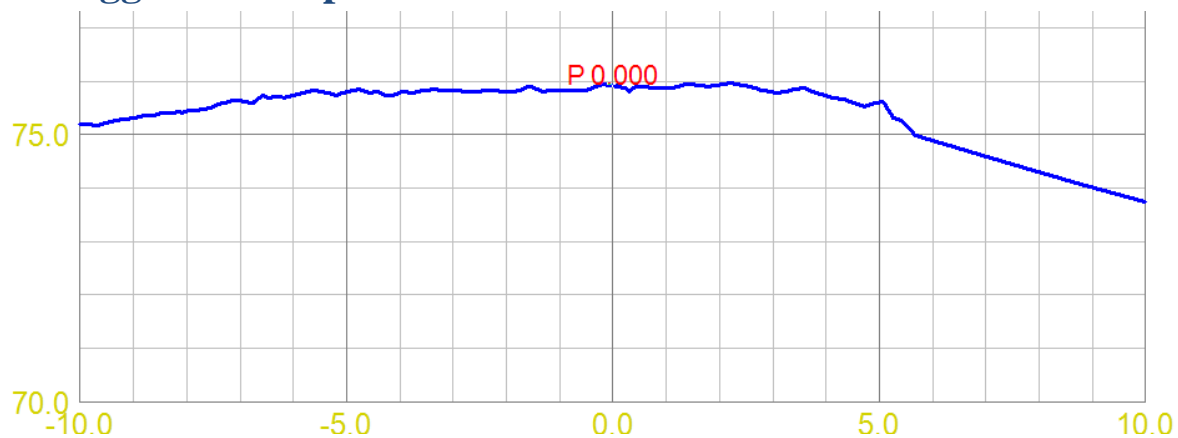
Integral størrelse: 0.100 x 0.100 - 0.010000 m2

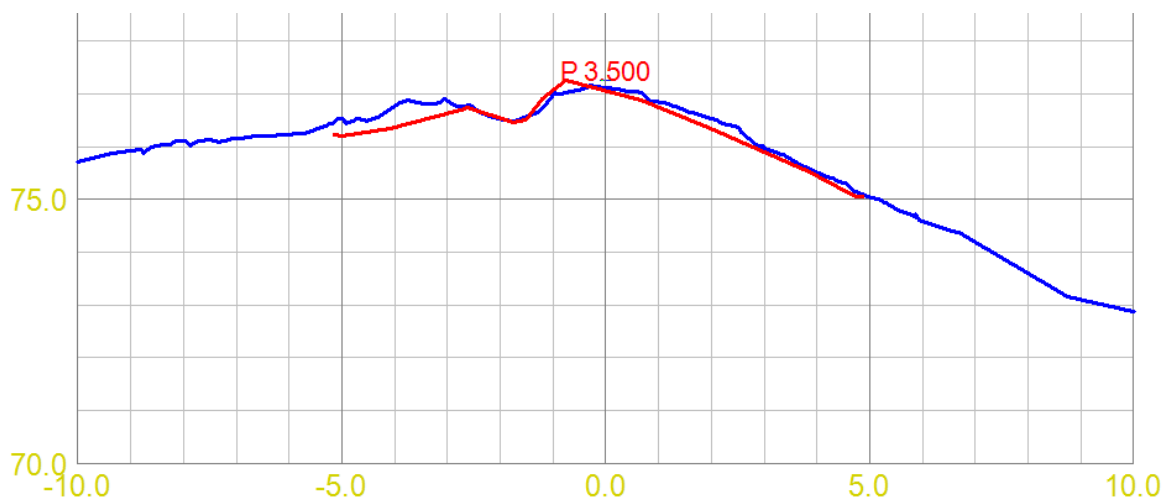
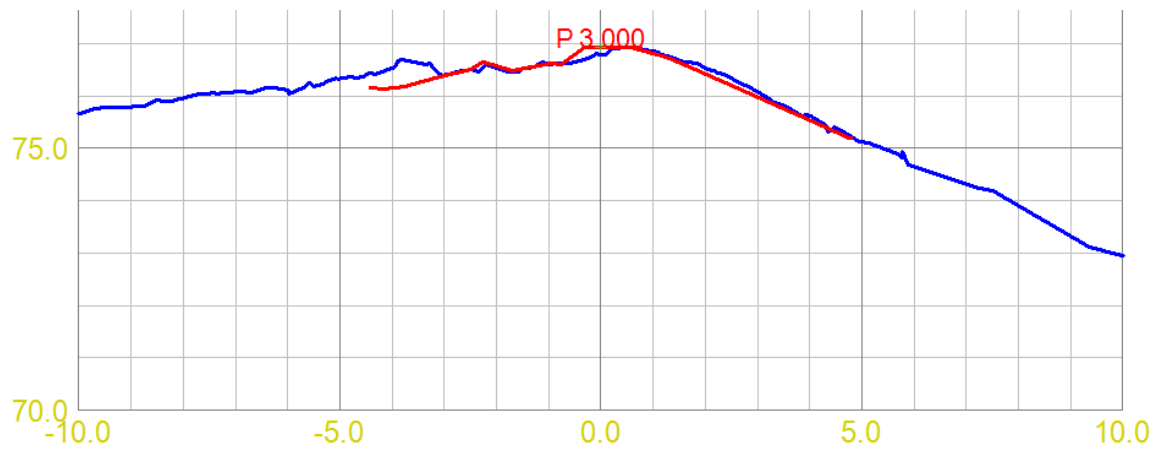
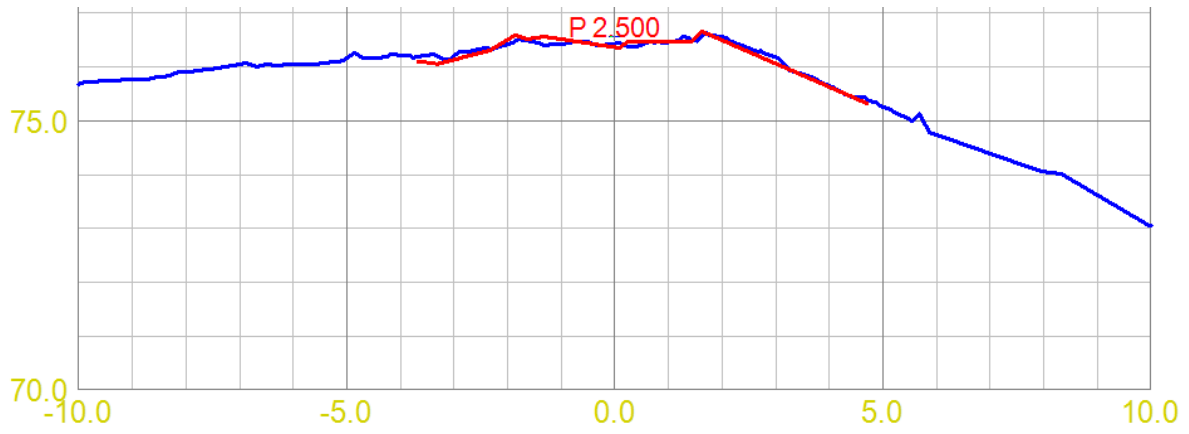
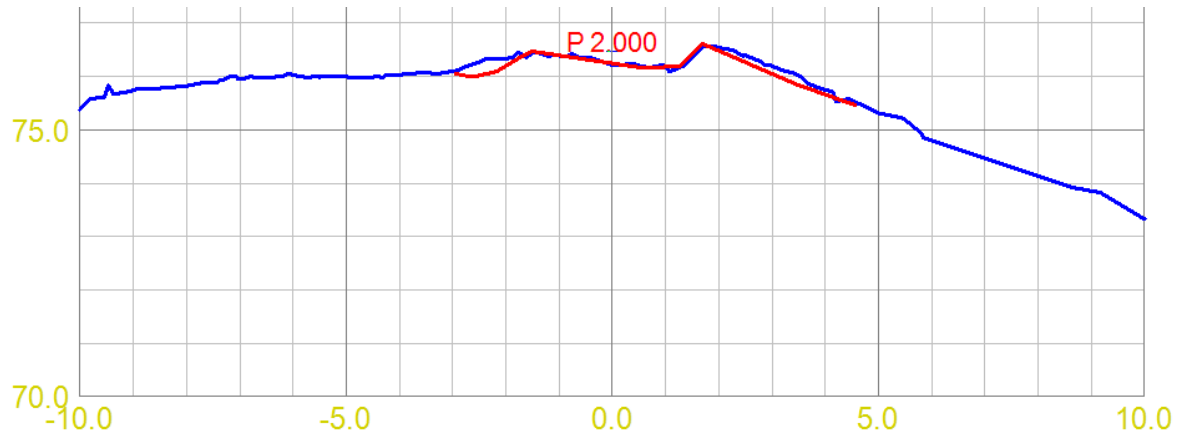
Integraler og korreksjonsverdier for hovedinngrep

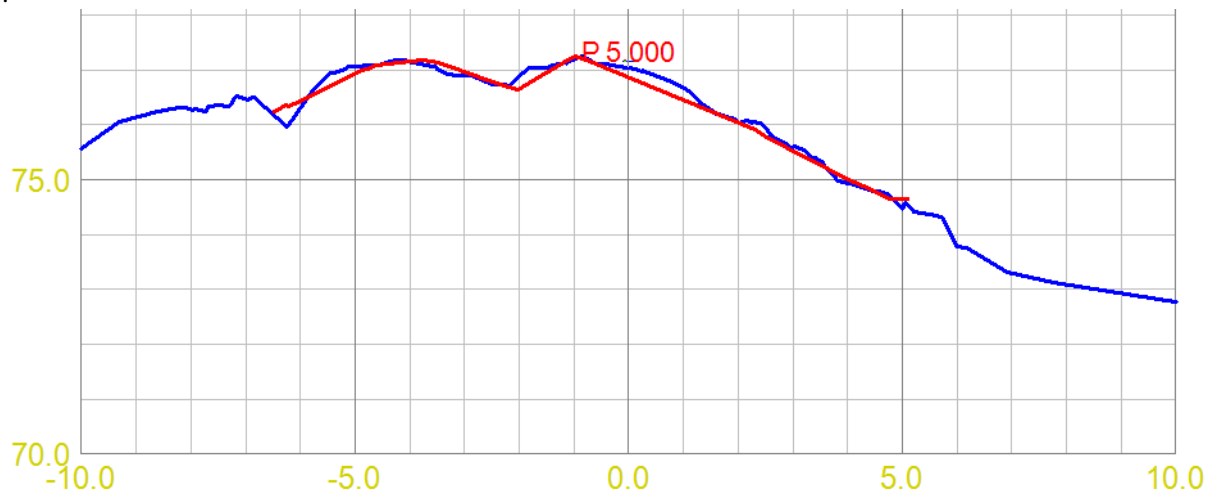
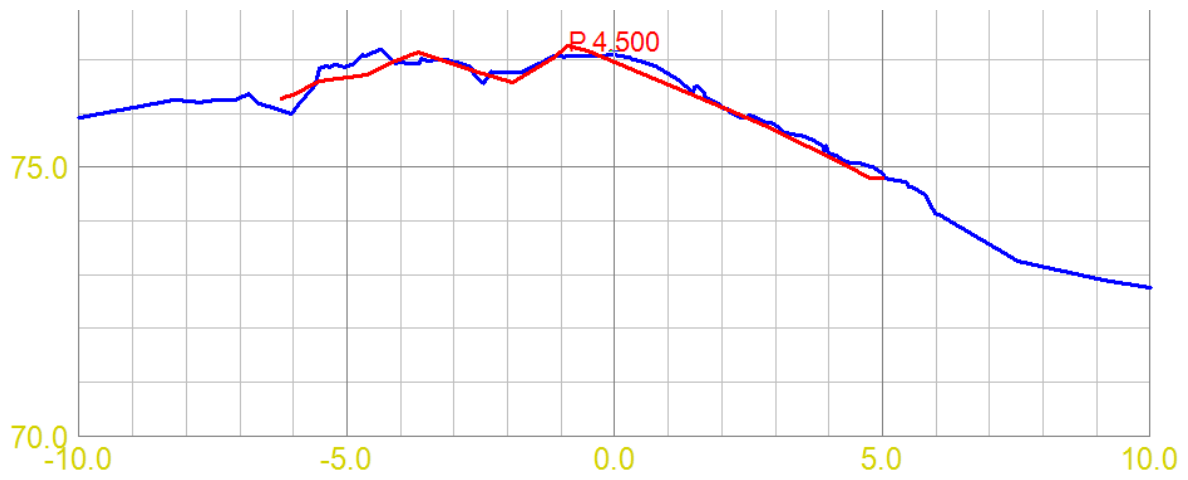
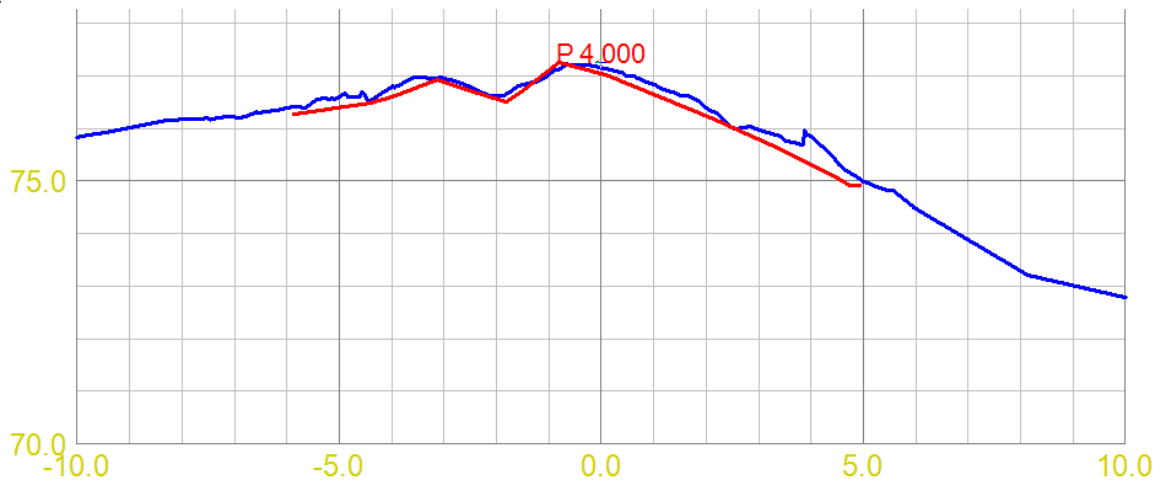
Inngr.nr.	#Integraler	#Fylling	#Skjæring	#Udefin.	Korr.faktor	Subintegral
1	27348	27347	0	1	1.0001049346	

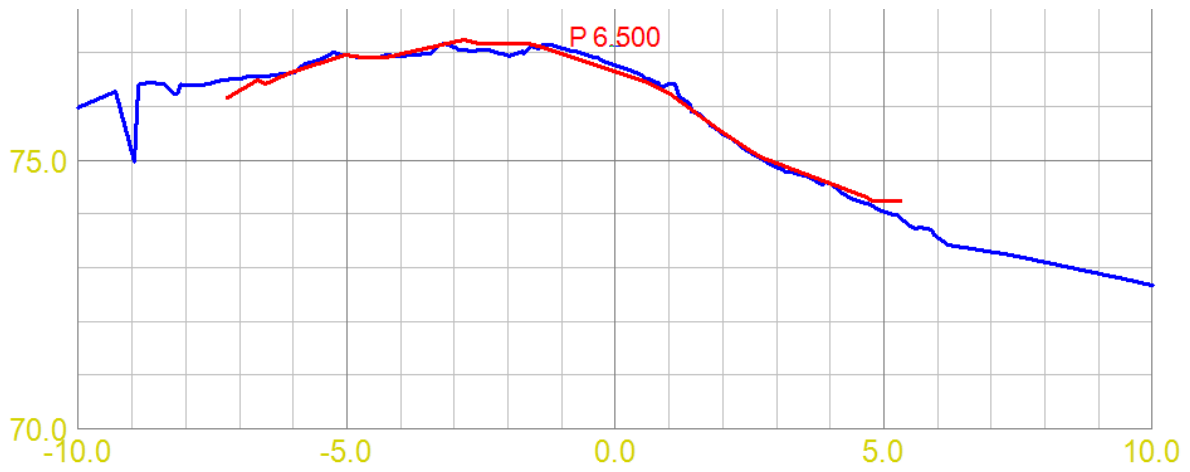
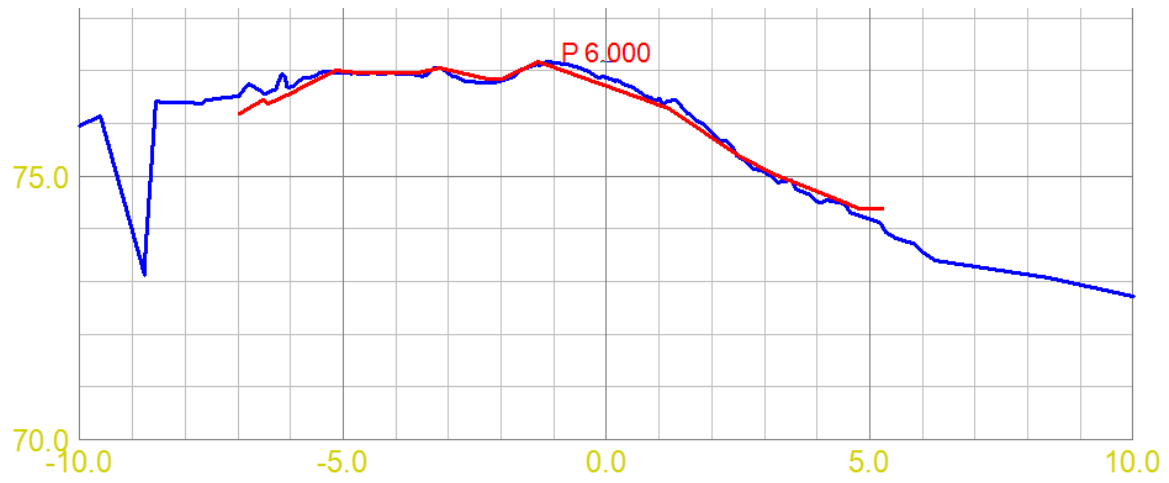
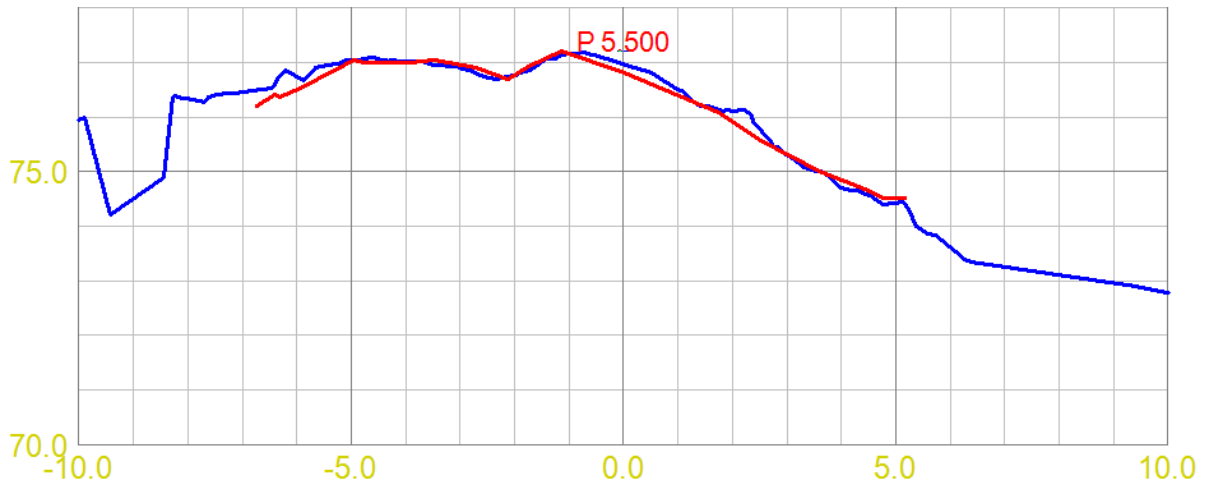
Masseberegninger er foretatt med integralmetoden i Gemini Terreng og Entreprenør 7.3.

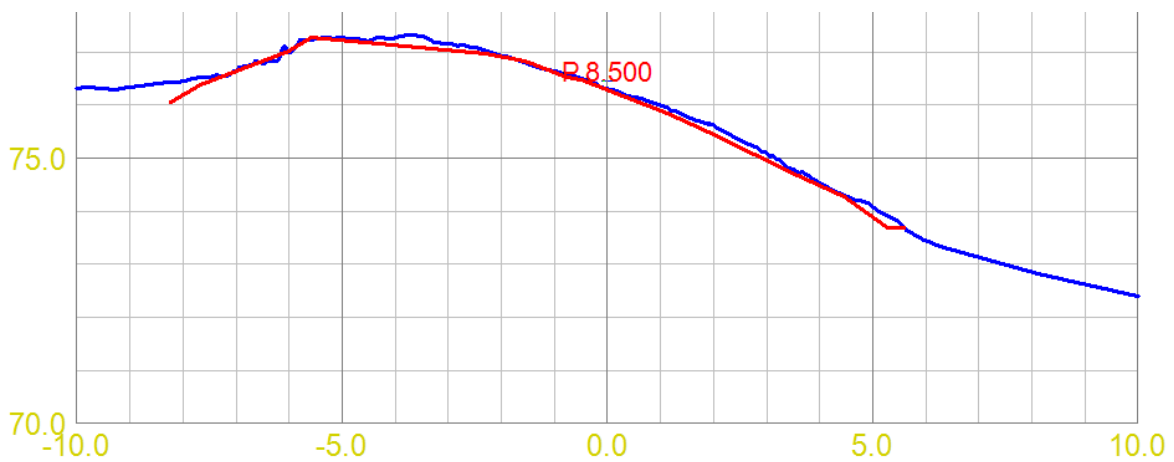
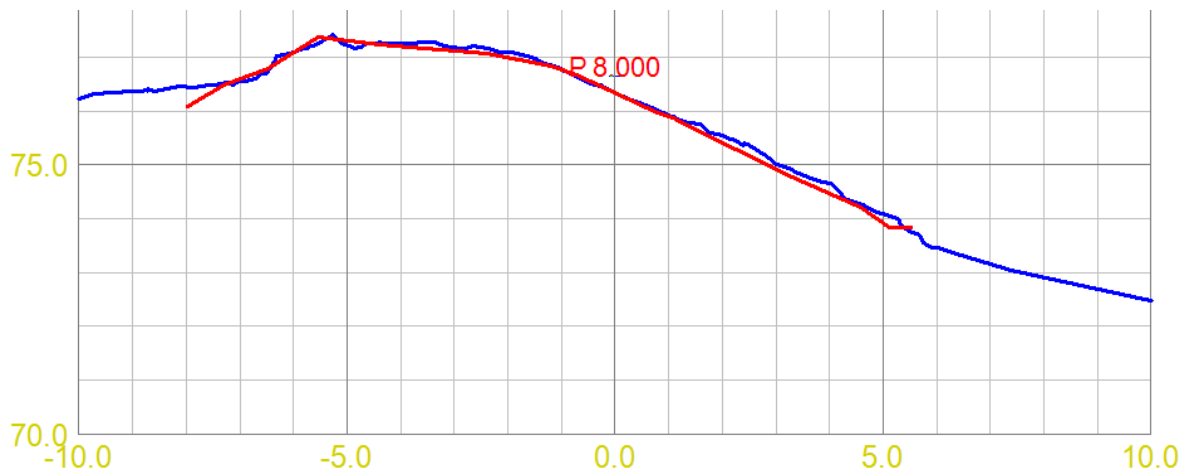
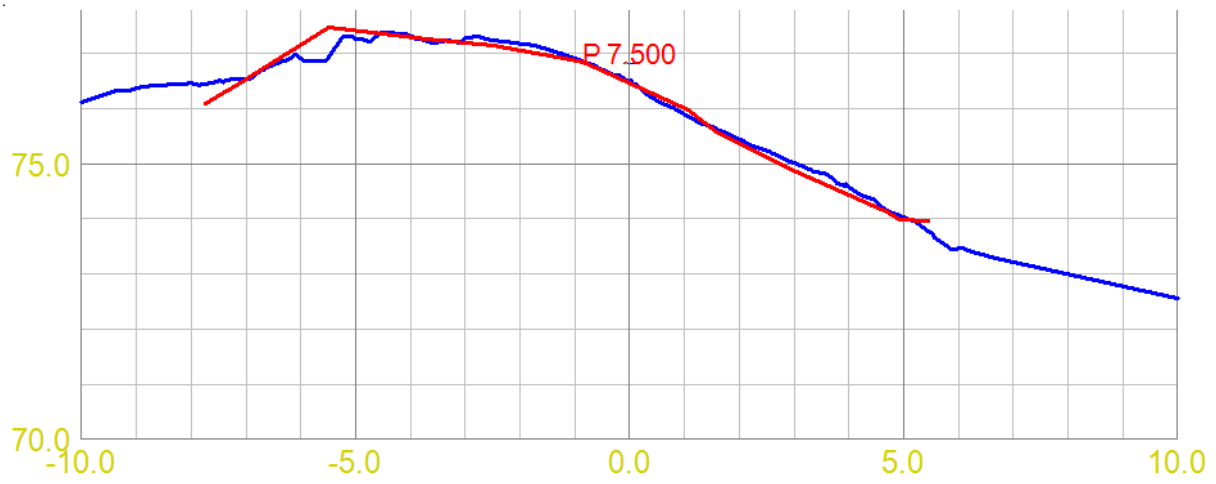
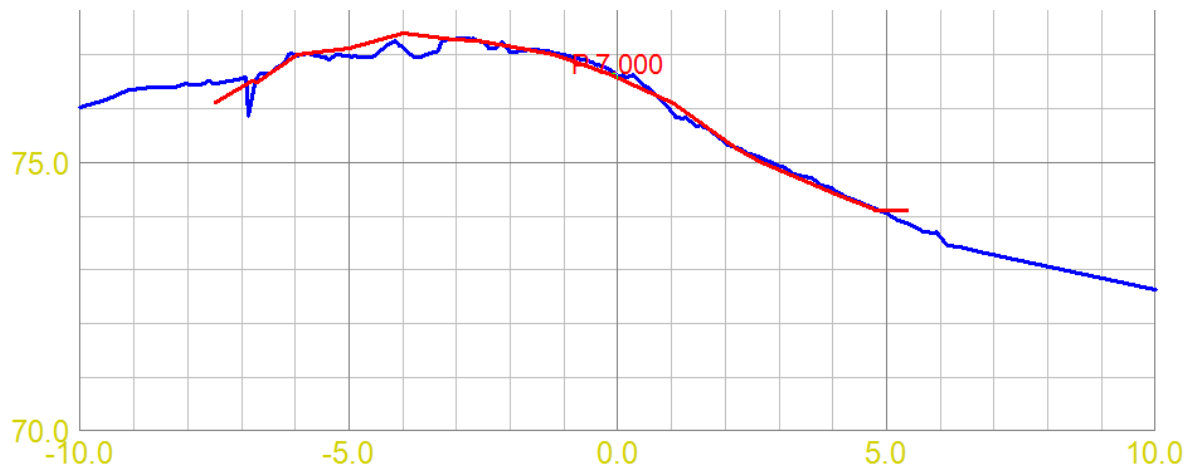
Vedlegg 5 – Tverrprofiler

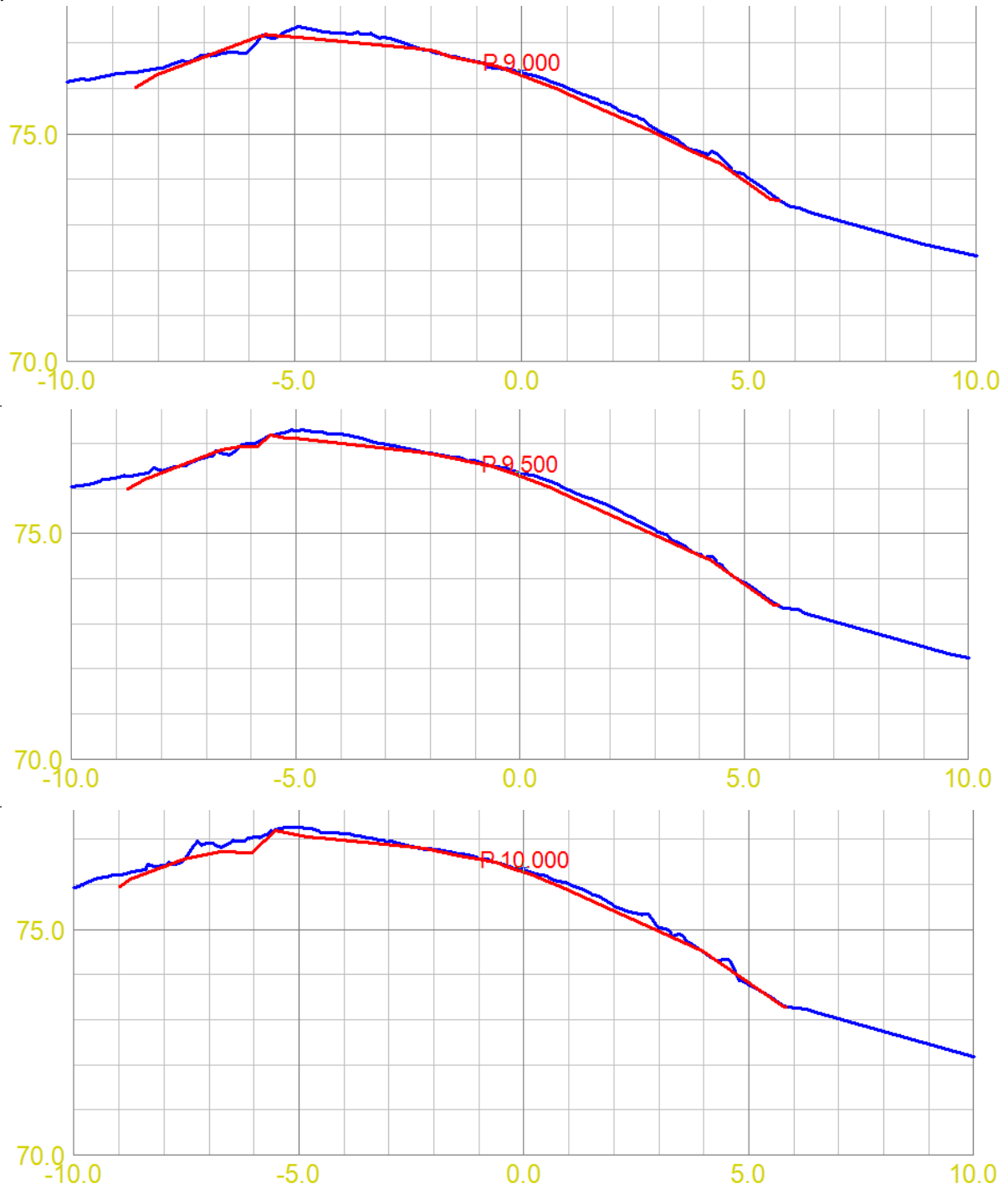


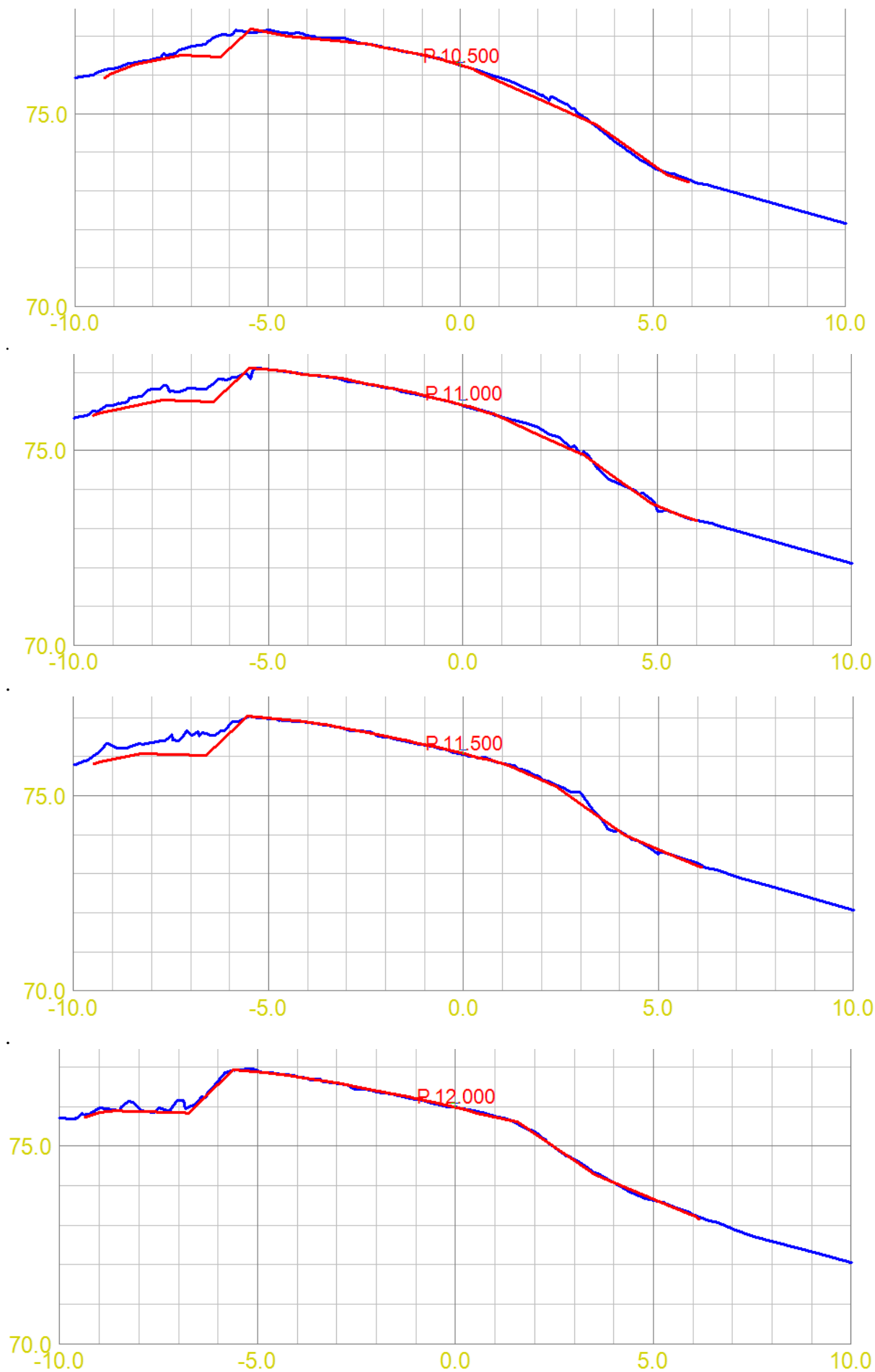


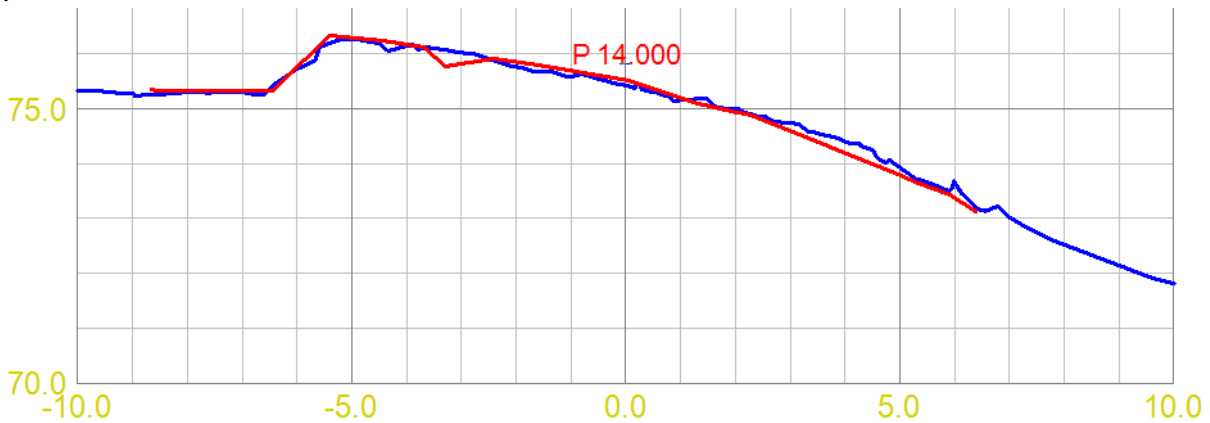
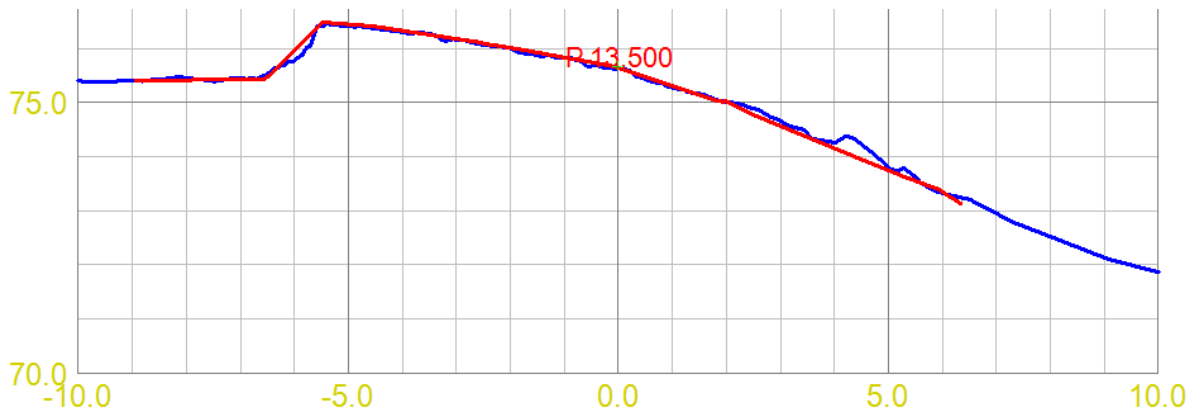
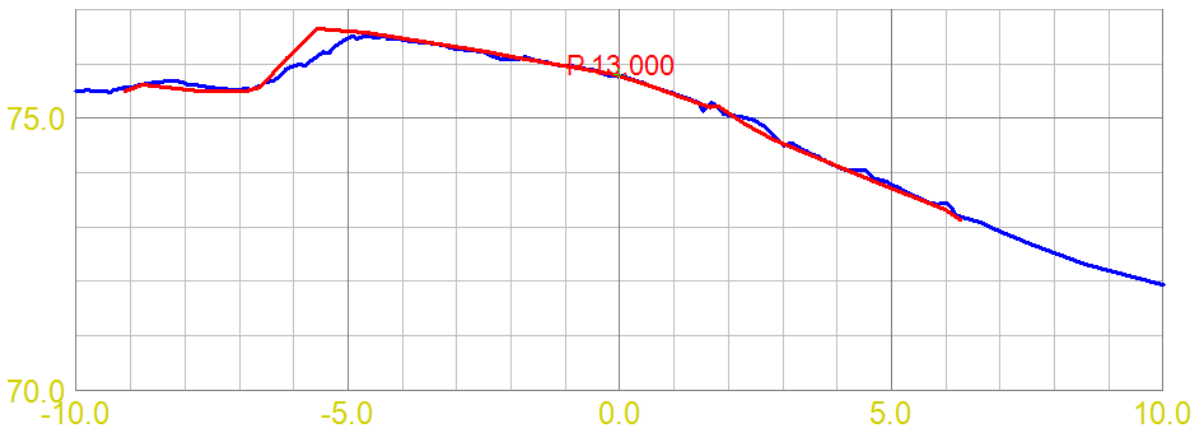
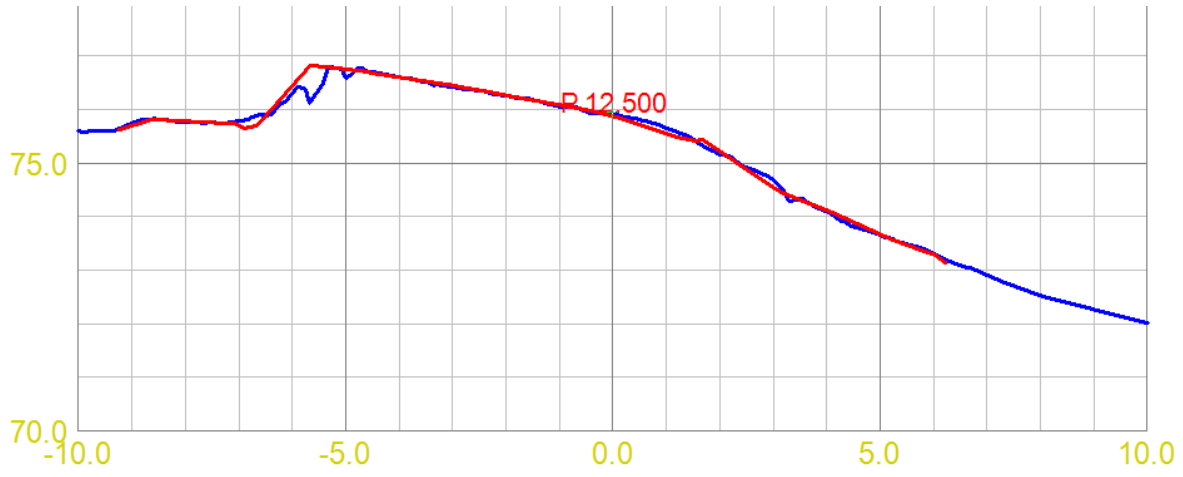


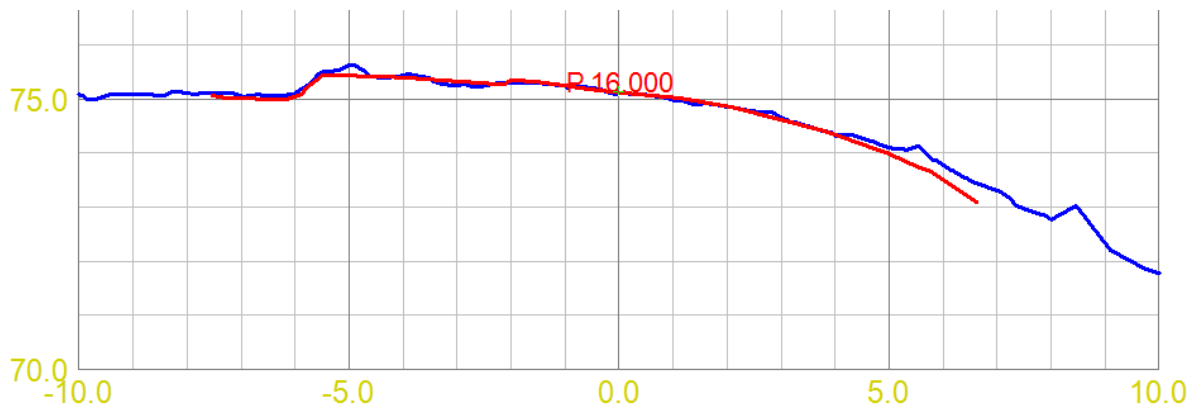
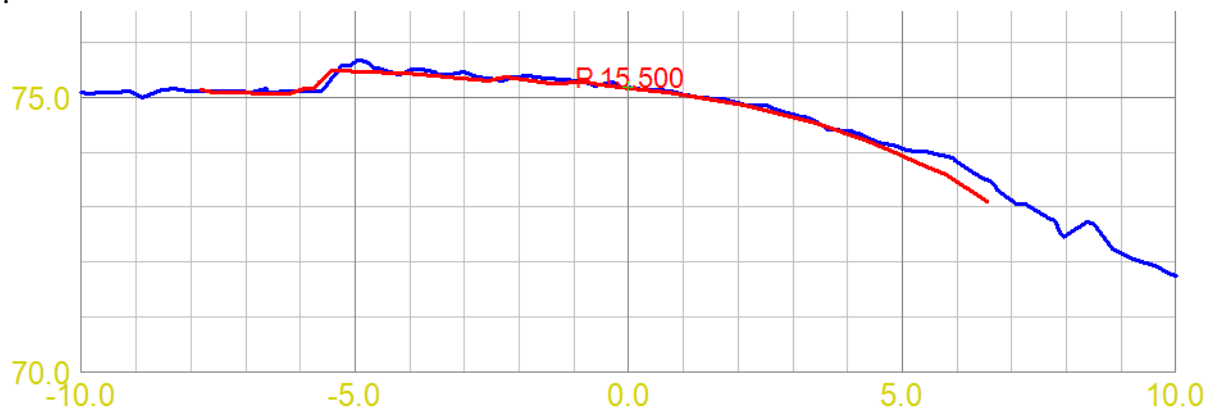
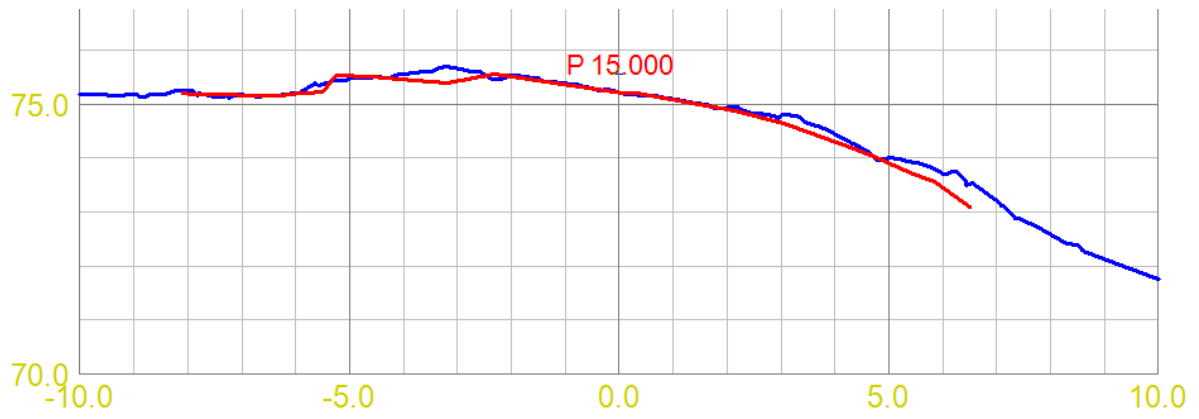
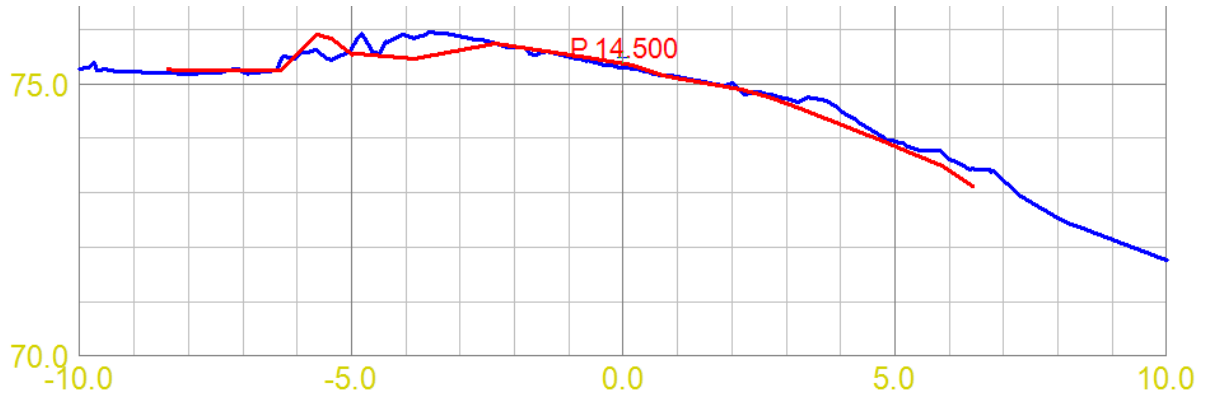


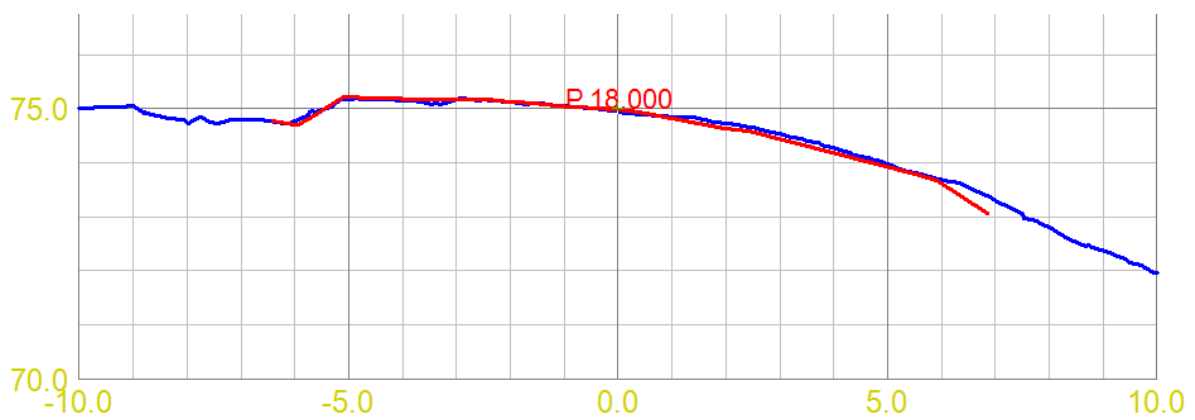
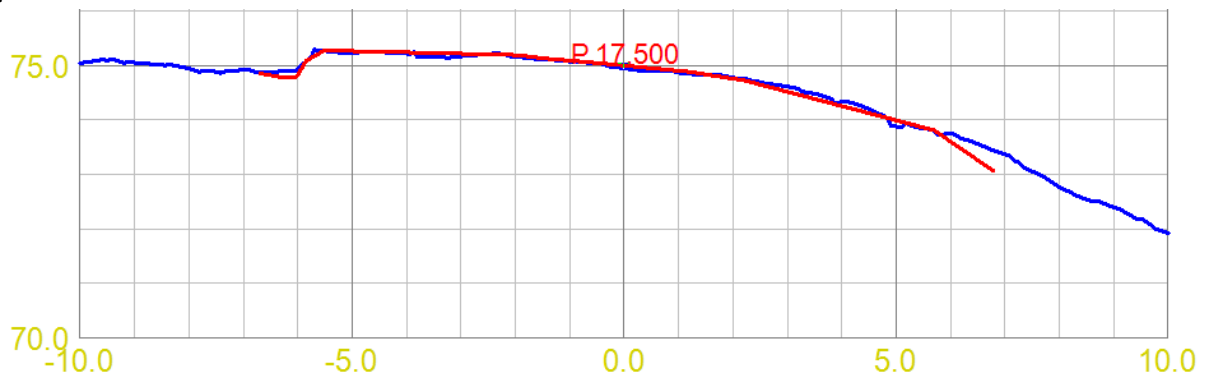
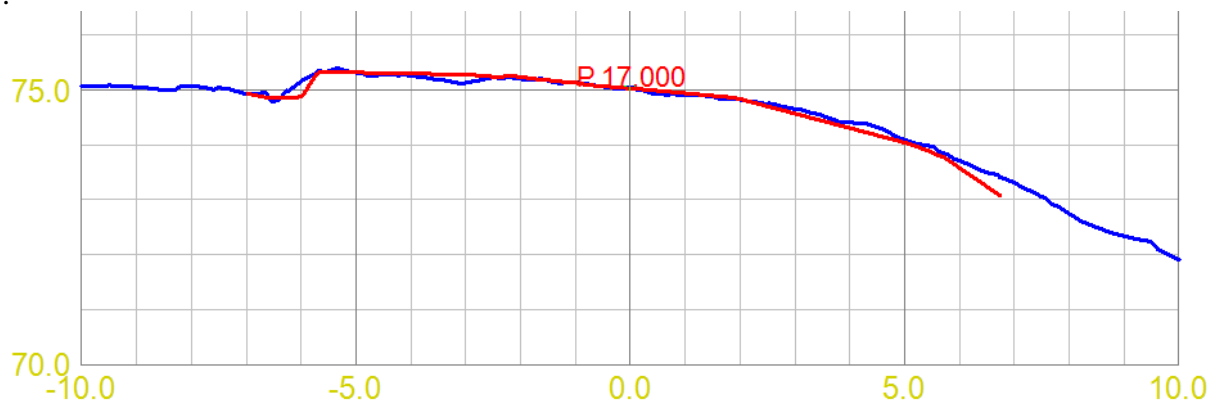
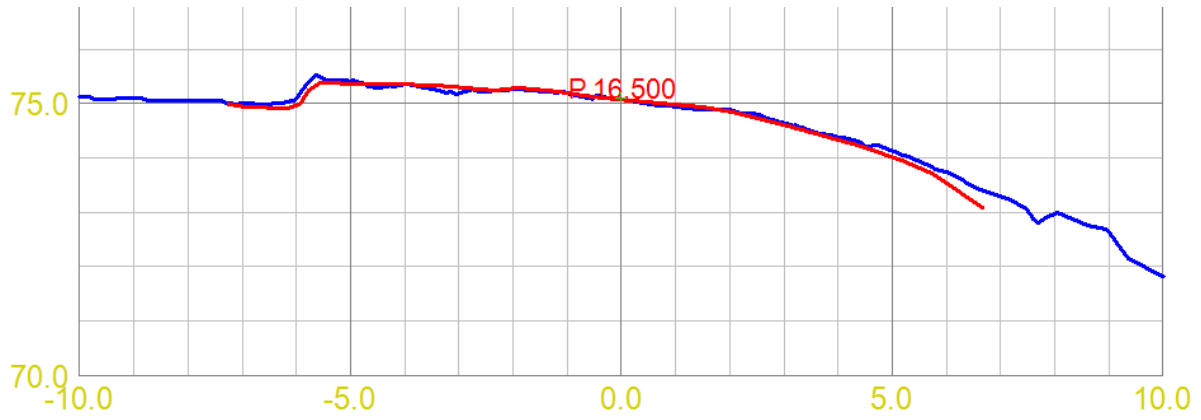


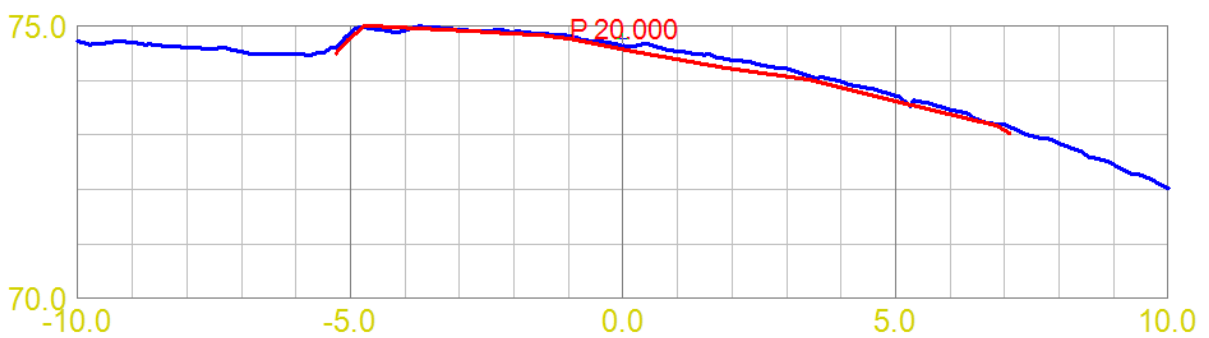
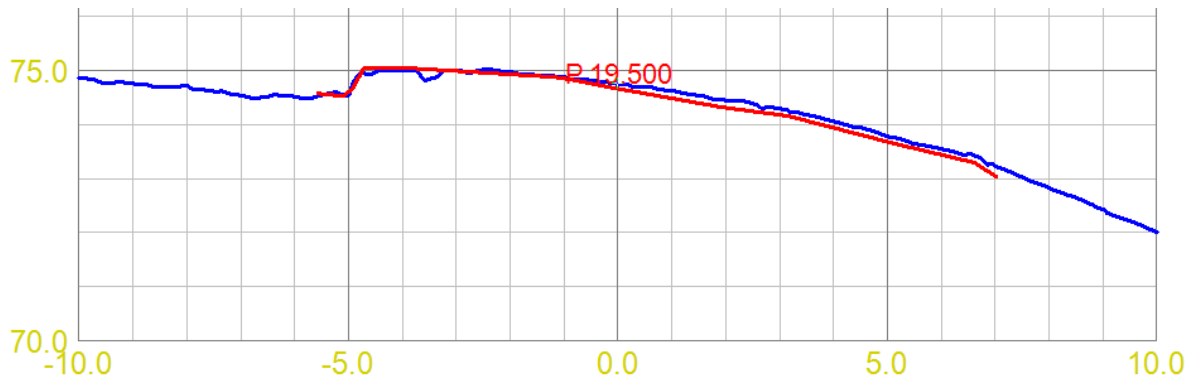
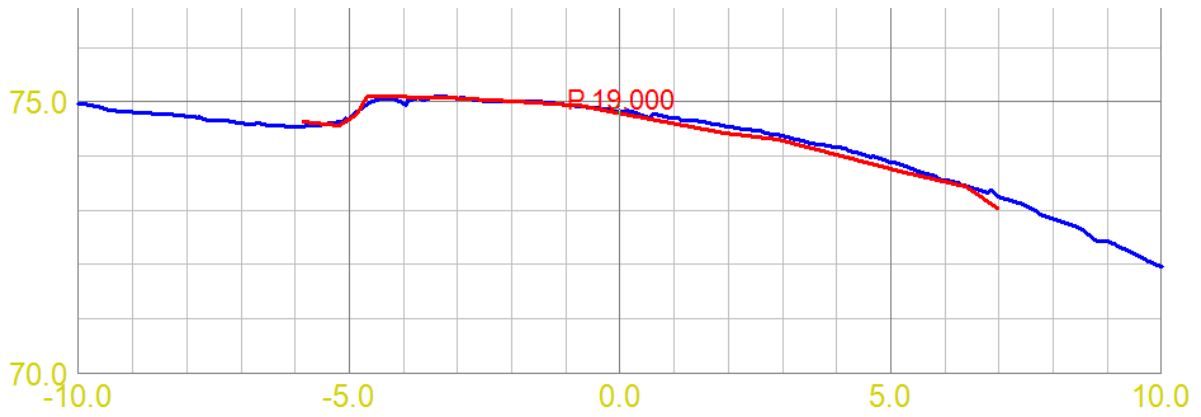
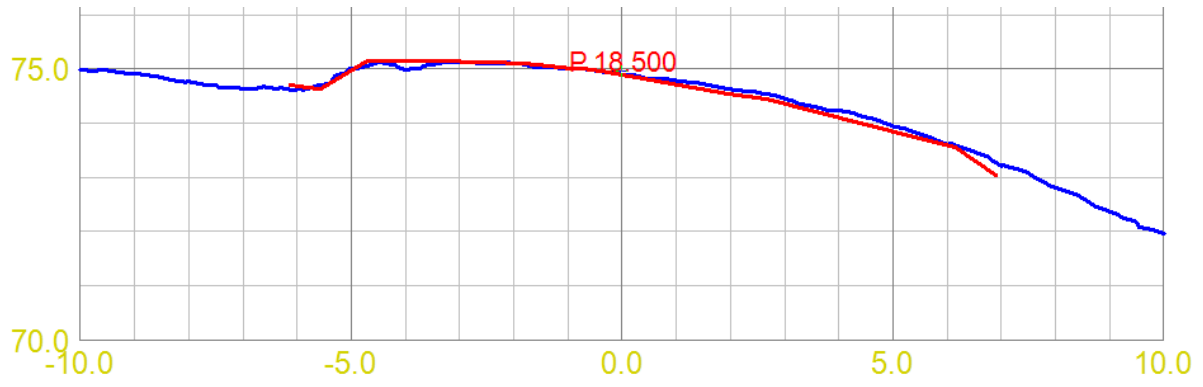


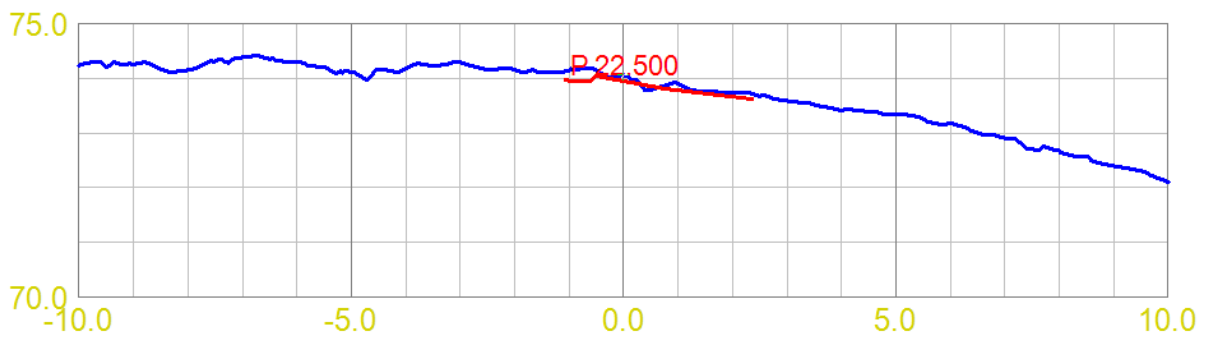
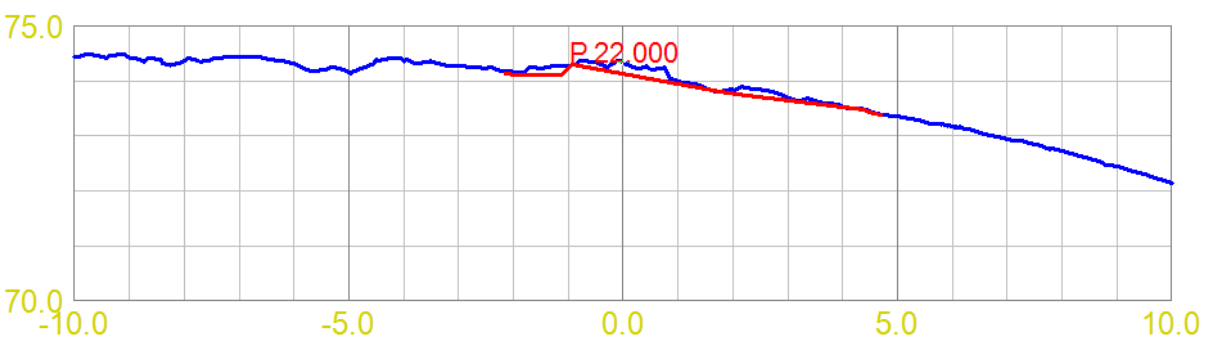
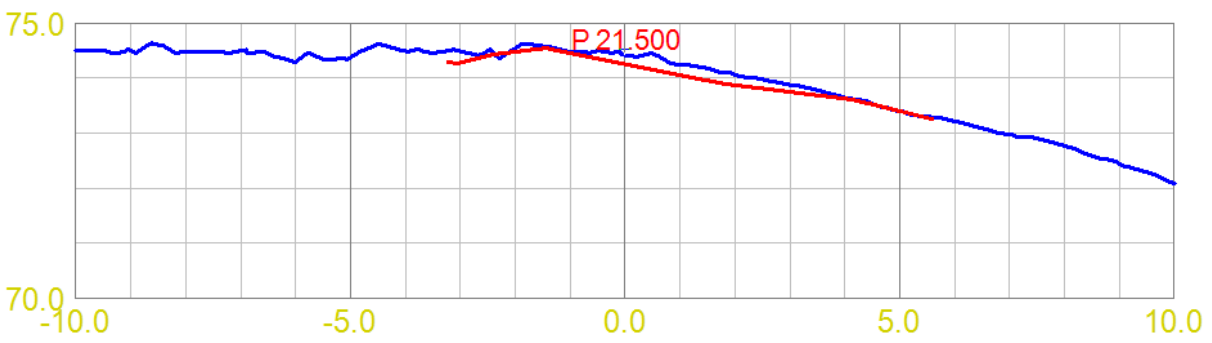
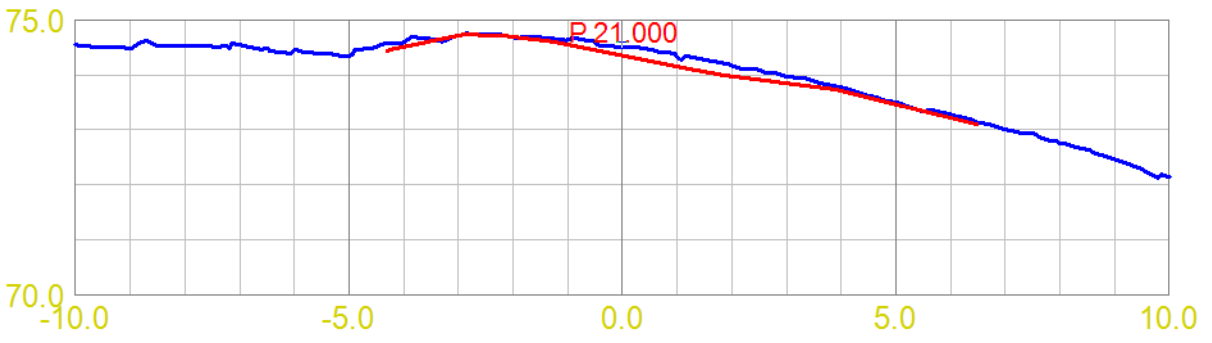
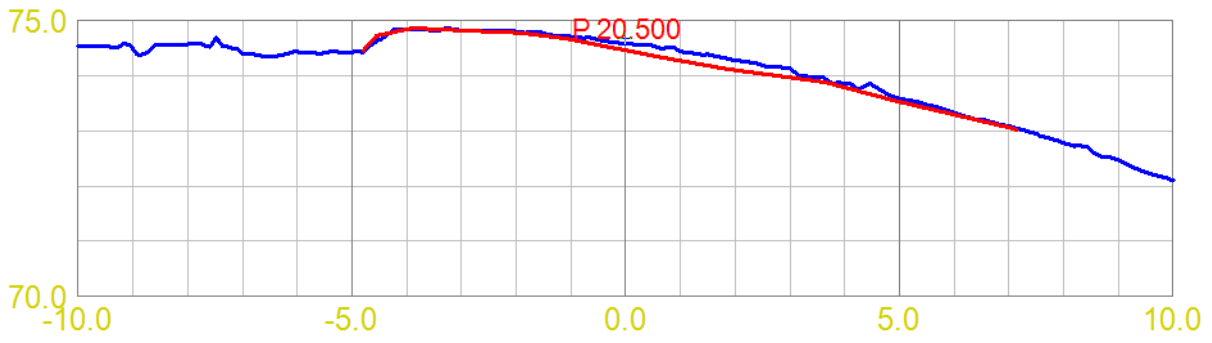












Vedlegg 6 – Geometriske kontroller

6.1 Geometrisk kontroll for fjellknausens kuperte partier



Geometrisk kontroll

Kontrolltype:	Triangelnett	Flatekontroll
App.lag punkter:	Profilerte data_geo.aly	Differanse: Loddrett
Geo. kontroll mot:	Flydata_geo.aly: Triangle 1	Min. tol.: -50 mm
Offset:	0,000	Max. tol.: 50 mm

Punkt	Teo. høyde	Flatekontroll			Øst	Målt punkt		Høyde
		Differanse	Forkastet	Flate		Nord	Høyde	
1000	76,540	0,030			599474,091	6644202,239	76,570	
1001	76,001	-0,100	X		599470,663	6644199,315	75,901	
1002	75,469	-0,030			599468,426	6644199,677	75,439	
1003	75,612	-0,081	X		599468,788	6644201,757	75,531	
1004	75,774	-0,028			599469,119	6644201,674	75,746	
1005	75,799	-0,001			599469,094	6644200,209	75,798	
1006	75,975	-0,052	X		599469,882	6644200,216	75,923	
1007	76,086	-0,213	X		599469,743	6644202,060	75,873	
1008	75,495	-0,075	X		599468,021	6644202,132	75,420	
1009	75,236	-0,054	X		599466,688	6644202,337	75,182	
1010	75,453	-0,208	X		599466,735	6644203,215	75,245	
1011	75,086	0,066	X		599465,815	6644202,658	75,152	
1012	74,853	-0,133	X		599463,713	6644202,253	74,720	
1013	74,589	-0,055	X		599462,173	6644203,219	74,534	
1014	74,620	-0,109	X		599461,560	6644202,836	74,511	
1015	74,572	-0,126	X		599460,417	6644203,746	74,446	
1016	74,308	-0,119	X		599459,521	6644205,541	74,189	
1017	74,334	-0,189	X		599459,295	6644206,701	74,145	
1018	73,933	-0,095	X		599458,137	6644207,774	73,838	
1019	73,856	-0,060	X		599458,938	6644209,788	73,796	
1026	74,545	-0,022			599459,649	6644206,667	74,523	
1027	74,702	-0,024			599459,989	6644205,685	74,678	
1028	74,958	0,031			599461,363	6644203,375	74,989	
1029	75,073	0,069	X		599462,881	6644203,617	75,142	
1030	75,305	0,006			599464,219	6644202,667	75,311	
1031	75,423	0,104	X		599466,324	6644203,186	75,527	
1032	75,789	-0,222	X		599466,973	6644203,669	75,567	
1033	75,748	-0,246	X		599467,054	6644204,521	75,502	
1034	75,432	-0,016			599465,518	6644204,420	75,416	

1041	75,776	0,408	X		599467,208	6644204,227	76,184
1042	75,854	0,376	X		599467,127	6644203,236	76,230
1043	76,421	0,065	X		599467,976	6644203,216	76,486
1044	76,641	0,022			599468,692	6644203,988	76,663
1045	77,166	0,038			599470,837	6644203,471	77,204
1046	77,125	0,063	X		599472,557	6644203,406	77,188
1047	77,035	0,474	X		599474,137	6644203,710	77,509
1048	77,247	0,066	X		599474,513	6644206,558	77,313
1049	77,069	0,067	X		599474,664	6644207,773	77,136
1050	77,161	0,101	X		599476,227	6644208,445	77,262
1051	76,906	0,355	X		599477,698	6644208,741	77,261
1052	76,635	0,035			599478,144	6644211,113	76,670
1053	76,367	0,193	X		599479,592	6644211,474	76,560
1054	75,817	0,118	X		599480,378	6644213,751	75,935
1055	75,358	-0,057	X		599477,997	6644214,262	75,301
1056	75,023	-0,044			599476,022	6644213,694	74,979
1057	75,916	-0,073	X		599475,969	6644211,861	75,843
1058	76,538	-0,202	X		599474,761	6644210,236	76,336
1059	76,853	0,003			599473,501	6644208,247	76,856
1060	76,803	-0,003			599471,873	6644206,862	76,800
1061	76,501	-0,024			599472,715	6644208,589	76,477
1062	75,871	-0,012			599473,026	6644210,205	75,859
1063	75,081	-0,023			599474,077	6644211,748	75,058
1064	74,154	-0,070	X		599473,502	6644213,952	74,084
1065	73,301	-0,008			599470,622	6644214,729	73,293
1066	74,421	0,044			599470,877	6644213,087	74,465
1067	75,049	-0,104	X		599469,638	6644211,804	74,945
1068	75,576	0,049			599468,918	6644210,318	75,625
1069	75,087	-0,035			599467,504	6644210,527	75,052
1070	74,323	-0,037			599468,792	6644212,288	74,286
1071	73,499	0,001			599469,836	6644214,013	73,500
1072	73,209	-0,047			599469,049	6644214,894	73,162
1073	73,824	-0,176	X		599467,215	6644213,868	73,648
1074	74,143	-0,060	X		599465,442	6644213,145	74,083
1075	76,574	-0,158	X		599474,925	6644202,691	76,416
1076	76,912	-0,037			599474,590	6644204,504	76,875
1077	76,953	0,019			599475,471	6644205,990	76,972
1078	76,758	-0,017			599475,351	6644207,114	76,741
1079	76,487	-0,023			599477,474	6644207,700	76,464
1080	76,651	-0,010			599478,003	6644208,620	76,641
1081	76,244	-0,047			599478,762	6644210,180	76,197
1082	76,263	-0,032			599478,696	6644210,836	76,231
1083	76,003	0,001			599480,132	6644210,927	76,004
1084	76,011	0,024			599480,196	6644211,455	76,035
1085	75,844	-0,013			599480,832	6644209,458	75,831
1086	76,054	-0,094	X		599479,475	6644207,550	75,960
1087	76,299	-0,223	X		599478,669	6644206,039	76,076
1088	76,679	-0,147	X		599477,196	6644204,901	76,532
1089	76,443	-0,156	X		599477,384	6644203,415	76,287
1090	76,752	-0,132	X		599475,330	6644203,313	76,620
1091	77,021	-0,016			599475,132	6644204,016	77,005
1092	77,101	-0,051	X		599476,327	6644204,560	77,050
1093	77,231	0,017			599476,592	6644205,486	77,248

1094	76,815	-0,072	X		599477,647	6644206,782	76,743
1095	76,491	0,033			599478,987	6644207,994	76,524

Totalt antall målepunkt: 84
Punkt innenfor krav: 38
Punkt utenfor krav (avvist): 46

Standardavvik: 0,127
Middel: -0,019
Minimum: -0,246
Maksimum: 0,474
Minimum absolutt verdi: 0,001
Maksimum absolutt verdi: 0,474

6.2 Geometrisk kontroll for fjellknausens jevne partier



Geometrisk kontroll

Kontrolltype: Triangelnett
App.lag punkter: Profilerte data_geo.aly
Geo. kontroll mot: Flydata_geo.aly: Triangle 1
Offset: 0,000

Flatekontroll
Differanse: Loddrett
Min. tol.: -50 mm
Max. tol.: 50 mm

Punkt	Teo. høyde	Flatekontroll			Målt punkt		
		Differanse	Forkastet	Flate	Øst	Nord	Høyde
1020	73,464	-0,036			599458,572	6644212,397	73,428
1021	73,056	-0,043			599459,846	6644215,201	73,013
1022	73,828	-0,004			599463,144	6644213,981	73,824
1023	74,407	0,002			599464,688	6644212,282	74,409
1024	74,831	-0,008			599463,728	6644210,353	74,823
1025	74,970	0,010			599462,436	6644207,544	74,980
1035	75,290	-0,014			599465,453	6644206,259	75,276
1036	75,186	0,018			599466,090	6644208,809	75,204
1037	74,920	-0,014			599466,953	6644210,835	74,906
1038	75,320	-0,029			599468,120	6644210,293	75,291
1039	75,762	0,035			599467,937	6644208,556	75,797
1040	75,989	0,054	X		599467,561	6644206,201	76,043
1097	75,029	0,014			599465,139	6644195,357	75,043
1098	75,085	-0,041			599464,873	6644195,641	75,044
1099	75,029	0,001			599464,567	6644196,051	75,030
1100	75,005	0,011			599464,268	6644196,550	75,016
1101	75,012	-0,003			599464,563	6644196,859	75,009
1102	75,015	0,009			599464,842	6644196,522	75,024
1103	75,016	0,028			599465,211	6644196,166	75,044
1104	75,072	0,003			599465,553	6644195,830	75,075
1105	75,110	-0,004			599465,931	6644195,525	75,106
1106	75,146	0,012			599466,297	6644195,867	75,158
1107	75,103	0,011			599466,016	6644196,165	75,114
1108	75,059	0,014			599465,630	6644196,534	75,073
1109	75,069	-0,028			599465,295	6644196,911	75,041
1110	74,996	0,024			599464,935	6644197,295	75,020
1111	75,061	-0,007			599465,247	6644197,573	75,054
1112	75,074	-0,009			599465,626	6644197,289	75,065
1113	75,087	0,022			599466,019	6644196,919	75,109

1114	75,155	-0,017		599466,365	6644196,550	75,138
1115	75,184	0,026		599466,755	6644196,264	75,210
1116	75,215	-0,005		599467,015	6644196,550	75,210
1117	75,176	-0,002		599466,642	6644196,828	75,174
1118	75,146	-0,006		599466,248	6644196,997	75,140
1119	75,100	-0,011		599465,798	6644197,119	75,089
1120	75,082	-0,006		599465,549	6644197,442	75,076
1121	75,104	0,026		599462,790	6644205,849	75,130
1122	75,082	0,018		599462,751	6644206,432	75,100
1123	75,025	0,011		599462,754	6644207,150	75,036
1124	74,970	0,023		599462,817	6644207,934	74,993
1125	75,028	0,011		599463,156	6644207,476	75,039
1126	75,098	-0,009		599463,303	6644206,854	75,089
1127	75,121	0,007		599463,284	6644206,334	75,128
1128	75,169	0,009		599463,352	6644205,881	75,178
1129	75,205	0,008		599463,738	6644205,864	75,213
1130	75,176	0,021		599463,813	6644206,345	75,197
1131	75,128	0,032		599463,979	6644206,824	75,160
1132	75,123	0,005		599464,061	6644207,315	75,128
1133	75,077	0,003		599464,169	6644207,879	75,080
1134	75,153	0,019		599464,788	6644207,653	75,172
1135	75,232	0,007		599464,776	6644207,251	75,239
1136	75,259	0,008		599464,709	6644206,774	75,267
1137	75,272	0,015		599464,695	6644206,508	75,287
1138	75,304	0,043		599465,245	6644206,466	75,347
1139	75,325	-0,003		599465,293	6644206,999	75,322
1140	75,253	-0,004		599465,304	6644207,523	75,249
1141	75,937	0,010		599469,197	6644209,098	75,947
1142	75,999	-0,019		599469,624	6644209,289	75,980
1143	75,980	-0,003		599470,093	6644209,548	75,977
1144	76,113	0,011		599470,293	6644209,269	76,124
1145	76,108	0,028		599470,039	6644209,016	76,136
1146	76,136	0,035		599469,752	6644208,666	76,171
1147	76,165	0,011		599469,417	6644208,252	76,176
1148	76,180	0,023		599469,078	6644207,740	76,203
1149	76,359	0,013		599469,506	6644207,430	76,372
1150	76,350	0,009		599469,808	6644207,802	76,359
1151	76,356	-0,002		599470,188	6644208,246	76,354
1152	76,347	0,002		599470,564	6644208,611	76,349
1153	76,471	0,019		599470,847	6644208,279	76,490
1154	76,499	0,018		599470,603	6644207,991	76,517
1155	76,534	0,027		599470,354	6644207,478	76,561
1156	76,556	0,046		599470,041	6644206,909	76,602
1157	76,662	-0,008		599469,871	6644206,400	76,654
1158	76,701	0,037		599469,829	6644205,838	76,738
1159	76,784	0,011		599469,794	6644205,431	76,795
1160	76,845	0,022		599469,762	6644204,885	76,867
1161	76,928	0,001		599470,159	6644204,892	76,929
1162	76,865	0,026		599470,231	6644205,436	76,891
1163	76,796	0,039		599470,263	6644205,847	76,835
1164	76,763	0,006		599470,406	6644206,325	76,769
1165	76,745	-0,014		599470,612	6644206,752	76,731
1166	76,797	0,007		599470,967	6644206,735	76,804

1167	75,704	0,024		599483,808	6644209,889	75,728
1168	75,730	0,012		599483,596	6644209,703	75,742
1169	75,747	0,014		599483,444	6644209,417	75,761
1170	75,781	0,022		599483,253	6644209,076	75,803
1171	75,799	0,000		599483,036	6644209,134	75,799
1172	75,770	-0,001		599483,077	6644209,523	75,769
1173	75,710	0,040		599483,113	6644209,821	75,750
1174	75,749	-0,008		599483,197	6644210,184	75,741
1175	75,741	-0,002		599483,021	6644210,524	75,739
1176	75,740	0,003		599482,693	6644210,252	75,743
1177	75,766	-0,002		599482,553	6644209,915	75,764
1178	75,782	-0,009		599482,480	6644209,673	75,773
1179	75,812	-0,017		599482,384	6644209,275	75,795
1180	75,808	-0,009		599482,069	6644209,272	75,799
1181	75,791	-0,004		599481,895	6644209,739	75,787
1182	75,777	-0,005		599481,729	6644210,204	75,772
1183	75,783	0,002		599481,523	6644210,690	75,785
1184	75,877	-0,049		599481,014	6644210,461	75,828
1185	75,933	-0,114	X	599481,194	6644209,965	75,819
1186	75,809	0,009		599481,506	6644209,381	75,818
1187	75,817	-0,009		599481,760	6644208,808	75,808

Totalt antall målepunkt: 103
Punkt innenfor krav: 101
Punkt utenfor krav (avvist): 2

Standardavvik: 0,022
Middel: 0,005
Minimum: -0,114
Maksimum: 0,054
Minimum absolutt verdi: 0,000
Maksimum absolutt verdi: 0,114

6.3 Geometrisk kontroll for samtlige profileringspunkter i testområdet



Geometrisk kontroll

Kontrolltype:	Triangelnett	Flatekontroll
App.lag punkter:	Profilerte data_geo.aly	Differanse: Loddrett
Geo. kontroll mot:	Flydata_geo.aly: Triangle 1	Min. tol.: -50 mm
Offset:	0,000	Max. tol.: 50 mm

Punkt	Teo. høyde	Differanse	Flatekontroll		Målt punkt		
			Forkastet	Flate	Øst	Nord	Høyde
1000	76,540	0,030			599474,091	6644202,239	76,570
1001	76,001	-0,100	X		599470,663	6644199,315	75,901
1002	75,469	-0,030			599468,426	6644199,677	75,439
1003	75,612	-0,081	X		599468,788	6644201,757	75,531
1004	75,774	-0,028			599469,119	6644201,674	75,746
1005	75,799	-0,001			599469,094	6644200,209	75,798
1006	75,975	-0,052	X		599469,882	6644200,216	75,923
1007	76,086	-0,213	X		599469,743	6644202,060	75,873
1008	75,495	-0,075	X		599468,021	6644202,132	75,420
1009	75,236	-0,054	X		599466,688	6644202,337	75,182
1010	75,453	-0,208	X		599466,735	6644203,215	75,245
1011	75,086	0,066	X		599465,815	6644202,658	75,152
1012	74,853	-0,133	X		599463,713	6644202,253	74,720
1013	74,589	-0,055	X		599462,173	6644203,219	74,534
1014	74,620	-0,109	X		599461,560	6644202,836	74,511
1015	74,572	-0,126	X		599460,417	6644203,746	74,446
1016	74,308	-0,119	X		599459,521	6644205,541	74,189
1017	74,334	-0,189	X		599459,295	6644206,701	74,145
1018	73,933	-0,095	X		599458,137	6644207,774	73,838
1019	73,856	-0,060	X		599458,938	6644209,788	73,796
1020	73,464	-0,036			599458,572	6644212,397	73,428
1021	73,056	-0,043			599459,846	6644215,201	73,013
1022	73,828	-0,004			599463,144	6644213,981	73,824
1023	74,407	0,002			599464,688	6644212,282	74,409
1024	74,831	-0,008			599463,728	6644210,353	74,823
1025	74,970	0,010			599462,436	6644207,544	74,980
1026	74,545	-0,022			599459,649	6644206,667	74,523
1027	74,702	-0,024			599459,989	6644205,685	74,678
1028	74,958	0,031			599461,363	6644203,375	74,989

1029	75,073	0,069	X		599462,881	6644203,617	75,142
1030	75,305	0,006			599464,219	6644202,667	75,311
1031	75,423	0,104	X		599466,324	6644203,186	75,527
1032	75,789	-0,222	X		599466,973	6644203,669	75,567
1033	75,748	-0,246	X		599467,054	6644204,521	75,502
1034	75,432	-0,016			599465,518	6644204,420	75,416
1035	75,290	-0,014			599465,453	6644206,259	75,276
1036	75,186	0,018			599466,090	6644208,809	75,204
1037	74,920	-0,014			599466,953	6644210,835	74,906
1038	75,320	-0,029			599468,120	6644210,293	75,291
1039	75,762	0,035			599467,937	6644208,556	75,797
1040	75,989	0,054	X		599467,561	6644206,201	76,043
1041	75,776	0,408	X		599467,208	6644204,227	76,184
1042	75,854	0,376	X		599467,127	6644203,236	76,230
1043	76,421	0,065	X		599467,976	6644203,216	76,486
1044	76,641	0,022			599468,692	6644203,988	76,663
1045	77,166	0,038			599470,837	6644203,471	77,204
1046	77,125	0,063	X		599472,557	6644203,406	77,188
1047	77,035	0,474	X		599474,137	6644203,710	77,509
1048	77,247	0,066	X		599474,513	6644206,558	77,313
1049	77,069	0,067	X		599474,664	6644207,773	77,136
1050	77,161	0,101	X		599476,227	6644208,445	77,262
1051	76,906	0,355	X		599477,698	6644208,741	77,261
1052	76,635	0,035			599478,144	6644211,113	76,670
1053	76,367	0,193	X		599479,592	6644211,474	76,560
1054	75,817	0,118	X		599480,378	6644213,751	75,935
1055	75,358	-0,057	X		599477,997	6644214,262	75,301
1056	75,023	-0,044			599476,022	6644213,694	74,979
1057	75,916	-0,073	X		599475,969	6644211,861	75,843
1058	76,538	-0,202	X		599474,761	6644210,236	76,336
1059	76,853	0,003			599473,501	6644208,247	76,856
1060	76,803	-0,003			599471,873	6644206,862	76,800
1061	76,501	-0,024			599472,715	6644208,589	76,477
1062	75,871	-0,012			599473,026	6644210,205	75,859
1063	75,081	-0,023			599474,077	6644211,748	75,058
1064	74,154	-0,070	X		599473,502	6644213,952	74,084
1065	73,301	-0,008			599470,622	6644214,729	73,293
1066	74,421	0,044			599470,877	6644213,087	74,465
1067	75,049	-0,104	X		599469,638	6644211,804	74,945
1068	75,576	0,049			599468,918	6644210,318	75,625
1069	75,087	-0,035			599467,504	6644210,527	75,052
1070	74,323	-0,037			599468,792	6644212,288	74,286
1071	73,499	0,001			599469,836	6644214,013	73,500
1072	73,209	-0,047			599469,049	6644214,894	73,162
1073	73,824	-0,176	X		599467,215	6644213,868	73,648
1074	74,143	-0,060	X		599465,442	6644213,145	74,083
1075	76,574	-0,158	X		599474,925	6644202,691	76,416
1076	76,912	-0,037			599474,590	6644204,504	76,875
1077	76,953	0,019			599475,471	6644205,990	76,972
1078	76,758	-0,017			599475,351	6644207,114	76,741
1079	76,487	-0,023			599477,474	6644207,700	76,464
1080	76,651	-0,010			599478,003	6644208,620	76,641
1081	76,244	-0,047			599478,762	6644210,180	76,197

1082	76,263	-0,032		599478,696	6644210,836	76,231
1083	76,003	0,001		599480,132	6644210,927	76,004
1084	76,011	0,024		599480,196	6644211,455	76,035
1085	75,844	-0,013		599480,832	6644209,458	75,831
1086	76,054	-0,094	X	599479,475	6644207,550	75,960
1087	76,299	-0,223	X	599478,669	6644206,039	76,076
1088	76,679	-0,147	X	599477,196	6644204,901	76,532
1089	76,443	-0,156	X	599477,384	6644203,415	76,287
1090	76,752	-0,132	X	599475,330	6644203,313	76,620
1091	77,021	-0,016		599475,132	6644204,016	77,005
1092	77,101	-0,051	X	599476,327	6644204,560	77,050
1093	77,231	0,017		599476,592	6644205,486	77,248
1094	76,815	-0,072	X	599477,647	6644206,782	76,743
1095	76,491	0,033		599478,987	6644207,994	76,524
1096	75,029	0,014		599465,139	6644195,357	75,043
1097	75,085	-0,041		599464,873	6644195,641	75,044
1098	75,029	0,001		599464,567	6644196,051	75,030
1099	75,005	0,011		599464,268	6644196,550	75,016
1100	75,012	-0,003		599464,563	6644196,859	75,009
1101	75,015	0,009		599464,842	6644196,522	75,024
1102	75,016	0,028		599465,211	6644196,166	75,044
1103	75,072	0,003		599465,553	6644195,830	75,075
1104	75,110	-0,004		599465,931	6644195,525	75,106
1105	75,146	0,012		599466,297	6644195,867	75,158
1106	75,103	0,011		599466,016	6644196,165	75,114
1107	75,059	0,014		599465,630	6644196,534	75,073
1108	75,069	-0,028		599465,295	6644196,911	75,041
1109	74,996	0,024		599464,935	6644197,295	75,020
1110	75,061	-0,007		599465,247	6644197,573	75,054
1111	75,074	-0,009		599465,626	6644197,289	75,065
1112	75,087	0,022		599466,019	6644196,919	75,109
1113	75,155	-0,017		599466,365	6644196,550	75,138
1114	75,184	0,026		599466,755	6644196,264	75,210
1115	75,215	-0,005		599467,015	6644196,550	75,210
1116	75,176	-0,002		599466,642	6644196,828	75,174
1117	75,146	-0,006		599466,248	6644196,997	75,140
1118	75,100	-0,011		599465,798	6644197,119	75,089
1119	75,082	-0,006		599465,549	6644197,442	75,076
1120	75,104	0,026		599462,790	6644205,849	75,130
1121	75,082	0,018		599462,751	6644206,432	75,100
1122	75,025	0,011		599462,754	6644207,150	75,036
1123	74,970	0,023		599462,817	6644207,934	74,993
1124	75,028	0,011		599463,156	6644207,476	75,039
1125	75,098	-0,009		599463,303	6644206,854	75,089
1126	75,121	0,007		599463,284	6644206,334	75,128
1127	75,169	0,009		599463,352	6644205,881	75,178
1128	75,205	0,008		599463,738	6644205,864	75,213
1129	75,176	0,021		599463,813	6644206,345	75,197
1130	75,128	0,032		599463,979	6644206,824	75,160
1131	75,123	0,005		599464,061	6644207,315	75,128
1132	75,077	0,003		599464,169	6644207,879	75,080
1133	75,153	0,019		599464,788	6644207,653	75,172
1134	75,232	0,007		599464,776	6644207,251	75,239

1135	75,259	0,008		599464,709	6644206,774	75,267
1136	75,272	0,015		599464,695	6644206,508	75,287
1137	75,304	0,043		599465,245	6644206,466	75,347
1138	75,325	-0,003		599465,293	6644206,999	75,322
1139	75,253	-0,004		599465,304	6644207,523	75,249
1140	75,937	0,010		599469,197	6644209,098	75,947
1141	75,999	-0,019		599469,624	6644209,289	75,980
1142	75,980	-0,003		599470,093	6644209,548	75,977
1143	76,113	0,011		599470,293	6644209,269	76,124
1144	76,108	0,028		599470,039	6644209,016	76,136
1145	76,136	0,035		599469,752	6644208,666	76,171
1146	76,165	0,011		599469,417	6644208,252	76,176
1147	76,180	0,023		599469,078	6644207,740	76,203
1148	76,359	0,013		599469,506	6644207,430	76,372
1149	76,350	0,009		599469,808	6644207,802	76,359
1150	76,356	-0,002		599470,188	6644208,246	76,354
1151	76,347	0,002		599470,564	6644208,611	76,349
1152	76,471	0,019		599470,847	6644208,279	76,490
1153	76,499	0,018		599470,603	6644207,991	76,517
1154	76,534	0,027		599470,354	6644207,478	76,561
1155	76,556	0,046		599470,041	6644206,909	76,602
1156	76,662	-0,008		599469,871	6644206,400	76,654
1157	76,701	0,037		599469,829	6644205,838	76,738
1158	76,784	0,011		599469,794	6644205,431	76,795
1159	76,845	0,022		599469,762	6644204,885	76,867
1160	76,928	0,001		599470,159	6644204,892	76,929
1161	76,865	0,026		599470,231	6644205,436	76,891
1162	76,796	0,039		599470,263	6644205,847	76,835
1163	76,763	0,006		599470,406	6644206,325	76,769
1164	76,745	-0,014		599470,612	6644206,752	76,731
1165	76,797	0,007		599470,967	6644206,735	76,804
1166	75,704	0,024		599483,808	6644209,889	75,728
1167	75,730	0,012		599483,596	6644209,703	75,742
1168	75,747	0,014		599483,444	6644209,417	75,761
1169	75,781	0,022		599483,253	6644209,076	75,803
1170	75,799	0,000		599483,036	6644209,134	75,799
1171	75,770	-0,001		599483,077	6644209,523	75,769
1172	75,710	0,040		599483,113	6644209,821	75,750
1173	75,749	-0,008		599483,197	6644210,184	75,741
1174	75,741	-0,002		599483,021	6644210,524	75,739
1175	75,740	0,003		599482,693	6644210,252	75,743
1176	75,766	-0,002		599482,553	6644209,915	75,764
1177	75,782	-0,009		599482,480	6644209,673	75,773
1178	75,812	-0,017		599482,384	6644209,275	75,795
1179	75,808	-0,009		599482,069	6644209,272	75,799
1180	75,791	-0,004		599481,895	6644209,739	75,787
1181	75,777	-0,005		599481,729	6644210,204	75,772
1182	75,783	0,002		599481,523	6644210,690	75,785
1183	75,877	-0,049		599481,014	6644210,461	75,828
1184	75,933	-0,114	X	599481,194	6644209,965	75,819
1185	75,809	0,009		599481,506	6644209,381	75,818
1186	75,817	-0,009		599481,760	6644208,808	75,808

Totalt antall målepunkt:	187
Punkt innenfor krav:	139
Punkt utenfor krav (avvist):	48
Standardavvik:	0,087
Middel:	-0,006
Minimum:	-0,246
Maksimum:	0,474
Minimum absolutt verdi:	0,000
Maksimum absolutt verdi:	0,474

Vedlegg 7 – Fisher-test

Testen er regnet manuelt i Microsoft Excel med utgangspunkt i resultatene fra de geometriske kontrollene som utført i Gemini Terreng & Entreprenør 7.3.

F-test									
PunktID	Referansehøyde	Modellhøyde	ΔH_{ALT}	$\Delta H_{KUPPERT}$	ΔH_{JEVNT}	>5 cm avvik	ΔH_{ALT}^2	$\Delta H_{KUPPERT}^2$	ΔH_{JEVNT}^2
1000	76,570	76,540	0,030	0,030			0,000914566	0,000914566	
1001	75,901	76,001	-0,100	-0,100		X	0,009946016	0,009946016	
1002	75,439	75,469	-0,030	-0,030			0,00090987	0,00090987	
1003	75,531	75,612	-0,081	-0,081		X	0,006596851	0,006596851	
1004	75,746	75,774	-0,028	-0,028			0,00078123	0,00078123	
1005	75,798	75,799	-0,001	-0,001			6,83993E-07	6,83993E-07	
1006	75,923	75,975	-0,052	-0,052		X	0,002660343	0,002660343	
1007	75,873	76,086	-0,213	-0,213		X	0,04546187	0,04546187	
1008	75,420	75,495	-0,075	-0,075		X	0,005671364	0,005671364	
1009	75,182	75,236	-0,054	-0,054		X	0,002930421	0,002930421	
1010	75,245	75,453	-0,208	-0,208		X	0,043136673	0,043136673	
1011	75,152	75,086	0,066	0,066		X	0,004324752	0,004324752	
1012	74,720	74,853	-0,133	-0,133		X	0,017693101	0,017693101	
1013	74,534	74,589	-0,055	-0,055		X	0,003028555	0,003028555	
1014	74,511	74,620	-0,109	-0,109		X	0,011973081	0,011973081	
1015	74,446	74,572	-0,126	-0,126		X	0,015850765	0,015850765	
1016	74,189	74,308	-0,119	-0,119		X	0,014225367	0,014225367	
1017	74,145	74,334	-0,189	-0,189		X	0,035765371	0,035765371	
1018	73,838	73,933	-0,095	-0,095		X	0,009028766	0,009028766	
1019	73,796	73,856	-0,060	-0,060		X	0,003564178	0,003564178	
1020	73,428	73,464	-0,036		-0,036		0,001295249		0,001295249
1021	73,013	73,056	-0,043		-0,043		0,001830042		0,001830042
1022	73,824	73,828	-0,004		-0,004		1,72367E-05		1,72367E-05
1023	74,409	74,407	0,002		0,002		5,29339E-06		5,29339E-06
1024	74,823	74,831	-0,008		-0,008		5,91107E-05		5,91107E-05
1025	74,980	74,970	0,010		0,010		0,000109362		0,000109362
1026	74,523	74,545	-0,022	-0,022			0,000465692	0,000465692	
1027	74,678	74,702	-0,024	-0,024			0,000574332	0,000574332	
1028	74,989	74,958	0,031	0,031			0,000948364	0,000948364	
1029	75,142	75,073	0,069	0,069		X	0,004806661	0,004806661	
1030	75,311	75,305	0,006	0,006			3,34087E-05	3,34087E-05	
1031	75,527	75,423	0,104	0,104		X	0,010888622	0,010888622	
1032	75,567	75,789	-0,222	-0,222		X	0,049476103	0,049476103	
1033	75,502	75,748	-0,246	-0,246		X	0,060663512	0,060663512	
1034	75,416	75,432	-0,016	-0,016			0,000265944	0,000265944	
1035	75,276	75,290	-0,014		-0,014		0,00019221		0,00019221
1036	75,204	75,186	0,018		0,018		0,000329417		0,000329417
1037	74,906	74,920	-0,014		-0,014		0,00018522		0,00018522
1038	75,291	75,320	-0,029		-0,029		0,000840446		0,000840446
1039	75,797	75,762	0,035		0,035		0,001207924		0,001207924
1040	76,043	75,989	0,054		0,054	X	0,002933597		0,002933597

1041	76,184	75,776	0,408	0,408	X	0,166693275	0,166693275
1042	76,230	75,854	0,376	0,376	X	0,141181744	0,141181744
1043	76,486	76,421	0,065	0,065	X	0,004236626	0,004236626
1044	76,663	76,641	0,022	0,022		0,000499869	0,000499869
1045	77,204	77,166	0,038	0,038		0,001456939	0,001456939
1046	77,188	77,125	0,063	0,063	X	0,003973755	0,003973755
1047	77,509	77,035	0,474	0,474	X	0,224230634	0,224230634
1048	77,313	77,247	0,066	0,066	X	0,004357234	0,004357234
1049	77,136	77,069	0,067	0,067	X	0,004483313	0,004483313
1050	77,262	77,161	0,101	0,101	X	0,010193743	0,010193743
1051	77,261	76,906	0,355	0,355	X	0,126361979	0,126361979
1052	76,670	76,635	0,035	0,035		0,001198876	0,001198876
1053	76,560	76,367	0,193	0,193	X	0,03707226	0,03707226
1054	75,935	75,817	0,118	0,118	X	0,013901166	0,013901166
1055	75,301	75,358	-0,057	-0,057	X	0,003255068	0,003255068
1056	74,979	75,023	-0,044	-0,044		0,001899674	0,001899674
1057	75,843	75,916	-0,073	-0,073	X	0,005276251	0,005276251
1058	76,336	76,538	-0,202	-0,202	X	0,040880676	0,040880676
1059	76,856	76,853	0,003	0,003		8,1923E-06	8,1923E-06
1060	76,800	76,803	-0,003	-0,003		7,8637E-06	7,8637E-06
1061	76,477	76,501	-0,024	-0,024		0,000598102	0,000598102
1062	75,859	75,871	-0,012	-0,012		0,000142975	0,000142975
1063	75,058	75,081	-0,023	-0,023		0,000531528	0,000531528
1064	74,084	74,154	-0,070	-0,070	X	0,004900647	0,004900647
1065	73,293	73,301	-0,008	-0,008		5,85413E-05	5,85413E-05
1066	74,465	74,421	0,044	0,044		0,001911471	0,001911471
1067	74,945	75,049	-0,104	-0,104	X	0,010915521	0,010915521
1068	75,625	75,576	0,049	0,049		0,00235472	0,00235472
1069	75,052	75,087	-0,035	-0,035		0,001219062	0,001219062
1070	74,286	74,323	-0,037	-0,037		0,001378569	0,001378569
1071	73,500	73,499	0,001	0,001		3,58385E-07	3,58385E-07
1072	73,162	73,209	-0,047	-0,047		0,002189989	0,002189989
1073	73,648	73,824	-0,176	-0,176	X	0,030947272	0,030947272
1074	74,083	74,143	-0,060	-0,060	X	0,003611189	0,003611189
1075	76,416	76,574	-0,158	-0,158	X	0,024952753	0,024952753
1076	76,875	76,912	-0,037	-0,037		0,001391953	0,001391953
1077	76,972	76,953	0,019	0,019		0,000346222	0,000346222
1078	76,741	76,758	-0,017	-0,017		0,000281694	0,000281694
1079	76,464	76,487	-0,023	-0,023		0,000506748	0,000506748
1080	76,641	76,651	-0,010	-0,010		0,000103155	0,000103155
1081	76,197	76,244	-0,047	-0,047		0,002246483	0,002246483
1082	76,231	76,263	-0,032	-0,032		0,001023633	0,001023633
1083	76,004	76,003	0,001	0,001		5,00761E-07	5,00761E-07
1084	76,035	76,011	0,024	0,024		0,00059608	0,00059608
1085	75,831	75,844	-0,013	-0,013		0,000158728	0,000158728
1086	75,960	76,054	-0,094	-0,094	X	0,008919486	0,008919486
1087	76,076	76,299	-0,223	-0,223	X	0,049928174	0,049928174

1088	76,532	76,679	-0,147	-0,147	X	0,02148987	0,02148987
1089	76,287	76,443	-0,156	-0,156	X	0,024221082	0,024221082
1090	76,620	76,752	-0,132	-0,132	X	0,017522728	0,017522728
1091	77,005	77,021	-0,016	-0,016		0,000261129	0,000261129
1092	77,050	77,101	-0,051	-0,051	X	0,002610255	0,002610255
1093	77,248	77,231	0,017	0,017		0,00028073	0,00028073
1094	76,743	76,815	-0,072	-0,072	X	0,005123668	0,005123668
1095	76,524	76,491	0,033	0,033		0,001059737	0,001059737
1096	75,043	75,029	0,014	0,014		0,000190687	0,000190687
1097	75,044	75,085	-0,041	-0,041		0,001717488	0,001717488
1098	75,030	75,029	0,001	0,001		4,70394E-07	4,70394E-07
1099	75,016	75,005	0,011	0,011		0,000128677	0,000128677
1100	75,009	75,012	-0,003	-0,003		1,05518E-05	1,05518E-05
1101	75,024	75,015	0,009	0,009		7,80437E-05	7,80437E-05
1102	75,044	75,016	0,028	0,028		0,000798978	0,000798978
1103	75,075	75,072	0,003	0,003		9,68173E-06	9,68173E-06
1104	75,106	75,110	-0,004	-0,004		1,32676E-05	1,32676E-05
1105	75,158	75,146	0,012	0,012		0,000148384	0,000148384
1106	75,114	75,103	0,011	0,011		0,00012304	0,00012304
1107	75,073	75,059	0,014	0,014		0,00020247	0,00020247
1108	75,041	75,069	-0,028	-0,028		0,000776469	0,000776469
1109	75,020	74,996	0,024	0,024		0,000575346	0,000575346
1110	75,054	75,061	-0,007	-0,007		4,52562E-05	4,52562E-05
1111	75,065	75,074	-0,009	-0,009		7,60606E-05	7,60606E-05
1112	75,109	75,087	0,022	0,022		0,000472191	0,000472191
1113	75,138	75,155	-0,017	-0,017		0,000289813	0,000289813
1114	75,210	75,184	0,026	0,026		0,000685237	0,000685237
1115	75,210	75,215	-0,005	-0,005		2,53092E-05	2,53092E-05
1116	75,174	75,176	-0,002	-0,002		2,63794E-06	2,63794E-06
1117	75,140	75,146	-0,006	-0,006		3,36916E-05	3,36916E-05
1118	75,089	75,100	-0,011	-0,011		0,000115732	0,000115732
1119	75,076	75,082	-0,006	-0,006		3,18591E-05	3,18591E-05
1120	75,130	75,104	0,026	0,026		0,000676589	0,000676589
1121	75,100	75,082	0,018	0,018		0,000315743	0,000315743
1122	75,036	75,025	0,011	0,011		0,000128511	0,000128511
1123	74,993	74,970	0,023	0,023		0,000523588	0,000523588
1124	75,039	75,028	0,011	0,011		0,000124619	0,000124619
1125	75,089	75,098	-0,009	-0,009		7,44158E-05	7,44158E-05
1126	75,128	75,121	0,007	0,007		4,52528E-05	4,52528E-05
1127	75,178	75,169	0,009	0,009		9,00686E-05	9,00686E-05
1128	75,213	75,205	0,008	0,008		6,87042E-05	6,87042E-05
1129	75,197	75,176	0,021	0,021		0,000449908	0,000449908
1130	75,160	75,128	0,032	0,032		0,001035618	0,001035618
1131	75,128	75,123	0,005	0,005		2,6989E-05	2,6989E-05
1132	75,080	75,077	0,003	0,003		1,12857E-05	1,12857E-05
1133	75,172	75,153	0,019	0,019		0,000370524	0,000370524
1134	75,239	75,232	0,007	0,007		4,4181E-05	4,4181E-05

1135	75,267	75,259	0,008	0,008	6,83631E-05	6,83631E-05
1136	75,287	75,272	0,015	0,015	0,00023967	0,00023967
1137	75,347	75,304	0,043	0,043	0,001849811	0,001849811
1138	75,322	75,325	-0,003	-0,003	7,00657E-06	7,00657E-06
1139	75,249	75,253	-0,004	-0,004	1,28943E-05	1,28943E-05
1140	75,947	75,937	0,010	0,010	0,000109111	0,000109111
1141	75,980	75,999	-0,019	-0,019	0,000362058	0,000362058
1142	75,977	75,980	-0,003	-0,003	6,46836E-06	6,46836E-06
1143	76,124	76,113	0,011	0,011	0,000129944	0,000129944
1144	76,136	76,108	0,028	0,028	0,000774999	0,000774999
1145	76,171	76,136	0,035	0,035	0,001252466	0,001252466
1146	76,176	76,165	0,011	0,011	0,000125375	0,000125375
1147	76,203	76,180	0,023	0,023	0,000539019	0,000539019
1148	76,372	76,359	0,013	0,013	0,000178431	0,000178431
1149	76,359	76,350	0,009	0,009	7,52972E-05	7,52972E-05
1150	76,354	76,356	-0,002	-0,002	2,52852E-06	2,52852E-06
1151	76,349	76,347	0,002	0,002	5,00385E-06	5,00385E-06
1152	76,490	76,471	0,019	0,019	0,00035917	0,00035917
1153	76,517	76,499	0,018	0,018	0,000327497	0,000327497
1154	76,561	76,534	0,027	0,027	0,000739279	0,000739279
1155	76,602	76,556	0,046	0,046	0,002148345	0,002148345
1156	76,654	76,662	-0,008	-0,008	6,23641E-05	6,23641E-05
1157	76,738	76,701	0,037	0,037	0,00135865	0,00135865
1158	76,795	76,784	0,011	0,011	0,000110903	0,000110903
1159	76,867	76,845	0,022	0,022	0,00046519	0,00046519
1160	76,929	76,928	0,001	0,001	1,87049E-06	1,87049E-06
1161	76,891	76,865	0,026	0,026	0,000686039	0,000686039
1162	76,835	76,796	0,039	0,039	0,001539559	0,001539559
1163	76,769	76,763	0,006	0,006	3,0951E-05	3,0951E-05
1164	76,731	76,745	-0,014	-0,014	0,000192731	0,000192731
1165	76,804	76,797	0,007	0,007	5,12705E-05	5,12705E-05
1166	75,728	75,704	0,024	0,024	0,000555456	0,000555456
1167	75,742	75,730	0,012	0,012	0,000135505	0,000135505
1168	75,761	75,747	0,014	0,014	0,000195065	0,000195065
1169	75,803	75,781	0,022	0,022	0,000468445	0,000468445
1170	75,799	75,799	0,000	0,000	1,4105E-07	1,4105E-07
1171	75,769	75,770	-0,001	-0,001	1,19463E-06	1,19463E-06
1172	75,750	75,710	0,040	0,040	0,001584899	0,001584899
1173	75,741	75,749	-0,008	-0,008	6,88408E-05	6,88408E-05
1174	75,739	75,741	-0,002	-0,002	4,60479E-06	4,60479E-06
1175	75,743	75,740	0,003	0,003	7,27659E-06	7,27659E-06
1176	75,764	75,766	-0,002	-0,002	2,56043E-06	2,56043E-06
1177	75,773	75,782	-0,009	-0,009	7,98127E-05	7,98127E-05
1178	75,795	75,812	-0,017	-0,017	0,000289189	0,000289189
1179	75,799	75,808	-0,009	-0,009	7,64677E-05	7,64677E-05
1180	75,787	75,791	-0,004	-0,004	1,95784E-05	1,95784E-05
1181	75,772	75,777	-0,005	-0,005	2,27711E-05	2,27711E-05

1182	75,785	75,783	0,002	0,002		5,6144E-06	5,6144E-06	
1183	75,828	75,877	-0,049	-0,049		0,002432939	0,002432939	
1184	75,819	75,933	-0,114	-0,114	X	0,013058031	0,013058031	
1185	75,818	75,809	0,009	0,009		7,89383E-05	7,89383E-05	
1186	75,808	75,817	-0,009	-0,009		7,26761E-05	7,26761E-05	
Feilkvadratsum						1,43005507	1,37754036	0,05251472
Antall referansepunkt						187	84	103

$$\text{Beregnet F-verdi} = \left(\frac{F_{Kuppet} - F_{jevnt}}{F_{Kuppet}} \right) \cdot \left(\frac{103}{84} \right) = \left(\frac{1,3775 - 0,0525}{1,3775} \right) \cdot \left(\frac{103}{84} \right) = \underline{\underline{30,93863661}}$$

Teoretisk F-verdi (tabellverdi) for 95 % -nivå = F.INV(0,95;103;84) = 1,41515255

Teoretisk F-verdi (tabellverdi) for 99 % -nivå = F.INV(0,99;103;84) = 1,63701402