



Jernbaneverket



Statens vegvesen

# Deformasjonsanalyse av bratt fjellside ved bruk av dronebasert fotogrammetri

Naturfareprosjektet: Delprosjekt 4  
Overvåkning og varsling

114  
2015



R  
A  
P  
P  
O  
R  
T

## Rapport nr 114-2015

# Deformasjonsanalyse av bratt fjellside ved bruk av dronebasert fotogrammetri

**Utgitt av:** Norges vassdrags- og energidirektorat

**Redaktør:**

**Forfattere:** Leif Erik Blankenberg m.fl.

**Trykk:** NVEs hustrykkeri

**Opplag:** P.O.D

**Forsidefoto:** Tore Humstad

**ISBN** 978-82-410-1166-5

**ISSN** 1501-2832

**Sammendrag:** To fotogrammetriske terrengmodeller fra bilder tatt med ett års mellomrom med drone er testet i Trollstigen. Formålet var å lokaliserte eventuelle deformasjoner og steinsprang i fjellsiden ved å sammenligne terrengmodellene. Terrenganalysen har avdekket endringer i terrenget som også er verifisert fra bildene. Nøyaktigheten til terrengmodellen er bedre enn 5 cm for hele måleområdet. Dette er kontrollmålt med fastpunkter og laserscanning.

**Emneord:** Fotogrammetri, drone, terrengmodell, steinsprang

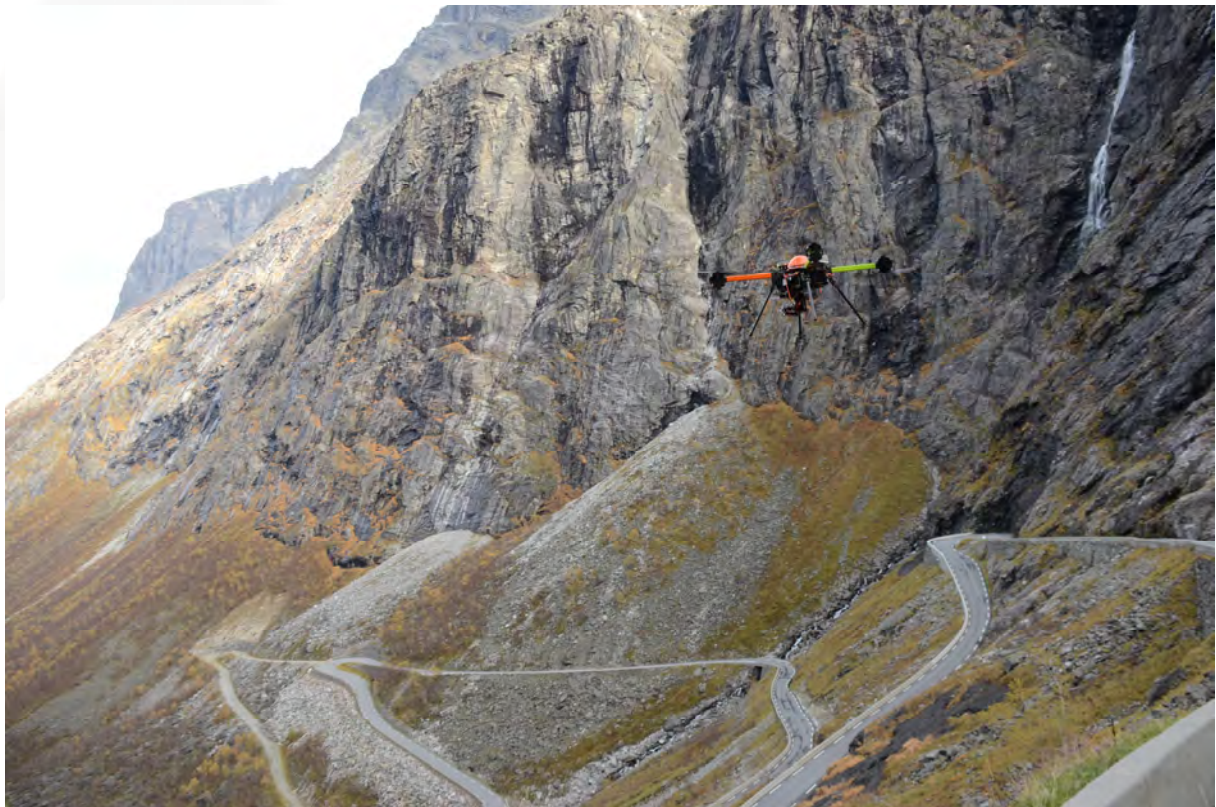
Norges vassdrags- og energidirektorat  
Middelthunsgate 29  
Postboks 5091 Majorstua  
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95  
Telefaks: 22 95 90 00  
Internett: [www.nve.no](http://www.nve.no)

2015

# RAPPORT

Deformasjonsanalyse av bratt fjellside ved hjelp av digital fotogrammetri og terrengmodeller



*Oppdragsgiver:* NIFS-programmet

# INNHALDSFORTEGNELSE

<b>1. GENERELLE OPPLYSNINGER I PROSJEKTET</b> .....	<b>4</b>
1.1 OPPDRAGSGIVER .....	4
1.2 OPPDRAGET .....	4
1.3 OPPDRAGSTAKER .....	4
1.4 OPPDRAGETS INNHOLD .....	4
1.5 KARTUTSNITT OG BILDE SOM VISER PROSJEKTOMRÅDET .....	5
<b>2. INNLEDNING</b> .....	<b>6</b>
2.1 GENERELT OM OPPDRAGET .....	6
2.2 TERRATEC SIN PLAN FOR GJENNOMFØRING AV PROSJEKTET .....	7
2.3 ENDRINGER I FORHOLD TIL OPPRINNELIG GJENNOMFØRINGSPLAN .....	9
<b>3. LANDMÅLING- OG SIGNALERINGSARBEID</b> .....	<b>10</b>
3.1 LANDMÅLINGSARBEID UTFØRT HØSTEN 2014 .....	10
3.2 OVERSIKTSKART SOM VISER Plasseringen AV PUNKTENE.....	12
3.3 KOORDINATLISTE .....	13
3.4 SIGNALERING AV GITTPUNKTENE HØSTEN 2014 .....	14
3.5 KONTROLL AV GITTPUNKTENE OG NY SIGNALERING HØSTEN 2015 .....	15
3.6 DEFINISJON AV LOKALT KOORDINATSYSTEM FOR ANALYSEARBEIDET .....	15
<b>4. FOTOGRAFERING HØSTEN 2014</b> .....	<b>17</b>
4.1 UTARBEIDELSE AV FLYPLAN .....	17
4.2 GJENNOMFØRING AV FOTOGRAFERINGEN .....	18
4.3 PROSESSERING AV GNSS OBSERVASJONENE FRA CAMPOS-M SYSTEMET .....	20
<b>5. FOTOGRAFERING HØSTEN 2015</b> .....	<b>22</b>
5.1 FLYPLAN .....	22
5.2 GJENNOMFØRING AV FOTOGRAFERINGEN .....	22
<b>6. HELIKOPTERBÅREN LASERSCANNING HØSTEN 2015</b> .....	<b>25</b>
6.1 BAKGRUNN.....	25
6.2 INSTRUMENTERING.....	25
6.3 FLYPLAN FOR LASERSCANNINGEN .....	27
6.4 GJENNOMFØRING AV LASERSCANNINGEN .....	28
6.5 PROSESSERING AV DATAENE .....	28
<b>7. FOTOGRAMMETRISKE BEREGNINGER</b> .....	<b>29</b>
7.1 GENERELT OM BEREGNINGENE .....	29
7.2 PROGRAMVARE .....	29
7.3 BEREGNINGER MED AGISOFT PHOTOSCAN.....	30
7.4 BEREGNINGER MED PIX4DMAPPER.....	31

<b>8.</b>	<b>ANALYSER .....</b>	<b>32</b>
8.1	KONTROLL AV FOTOGRAMMETRISK TERRENGMODELL VED HJELP AV TERRENGMODELL FRA DEN TERRESTRISK LASERSCANNING.....	32
8.2	KONTROLL AV FOTOGRAMMETRISK TERRENGMODELL VED HJELP AV KONTROLLPUNKT .....	33
8.3	KONTROLL AV AEROTRIANGULERINGEN VED HJELP AV UAVHENGIGE KONTROLLPUNKT .....	34
8.4	VISUELL SAMMENLIGNING AV TERRENGMODELLER GENERERT MED BILDER FRA HENHOLDSVIS 2014 OG 2015 .....	35
8.5	MANUELL EDITERING AV TERRENGMODELLERNE .....	36
8.6	ENDRINGSANALYSE VED Å BEREGNE DIFFERANSER MELLOM TERRENGMODELLERNE FRA 2014 OG 2015...37	37
8.7	BEREGNING AV DIFFERANSER MELLOM TERRENGMODELLERNE FRA AGISOFT PHOTOSCAN OG PIX4DMAPPER .....	41
8.8	KONTROLL AV FOTOGRAMMETRISK TERRENGMODELL VED HJELP AV TERRENGMODELL FRA HELIKOPTERBÅREN LASERSCANNING .....	42
<b>9.</b>	<b>KONKLUSJONER.....</b>	<b>44</b>
<b>10.</b>	<b>LEVERANSER.....</b>	<b>45</b>
<b>11.</b>	<b>VEDLEGG .....</b>	<b>46</b>
11.1	VEDLEGG A – PROSESSERINGSRAPPORT FRA AGISOFT PHOTOSCAN FOR BILDENE FRA 2014 .....	46
11.2	VEDLEGG B – PROSESSERINGSRAPPORT FRA AGISOFT PHOTOSCAN FOR BILDENE FRA 2015.....	52
11.3	VEDLEGG C – PROSESSERINGSRAPPORT FRA PIX4DMAPPER FOR BILDENE FRA 2014 .....	59
11.4	VEDLEGG D – PROSESSERINGSRAPPORT FRA PIX4DMAPPER FOR BILDENE FRA 2015 .....	74

Vækerø, 01.12.2015

Leif Erik Blankenberg  
Prosjektleder

## 1. GENERELLE OPPLYSNINGER I PROSJEKTET

### 1.1 Oppdragsgiver

Navn: NIFS- programmet  
Postadresse: Fylkeshuset, 6404 Molde  
Kontaktperson: Tore Humstad

### 1.2 Oppdraget

Navn: Deformasjonsanalyse av bratt fjellside ved hjelp av digital fotogrammetri og terrengmodeller  
Saksnummer: 2014054899  
Prosjektnummer: 603330  
Prosjektområde: Fjellside ved Trollstigen  
Kommune: Rauma  
Fylke: Møre og Romsdal

### 1.3 Oppdragstaker

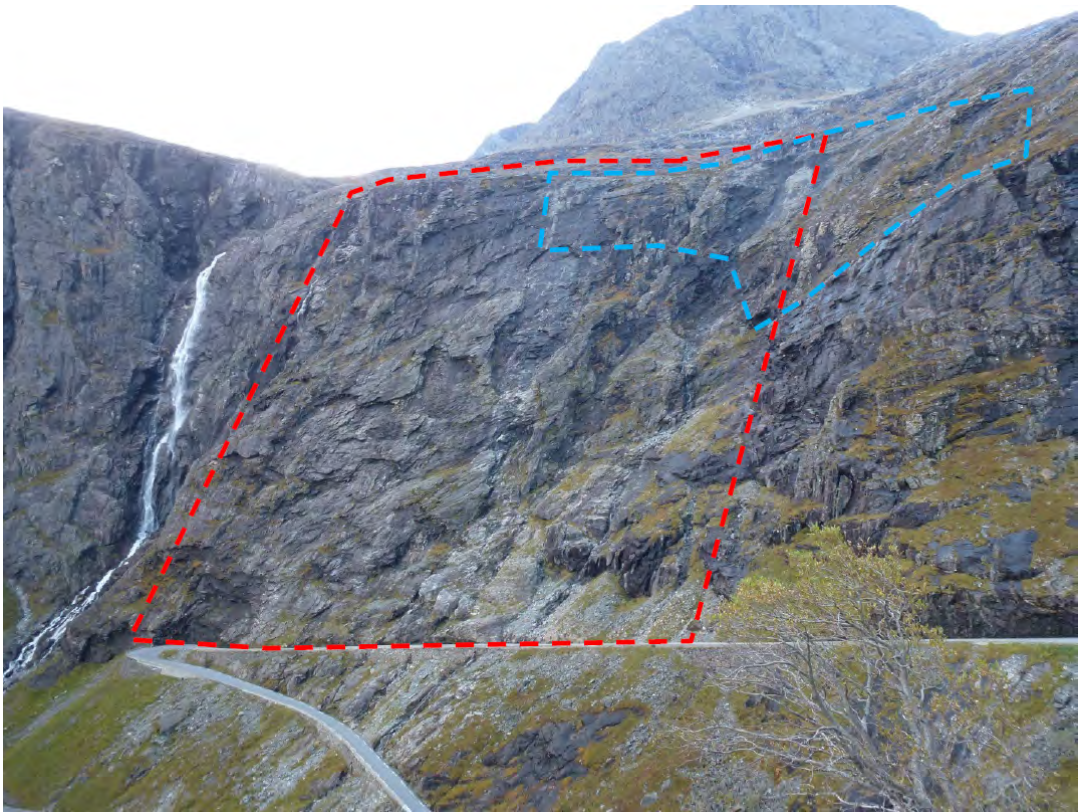
Navn: TerraTec AS  
Besøksdresse: Vækerøveien 3. 0281 Oslo  
Postdresse: Vækerøveien 3. 0281 Oslo  
Prosjektleder: Leif Erik Blankenberg  
Prosjektreferanse: 6348

### 1.4 Oppdragets innhold

Følgende aktiviteter inngår i oppdraget:

- A. Etablering og signalering av passpunkt (høsten 2014 og høsten 2015).
- B. Planlegging og gjennomføring av fotografering med drone (høsten 2014 og høsten 2015).
- C. Innsamling av data for å kontrollere nøyaktigheten til terrengmodellene som produseres ved hjelp av fotogrammetri (høsten 2014).
- D. Produksjon av digitale terrengmodeller og ortofoto ved hjelp av bildene som er tatt fra drone (høsten 2014 og høsten 2015).
- E. Analyse og presentasjon av deformasjoner (avvik) mellom terrengmodellene fra de to påfølgende fotograferingene (høsten 2015)

## 1.5 Kartutsnitt og bilde som viser prosjektområdet



## 2. INNLEDNING

### 2.1 Generelt om oppdraget

Formålet med prosjektet er å utføre deformasjonsanalyse av en bratt fjellside ved hjelp av digital fotogrammetri. Målet er å identifisere potensielle løснеområder for steinsprang ved å avdekke bevegelse/deformasjon av bergoverflaten i det aktuelle terrenget.

Det skal framstilles to terrenghodeller (av samme område) ved hjelp av digitale bilder som tas med et års mellomrom. Første opptak gjøres sommer/høst 2014, og andre opptak gjøres sommer/høst 2015. Det er krav om at fotograferingen skal gjøres ved hjelp av UAV/drone, da oppdragsgiver ønsker å teste denne metoden for denne type oppdrag. Terrenghodellene skal produseres ved hjelp av bildematching (digital fotogrammetri).

Ved hjelp av de to terrenghodellene av fjellsiden, skal det gjennomføres en analyse for å avdekke deformasjoner/endringer i terrenget fra det ene året til det andre. Differansen mellom terrenghodellene vil indikere om det har vært bevegelse (oppsprekking, glidebevegelser eller faktiske steinsprang) i bergmassen. Eventuelle endringer i topografi/bergoverflate skal visualiseres (synliggjøres). Videre skal det gis anbefalinger om den generelle egnetheten til denne metoden for avdekke deformasjoner/endringer i terrenget. Oppdragsgiver skal bruke resultatet til å vurdere den generelle faren for steinsprang/steinskred i testområdet.

For å kunne få mest mulig ut av målekampanjene, er nøyaktigheten til terrenghodellene svært viktig. Siden det er differansen mellom terrenghodellene som skal analyseres, er det den relative nøyaktigheten som er avgjørende. Oppdragsgiver har framsatt ønske om en nøyaktighet på 1 cm eller bedre i x-, y- og z-planet. I planleggingen og gjennomføringen av oppdraget skal det tilstrebes å oppnå denne nøyaktigheten på terrenghodellene. Så langt det lar seg gjøre, skal nøyaktigheten sannsynliggjøres/evalueres ved hjelp av uavhengige målemetoder (eller kontrollmålinger).

For begge fotograferingene skal det også produseres ortofoto (GSD = 5 cm eller bedre).

Fjellsiden som skal modelleres er svært bratt (60-70° i gjennomsnitt) med lokale overheng og hyller. Fjellsiden består av en gneisbergart med lite løsmasser og vegetasjon. Prosjektområdet ligger mellom 440 og 690 m.o.h. Lengden av fjellsiden som skal måles inn er ca. 250 m (målt langs veien i bunnen av fjellsiden). Prosjektområdet er vist på kartutsnitt og bilde i avsnitt 1.5.

Fjellsiden er meget bratt og det tillates ikke personopphold i de bratte partiene. Det er kun tillatt med personopphold langs veien og på toppen av fjellsiden. Dette kan være nødvendig for eksempel ved utplassering av kontrollpunkter.



## 2.2 TerraTec sin plan for gjennomføring av prosjektet

Før prosjektet ble startet, presenterte TerraTec følgende plan for gjennomføringen:

1. **Etablering og innmåling av grunnlagspunkt:** Dette er punkt som skal brukes ved innmåling av gittpunktene (for aerotrianguleringen/bildeorienteringen), samt ved kontrollmålingene (for å dokumentere nøyaktigheten til terrengmodellen). Grunnlagspunktene etableres i umiddelbar nærhet av veien og på toppen av fjellsiden. Punktene boltsettes i fjell, måles inn med statisk GNSS og knyttes opp mot de nærliggende landsnett- og stamnettpunktene. Innmålingen utføres før første fotografering.
2. **Signalering av gittpunkt for fotograferingen, samt innmåling av gittpunkt og kontrollpunkt:** Gittpunktene er signalerte punkt som vil være synlige i bildene. Disse er nødvendige for å gjennomføre aerotrianguleringen (orienteringen) av de digitale bildene. Gittpunktene etableres langs veien og på toppen av fjellsiden. Det etableres 4 -5 punkt i hvert av disse områdene. Punktene signaleres (ved å male et lite kryss på veien eller på fjellet) og måles inn ved hjelp av totalstasjon for å oppnå så god relativ nøyaktighet som mulig. Signalering og innmåling av gittpunktene utføres i forkant av begge fotograferingene. I tillegg til de signalerte gittpunktene, vil det bli målt inn et antall naturlige kontrollpunkt (ikke signalerte punkt) inne i blokken (oppover i fjellsiden). Det vil bli valgt ut detaljer (steiner, flekker på fjellet, osv.) som er synlige i bildene. Disse punktene vil bli benyttet til å kontrollere nøyaktigheten, både til aerotrianguleringen og til terrengmodellen. De naturlige kontrollpunktene måles inn med totalstasjon og reflektorløs avstandsmåler.
3. **Innmåling med terrestrisk laser for kontroll:** For å kontrollere terrengmodellen som etableres fotogrammetrisk, vil det gjennomføres en terrestrisk laserscanning av fjellsiden. Den terrestriske laserscanningen foretas fra veien. Det vil ikke være mulig å dekke hele fjellsiden med denne laserscanningen, men instrumentet som vil bli benyttet vil kunne gi en god nøyaktighet på 100 meters avstand. Ved å sammenligne terrengmodellen som etableres fotogrammetrisk med terrengmodellen fra laserscanningen, vil man kunne evaluere nøyaktigheten til den fotogrammetriske terrengmodellen (for den nederste delen av fjellsiden).
4. **Utarbeidelse av flyplan:** Det vil bli utarbeidet en flyplan før fotograferingen starter. Flystripene vil bli lagt opp på langs av fjellsiden. Hver stripe vil bli planlagt med en unik flyhøyde, slik at alle stripene ligger i tilnærmet lik høyde over bakken. Flyhøyden vil være ca. 50 meter over terrenget. Videre vil det bli lagt opp til å fotografere med stor overlapp mellom bildene for å sikre god nøyaktighet i aerotrianguleringen (bildeorienteringen) og ved bildematchingen (for framstilling av terrengmodell). Videre vil det bli fotografert på skrå inn mot terrenget for å få best mulig innsyn. Dette gjøres ved å skråstille kameraet på dronen.

5. **Gjennomføring av fotograferingene:** Fotograferingene vil bli utført av Bygg Control AS med deres egenutviklede CamFlight X8 multi-rotor drone. Denne dronen er utstyrt med gyro-stabilisert kamera mount, som vil sikre systematisk fotografering og god blokkgeometri. Som tidligere nevnt, vil kameraet skråstilles (inn mot terrenget). CamFlight X8 dronen vil også være utstyrt et Campos-M system, som blant annet inneholder en høypresisjons GNSS (GPS/GLONASS) mottaker. Med dette systemet vil det bli logget GNSS faseobservasjoner. Disse dataene vil bli prosessert i TerraPos for å beregne nøyaktige fotoposisjoner for alle bildene. Fotograferingene foretas høsten 2014 og høsten 2015.
  
6. **Aerotriangulering (bildeorientering):** Bildenes posisjon og orientering (i forhold til terrenkoordinatsystemet) vil bli beregnet i en aerotriangulering. I aerotrianguleringsprogramvaren måles sammenbindingspunkt mellom bildene automatisk ved hjelp av bildematching. Gittpunktene måles manuelt. I beregningsprosessen vil også kameralinsens brennvidde og fortegningsbli beregnet. De naturlige kontrollpunktene, som måles inn, vil bli benyttet for å kontrollere nøyaktigheten til resultatet. Det vil bli benyttet programvarer som er spesielt utviklet for å håndtere bilder fra droner.
  
7. **Produksjon av terrengmodeller:** For hver av fotograferingene vil det bli produsert terrengmodeller ved hjelp av automatisk bildematching. Resultatet fra aerotrianguleringen brukes i denne prosessen (til å posisjonere og orientere bildene). Selve prosesseringen (bildematchingen) fram til ferdig terrengmodell er en automatisk prosess. Det vil bli benyttet programvarer som er spesielt utviklet for å håndtere bilder fra droner. Programvarer fra forskjellige leverandører vil bli testet ut.
  
8. **Produksjon av ortofoto:** For hver av fotograferingene vil det bli produsert ortofoto med oppløsning 5 cm eller bedre. Ortofotoene vil bli produsert med samme programvare som benyttes til å produsere terrengmodellene.
  
9. **Nøyaktighetsanalyse:** For å få en uavhengig kontroll av den oppnådde nøyaktigheten til de fotogrammetrisk genererte terrengmodellene, vil disse bli kontrollert mot de uavhengige kontrollpunktene og dataene fra den terrestriske laserscanningen. Det vil bli beregnet avvik mellom terrengmodellen og kontrolldataene. Basert på disse vil det kunne beregnes systematisk avvik, midlere avvik (RMS) og standardavvik. Videre vil det være mulig å presentere avvikene grafisk ved å bruke fargekoder som varierer med avvikenes størrelse.
  
10. **Endringsanalyse (deformasjonsanalyse):** Det vil bli beregnet differenser mellom de fotogrammetrisk genererte terrengmodellene fra de to årene. Ved hjelp av differansene vil man kunne avdekke deformasjoner/endringer i terrenget fra det ene året til det andre. Differansene vil indikere om det er bevegelse (oppsprekking, glidebevegelser eller faktiske steinsprang) i bergmassen. Resultatene fra differanseanalysen vil bli presentert grafisk og i form av en differansemodell for prosjektområdet.

## 2.3 Endringer i forhold til opprinnelig gjennomføringsplan

Underveis i prosjektet ble følgende endringer foretatt i forhold til den opprinnelige gjennomføringsplanen:

1. Ved fotograferingen i 2015 ble det benyttet en CamFlight 8 drone istedenfor en CamFlight X8. Årsaken var at til dette var at CamFlight 8 er lettere å operere i vanskelige vindforhold enn CamFlight X8. Bytte av drone medførte at det ikke var mulig å logge GNSS faseobservasjoner under fotograferingen i 2015, fordi CamFlight 8 dronen ikke var utstyrt med et Campos-M system. Under fotograferingen i 2014 ble det logget GNSS faseobservasjoner som ble benyttet til å beregne nøyaktige fotoposisjoner for alle bildene.
2. I 2015 ble det utført en helikopter-båren laserscanning av prosjektområdet. Laserscanningen ble utført med en Riegl VUX-1 laser. Dette er en laser som er utviklet for operasjon fra drone, men som i dette tilfellet ble utført fra helikopter. Datasettet fra denne laserscanningen er benyttet til å kontrollere de fotogrammetrisk genererte terrengmodellene.

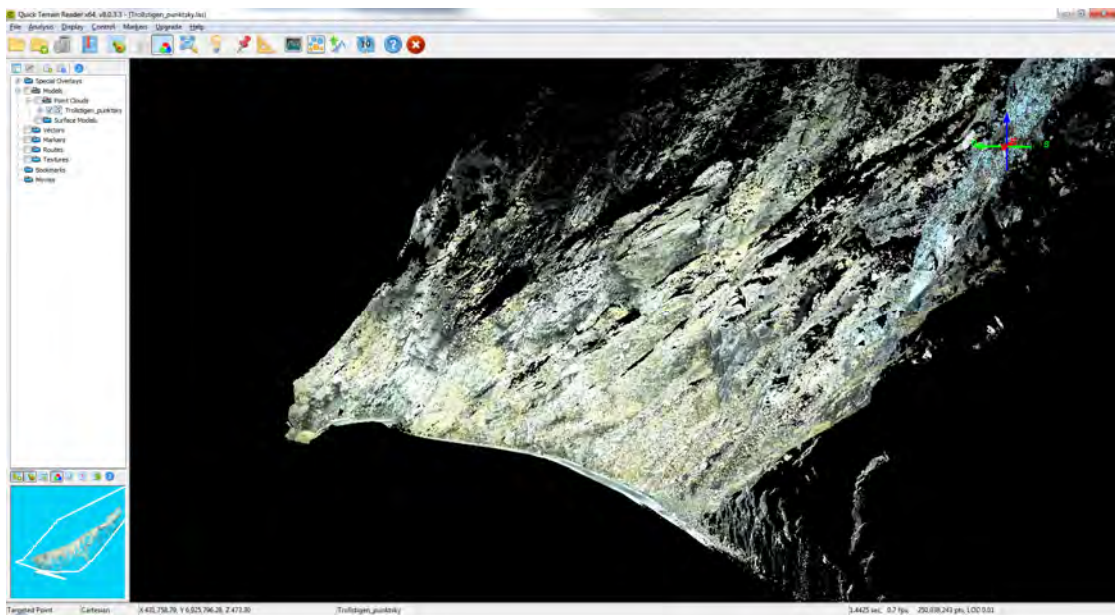
### 3. LANDMÅLING- OG SIGNALERINGSARBEID

#### 3.1 Landmålingsarbeid utført høsten 2014

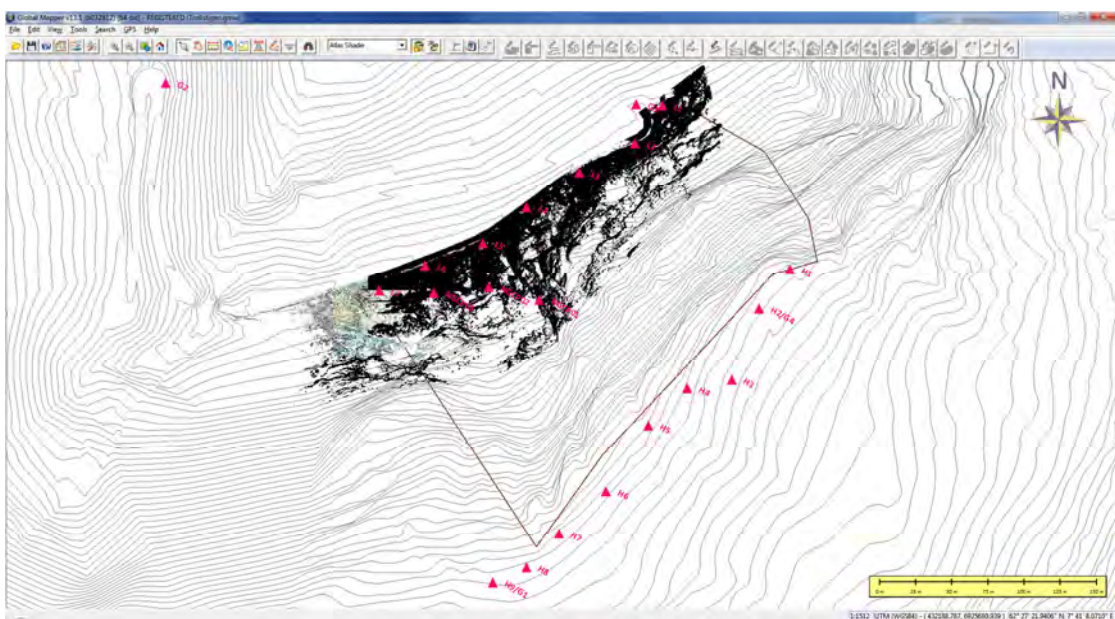
Før første fotografering (høsten 2014) ble følgende landmålingsarbeid utført:

- **Etablering og innmåling av 4 nye grunnlagspunkt (fastmerker):** Grunnlagspunktene ble etablert i umiddelbar nærhet av veien og på toppen av fjellsiden. Punktene ble boltsatt, målt inn med statisk GNSS, og knyttet opp mot de nærliggende landsnett- og stamnettpunktene. Grunnlagspunktene ble senere brukt ved innmåling av gittpunktene (passpunktene), kontrollpunktene (naturlige passpunkt for kontroll), samt ved terrestrisk laserscanning av den nedre delen av fjellsiden.
- **Etablering og innmåling av 16 gittpunkt (passpunkt):** Det ble etablert og målt inn gittpunkt (passpunkt) langs veien og på toppen av fjellsiden. Punktene ble markert i terrenget ved hjelp av asfaltspiker og innmålingen ble foretatt med totalstasjon. Gittpunktene ble også signalert. Signaleringsarbeidet er omtalt i et eget avsnitt. Gittpunktene ble senere benyttet ved aerotrianguleringen (orienteringen) av bildene.
- **Innmåling av 3 kontrollpunkt (naturlige passpunkt):** Det ble målt inn 3 naturlige kontrollpunkt inne i området (oppe i fjellskråningen) ved hjelp av totalstasjon og reflektorløs avstandsmåler. Det ble valgt ut detaljer (lyse flekker på fjellet) som skulle kunne være synlige i bildene. Tanken var å benytte naturlige kontrollpunkt til å kontrollere nøyaktigheten, både til aerotrianguleringene og til terrengmodellene. Det viste seg imidlertid vanskelig å finne gode punkt, samt å foreta innmålingen. Derfor ble det kun målt inn 3 punkt.
- **Terrestrisk laserscanning:** Det ble foretatt en terrestrisk laserscanning av den nederste delen av fjellskråningen. Laserscanningen ble utført fra veien. Punktskyen fra laserscanningen ble senere benyttet til å kontrollere nøyaktigheten til de fotogrammetrisk genererte terrengmodellene. Figurene på neste side viser hvor stor del av prosjektområdet ble dekket av den terrestriske laserscanningen.

For ytterligere detaljer om landmålingsarbeidet henvises til rapporten  
«LANDMÅLINGSARBEIDER I FORBINDELSE MED DRONEFOTOGRAFERING I TROLLSTIGEN».

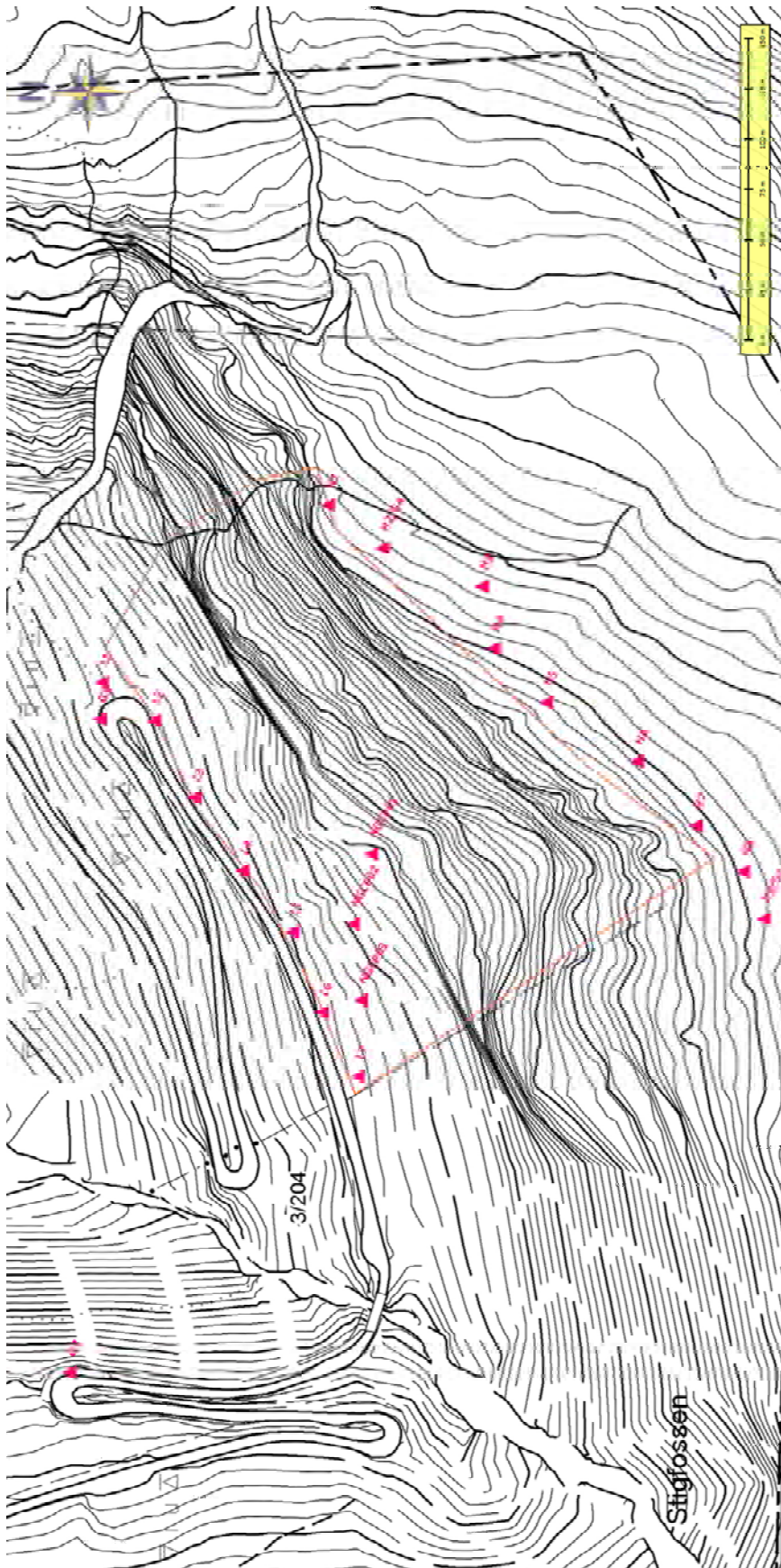


*Punktskyen fra den terrestriske laserscanningen.*



*Dekningsplott for punktskyen fra den terrestriske laserscanningen.*

### 3.2 Oversiktskart som viser plasseringen av punktene



### 3.3 Koordinatliste

Punkt	Nord <sup>1)</sup>	Øst <sup>1)</sup>	Høyde <sup>2)</sup>	Kommentar
G1	6925590.305	431765.821	680.319	Flat stein med stor bolt i ur. NB: bolten markerer ikke punktet
G2	6925935.016	431540.377	478.078	På glidekanten i første sving over Stigfossbrua
G3	6925919.924	431864.681	436.155	På glidekanten i Kjelstadsvingen
G4	6925779.313	431949.537	690.838	Jordfast stein
L1	6925919.036	431882.900	436.065	På vertikal bergvegg vest for Kjelstadsvingen
L2	6925892.845	431863.816	438.596	På vertikal bergvegg i Kjelstadsvingen
L3	6925872.790	431825.575	442.355	Langs veien
L4	6925848.806	431789.298	445.347	Langs veien
L5	6925824.402	431758.952	452.843	Noen meter over veien
L6	6925809.350	431719.286	451.076	Langs veien
L7	6925791.912	431687.402	458.787	Langs veien
H1	6925806.613	431970.906	688.786	På kanten av stupet, ved foss
H2	6925779.313	431949.537	690.838	Samme punkt som G4
H3	6925730.151	431930.828	694.037	Over sva
H4	6925724.292	431899.895	679.376	Stein på sva. NB: kan være løs.
H5	6925698.501	431873.101	672.373	Ved isnett
H6	6925653.064	431843.869	673.941	På liten vertikal bergvegg
H7	6925623.747	431811.723	674.064	En wire krysser signalet
H8	6925600.334	431789.125	677.499	Lite, vått sva
H9	6925590.305	431765.821	680.319	Samme punkt som G1
NGCP01	6925785.401	431797.807	499.980	Hvit flekk
NGCP02	6925794.165	431763.029	478.206	Hvit flekk
NGCP03	6925790.071	431725.094	75.279	Hvit flekk

<sup>1)</sup> Horisontalt datum og kartprojeksjon: EUREF89, UTM Sone 32

<sup>2)</sup> Høydedatum: NN1954

Grunnlagspunkt: G1 – G4

Gittpunkt (passpunkt): L1 – L7, H1 – H9

Kontrollpunkt: NGCP01 – NGCP03

### 3.4 Signalering av gittpunktene høsten 2014

Alle grunnlagspunktene og gittpunktene (passpunktene), med unntak av punkt G2, ble signalert rett før fotograferingen høsten 2014. Punktene ble signalert ved å male et kryss på hvert punkt. Bildene nedenfor viser hvordan punktene er markert i terrenget.



*Gittpunktene (passpunktene) er signalert med hvite kryss (malt på fjell/stein).*



### 3.5 Kontroll av gittpunktene og ny signalering høsten 2015

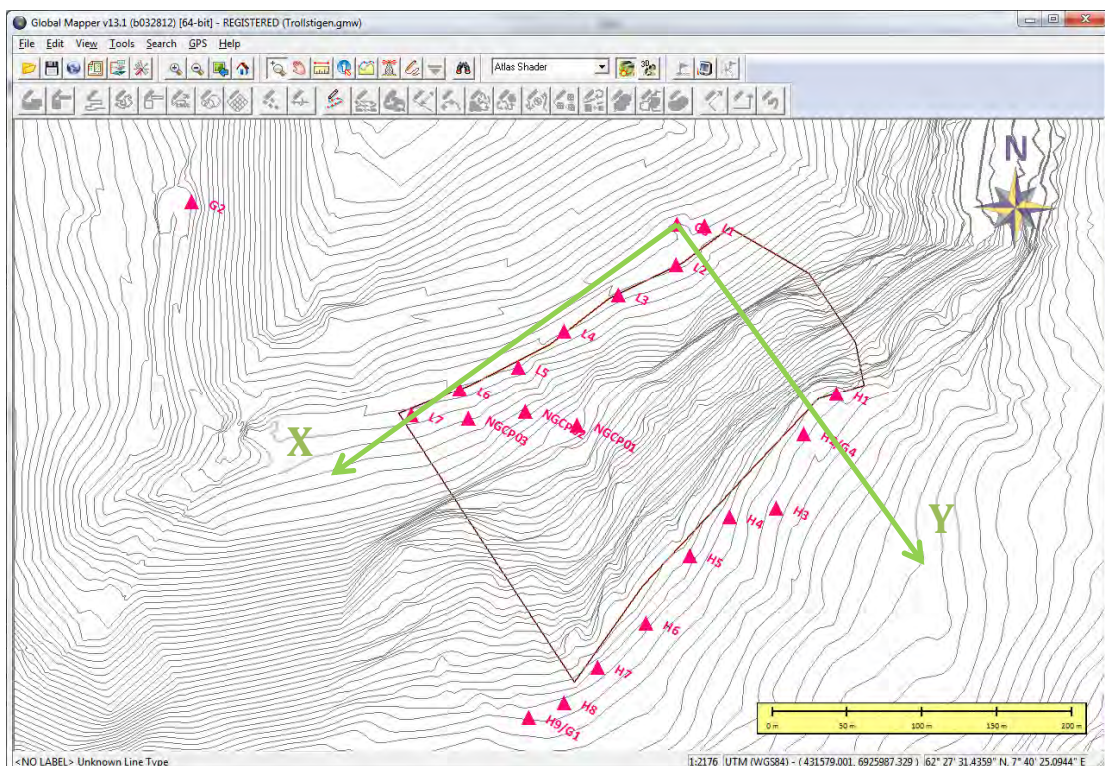
I og med at alle punktene ble boltsatt (med asfaltspiker) ved innmålingen i 2014, ble de samme punktene benyttet for fotograferingen høsten 2015. Alle punktene ble besøkt på nytt, og signalene ble frisket opp (malt på nytt) før den nye fotograferingen.

Punktene ble også målt inn på nytt med GNSS (CPOS) for å kontrollere om noen av punktene hadde flyttet på seg. Dette ble gjort fordi enkelte punkt var etablert på store steiner (som kunne ha flyttet på seg). Kontrollmålingene avdekket ingen avvik i forhold til innmålingen høsten 2014.

### 3.6 Definisjon av lokalt koordinatsystem for analysearbeidet

Fjellskråningen som skal modelleres og analyseres er veldig bratt, og den har en del overheng. For å bedre innsynet i terrenget, samt for å få fram eventuelle endringer (deformasjoner) tydeligere, ble det besluttet å utføre en del av analysene i et lokalt koordinatsystem. Det lokale koordinatsystemet ble definert slik at planet følger fjellskråningen best mulig.

Origo for det lokale koordinatsystemet ble lagt i punkt G3. X-aksen går gjennom et punkt som har samme høyde som punkt G3 og samme grunnrisskoordinater som punkt L7, mens XY-planet går gjennom punkt H1. Z-aksen peker da ut fra fjellsiden.



*Definisjon av lokalt koordinatsystem.*

Det ble laget en transformasjonsformel slik at det var enkelt å transformere mellom det lokale koordinatsystemet og UTM32 koordinater/ortometriske høyder. De lokale koordinatene alle punktene er vist i tabellen nedenfor.

Punkt	Lokal_X	Lokal_Y	Lokal_Z
G1	273.245	317.531	-51.643
G2	254.197	-69.511	194.424
G3	0.000	0.000	0.000
G4	13.532	302.710	-7.146
L1	-14.259	5.858	-9.769
L2	16.559	13.262	-17.044
L3	59.320	13.278	-9.852
L4	102.790	14.899	-6.763
L5	141.696	22.350	-4.584
L6	182.683	15.100	3.905
L7	218.757	19.323	11.788
H1	-19.792	295.942	0.000
H2	13.532	302.710	-7.146
H3	57.499	320.500	-30.170
H4	86.019	301.023	-26.395
H5	122.857	297.767	-34.503
H6	173.179	309.382	-50.532
H7	216.424	312.066	-54.695
H8	248.466	317.995	-57.819
H9	273.245	317.531	-51.643
NGCP01	133.025	90.918	-26.466
NGCP02	156.099	58.019	-14.349
NGCP03	189.265	45.678	0.258

*Lokale koordinater for grunnlagspunkt, gittpunkt (passpunkt) og kontrollpunkt.*

## 4. FOTOGRAFERING HØSTEN 2014

### 4.1 Utarbeidelse av flyplan

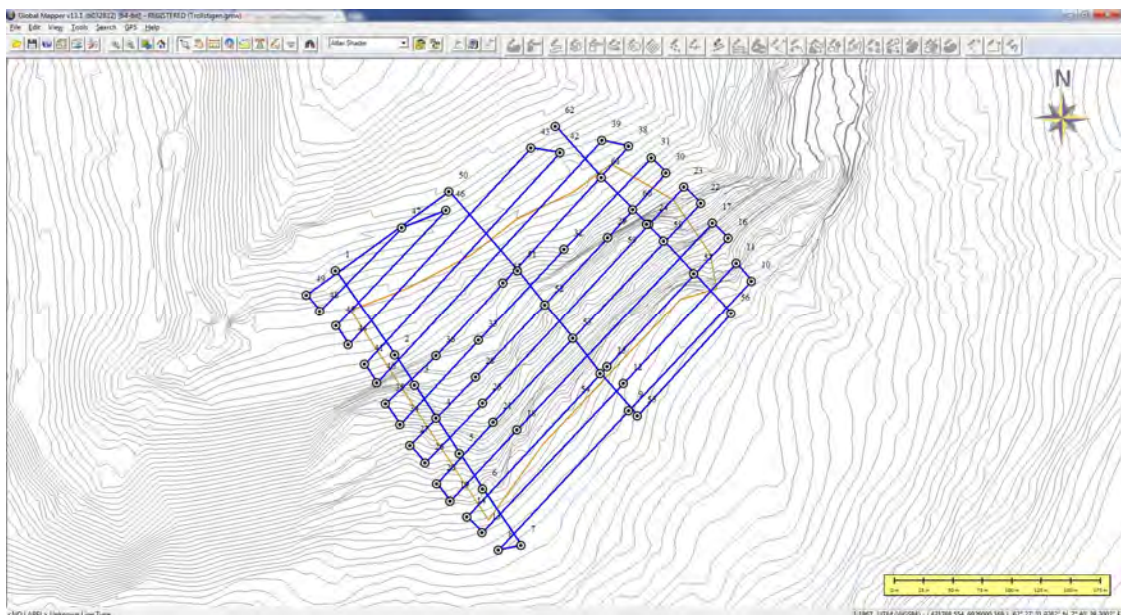
Som forberedelse til fotograferingen høsten 2014 ble det utarbeidet en flyplan. Denne flyplanen ble importert til dronens autopilot og benyttet under fotograferingen.

Ved utarbeidelse av flyplanen ble eksisterende kartdata (høydekurver) benyttet som grunnlag. Flystripene ble lagt på langs av fjellskråningen. Videre ble det definert ulik flyhøyde (i m.o.h.) for hver stripe, slik at alle stripene ble flydd med tilnærmet lik høyde over terrenget.

Det ble også lagt inn tre tverrstriper i flyplanen. Dette ble gjort mest som en test, men formålet var å bedre geometrien i bildeblokken med tanke på å øke nøyaktigheten/påliteligheten ved den påfølgende aertrianguleringen (bildeorienteringen). Tverrstripene ble planlagt med ulik høyde i startpunkt og sluttspunkt slik at høyden over terrenget var mest mulig konstant.

For å sikre at det var forsvarlig klaring til terrenget for hver stripe, ble terrengmodellen (kartgrunnlaget) benyttet aktivt i planlegging.

Figuren nedenfor viser flyplanen som ble laget for fotograferingen.



*Flyplan for fotograferingen*

Det ble planlagt å fotografere med 70 – 75 % overlapp mellom bildene, både i flyretningen og på tvers av flyretningen. Planlagt flyhøyde over terrenget var ca. 80 m. Videre ble det planlagt å skråstille kameraet 45°, slik at det hele tiden fotografieres inn mot fjellskråningen.

## 4.2 Gjennomføring av fotograferingen

Fotograferingen ble gjennomført **torsdag 16. oktober 2014**. Det var Bygg Control AS som stod for gjennomføringen. De benyttet en CamFlight X8 drone. Denne var utstyrt med et CamPos-M system som kunne logge GNSS faseobservasjoner under flyvningen.

Før fotograferingen ble fullført, ble det foretatt to mislykkede forsøk på å fotografere:

- 24/9-2014: Dronen mistet høyde ved fotografering av en av tverrstripen og ble til slutt sittende fast i isnettet sør i fjellskråningen (som vist på bildet nedenfor). Årsaken var en feil innstilling på dronen/auto-piloten som gjorde at dronen ikke klarte å klatre raskt nok samtidig som den fotograferte. Normalt kjøres dronen opp i riktig høyde før fotograferingen starter, men på den aktuelle tverrstripa skulle det fotograferes samtidig som dronen klatret oppover langs fjellsiden.



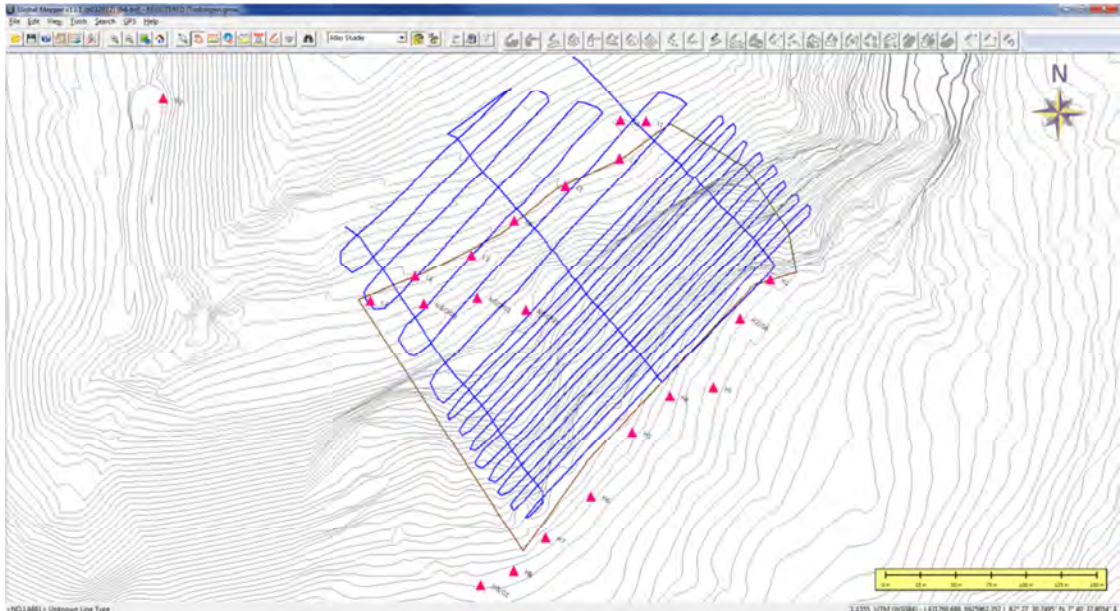
- 15/10-2014: Selve fotograferingen var vellykket, men av en eller annen grunn hadde ikke Campos-M system logget GNSS faseobservasjoner under flyvningen. Det ble derfor besluttet å fotografere på nytt neste dag.

Totalt ble det tatt **547 bilder** under fotograferingen (16/10-2015). Kameraet som ble benyttet var av typen **Nikon Coolpix A**. Spesifikasjonene for kameraet er som følger:

- Brennvidde: 18.5 mm
- Bildesensor: Nikon DX format CMOS, 23.6 x 15.6 mm
- Bildestørrelse: 4928 x 3264 pixler
- Pixel-størrelse: 4.78  $\mu\text{m}$

Kameraet var montert gyro-stabilisert opphengsramme på dronen, og det skråstilt 45°, slik at det hele tiden ble fotografert inn mot fjellskråningen. Dette ble gjort for å fotografere mest mulig vertikalt på terrenget og for å få bedre innsyn under overheng.

For å sikre at det ble god overlapp mellom alle stripene, ble det lagt til noen ekstra striper (i forhold til flyplanen som ble laget på forhånd) i den øverste delen av området. Terrenget er brattest i det området, og derfor er det der dronen fløy nærmest fjellsiden. Figuren under viser de faktiske stripene som ble flydd.



*Figuren viser flymønsteret under fotograferingen*



*CamFlight X8 dronen i aksjon i Trollstigen.*



*Eksempelbilde fra fotograferingen 16/10-2014.*

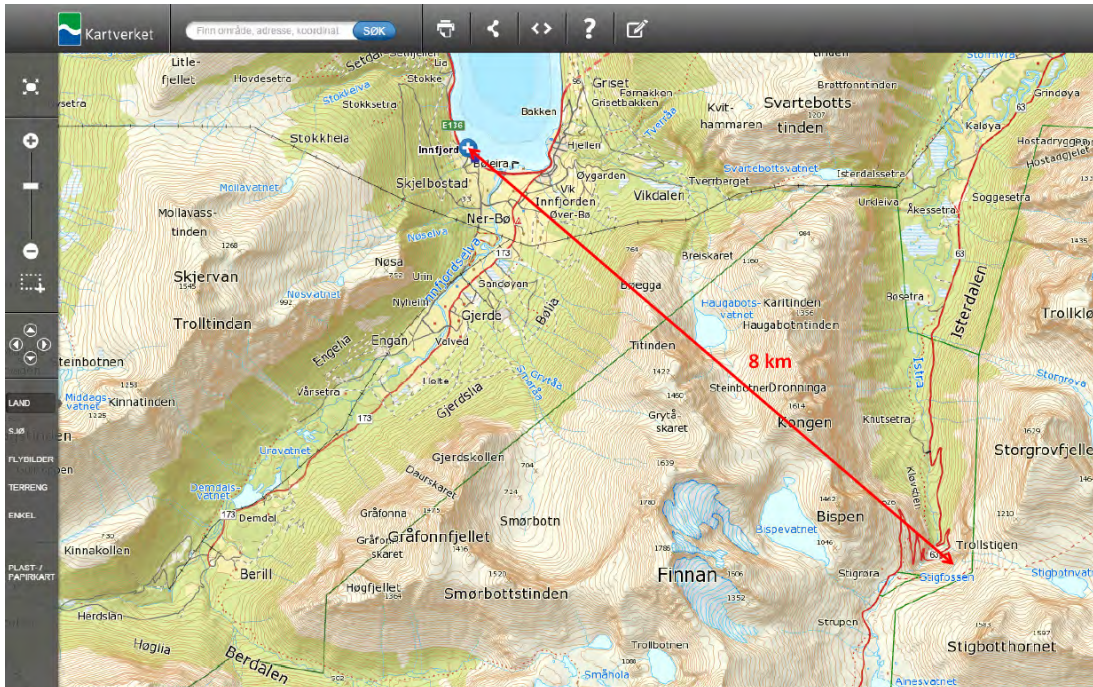
#### **4.3 Prosessering av GNSS observasjonene fra CamPos-M systemet**

Under fotograferingen ble det samlet inn GNSS faseobservasjoner ved hjelp av CamPos-M systemet (som var montert på dronen). Ved hjelp av disse observasjonene kan man beregne koordinater for hver fotoposisjon med 5 – 10 cm nøyaktighet. Disse nøyaktige fotoposisjonene kan senere benyttes i aerotrianguleringen (bildeorienteringen) for å øke nøyaktigheten, eventuelt for å kunne redusere antall signalerte gittpunkt uten at det går ut over nøyaktigheten.

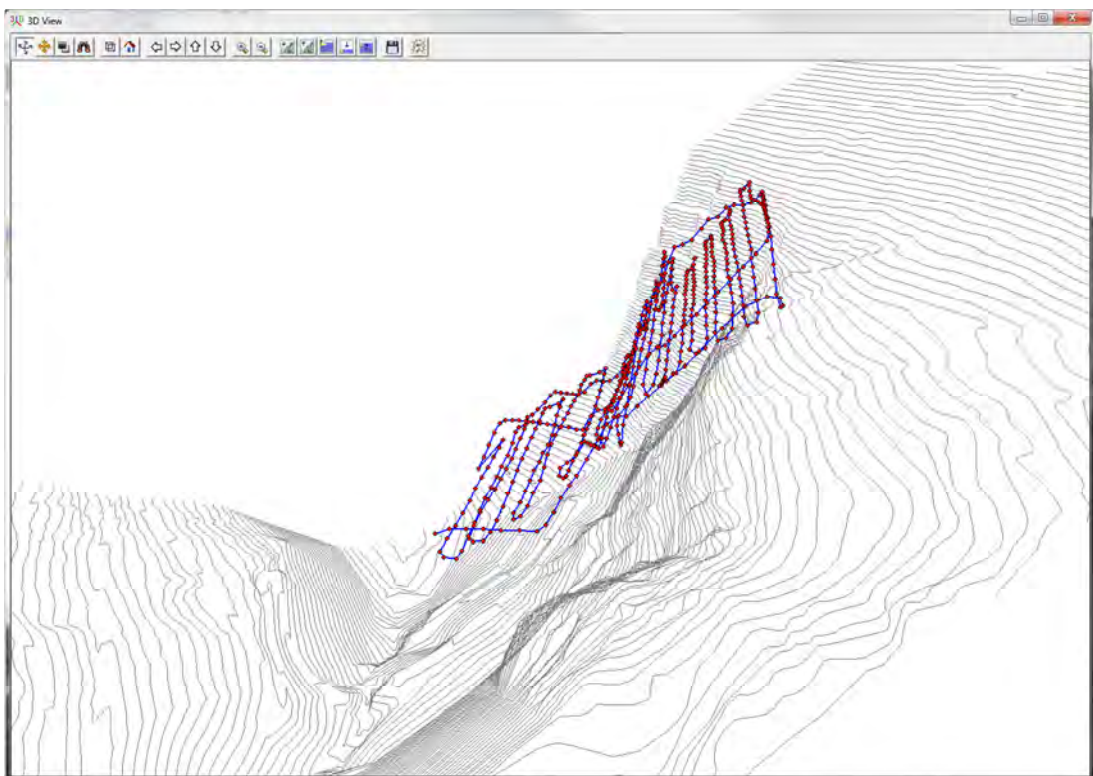


*CamFlight X8 dronen med CamPos-M posisjoneringssystem (GPS/GLONASS mottaker)*

GNSS faseobservasjoner som ble samlet inn under fotograferingen 16/10-2014, ble prosessert i TerraPos programvaren (som utvikles av TerraTec). Det ble foretatt en differensiell beregning der CPOS stasjonen i Innfjorden ble benyttet som base. Denne stasjonen ligger kun 8 km fra prosjektområdet.



*Data fra CPOS stasjonen ble benyttet ved den differensielle GNSS beregningen i TerraPos*



*3D visning av resultatet fra TerraPos. De røde prikkene viser fotoposisjonene.*

## 5. FOTOGRAFERING HØSTEN 2015

### 5.1 Flyplan

Det ble ikke laget en ny flyplan for fotograferingen høsten 2015 (årets fotografering). Flyplanen som ble utarbeidet for fotograferingen høsten 2014, ble benyttet ved fotografering høsten 2015 også.

### 5.2 Gjennomføring av fotograferingen

Fotograferingen ble gjennomført **tirsdag 13. oktober 2015**. Det var Bygg Control AS som stod for gjennomføringen av denne fotograferingen også. Ved årets fotografering ble det benyttet en CamFlight 8 drone. Dette er en litt mindre drone enn CamFlight X8, som ble benyttet ved fjorårets fotografering. CamFlight 8 ble valgt framfor CamFlight X8, fordi førstnevnte drone tåler mer vind (er enklere å operere ved vanskelige vindforhold).



*CamFlight 8 dronen. Denne har 8 armer med hver sin rotor, mens CamFlight X8 har 4 armer med doble rotor.*

CamFlight 8 dronen var ikke utstyrt med CamPos-M posisjoneringssystem. Det var derfor ikke mulig å logge GNSS faseobservasjoner under flyvningen høsten 2015.

Fotografering ble gjennomført på første forsøk, men heller ikke denne gangen var gjennomføringen problemfri. Dronens autopilot mistet satellittdekningen et par ganger under flyvningen (pga. dårlig GPS satellittdekning i området), men bortfallene var så kortvarige at det ikke var nødvendig å avbryte fotograferingen.



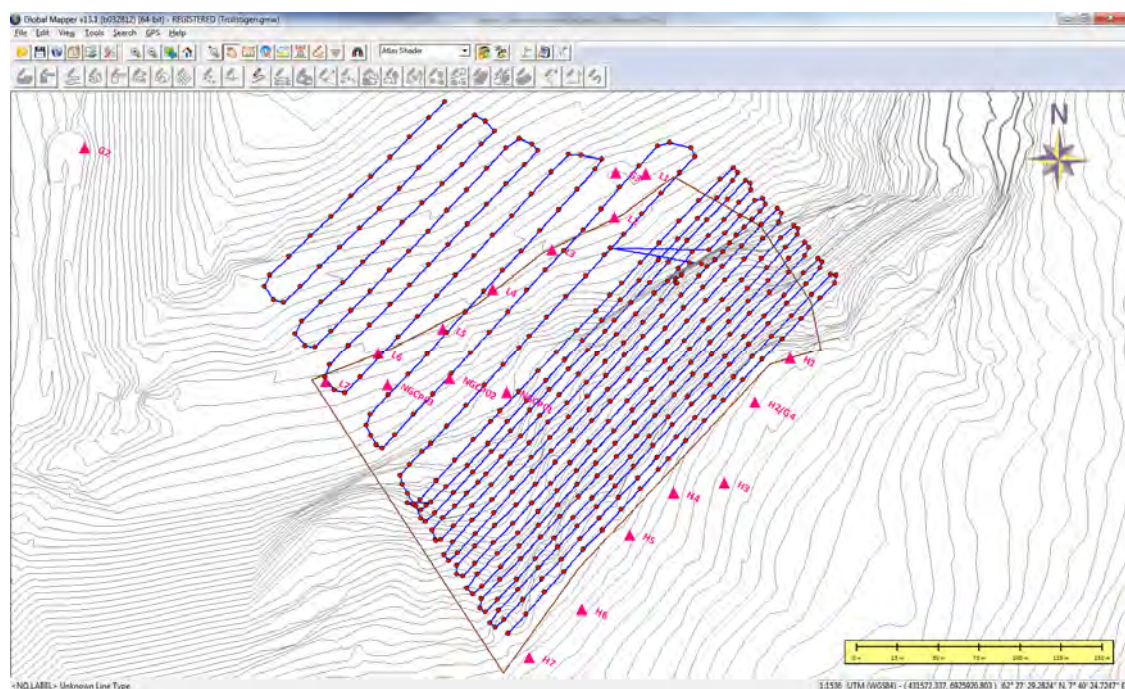
På grunn av problemene med satellittdekningen, ble ikke de 3 tverrstripene fotografert ved årets flyvning.

Totalt ble det tatt **467 bilder** under fotograferingen. Kameraet som ble benyttet var av typen **Sony Alfa 7 (ILCE-7R)**. Dette er et bedre kamera enn det som ble benyttet ved fotograferingen høsten 2014. Spesifikasjonene for Sony Alfa 7 kameraet er som følger:

- Brennvidde: 35 mm
- Bildesensor: Exmor CMOS sensor, 35.9 x 24.0 mm
- Bildestørrelse: 7360 x 4912 pixler
- Pixel-størrelse: 4.89  $\mu\text{m}$

I likhet med fotograferingen høsten 2014, var kameraet montert i en gyro-stabilisert opphengsramme på dronen, og det var skråstilt 45°, slik at det hele tiden ble fotografert inn mot fjellskråningen.

Figuren under viser stripene som ble flydd. Fotoposisjonene som vises i figuren er hentet fra fotologgen som kommer fra dronens auto-pilot. Disse fotoposisjonene har vanligvis en nøyaktighet på noen meter, men på steder avviker fotoposisjonene fra det ellers så systematiske mønsteret. Dette er der dronen mistet satellittdekningen under fotograferingen.



*Figuren viser flymønsteret under fotograferingen. Fotoposisjonene (de røde prikkene) er hentet fra dronens auto-pilot.*



*Eksempelbilde fra fotograferingen 13/10-2015.*



*Utsnitt fra samme bilde. Her sees to av de signalerte gittpunktene (passpunktene) øverst til venstre og øverst til høyre i utsnittet.*

## 6. HELIKOPTERBÅREN LASERSCANNING HØSTEN 2015

### 6.1 Bakgrunn

Høstet 2015 ble det utført en helikopterbåren laserscanning av prosjektområdet. Formålet med denne laserscanningen var å etablere et datasett (terrengmodell) som kunne brukes i evalueringen av nøyaktigheten til de fotogrammetrisk genererte terrengmodellene. Videre var det interessant å vurdere denne datafangstmetoden opp mot dronefotografering og fotogrammetri.

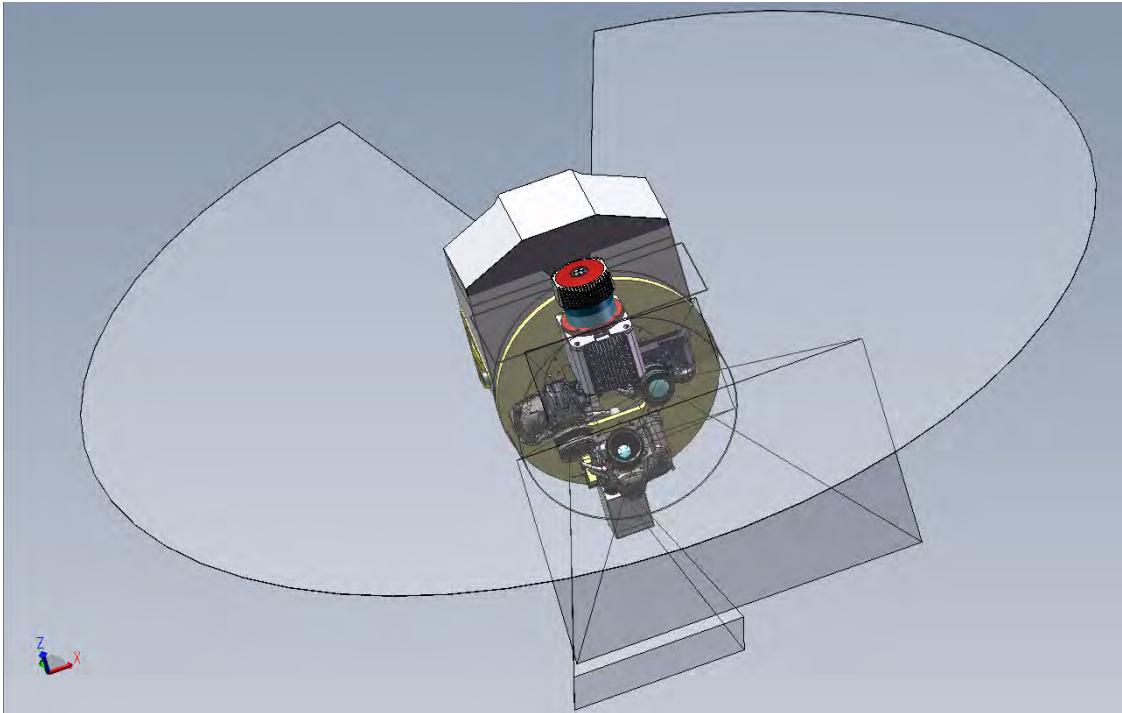
Denne aktiviteten var opprinnelig ikke en del av dette prosjektet, men ble tatt inn etter at TerraTec gikk til anskaffelse av en Riegl VUX-1 laser. Dette laser systemet er velegnet for scanning i bratt terreng, fordi instrumentet har en FOV (Field of View) på hele 330°. Det betyr at man kan fly langs en fjellskråning og scanne til siden.

### 6.2 Instrumentering

Riegl VUX-1 er et lite og lett laserinstrument som er utviklet for bruk på drone. TerraTec har imidlertid fått utviklet en helikopterbasert løsning, der VUX-1 laseren og 3 stk. Nikon D810 kamera er montert i en gyro-stabilisert pod foran på helikopteret. Inkludert i systemet er også et Applanix AP50 GNSS/IMU system for georeferering av dataene. To av kameraene i systemet er montert med en vinkel på 45°, henholdsvis bakover og forover, mens det tredje kameraet er vertikal-montert.




*TerraTec sitt VUX-1/kamera system under monteringen på helikopteret.*




*Prinsippskisse av VUX-1/kamera systemet (sett fra undersiden).*

NEW

RIEGL VUX<sup>®</sup>-1



RIEGL<sup>®</sup>

- **Very compact (225 x 180 x 125 mm)**
- **Very lightweight (approx. 3.6 kg)**
- High-accuracy ranging based on echo digitization and online waveform processing
- High laser pulse repetition rate up to **550 kHz** for fast data acquisition
- Fast scan speed up to **200 scans / sec.**
- Survey-grade measurement, accuracy / precision **10 / 5 mm**
- Operating flight altitude up to **more than 1,000 ft**
- Field of view up to **330°** enabling data acquisition in narrow, complex environments
- **Easily mountable to professional UAS/RPAS**
- **Internal data storage** capability (**240 GB SSD**) for several hours of data acquisition
- **Low Power consumption**, 60W (while scanning)



< 4 kg



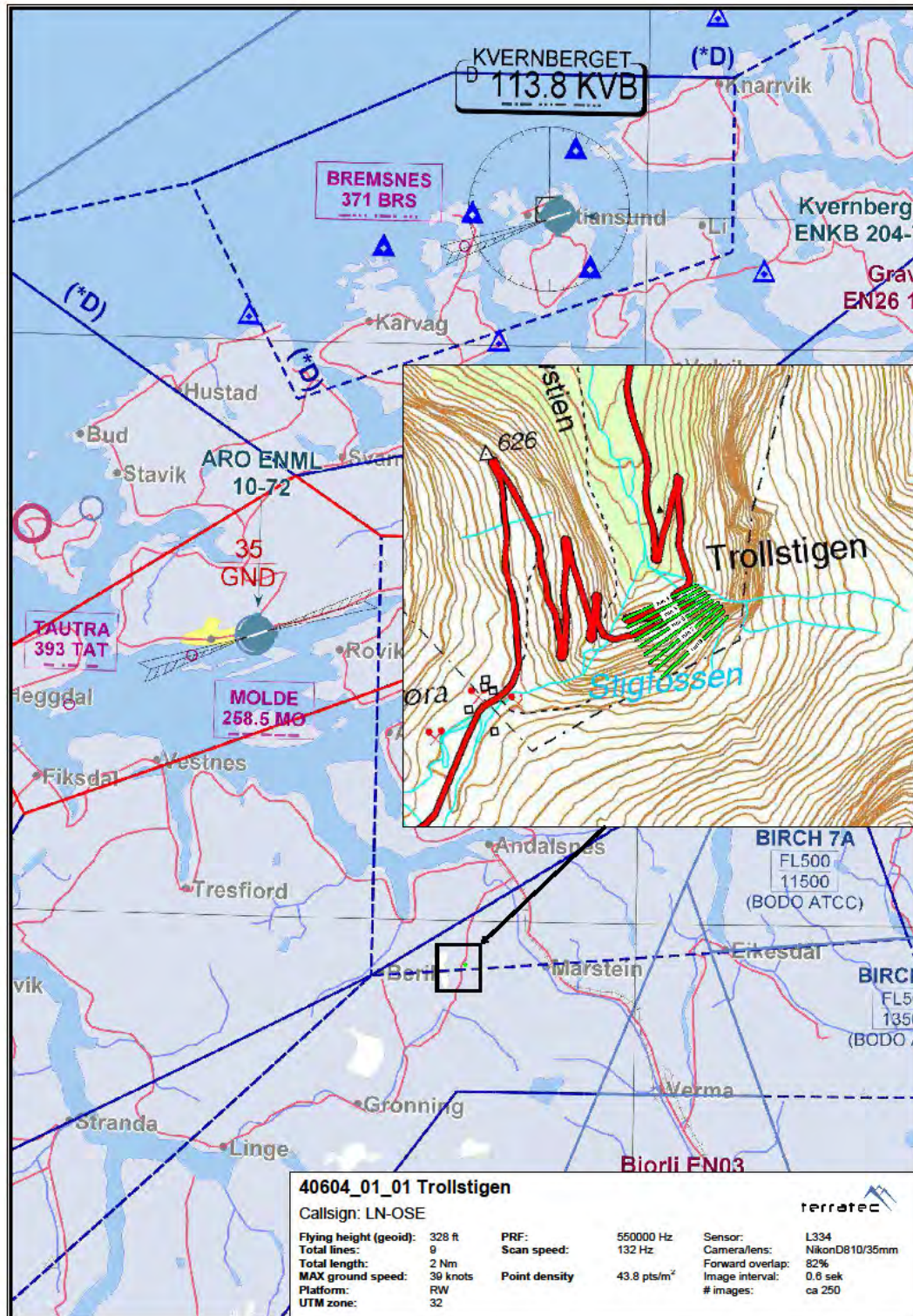


0 cm 10 cm 20 cm 30 cm

*Oppsummering av egenskapene til Riegl VUX-1 laseren*

### 6.3 Flyplan for laserscanningen

Flyplanen som ble laget for laserscanningen er vist i figuren nedenfor. Planen bestod av 9 striper. Disse ble lagt på langs av terrenget og med ulik høyde for hver stripe (slik at flyhøyden over terrenget var tilnærmet konstant).



*Flyplan for laserscanningen*

## 6.4 Gjennomføring av laserscanningen

Laserscanningen ble gjennomført **tirsdag 29. september 2015**.

## 6.5 Prosessering av dataene

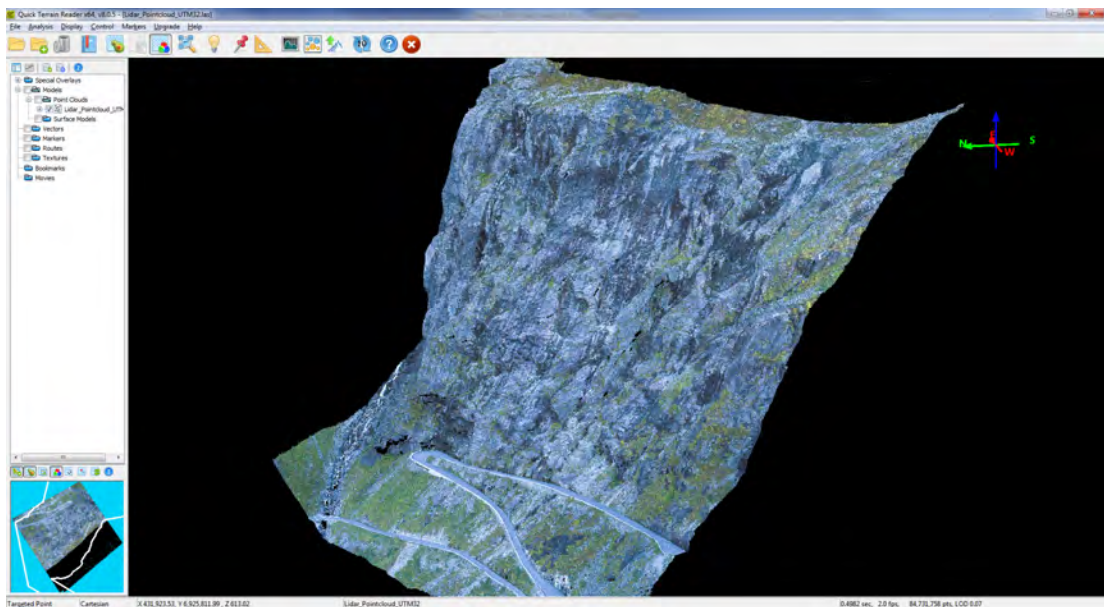
GNSS/IMU dataene fra flyvningen ble prosessert i TerraPos.

Rådataene fra VUX-1 laseren ble prosessert i RiPROCESS programvaren fra Riegl. GNSS/INS løsningen fra TerraPos ble benyttet i denne prosessen. Resultatet av beregningen i RiPROCESS er en punktsky.

Sluttbearbeidingen av punktskyen ble gjort i TerraSolid programvaren. Der ble laserdataene fra alle flystripene sydd sammen og utjevnet i forhold til hverandre. Det ble også gjort en høydejustering i forhold til de terrestriske laserdataene (fra 2014). De terrestriske dataene innenfor veibanen ble benyttet i denne prosessen.

Hvert laserpunkt ble også tilordnet en farge (RGB-verdi). Bildene, som ble tatt med Nikon D810 kameraene under laserscanningen, ble benyttet til denne fargekodingen.

All laserberegningen ble gjort i det opprinnelige koordinatsystemet (EUREF89 UTM32/ NN1954 høyder), men punktskyen ble også transformert til det lokale koordinatsystemet (for videre bruk i analysearbeidet).



*Skjermdump som viser laser terrenngmodellen (fra Riegl VUX-1 laseren)*

## 7. FOTOGRAMMETRISKE BEREGNINGER

### 7.1 Generelt om beregningene

Ved hjelp av bildene fra de to fotograferingene (2014 og 2015) skal det produses digitale terrengmodeller og ortofoto. Første steg i beregningsprosessen er å orientere bildene ved hjelp av en aerotriangulering.

I aerotrianguleringen måles automatisk sammenbindingspunkter mellom alle bildene ved hjelp av bildematching. I tillegg må alle gittpunktene (passpunktene) måles manuelt i alle bilder hvor de er synlige. Til slutt beregnes bildenes ytre orienterings parametere (projeksjons-senterkoordinater og rotasjoner i forhold til terrengkoordinatsystemet) i en blokkutjevning. I denne utjevningen holdes terrengkoordinatene for gittpunktene fast (eller de vektas i henhold til den nøyaktigheten de har fra innmålingen). Det samme gjelder fotoposisjonene, dersom disse er nøyaktig bestemt under fotograferingen (ved hjelp av GNSS). I blokkutjevningen kan det også utføres en kamerakalibrering (der objektivets brennvidde, bildehovedpunktsfeil og radielle fortegning beregnes). Kameraene som brukes ved dronefotografering er som regel ikke kalibrert på forhånd. Det er derfor viktig å utføre denne kamerakalibreringen i blokkutjevningen.

Når aerotrianguleringen og blokkutjevningen er fullført, kan den digitale terrengmodellen produseres ved hjelp av bildematching. Dette er en helautomatisk prosess.

Terrengmodellen brukes deretter til å produsere ortofoto. Først ortorektifiseres hvert enkelt bilde, deretter sys de ortorektifiserte bildene sammen til en ortofotomosaikk. Ved ortofotoproduksjon fra storformat flykamera, defineres ofte sømlinjene i ortofotomosaikken manuelt (for å få penest mulig overgang mellom skjøtene), men det er også mulig å la programvaren gjøre denne delen helt automatisk. I dette prosjektet ble den helautomatiske metoden benyttet.

### 7.2 Programvare

Det har blitt benyttet to forskjellige programvarer i dette prosjektet:

- Agisoft PhotoScan
- Pix4Dmapper

Begge disse programvarene er utviklet spesielt med tanke på å prosessere bilder tatt med drone. Sammenlignet med tradisjonell fotogrammetriprogramvare, er brukergrensensnittene enklere, og det er færre parametere å stille på under beregningene.

Det ble ikke lagt opp til å teste de valgte programvarene mot hverandre. Det ble valgt å kjøre beregningene i to forskjellige programvarer kun for å få litt bredere erfaring.

Bygg Control har utført Agisoft PhotoScan beregningene, mens TerraTec har utført beregningene med Pix4Dmapper.

### 7.3 Beregninger med Agisoft PhotoScan

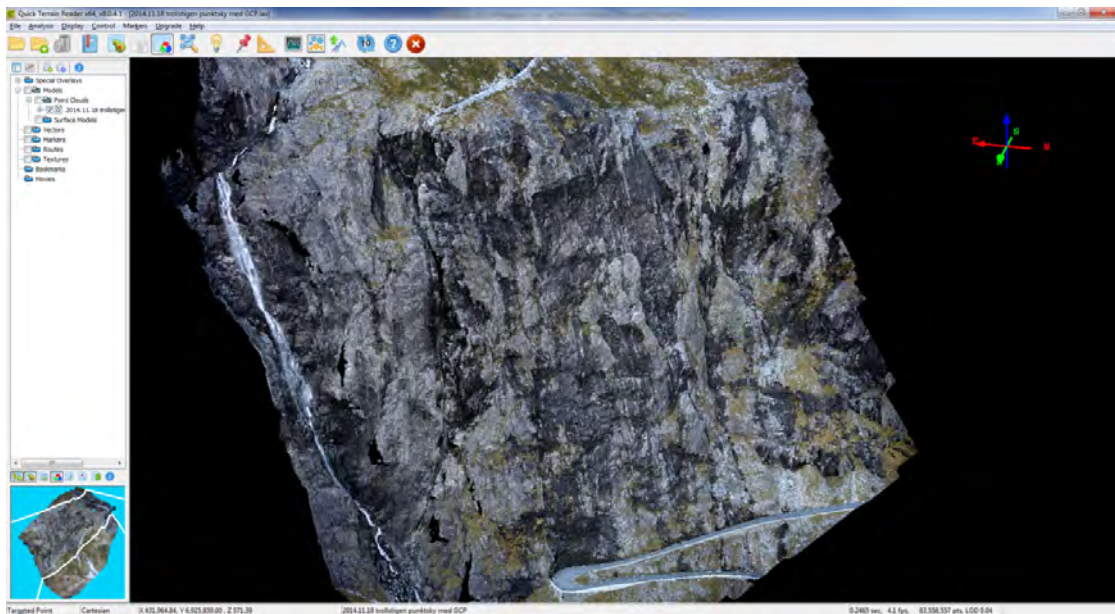
Beregningene i Agisoft PhotoScan ble utført i det opprinnelige koordinatsystemet (EUREF89 UTM32/ NN1954 høyder) for begge fotograferingene (2014 og 2015).

For fotograferingen i 2014 ble fotoposisjonene nøyaktig bestemt ved å prosessere GNSS faseobservasjoner fra CamPos-M systemet. Disse fotoposisjonene ble benyttet i beregningen (blokkutjevningen).

For hver av fotograferingene ble det produsert digitale terrengmodeller og ortofoto. For hvert billedatasett er det levert både terrengmodell og ortofoto. Terrengmodellen har blitt levert i .LAS format.

Kameraet som ble benyttet ved fotograferingen i 2015 hadde en høyere oppløsning enn kameraet som ble byttet i 2014. Som et resultat av dette, er punktettheten langt høyere i terrengmodellen som er produsert ved hjelp av 2015-bildene enn terrengmodellen som er produsert ved hjelp av 2014-bildene. Det er ca 4 ganger så mange punkt i førstnevnte modell.

TerraTec har transformert de digitale terrengmodellene til det lokale koordinatsystemet. Disse modellene er benyttet i endringsanalysene (deformasjonsanalysene). De transformerte modellene har også blitt levert.



*Terrengmodellen som ble produsert i Agisoft PhotoScan programvaren med bildene fra 2014. Modellen er her vist i programvaren Quick Terrain Reader (QT Reader).*

Rapportene fra beregningen i Agisoft PhotoScan er vist i vedlegg A og B. Rapportene er også levert som separate rapporter.



#### 7.4 Beregninger med Pix4DMapper

Beregningene i Pix4DMapper ble utført i det lokale koordinatsystemet for begge fotograferingene (2014 og 2015).

Fotoposisjonene fra fotograferingen i 2014, som ble nøyaktig bestemt ved å prosessere GNSS faseobservasjoner fra CamPos-M systemet, ble transformert til det lokale koordinatsystemet og benyttet i beregningen (blokkutjevningen).

For hver av fotograferingene ble det produsert digitale terrengmodeller og ortofoto. For hvert billedatasett er det levert både terrengmodell og ortofoto. Terrengmodellen har blitt levert i .LAS format.

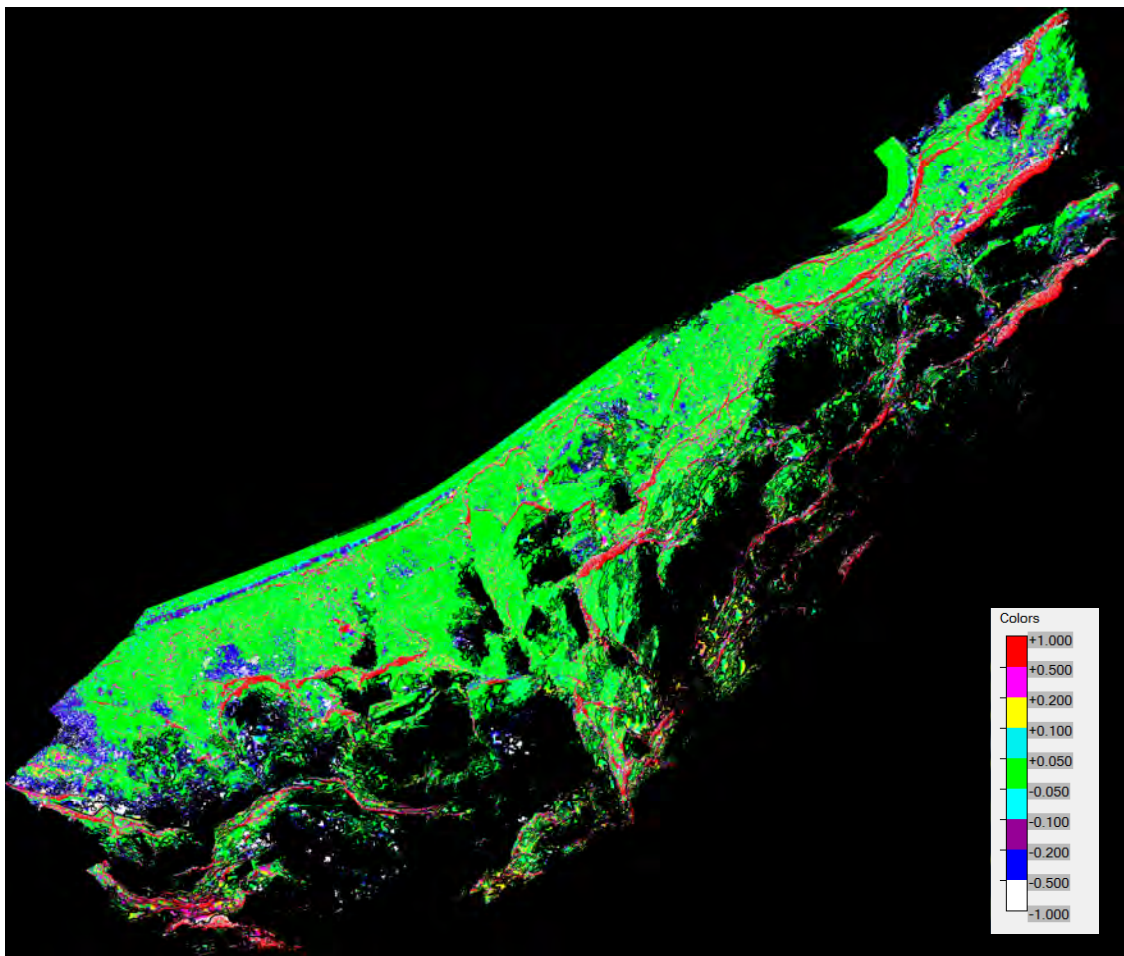
I likhet med terrengmodellene som ble produsert med Agisoft PhotoScan programvaren, er det også for Pix4DMapper vesentlig høyere punktetthet i 2015-terrengmodellen sammenlignet med 2014-terrengmodellen. Dette skyldes at det ble benyttet et kamera med høyere oppløsning i 2015.

Rapportene fra beregningen i Pix4DMapper er vist i vedlegg C og D. Rapportene er også levert som separate rapporter.

## 8. ANALYSER

### 8.1 Kontroll av fotogrammetrisk terrengmodell ved hjelp av terrengmodell fra den terrestriske laserscanning

Terrengmodellen som ble produsert i Agisoft PhotoScan programvaren med bildene fra 2014, ble kontrollert ved hjelp av terrengmodellen fra den terrestriske laserscanningen. Det ble beregnet høydedifferanser mellom de to terrengmodellene og deretter laget et differanseplott. Beregningene ble utført i det opprinnelige koordinatsystemet (EUREF89 UTM32/ NN1954 høyder) ved hjelp av programvaren TerraScan (fra TerraSolid). Resultatet er vist i figuren under.



*Differanser mellom fotogrammetrisk terrengmodell og terrengmodellen fra den terrestriske laserscanningen.*

De grønne områdene ligger innenfor +/- 5 cm.

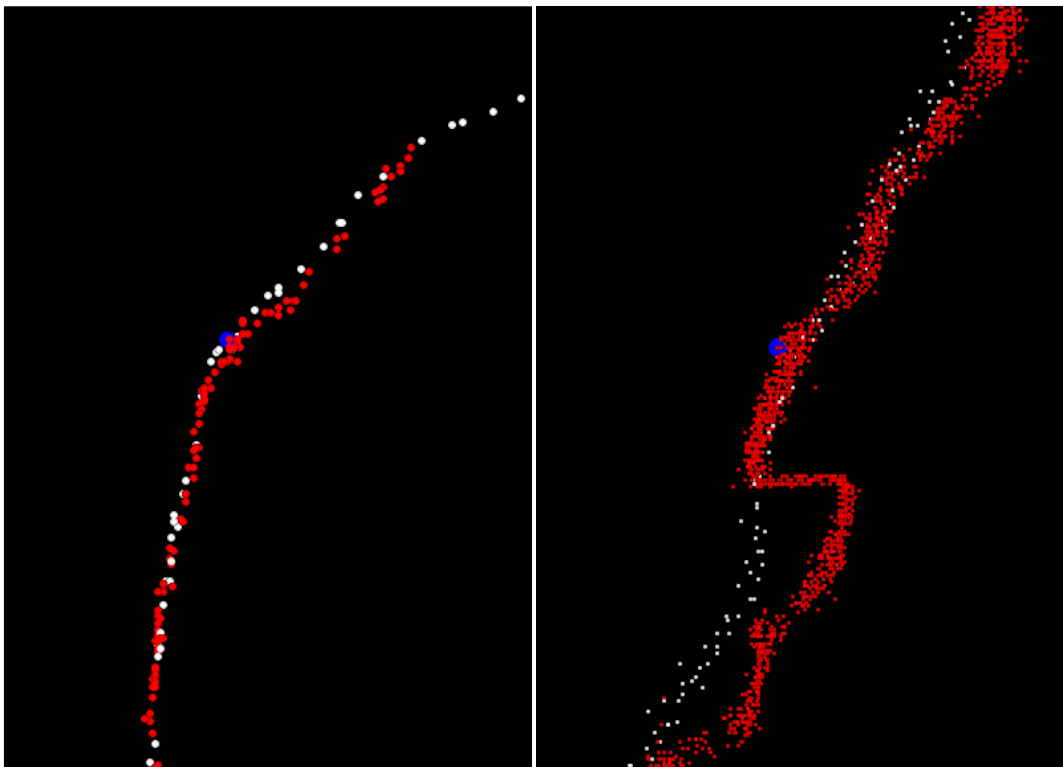
I de blå områdene ligger dataene fra den terrestriske laserscanningen høyre enn dataene fra den fotogrammetriske modellen. Dette er typisk områder med vegetasjon. Mer av vegetasjonen har kommet med i modellen fra den terrestriske laserscanningen enn i den fotogrammetriske modellen.

I de røde områdene ligger dataene fra den terrestriske laserscanningen lavere enn dataene fra den fotogrammetriske terrengmodellen. Dette er typisk områder med bratte stup og overheng. I slike områder har den terrestriske laserscanningen registrert de brå overgangene bedre enn den fotogrammetriske bildematchingen. Dette er ikke uventet, siden den terrestriske laserscanningen ble utført nedenfra (fra veien).

Den terrestriske laserscanningen dekker kun nedre del av fjellskråningen, men i det området som er dekket, viser kontrollen at den fotogrammetrisk genererte terrengmodellen har en nøyaktighet i størrelsesorden +/- 5 cm. Det er noen mindre områder med større feil (forskjeller mellom modellene), men disse avvikene kan forklares ved at de to datafangstmetodene har forskjellige egenskaper.

## 8.2 Kontroll av fotogrammetrisk terrengmodell ved hjelp av kontrollpunkt

Det ble målt inn 3 kontrollpunkt i fjellskråningen. Disse ble målt (fra veien) ved hjelp av totalstasjon og reflektorløs avstandsmåler. Siden disse punktene ligger i veldig bratte partier, var det vanskelig å beregne høydeavvik mellom punktene og den fotogrammetriske terrengmodellen. Derfor ble det utført en visuell kontroll ved å plote terrengprofiler i områdene der kontrollpunktene er. To av terrengprofilene er vist i figuren under.



*Terrengprofiler i områdene rundt to av kontrollpunktene. Kontrollpunktene er vist med blå symbol. De røde punktene er fra den terrestriske laserscanningen, mens de hvite punktene tilhører terrengmodellen som ble produsert i Agisoft PhotoScan med bildene fra 2014.*

Terrengprofilene viser at den fotogrammetrisk genererte terrengmodellen stemmer bra i forhold til kontrollpunktene. Det høyre profilet i figuren illustrerer også godt effekten som ble kommentert i forrige avsnitt. Rett nedenfor kontrollpunktet er det et overheng. Dette er fanget opp av den terrestriske laserscanningen, men ikke i den fotogrammetrisk genererte terrengmodellen.

### 8.3 Kontroll av aerotrianguleringen ved hjelp av uavhengige kontrollpunkt

De 3 kontrollpunkt (som ble målt inn ved hjelp av totalstasjon og reflektorløs avstandsmåler) ble også brukt til å kontrollere nøyaktigheten på aerotrianguleringen (bildeorienteringen). I aerotrianguleringsprosessen i Pix4Dmapper ble punktene målt, men ikke brukt aktivt i utjevningen. Det ble estimert nye koordinater for punktene i utjevningen. Disse ble så sammenlignet med de landmålte koordinatene. Avvikene er vist i tabellene nedenfor.

Check Point Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
NGCP01	0.0200/0.0200	-0.0131	-0.0453	0.0058	0.3358	4 / 4
NGCP02	0.0200/0.0200	-0.0059	-0.0232	-0.0293	0.2464	4 / 4
NGCP03	0.0200/0.0200	-0.0005	-0.0143	0.0380	0.3053	4 / 4
<b>Mean [m]</b>		-0.006483	-0.027641	0.004827		
<b>Sigma [m]</b>		0.005184	0.013029	0.027487		
<b>RMS Error [m]</b>		0.008301	0.030558	0.027907		

*Avvikene i de uavhengige kontrollpunktene ved aerotriangulering av bildene fra 2014 i Pix4Dmapper programvaren.*

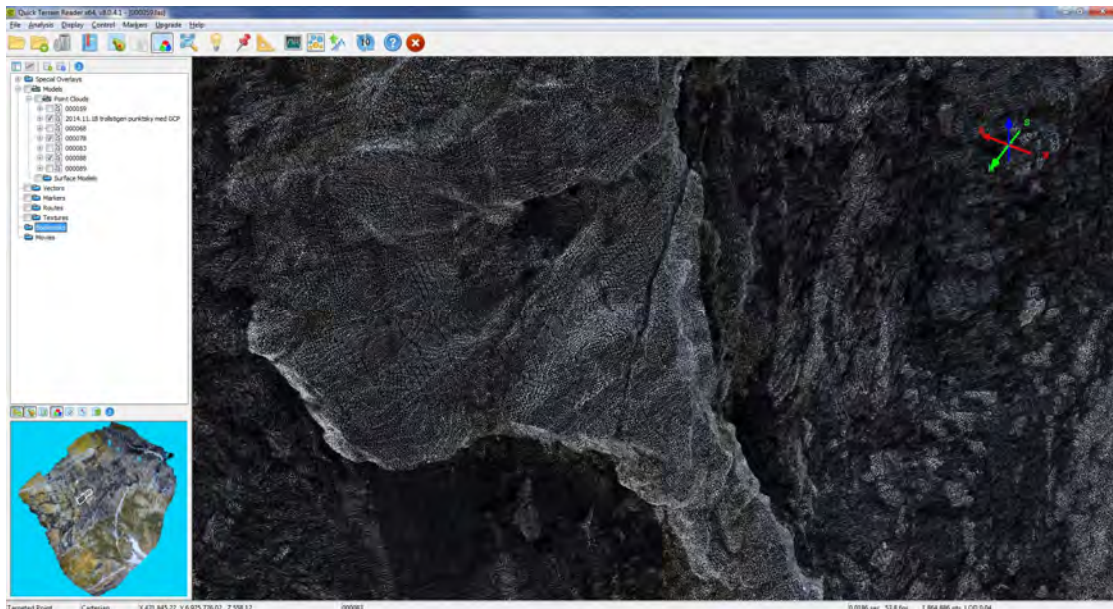
Check Point Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
NGCP01	0.0200/0.0200	-0.0430	-0.0449	0.0625	0.8885	17 / 18
NGCP02	0.0200/0.0200	-0.0201	-0.0176	0.0376	0.1577	7 / 7
NGCP03	0.0200/0.0200	-0.0115	-0.0016	0.0399	0.4205	5 / 5
<b>Mean [m]</b>		-0.024863	-0.021361	0.046648		
<b>Sigma [m]</b>		0.013315	0.017892	0.011273		
<b>RMS Error [m]</b>		0.028204	0.027864	0.047991		

*Avvikene i de uavhengige kontrollpunktene ved aerotriangulering av bildene fra 2015 i Pix4Dmapper programvaren.*

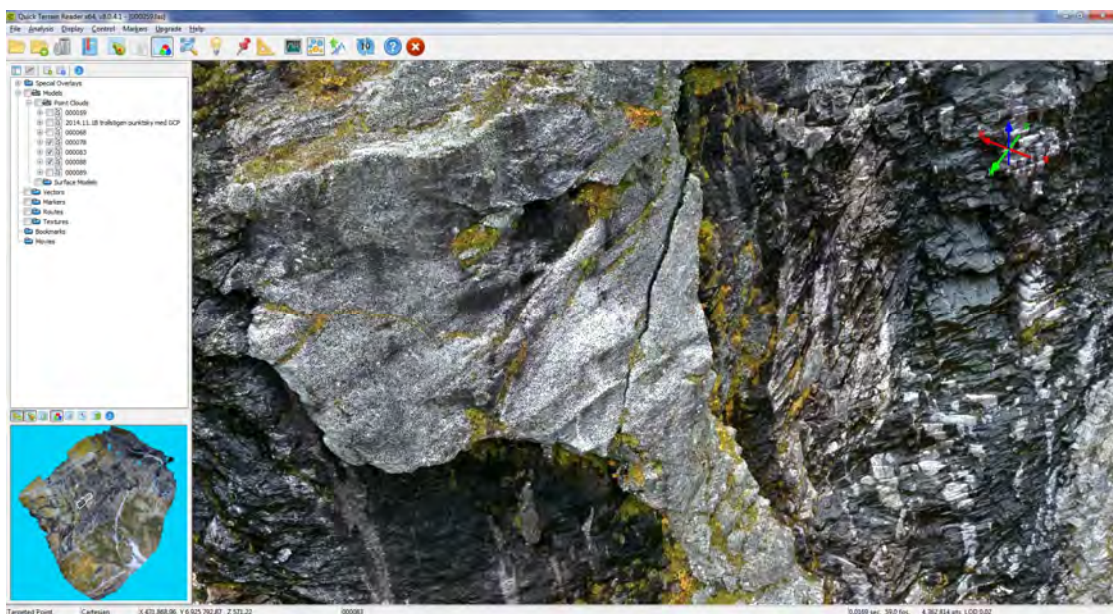
Resultatene viser at de sanne feilene i kontrollpunktene er i størrelsesorden 2 – 4 cm. Dette viser at nøyaktigheten på aerotrianguleringen er som forventet ut i fra kameratype og oppløsning (flyhøyde). Det burde dog vært flere punkt, jevnt fordelt innenfor hele prosjektområdet, for kunne konkludere med at aerotrianguleringen holder samme nøyaktighet i alle deler av prosjektområdet.

## 8.4 Visuell sammenligning av terrengmodeller generert med bilder fra henholdsvis 2014 og 2015

For å få et inntrykk av hvor godt terrengmodellene fra de to fotograferingene (2014 og 2015) stemmer overens, ble begge modellene lastet inn i QT Reader programvaren. Ved å panorere rundt, og samtidig veksle mellom modellene, får man et bra inntrykk av forskjellene. Nedenfor er samme utsnitt vist for to av terrengmodellene.



*Utsnitt av terrengmodellen som ble produsert i Agisoft PhotoScan med bildene fra 2014.*



*Samme utsnitt som over, men i terrengmodellen som ble produsert i Agisoft PhotoScan med bildene fra 2015.*

Hovedinntrykket er at det er veldig god overensstemmelse mellom terrengmodellene, men det er også noen forskjeller:

- Terrengmodellen som er produsert med 2015-bildene er mer detaljert enn terrengmodellen som er produsert med 2014-bildene. Årsaken til dette er at førstnevnte modell har høyere punkttetthet som følge av at det ble benyttet et kamera med høyere oppløsning i 2015.
- Det er bedre fargekontraster og klarere farger i terrengmodellen som er produsert med 2015-bildene. Årsaken er nok at det ble benyttet et bedre kamera i 2015.
- Terrengmodellen som er produsert med 2015-bildene fanger opp skarpe kanter i terrenget bedre enn terrengmodellen som er produsert med 2014-bildene. Dette henger sammen med at punkttettheten er høyere.
- Små busker og trær er i større grad med i terrengmodellen som er produsert med 2015-bildene enn i terrengmodellen som er produsert med 2014-bildene.

Sistnevnte punkt var også tydelig ved første beregning av differanser mellom de to terrengmodellene. På bakgrunn av dette, ble det besluttet å foreta en manuell editering av terrengmodellene for å fjerne vegetasjonen.

## 8.5 Manuell editering av terrengmodellene

Som beskrevet i forrige avsnitt, inneholder de fotogrammetrisk genererte terrengmodellene noe vegetasjon (busker og små trær). I tillegg har mer av vegetasjon kommet med i modellene som ble produsert ved hjelp av 2015-bildene. Det ble derfor foretatt en manuell editering av terrengmodellene.

Editering ble foretatt for alle terrengmodellene. Under editeringen ble ingen punkt slettet, men punkt som lå på vegetasjonen ble lagt i en egen klasse. Denne punktklassen kunne da utelates ved beregning av differanser mellom modellene.

I de editerte terrengmodellene er punktene klassifisert i to klasser:

- Class 0 = Ikke bakke (vegetasjon, etc.)
- Class 1 = Bakke

I figuren nedenfor vises de områdene som er klassifisert som ikke bakke (Class 0).

I tillegg til å editere terrengmodellene, ble data utenfor prosjektavgrensningen klippet bort.

De editerte terrengmodellene ble benyttet i de påfølgende analysene. Disse modellene er også levert som en del av leveransen.

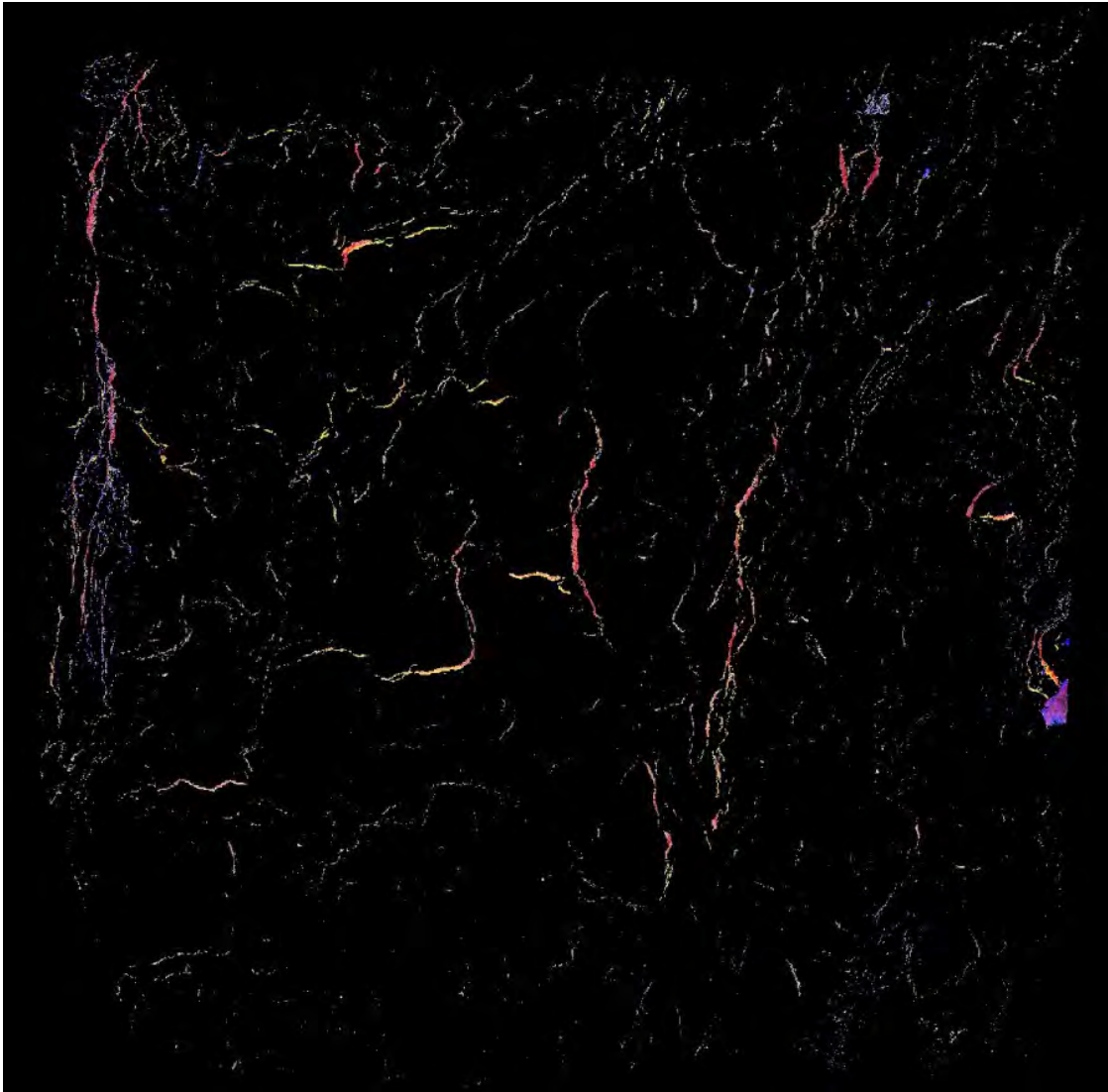


*De hvite områdene er de delene av punktskyen som er klassifisert som «Ikke Bakke».*

## **8.6 Endringsanalyse ved å beregne differanser mellom terrengmodellene fra 2014 og 2015**

For å identifisere områder hvor det har skjedd endringer fra 2014 til 2015, ble det beregnet differanser mellom terrengmodellene fra de to fotograferingene (2014 og 2015).

For å beregne differansene, ble det laget grid-modeller av de editerte terrengmodellene ved hjelp av TerraScan programvaren (fra TerraSolid). Det ble valgt en cellestørrelse på 3 cm for grid-modellene. I denne prosessen viste det seg at det fortsatt var en del områder med overheng, til tross for at det lokale koordinatsystemet var tilpasset helningen på terrenget. Siden overheng ikke kan håndteres i en grid-modell, ble det valgt å beholde høyeste punkt i områder med overheng. Det betyr at punktene på undersiden av overhengene ble ignorert. Figuren under viser områder med overheng.



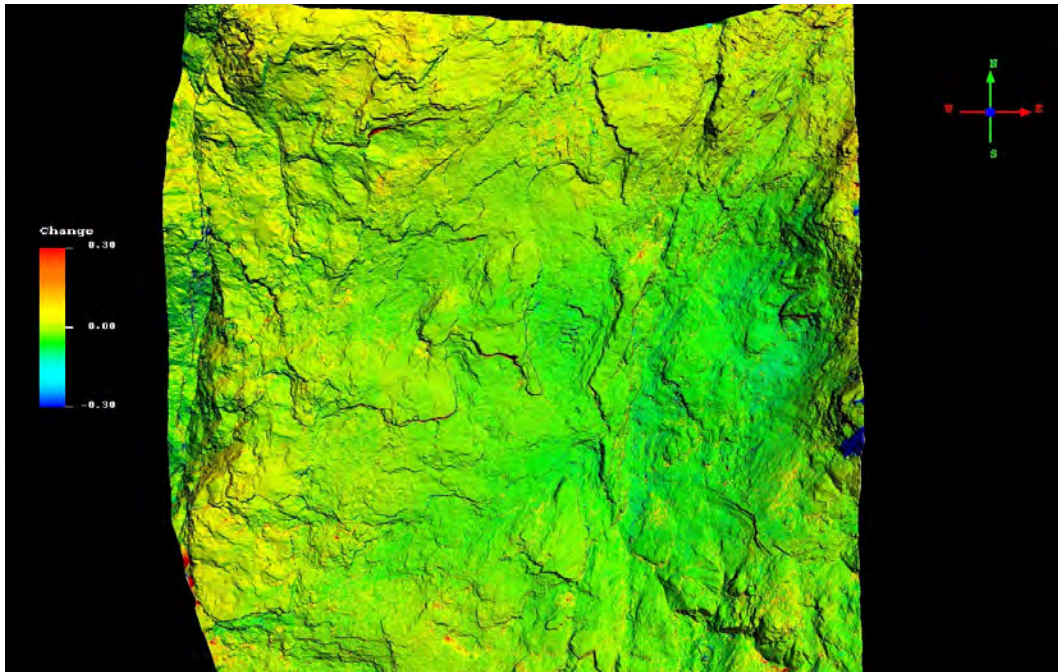
*Områder med overheng.*

Beregningen av differansene mellom grid-modellene ble utført i Quick Terrain Modeler programvaren (QT Modeler). Differensene ble fargekodet etter størrelsen. Disse fargekodene så ble lagt oppå terrenngmodellen fra 2014 for å kunne visualiseres i 3D. Fargeverdiene (RGB verdiene) fra de opprinnelige modellene ble også lagt inn som egne lag i QT Modeler. Disse er til hjelp når man skal studere de områdene hvor det er differanser mellom terrenngmodellene. Dette er områder hvor det kan ha skjedd endringer i terrenget.

QT Modeler prosjektene inngår i leveransen. Disse kan åpnes med QT Reader (som er et gratis innsynsverktøy).

Differansene mellom terrenngmodellene som ble produsert med Pix4D mapper er vist i figuren under. Det ble gjort tilsvarende beregning for terrenngmodellene som ble produsert med Agisoft PhotoScan.



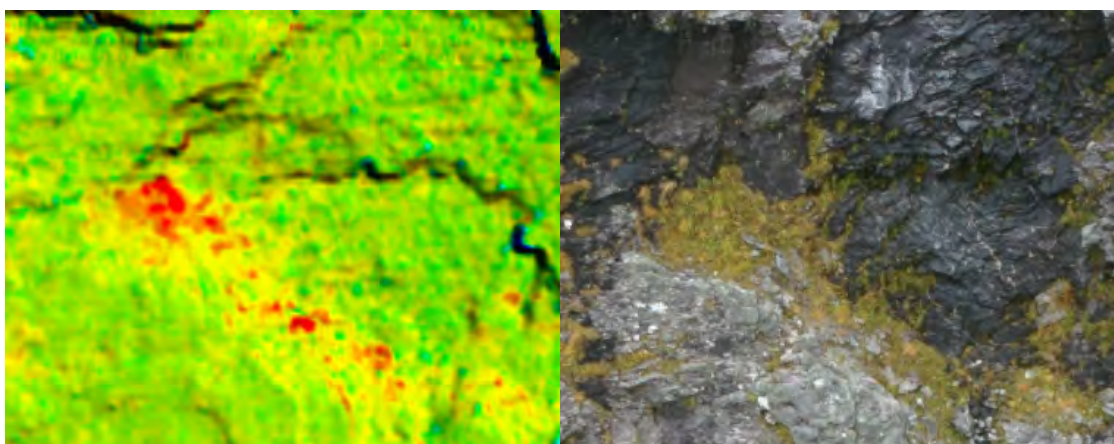


*Differanser mellom terrengmodellene fra de to fotograferingene (2014 og 2015). Fargeskalaen som er brukt for å visualisere differansene er vist til venstre i figuren.*

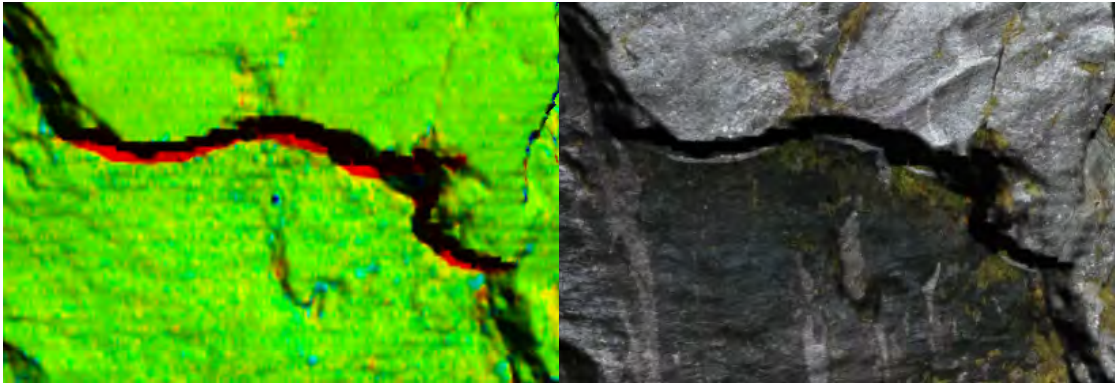
I differansemodellen er områder med differanser på 30 cm eller mer vis med rødt og blått. Røde områder er der hvor modellen fra 2015 ligger høyere enn modellen fra 2014, mens blå områder er der modellen fra 2015 ligger lavere enn modellen fra 2014. De røde områdene ned til venstre, og de blå områdene helt til høyre, skyldes ikke endringer i terrenget. Dette er områder hvor det manglet data i en av terrengmodellene

Ved å panorere rundt og zoome inn i differansemodellen, kan områdene med store differanser inspiseres. I denne prosessen er det nyttig å kunne slå på et av lagene med de opprinnelige RGB-verdiene.

En del av differansene skyldes ikke terrengendringer, men unøyaktigheter i terrengmodellene som følge av vegetasjon eller skygger i bildene.

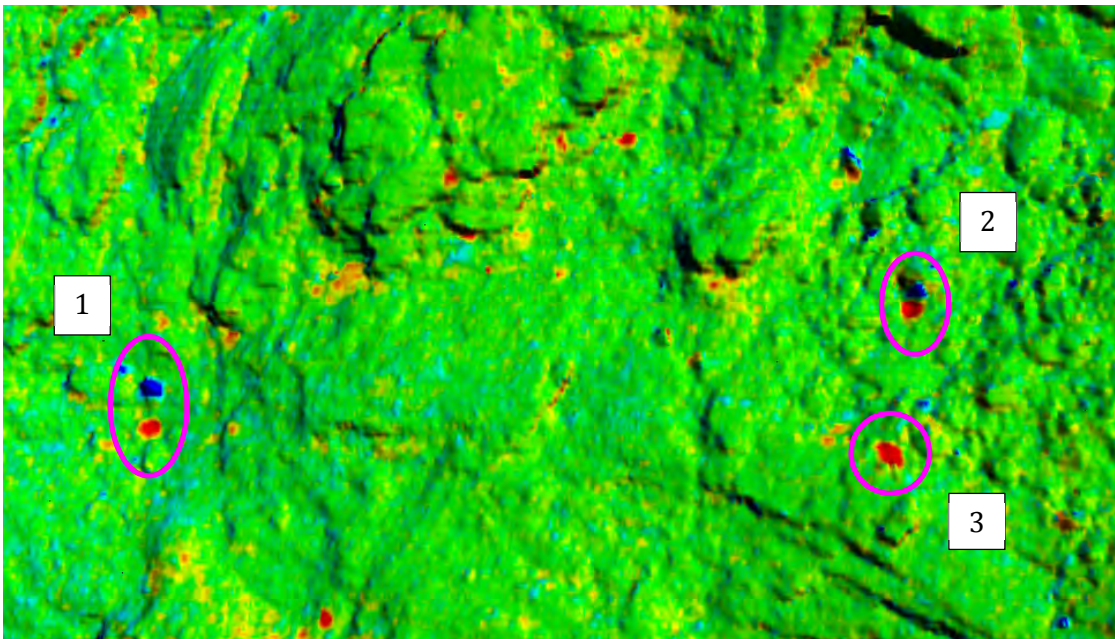


*Differanser som følge av unøyaktigheter i terrengmodellene, i dette tilfellet pga. vegetasjon.*

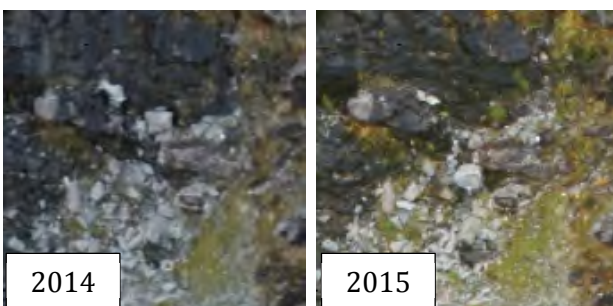


*Differanser som følge av unøyaktigheter i terrengmodellene, i dette tilfellet pga. skygge i bildene som ble brukt til å produsere terrengmodellene.*

Noen av differansene skyldes også reelle endringer i terrenget. Dette dreier seg om steiner som har flyttet på seg eller rast nedover fjellskråningen.



*Differanser som skyldes reelle endringer, i dette tilfellet steiner som har flyttet på seg eller rast nedover fjellskråningen.*



*Lokasjon 1 – Stein som har flyttet på seg*



Lokasjon 2 – Stein som har flyttet på seg



Lokasjon 3 – Ny stein i dette området

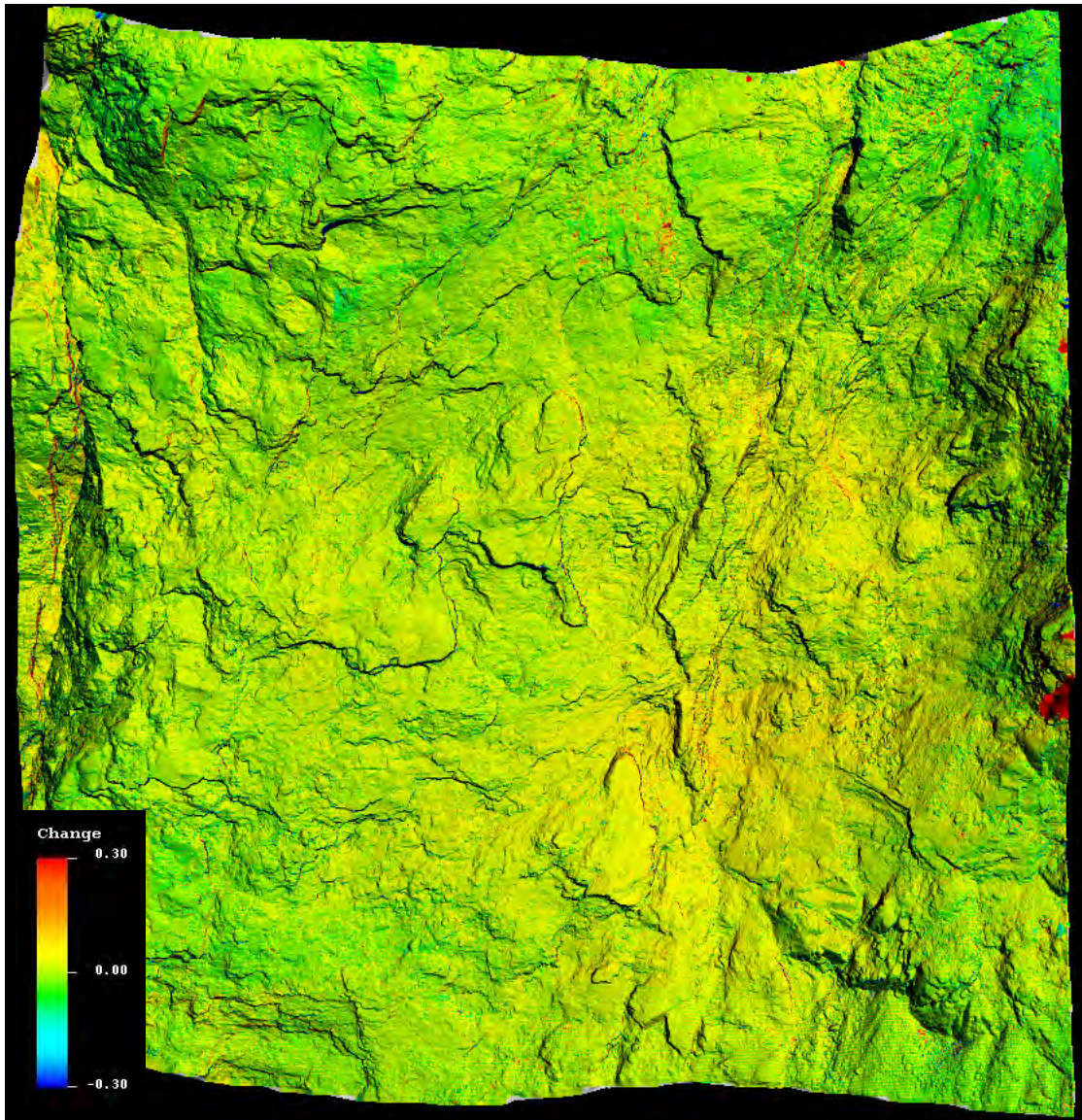
Siden det er såpass mange «falske endringer» som følge av unøyaktigheter i terrengmodellene, vil det kreves en del manuelt arbeid for å finne alle de reelle endringene (så lenge de disse endringene er relativt små).

## 8.7 Beregning av differanser mellom terrengmodellene fra Agisoft PhotoScan og Pix4Dmapper

På samme måte som det ble beregnet differanser mellom terrengmodellene fra de to fotograferingene (2014 og 2015), ble det for hvert av årene beregnet differanser mellom terrengmodellen fra Agisoft PhotoScan og terrengmodellen fra Pix4Dmapper.

Disse differansemodellene inngår også i leveransen (i form av QT Modeler prosjekt).

Det ble ikke påvist noen store forskjeller mellom programvarene. I figuren på neste side er differansemodellen for de to terrengmodellene fra 2015-fotograferingen vist.



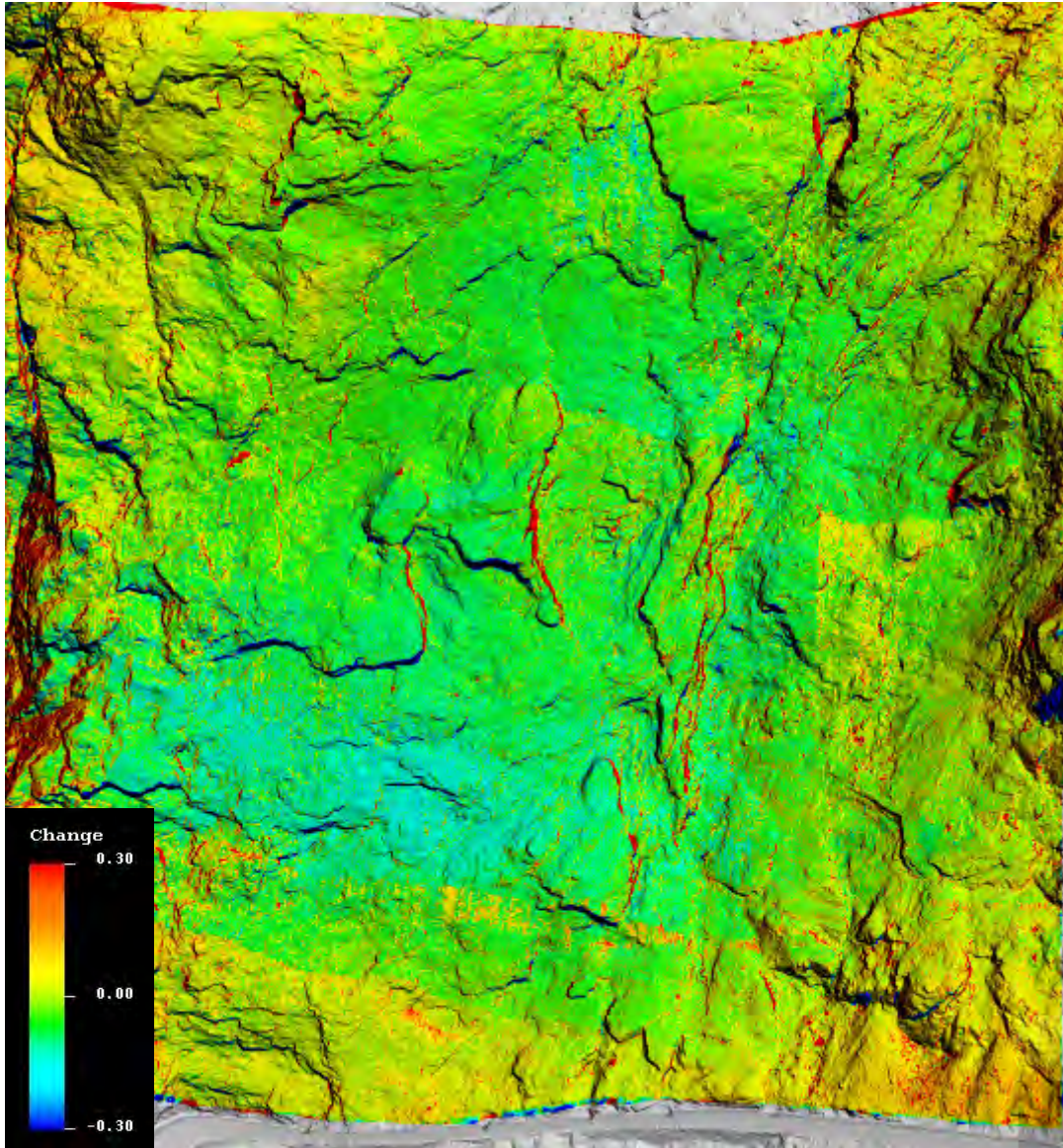
*Differanser mellom terrengmodell produsert med Agisoft PhotoScan og terrengmodell produsert med Pix4Dmapper. Begge modellene er produsert fra 2015-bildene.*

## **8.8 Kontroll av fotogrammetrisk terrengmodell ved hjelp av terrengmodell fra helikopterbåren laserscanning**

For terrengmodellene som er produsert ved hjelp av bildene fra 2015, ble det beregnet differanser i forhold til terrengmodellen fra den helikopterbårne laserscanningen.

Figuren på neste side viser differansene mellom den fotogrammetriske terrengmodellen fra Pix4D programvaren og terrengmodellen fra den helikopterbårne laserscanningen. Differansene er i hovedsak innenfor +/- 5 cm, men det er noen mindre områder med større avvik. Dette er typisk områder hvor det enten er vegetasjon, overheng/skarpe kanter i terrenget, eller isnett.

Resultatet av denne differanseanalysen viser at de fotogrammetriske terrengmodellene har en homogen nøyaktighet innenfor hele prosjektområdet. Videre tyder på at nøyaktigheten er bedre enn 5 cm. Laserscanningen (som det er kontrollert mot) har en forventet (absolutt) nøyaktighet på 2- 4 cm.



*Differanser laser-terrengmodellen (fra VUX-1) og terrengmodellen som er produsert fra 2015-bildene (i Pix4Dmapper programvaren).*

Det ble gjort en tilsvarende kontroll av den fotogrammetriske terrengmodellen fra Agisoft PhotoScan. Resultatet av denne kontrollen samsvarer med resultatet som er vist i figuren over.

Begge differansemodellene inngår også i leveransen (i form av QT Modeler prosjekt).

## 9. KONKLUSJONER

Basert på erfaringene og resultatene i dette prosjektet, kan følgende konklusjoner trekkes:

- Det er mulig å påvise endringer i terrenget (deformasjoner) fra et år til et annet ved å fotografere med drone, produsere terrengmodeller fotogrammetrisk (ved hjelp av bildematching), og beregne differanser mellom de to terrengmodellene. Relativt små endringer, f.eks. forflytning av steiner, framkommer tydelig i differansemodellen. Det framkommer også noen «falske» endringer. Disse er blant annet forårsaket av vegetasjon og skygger i bildene.
- Det ville vært en fordel å bruke samme type kamera ved begge fotograferingene. I dette prosjektet ble det benyttet et nytt og bedre kamera ved andre gang fotografering. Det medførte at det ble forskjellig punkttetthet i modellen fra det ene året til det neste. Siden terrengmodellen fra det andre året var mer detaljert, ble skarpe kanter i terrenget bedre modellert. En bieffekt var også at vegetasjonen ble mer synlig.
- Overheng skaper problemer i analysearbeidet, både fordi de fotogrammetriske terrengmodellene blir mindre nøyaktige i områder med overheng, og fordi mange programvarer kun kan jobbe med data i 2.5D.
- Basert på de kontrollmålingene som ble foretatt i prosjektet, tyder det på at de fotogrammetrisk produserte terrengmodellene har en nøyaktighet som er bedre enn 5 cm. Det viste seg imidlertid vanskelig å framskaffe veldig nøyaktig fasitdata. Den nøyaktigheten som ble oppnådd for de fotogrammetrisk produserte terrengmodellene er god nok til å utføre endringsanalysene, men på grunn av «problemområder» med vegetasjon, skygger og overheng, må differansemodellen inspiseres og kontrolleres manuelt.
- Fotografering med drone i så bratt terreng som i dette testprosjektet er krevende. Det er tidkrevende å lage en god flyplan for fotograferingen, både på grunn av de store høydeforskjellene og på grunn av begrensinger i planleggingsprogramvaren som benyttes for dronen. Dårlig satellittdekning, som følge av skjerming fra omkringliggende terreng, kan skape problemer eller forsinkelser ved gjennomføring av fotograferingen.

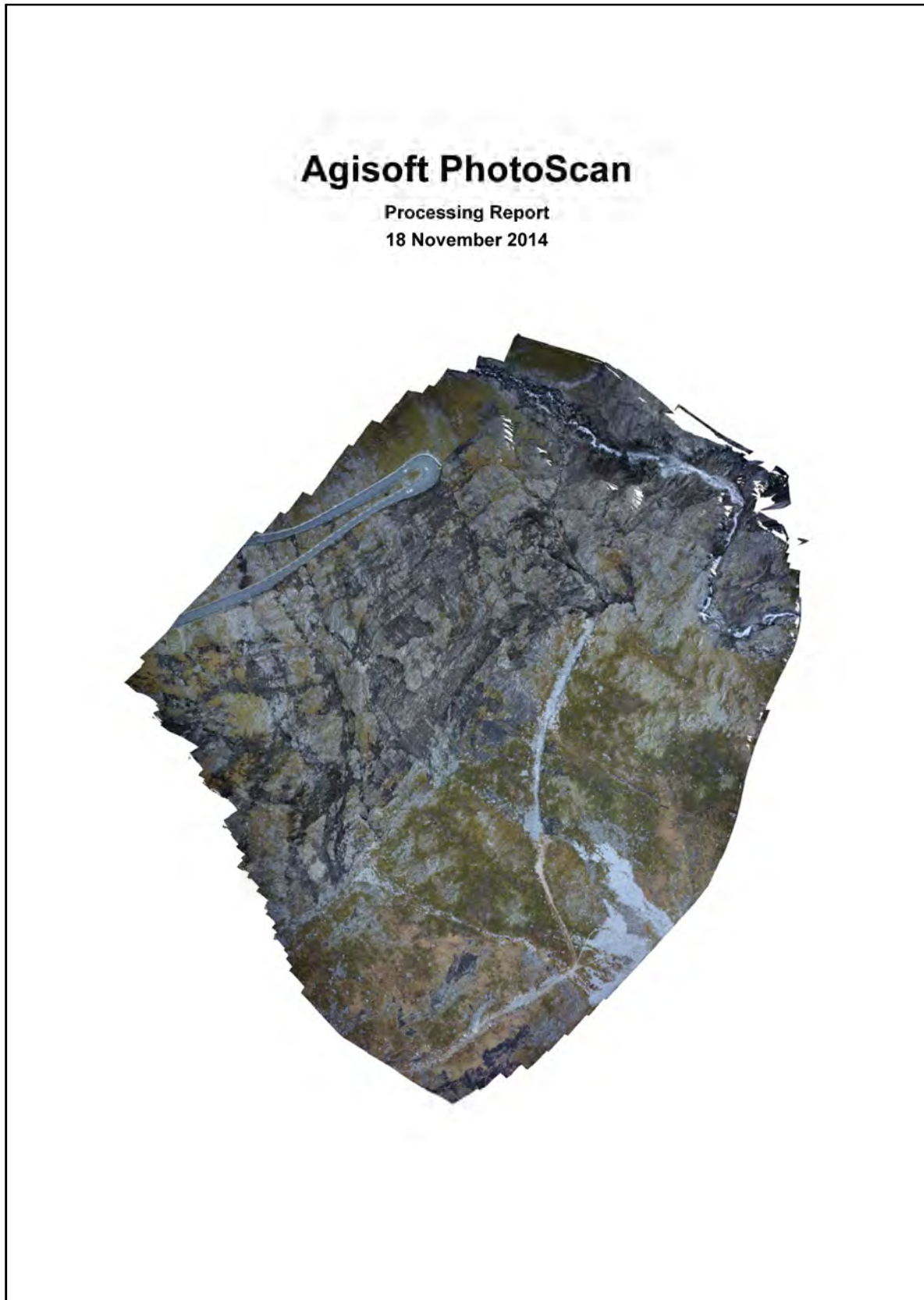
## 10. LEVERANSER

Data er levert på FTP-server. Følgende data er levert:

<b><u>Mappe:</u></b>	<b><u>Beskrivelse</u></b>
01_Bilder_2014:	Bildene fra fotograferingen 2014
02_Bilder_2015:	Bildene fra fotograferingen 2015
03_Foto_DTM_UTM32:	
PhotoScan_2014:	Fotogrammetrisk punkttsky (DTM) fra PhotoScan
PhotoScan_2015:	Fotogrammetrisk punkttsky (DTM) fra PhotoScan
04_Foto_DTM_Lokal:	
PhotoScan_2014:	Fotogrammetrisk punkttsky (DTM) fra PhotoScan
PhotoScan_2015:	Fotogrammetrisk punkttsky (DTM) fra PhotoScan
Pix4Dmapper_2014:	Fotogrammetrisk punkttsky (DTM) fra Pix4Dmapper
Pix4Dmapper_2015:	Fotogrammetrisk punkttsky (DTM) fra Pix4Dmapper
05_Foto_DTM_Lokal_Editert:	
PhotoScan_2014:	Editert punkttsky (DTM) fra PhotoScan
PhotoScan_2015:	Editert punkttsky (DTM) fra PhotoScan
Pix4Dmapper_2014:	Editert punkttsky (DTM) fra Pix4Dmapper
Pix4Dmapper_2015:	Editert punkttsky (DTM) fra Pix4Dmapper
06_Laser_DTM:	
Terrestrisk_UTM32:	Punkttsky (DTM) fra terrestrisk laserscanning
VUX-1_UTM32:	Punkttsky (DTM) fra helikopter-laserscanning
VUX-1_Lokal:	Punkttsky (DTM) fra helikopter-laserscanning
07_Ortofoto:	
PhotoScan_2014_UTM32:	Ortofoto fra PhotoScan
PhotoScan_2015_UTM32:	Ortofoto fra PhotoScan
Pix4D_2014_Lokal:	Ortofoto fra Pix4Dmapper
Pix4D_2015_Lokal:	Ortofoto fra Pix4Dmapper
08_Differansemodeller (QT Modeler prosjekt):	
2015_vs_2014:	Differanser mellom fotogrammetri DTMe fra 2014 og 2015
PhotoScan_vs_Pix4D:	Differanser mellom DTMe fra PhotoScan og Pix4D
Foto_2015_vs_VUX-1:	Differanser mellom fotogrammetri DTMe og VUX-1 DTMe.
09_Programvare:	Installasjonsprogram Quick Terrain Reader (LAS Viewer)
10_Rapporter:	
Landmåling:	Rapport fra landmålingsarbeidene 2014
PhotoScan:	Prosesseringsrapporter fra Agisoft PhotoScan
Pix4Dmapper:	Prosesseringsrapporter fra Pix4Dmapper
Prosjektrapport:	Sluttrapporten fra prosjektet (denne rapporten)

## 11. VEDLEGG

### 11.1 Vedlegg A - Prosesseringsrapport fra Agisoft PhotoScan for bildene fra 2014





## Survey Data

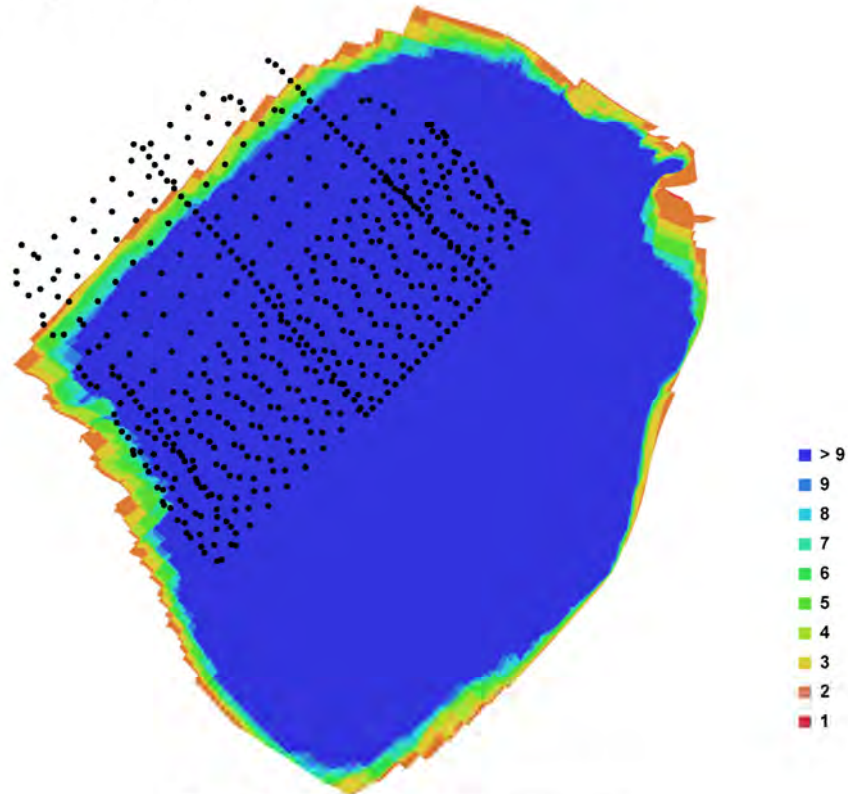


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	547	Camera stations:	547
Flying altitude:	112.601 m	Tie-points:	362985
Ground resolution:	0.026588 m/pix	Projections:	2214342
Coverage area:	0.145928 sq km	Error:	0.780193 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
COOLPIX A (18.5 mm)	4928 x 3264	18.5 mm	4.83629 x 4.83629 um	No

Table 1. Cameras.

## Camera Locations

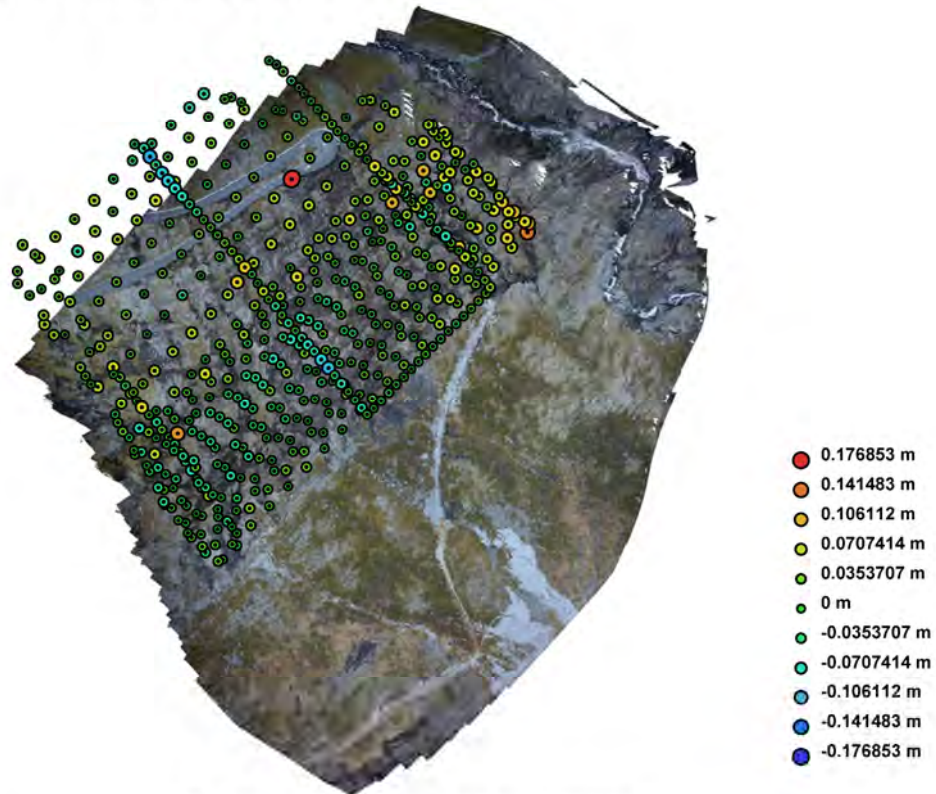


Fig. 2. Camera locations and error estimates.  
 Z error is represented by ellipse color. X, Y errors are represented by ellipse shape.  
 Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Total error (m)
0.044535	0.053160	0.042031	0.081092

Table. 2. Average camera location error.

## Ground Control Points

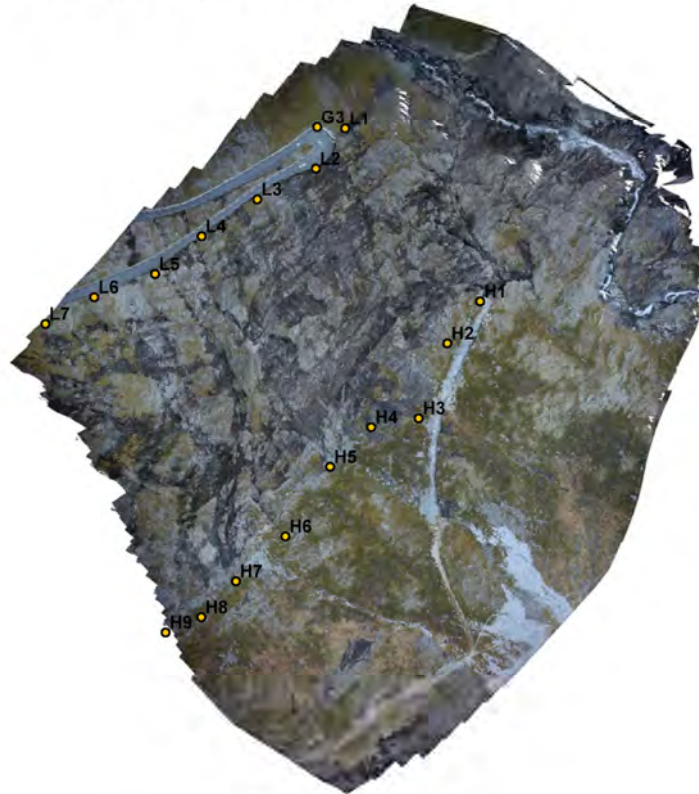


Fig. 3. GCP locations.

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
G3	-0.005351	0.005177	0.001983	0.007705	22	0.157168
H1	-0.003549	0.000621	-0.010447	0.011051	49	0.088403
H2	0.007619	-0.002660	0.009484	0.012453	51	0.107463
H3	0.012088	-0.001747	-0.008427	0.014839	70	0.132245
H4	-0.021877	0.015454	0.000439	0.026789	59	0.129987
H5	-0.016034	0.005331	-0.002390	0.017065	64	0.094096
H6	0.028729	-0.019525	0.012546	0.036932	55	0.108333
H7	-0.010912	0.007711	-0.003504	0.013813	33	0.090841
H8	0.000000	-0.000000	0.000000	0.000000		
H9	0.000000	0.000000	-0.000000	0.000000		
L1	0.004845	0.004316	-0.003198	0.007233	17	0.173435

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
L2	0.002212	-0.004348	-0.002566	0.005512	27	0.201156
L3	0.002831	-0.006565	0.002966	0.007740	25	0.225324
L4	0.005540	0.002883	0.002010	0.006561	24	0.164311
L5	-0.006106	-0.003340	-0.002663	0.007452	20	0.136434
L6	-0.002623	0.000846	0.000043	0.002756	7	0.087625
L7	-0.005475	0.020752	0.029728	0.036666	2	0.021721
<b>Total</b>	<b>0.011026</b>	<b>0.008666</b>	<b>0.008977</b>	<b>0.016651</b>	<b>525</b>	<b>0.132154</b>

Table. 3. Control points.

## Digital Elevation Model

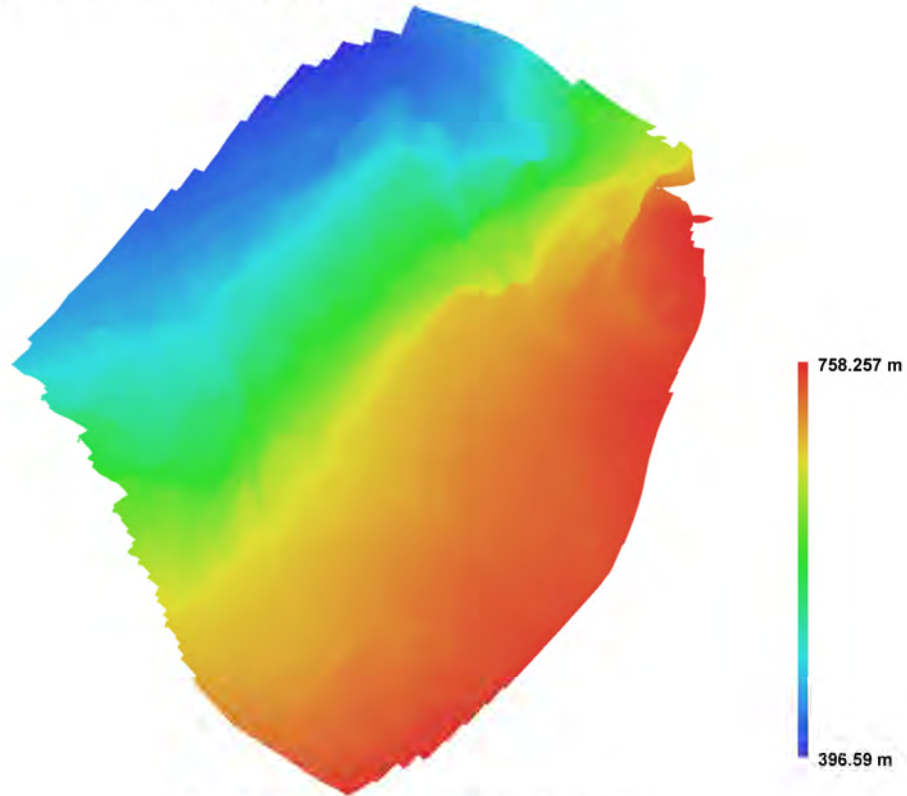
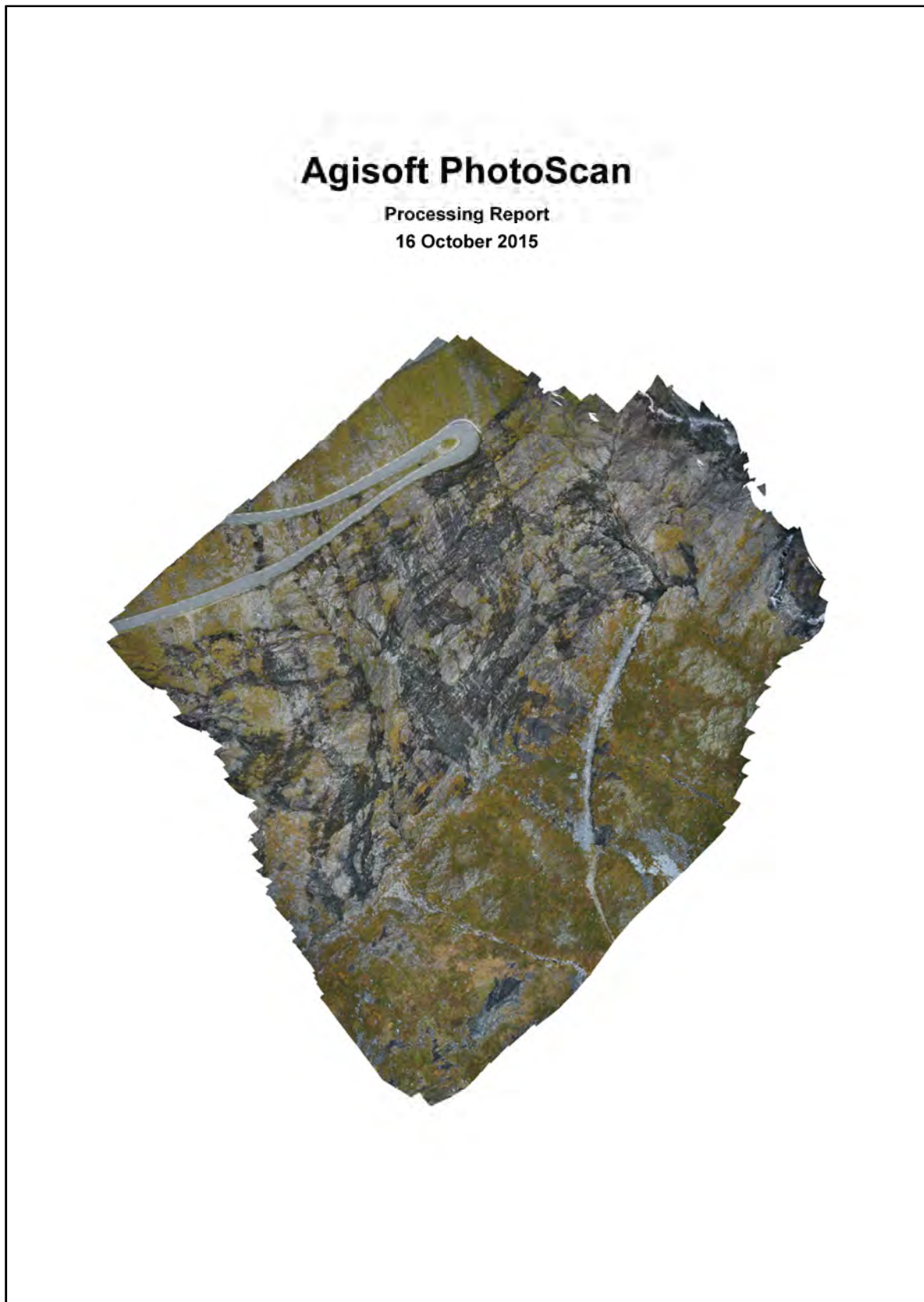


Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 0.0531759 m/pix  
Point density: 353.647 points per sq m

11.2 Vedlegg B – Prosesseringsrapport fra Agisoft PhotoScan for bildene fra 2015



## Survey Data

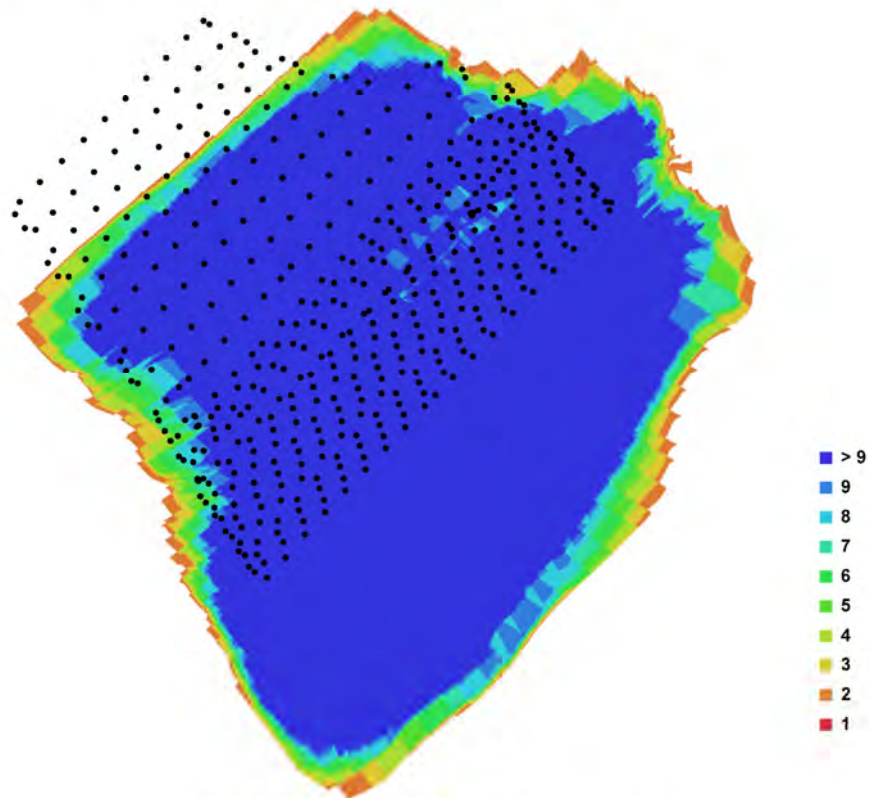


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	465	Camera stations:	465
Flying altitude:	101.56 m	Tie-points:	20652
Ground resolution:	0.0130832 m/pix	Projections:	359395
Coverage area:	0.115354 sq km	Error:	0.865952 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
ILCE-7R (35 mm)	7360 x 4912	35 mm	4.88967 x 4.88967 um	No

Table 1. Cameras.

## Camera Calibration

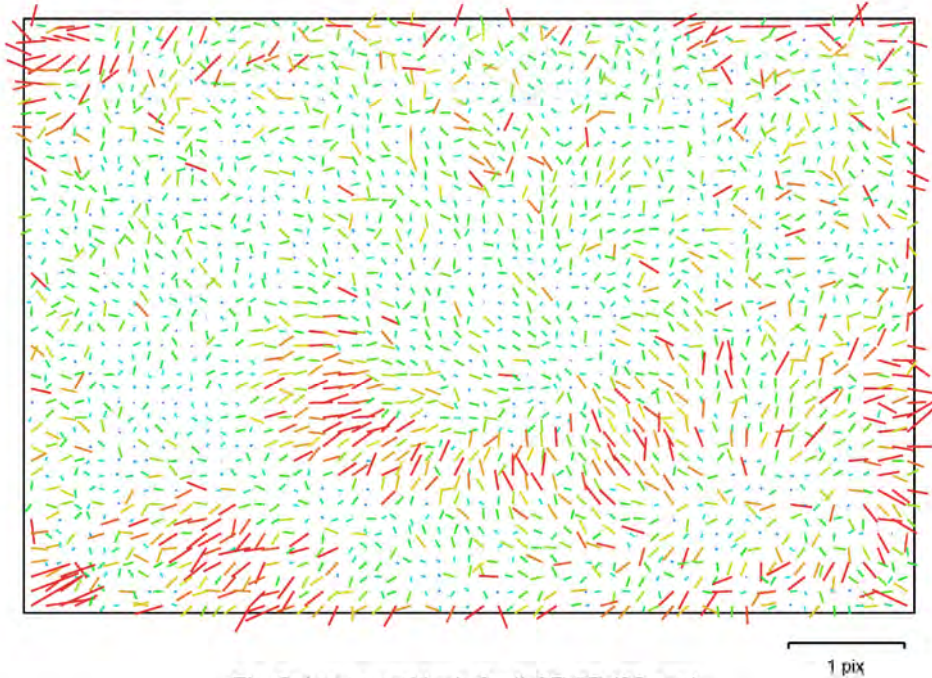


Fig. 2. Image residuals for ILCE-7R (35 mm).

### ILCE-7R (35 mm)

Type:	Frame	K1:	0.0523289
Fx:	7418.99	K2:	-0.255529
Fy:	7419.13	K3:	0.143089
Cx:	3681.84	K4:	-0.194917
Cy:	2455.94	P1:	-0.000200238
Skew:	1.9524	P2:	-0.000107081



## Camera Locations

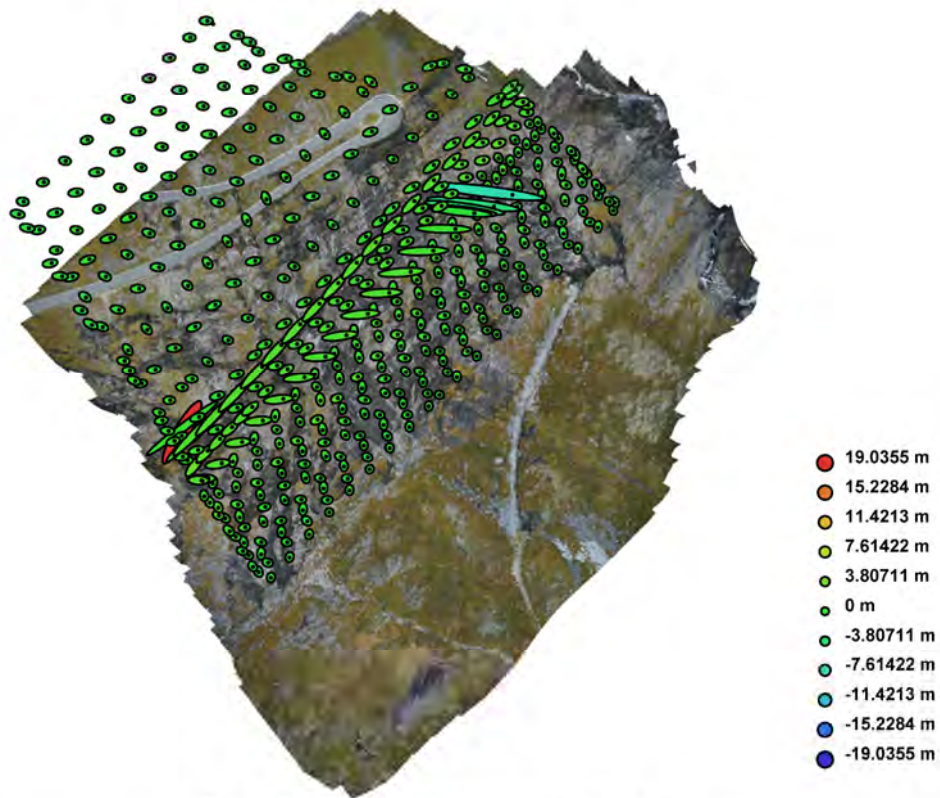


Fig. 3. Camera locations and error estimates.  
 Z error is represented by ellipse color. X, Y errors are represented by ellipse shape.  
 Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Total error (m)
3.421472	1.876094	1.291139	4.110139

Table. 2. Average camera location error.

## Ground Control Points

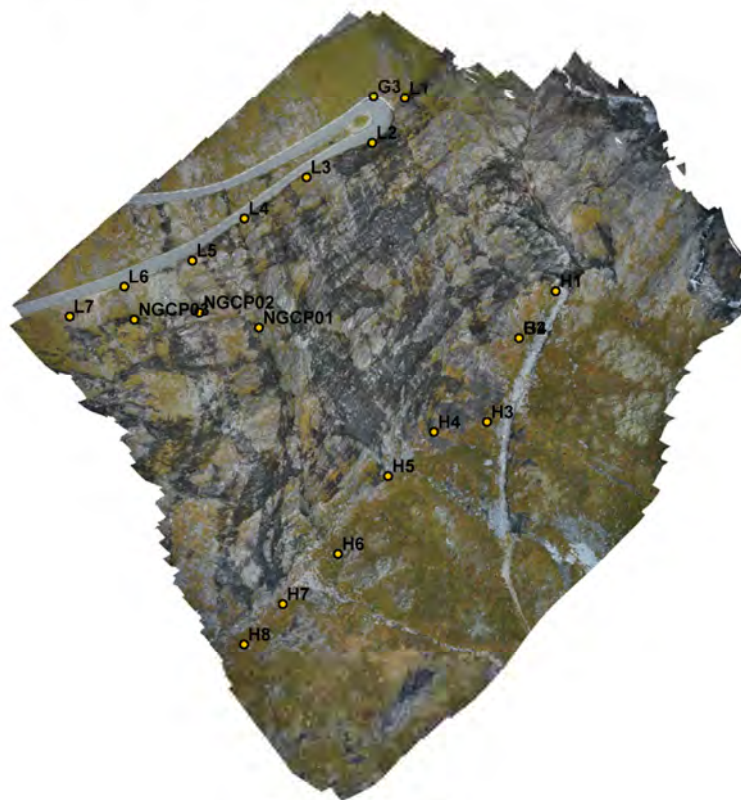


Fig. 4. GCP locations.

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
G3	0.000000	0.000000	-0.000000	0.000000		
G4	0.000000	0.000000	-0.000000	0.000000		
H1	0.003356	0.001012	-0.004345	0.005583	19	0.141126
H2	0.012809	-0.004013	0.014724	0.019924	25	0.117672
H3	0.001057	-0.008498	-0.007996	0.011716	28	0.092710
H4	-0.028897	0.013710	-0.008196	0.033018	34	0.163822
H5	-0.014746	0.013980	0.000941	0.020341	37	0.132469
H6	0.032761	-0.035127	0.009225	0.048911	40	0.105607
H7	-0.000731	0.012872	-0.001136	0.012943	30	0.155726
H8	-0.003926	0.008275	-0.001703	0.009317	15	0.224446

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
L1	-0.000667	0.016813	0.004072	0.017312	16	0.143786
L2	0.001831	-0.007580	-0.006782	0.010334	26	0.160516
L3	-0.006967	-0.009366	0.005127	0.012749	30	0.158850
L4	0.005468	-0.003205	0.001794	0.006587	29	0.143815
L5	-0.001693	-0.005264	0.001274	0.005674	29	0.121743
L6	-0.000683	-0.006001	-0.004230	0.007374	15	0.134634
L7	0.000213	0.013769	-0.000783	0.013793	8	0.118958
NGCP01	0.000000	-0.000000	0.000000	0.000000		
NGCP02	0.000000	0.000000	-0.000000	0.000000		
NGCP03	0.000000	-0.000000	0.000000	0.000000		
<b>Total</b>	<b>0.010963</b>	<b>0.011472</b>	<b>0.005335</b>	<b>0.016741</b>	<b>381</b>	<b>0.141502</b>

Table. 3. Control points.

## Digital Elevation Model

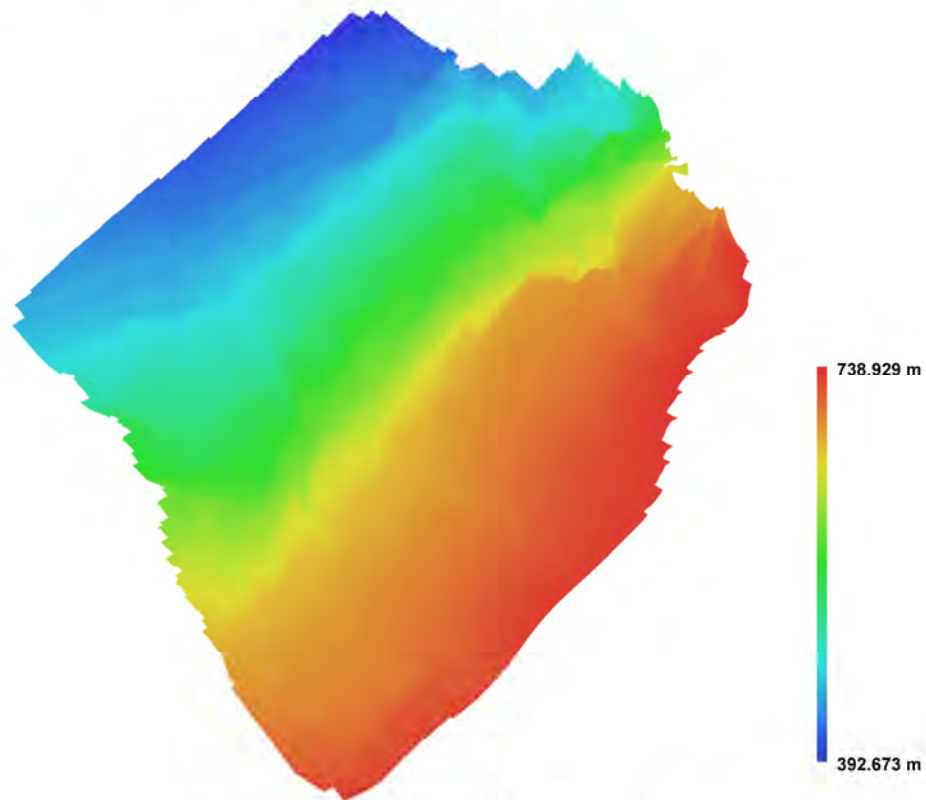



Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 0.0261665 m/pix  
Point density: 1460.53 points per sq m

## 11.3 Vedlegg C – Prosesseringsrapport fra Pix4Dmapper for bildene fra 2014

### Quality Report



Generated with Pix4Dmapper Pro version 2.0.83

**Important:** Click on the different icons for:

- ❗ Help to analyze the results in the Quality Report
- ❓ Additional information about the sections

Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

#### Summary ❓

Project	Trollstigen_2014
Processed	2015-11-11 17:02:33
Average Ground Sampling Distance (GSD)	2.77 cm / 1.09 in
Area Covered	0.1908 km <sup>2</sup> / 19.0822 ha / 0.0737 sq. mi. / 47.1776 acres

#### Quality Check ❓

<span style="color: orange;">❗</span> Images	median of 99908 keypoints per image	✔
<span style="color: orange;">❗</span> Dataset	547 out of 547 images calibrated (100%), all images enabled	✔
<span style="color: orange;">❗</span> Camera Optimization	0.05% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✔
<span style="color: orange;">❗</span> Matching	median of 49466.8 matches per calibrated image	✔
<span style="color: orange;">❗</span> Georeferencing	yes, 16 GCPs (16 3D), mean RMS error = 0.018 m	✔

#### ❗ Preview ❓

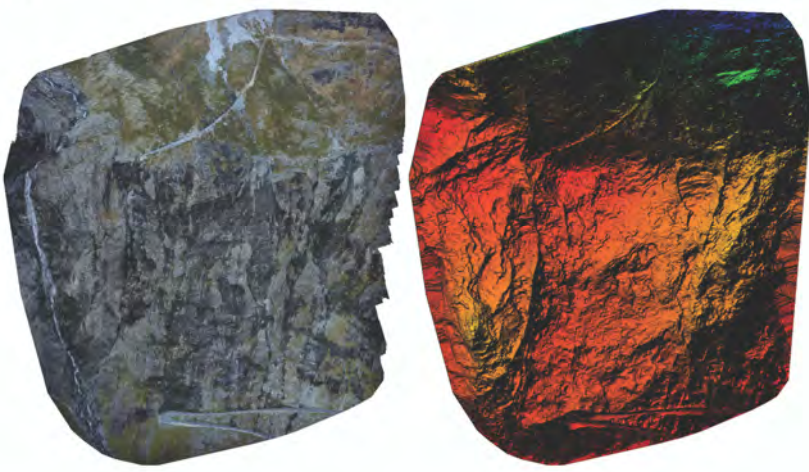


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

#### Calibration Details ❓

Number of Calibrated Images	547 out of 547
Number of Geolocated Images	547 out of 547

Initial Image Positions



Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions

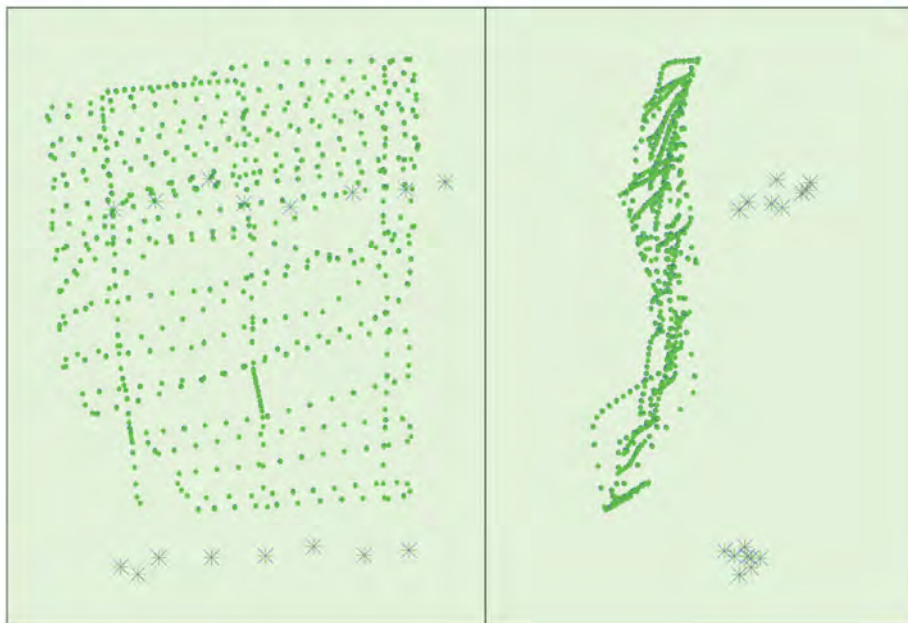




Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane).

#### Overlap

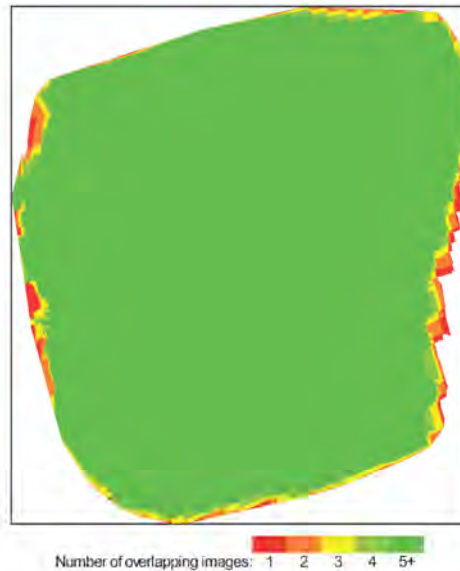


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

### Bundle Block Adjustment Details

Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	26831650
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	5671895
Mean Reprojection Error [pixels]	0.139728

#### Internal Camera Parameters

**NikonCoolpixA\_18.5\_4928x3264 (RGB). Sensor Dimensions: 23.556 [mm] x 15.602 [mm]**

EXIF ID: \_0.0\_4928x3264

	Focal Length	Principal Pointx	Principal Pointy	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	3843.310 [pixel] 18.371 [mm]	2476.780 [pixel] 11.839 [mm]	1642.470 [pixel] 7.851 [mm]	-0.072	0.079	-0.017	-0.001	-0.001
Optimized Values	3841.269 [pixel] 18.361 [mm]	2478.584 [pixel] 11.848 [mm]	1643.440 [pixel] 7.856 [mm]	-0.072	0.076	-0.014	-0.001	-0.001



The number of Automatic Tie Points (ATPs) per pixel averaged over all images of the camera model is color coded between black and white. White indicates that, in average, more than 16 ATPs are extracted at this pixel location. Black indicates that, in average, 0 ATP has been extracted at this pixel location. Click on the image to see the average direction and magnitude of the reprojection error for each pixel. Note that the vectors are scaled for better visualization.

**2D Keypoints Table**

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	99908	49467
Mn	95116	25206
Max	101980	65184
Mean	99700	49052

**3D Points from 2D Keypoint Matches**

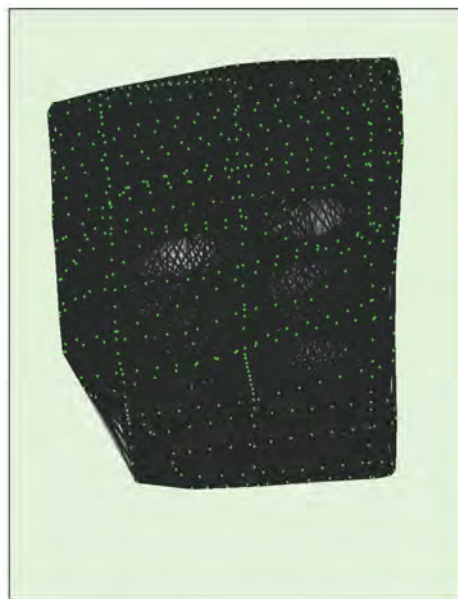
	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	2367864
In 3 Images	1081135
In 4 Images	610366
In 5 Images	385020
In 6 Images	260701
In 7 Images	185233
In 8 Images	138577
In 9 Images	104228
In 10 Images	81177
In 11 Images	65337
In 12 Images	52799
In 13 Images	43683
In 14 Images	36315
In 15 Images	30689
In 16 Images	25716
In 17 Images	22092
In 18 Images	19110
In 19 Images	16939
In 20 Images	14536
In 21 Images	12789
In 22 Images	11261
In 23 Images	10160
In 24 Images	8995
In 25 Images	7753
In 26 Images	7031
In 27 Images	6493
In 28 Images	5778
In 29 Images	5300
In 30 Images	4690
In 31 Images	4336
In 32 Images	4040
In 33 Images	3734
In 34 Images	3370



In 35 Images	3104
In 36 Images	2855
In 37 Images	2556
In 38 Images	2320
In 39 Images	2183
In 40 Images	1891
In 41 Images	1756
In 42 Images	1749
In 43 Images	1499
In 44 Images	1433
In 45 Images	1282
In 46 Images	1189
In 47 Images	1012
In 48 Images	1001
In 49 Images	919
In 50 Images	888
In 51 Images	723
In 52 Images	698
In 53 Images	638
In 54 Images	603
In 55 Images	542
In 56 Images	533
In 57 Images	462
In 58 Images	442
In 59 Images	390
In 60 Images	340
In 61 Images	310
In 62 Images	288
In 63 Images	284
In 64 Images	241
In 65 Images	231
In 66 Images	213
In 67 Images	187
In 68 Images	161
In 69 Images	202
In 70 Images	173
In 71 Images	145
In 72 Images	151
In 73 Images	116
In 74 Images	119
In 75 Images	84
In 76 Images	72
In 77 Images	73
In 78 Images	66
In 79 Images	52
In 80 Images	46
In 81 Images	50
In 82 Images	49
In 83 Images	44
In 84 Images	47
In 85 Images	25
In 86 Images	19
In 87 Images	28
In 88 Images	20
In 89 Images	16
In 90 Images	15
In 91 Images	13
In 92 Images	14
In 93 Images	6
In 94 Images	10
In 95 Images	10

In 96 Images	6
In 97 Images	6
In 98 Images	8
In 99 Images	6
In 100 Images	6
In 101 Images	4
In 102 Images	7
In 103 Images	5
In 104 Images	2
In 105 Images	5
In 106 Images	3
In 107 Images	1
In 108 Images	1

## 2D Keypoint Matches



Number of matches  
 25 222 444 666 888 1111 1333 1555 1777 2000

Figure 5: Top View of the image computed positions with a link between matching images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images.

## Geolocation Details

### Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
G3 (3D)	0.020/ 0.020	0.010	-0.000	-0.008	0.153	8 / 8
H1 (3D)	0.020/ 0.020	-0.009	0.038	0.014	0.288	6 / 6
H2/G4 (3D)	0.020/ 0.020	-0.002	0.003	0.011	0.251	6 / 6
H3 (3D)	0.020/ 0.020	0.017	0.017	0.030	0.170	8 / 8
H4 (3D)	0.020/ 0.020	-0.010	0.011	-0.005	0.208	8 / 8
H5 (3D)	0.020/ 0.020	-0.011	0.007	-0.001	0.214	10 / 10
H6 (3D)	0.020/ 0.020	0.018	-0.036	0.027	0.194	6 / 6

H7 (3D)	0.020/ 0.020	-0.006	-0.009	-0.004	0.280	10 / 10
H8 (3D)	0.020/ 0.020	-0.044	-0.010	0.054	0.388	4 / 4
L1 (3D)	0.020/ 0.020	0.012	-0.012	-0.029	0.192	8 / 8
L2 (3D)	0.020/ 0.020	0.021	-0.004	-0.004	0.165	8 / 8
L3 (3D)	0.020/ 0.020	-0.005	-0.021	-0.031	0.255	5 / 5
L4 (3D)	0.020/ 0.020	0.013	-0.019	0.000	0.162	4 / 4
L5 (3D)	0.020/ 0.020	-0.009	-0.021	-0.032	0.353	6 / 6
L6 (3D)	0.020/ 0.020	-0.010	-0.013	-0.017	0.253	6 / 6
L7 (3D)	0.020/ 0.020	-0.001	-0.009	-0.005	0.088	2 / 2
<b>Mean [m]</b>		-0.001043	-0.004931	-0.000012		
<b>Sigma [m]</b>		0.015669	0.017231	0.022555		
<b>RMS Error [m]</b>		0.015704	0.017923	0.022555		

0 out of 3 check points have been labeled as inaccurate.

Check Point Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
NGCP01	0.0200/0.0200	-0.0131	-0.0453	0.0058	0.3358	4 / 4
NGCP02	0.0200/0.0200	-0.0059	-0.0232	-0.0293	0.2464	4 / 4
NGCP03	0.0200/0.0200	-0.0005	-0.0143	0.0380	0.3053	4 / 4
<b>Mean [m]</b>		-0.006483	-0.027641	0.004827		
<b>Sigma [m]</b>		0.005184	0.013029	0.027487		
<b>RMS Error [m]</b>		0.008301	0.030558	0.027907		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

### 1 Absolute Geolocation Variance

0 out of 547 geolocated and calibrated images have been labeled as inaccurate.

Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	0.00	0.00	0.00
-3.00	0.00	49.73	45.70	49.18
0.00	3.00	50.27	54.30	50.82
3.00	6.00	0.00	0.00	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
<b>Mean [m]</b>		-0.027560	0.224292	0.216316
<b>Sigma [m]</b>		0.063836	0.051116	0.041732
<b>RMS Error [m]</b>		0.069531	0.230043	0.220305

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	-0.027560	0.224292	0.216316

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

### 2 Relative Geolocation Variance

Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	100.00	100.00	100.00
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
<b>Mean of Geolocation Accuracy [m]</b>	5.000000	5.000000	10.000000

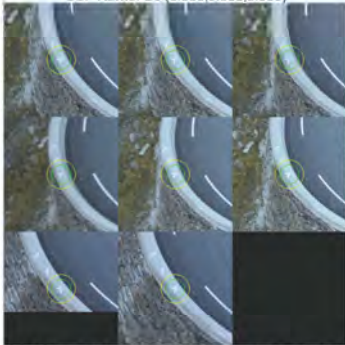
Sigma of Geolocation Accuracy [m]      0.000000      0.000000      0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of Images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

**Georeference Verification**



GCP Name: G3 (0.000,0.000,0.000)



DSC\_0433.TIF  
DSC\_0434.TIF  
DSC\_0435.TIF  
DSC\_0436.TIF  
DSC\_0456.TIF  
DSC\_0457.TIF  
DSC\_0546.TIF  
DSC\_0547.TIF

GCP G3 was not marked on the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, also measure the GCP in these images to improve the accuracy.




DSC\_0427.TIF  
DSC\_0428.TIF  
DSC\_0429.TIF  
DSC\_0430.TIF  
DSC\_0437.TIF  
DSC\_0453.TIF

GCP Name: H1 (-19.792,295.942,0.000)

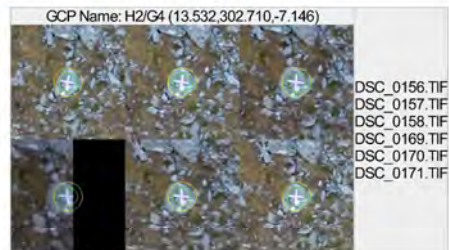


DSC\_0158.TIF  
DSC\_0159.TIF  
DSC\_0160.TIF  
DSC\_0168.TIF  
DSC\_0169.TIF  
DSC\_0170.TIF

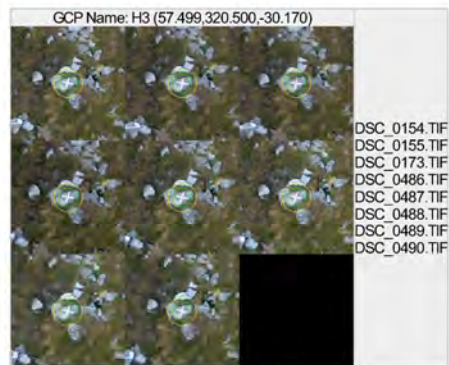
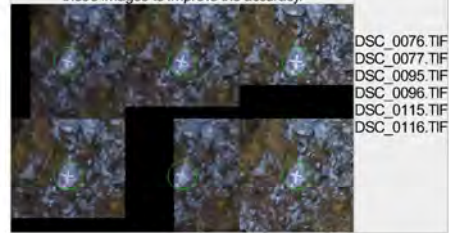
GCP H1 was not marked on the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, also measure the GCP in these images to improve the accuracy.



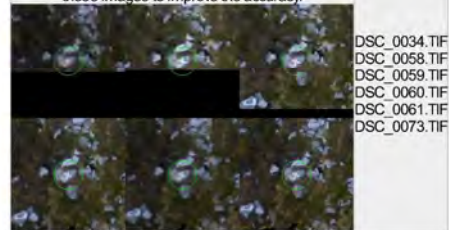
DSC\_0094.TIF  
DSC\_0118.TIF  
DSC\_0119.TIF  
DSC\_0120.TIF  
DSC\_0121.TIF  
DSC\_0122.TIF



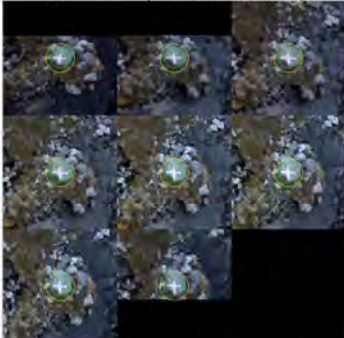
GCP H2/G4 was not marked on the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, also measure the GCP in these images to improve the accuracy.



GCP H3 was not marked on the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, also measure the GCP in these images to improve the accuracy.

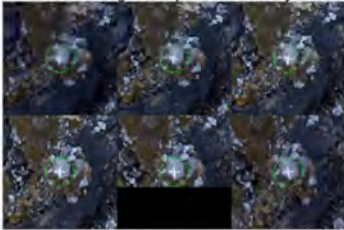


GCP Name: H4 (86.019,301.023,-26.395)



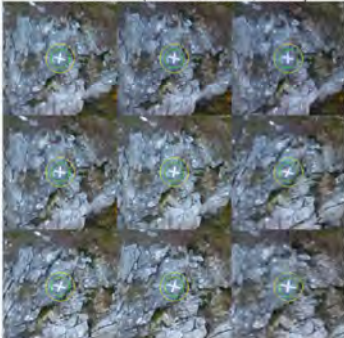
DSC\_0190.TIF  
DSC\_0483.TIF  
DSC\_0484.TIF  
DSC\_0485.TIF  
DSC\_0486.TIF  
DSC\_0487.TIF  
DSC\_0488.TIF  
DSC\_0489.TIF

GCP H4 was not marked on the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, also measure the GCP in these images to improve the accuracy.




DSC\_0111.TIF  
DSC\_0112.TIF  
DSC\_0113.TIF  
DSC\_0114.TIF  
DSC\_0115.TIF  
DSC\_0134.TIF

GCP Name: H5 (122.857,297.767,-34.503)



DSC\_0151.TIF  
DSC\_0152.TIF  
DSC\_0175.TIF  
DSC\_0176.TIF  
DSC\_0177.TIF  
DSC\_0188.TIF  
DSC\_0189.TIF  
DSC\_0190.TIF  
DSC\_0191.TIF  
DSC\_0192.TIF

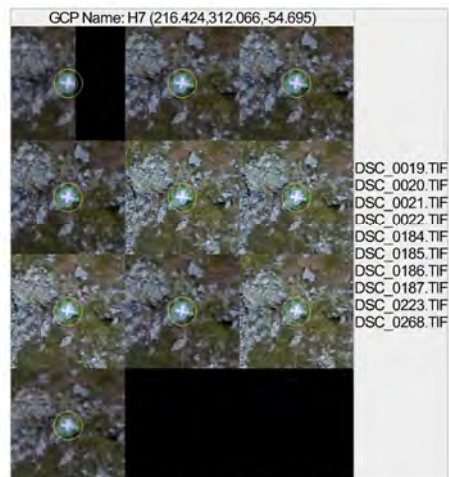
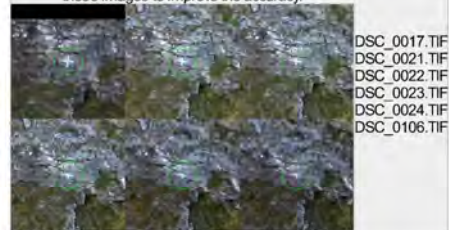
GCP H5 was not marked on the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, also measure the GCP in these images to improve the accuracy.



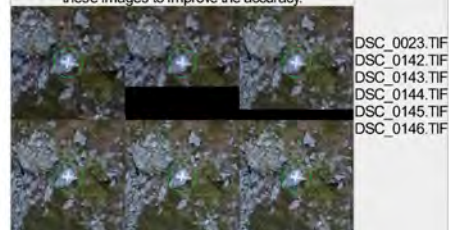
DSC\_0017.TIF  
DSC\_0018.TIF  
DSC\_0019.TIF  
DSC\_0020.TIF  
DSC\_0021.TIF  
DSC\_0022.TIF

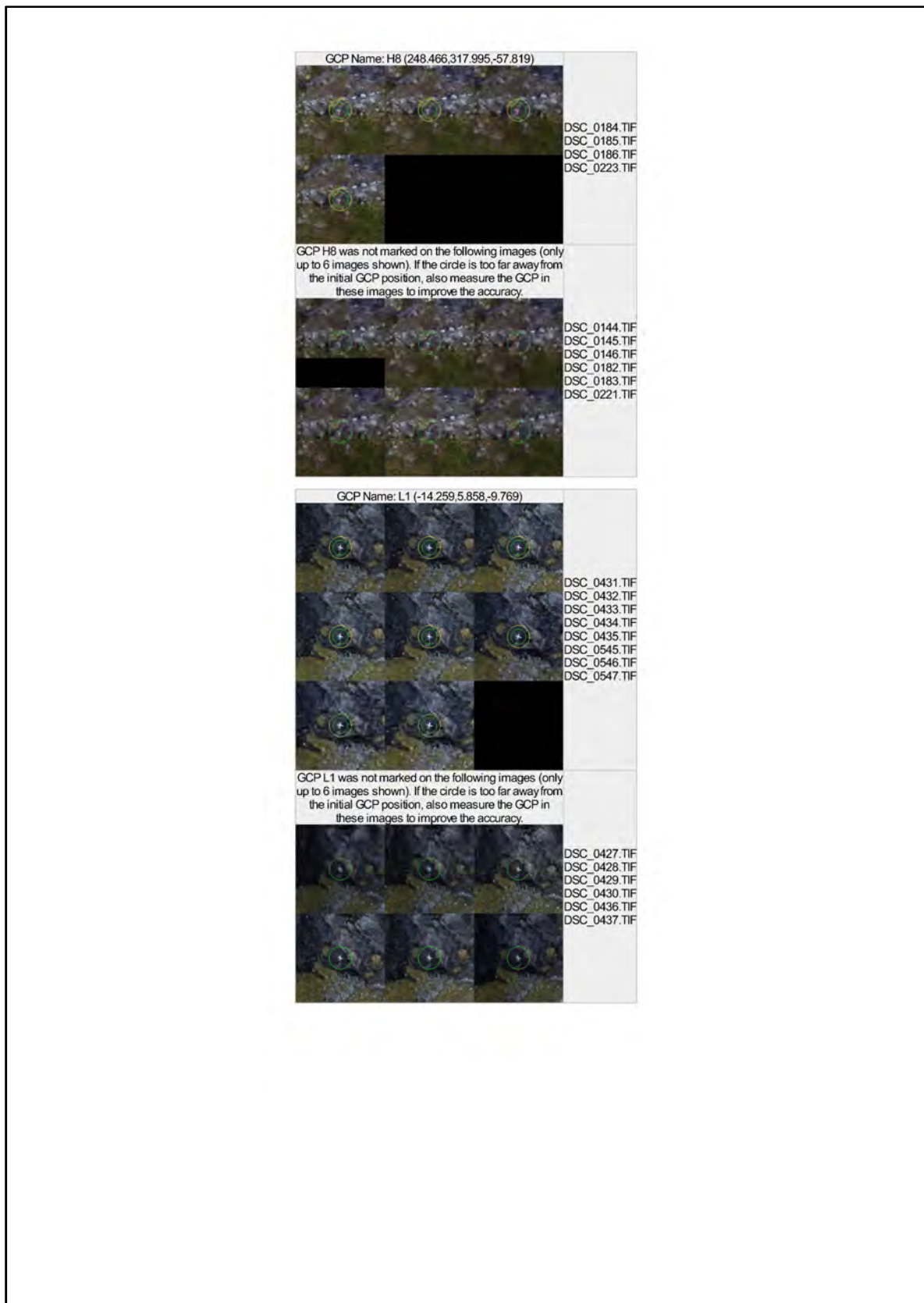


GCP H6 was not marked on the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, also measure the GCP in these images to improve the accuracy.

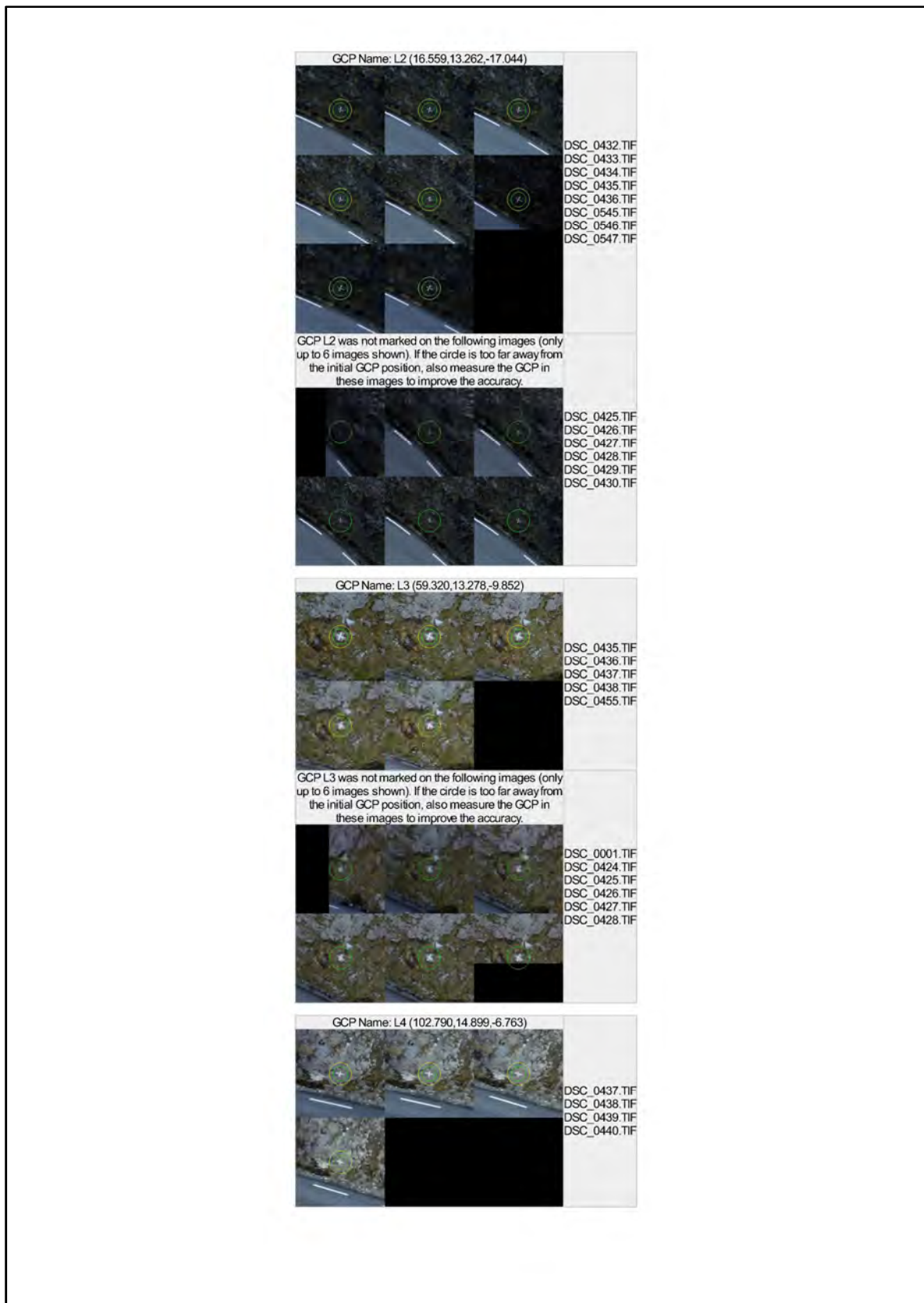


GCP H7 was not marked on the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, also measure the GCP in these images to improve the accuracy.







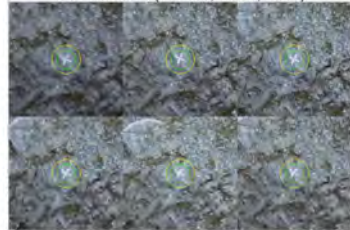


GCP L4 was not marked on the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, also measure the GCP in these images to improve the accuracy.



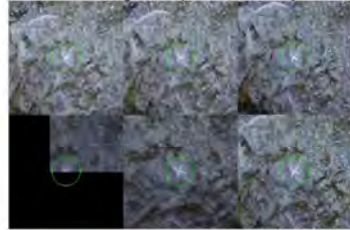
DSC\_0001.TIF  
DSC\_0002.TIF  
DSC\_0003.TIF  
DSC\_0004.TIF  
DSC\_0422.TIF  
DSC\_0423.TIF

GCP Name: L5 (141.696,22.350,-4.584)



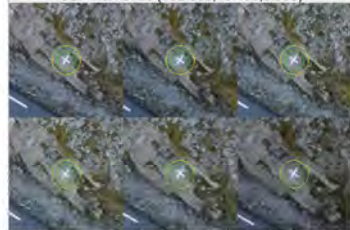
DSC\_0439.TIF  
DSC\_0440.TIF  
DSC\_0441.TIF  
DSC\_0442.TIF  
DSC\_0450.TIF  
DSC\_0451.TIF

GCP L5 was not marked on the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, also measure the GCP in these images to improve the accuracy.



DSC\_0001.TIF  
DSC\_0002.TIF  
DSC\_0003.TIF  
DSC\_0420.TIF  
DSC\_0438.TIF  
DSC\_0443.TIF

GCP Name: L6 (182.683,15.100,3.905)



DSC\_0002.TIF  
DSC\_0446.TIF  
DSC\_0447.TIF  
DSC\_0448.TIF  
DSC\_0449.TIF  
DSC\_0450.TIF

GCP L6 was not marked on the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, also measure the GCP in these images to improve the accuracy.



DSC\_0001.TIF

GCP Name: L7 (218.757,19.323,11.788)



DSC\_0001.TIF  
DSC\_0447.TIF

Figure 7: Images in which GCPs have been marked (yellow circle) and in which their computed 3D points have been projected (green circle). A green circle outside of the yellow circle indicates either an accuracy issue or a GCP issue.

### Processing Options

Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-6700 CPU @ 3.40GHz RAM: 32GB GPU: NVIDIA GeForce GTX.960 (Driver: 10.18.13.5850)
Operating System	Windows 10 Pro, 64-bit
Camera Model Name	Nikon CoolpixA_18.5_4928x3264 (RGB)
Image Coordinate System	Arbitrary (m)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	Arbitrary (m)
Output Coordinate System	Arbitrary (m)
Keypoints Image Scale	Custom, Image Scale: 2
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: yes
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard, Internal Parameters Optimization: int_all, External Parameters Optimization: ext_all, Rematch: no

### Point Cloud Densification details

#### Processing Options

Image Scale	multiscale, 1 (Original image size, Slow)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes, Maximum Number of Triangles: 1000000, Texture Size: 8192x8192
Advanced: Matching Window Size	9x9 pixels
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Densification Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Advanced: Limit Camera Depth Automatically	no
Advanced: Point Cloud Classification (beta)	yes, Minimum Object Length [m]: 0.1, Maximum Object Length [m]: 400, Minimum Object Height [m]: 0.1
Time for Point Cloud Densification	18h:17m:48s
Time for Point Cloud Classification	04h:41m:23s
Time for 3D Textured Mesh Generation	02h:41m:20s

#### Results

Number of Processed Clusters	3
Number of Generated Tiles	21
Number of 3D Densified Points	186800137
Average Density (per m <sup>3</sup> )	992.6


### DSM, Orthomosaic and Index Details

#### Processing Options

DSM and Orthomosaic Resolution	3 [cm/pixel]
DSM Filters	Noise Filtering: yes, Surface Smoothing: yes, Sharp
DSM Generation	yes, Method: Inverse Distance Weighting, Merge Tiles: yes
Grid DSM	yes, Spacing [cm]: 3
Time for DSM Generation	04h:01m:25s
Time for Orthomosaic Generation	35m:34s

## 11.4 Vedlegg D – Prosesseringsrapport fra Pix4Dmapper for bildene fra 2015


### Quality Report



Generated with Pix4Dmapper Pro version 2.0.83

**!** **Important:** Click on the different icons for:

- ?** Help to analyze the results in the Quality Report
- i** Additional information about the sections

 Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report

#### Summary ?

Project	Trollstigen_2015
Processed	2015-11-12 14:16:31
Average Ground Sampling Distance (GSD)	1.35 cm / 0.53 in
Area Covered	0.1586 km <sup>2</sup> / 15.8633 ha / 0.0613 sq. mi. / 39.2193 acres

#### Quality Check ?

<b>?</b> Images	median of 102763 keypoints per image	✓
<b>?</b> Dataset	466 out of 466 images calibrated (100%), all images enabled	✓
<b>?</b> Camera Optimization	0.03% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
<b>?</b> Matching	median of 61256.8 matches per calibrated image	✓
<b>?</b> Georeferencing	yes, 16 GCPs (16 3D), mean RMS error = 0.018 m	✓

#### **?** Preview ?

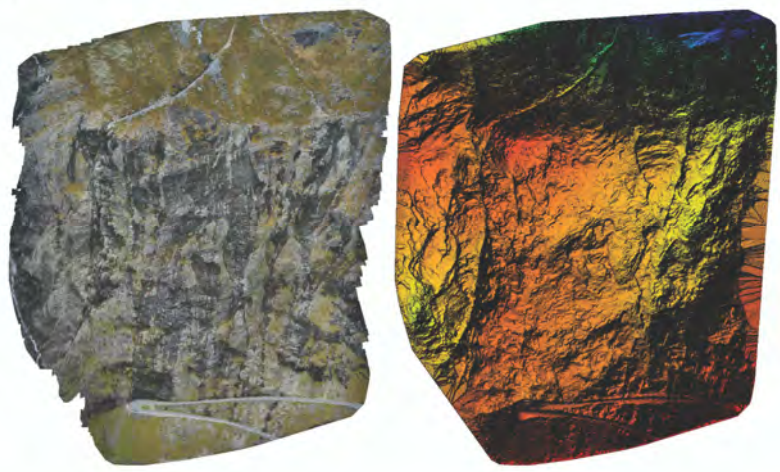


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

#### Calibration Details ?

Number of Calibrated Images	466 out of 466
Number of Geolocated Images	466 out of 466

1 Initial Image Positions

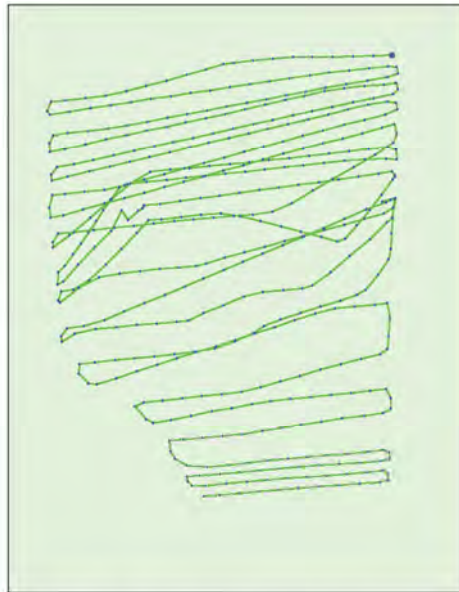
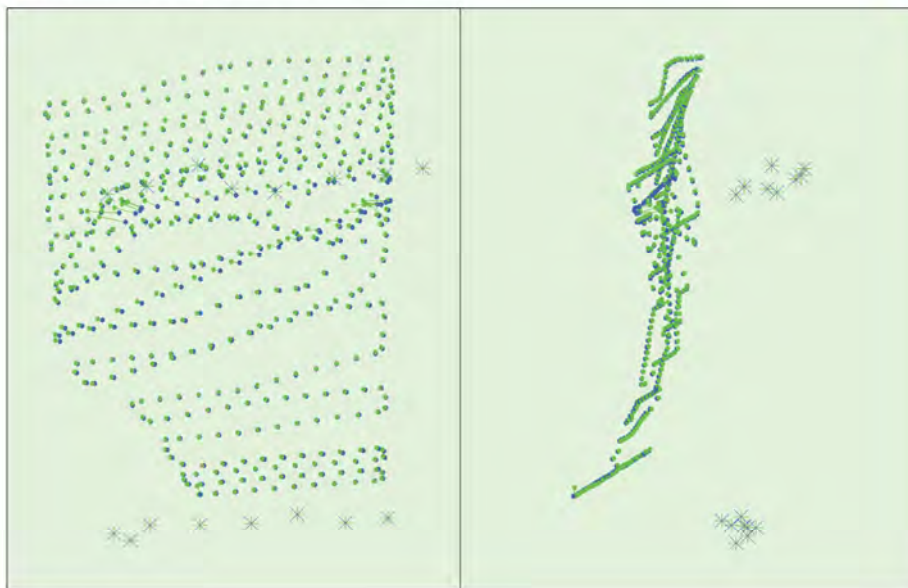


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

2 Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions



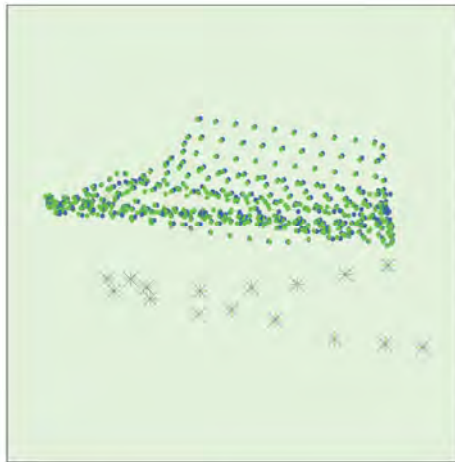


Figure 3: Offset between Initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane).

### Overlap

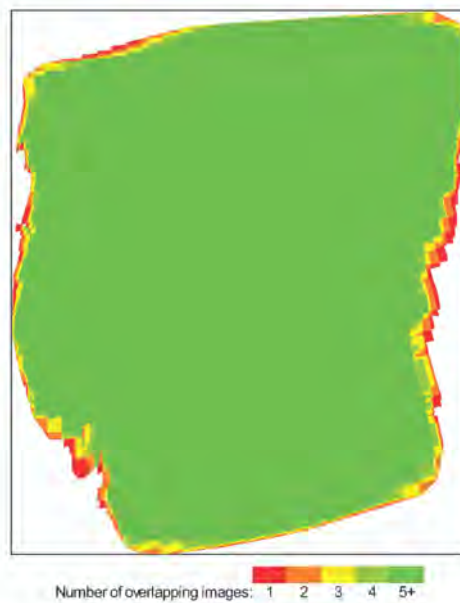


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

### Bundle Block Adjustment Details

Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment:	28229672
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	6811880
Mean Reprojection Error [pixels]	0.217019

### Internal Camera Parameters

ILCE-7R\_FE35mmF2.8ZA\_35.0\_7360x4912 (RGB), Sensor Dimensions: 35.000 [mm] x 23.359 [mm]

EXIF ID: ILCE-7R\_FE35mmF2.8ZA\_35.0\_7360x4912

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	7424.339 [pixel] 35.306 [mm]	3685.463 [pixel] 17.526 [mm]	2455.714 [pixel] 11.678 [mm]	0.049	-0.224	0.006	0.000	0.000
Optimized Values	7426.774 [pixel] 35.318 [mm]	3684.212 [pixel] 17.520 [mm]	2456.768 [pixel] 11.683 [mm]	0.051	-0.229	0.011	-0.000	-0.000



The number of Automatic Tie Points (ATPs) per pixel averaged over all images of the camera model is color coded between black and white. White indicates that, in average, more than 16 ATPs are extracted at this pixel location. Black indicates that, in average, 0 ATP has been extracted at this pixel location. Click on the image to see the average direction and magnitude of the reprojection error for each pixel. Note that the vectors are scaled for better visualization.

### 2D Keypoints Table

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	102763	61257
Mn	94605	20417
Max	107401	71639
Mean	103092	60579

### 3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	3255623
In 3 Images	1199896
In 4 Images	655580
In 5 Images	413865
In 6 Images	282595
In 7 Images	203939
In 8 Images	153725
In 9 Images	119245
In 10 Images	93790
In 11 Images	74800
In 12 Images	60247
In 13 Images	48639
In 14 Images	39866
In 15 Images	32995
In 16 Images	27416
In 17 Images	22423
In 18 Images	19050
In 19 Images	15894
In 20 Images	13326
In 21 Images	11452
In 22 Images	9785
In 23 Images	8429
In 24 Images	7395
In 25 Images	6490
In 26 Images	5454
In 27 Images	4580
In 28 Images	3847
In 29 Images	3211
In 30 Images	2730
In 31 Images	2392
In 32 Images	2078

In 33 Images	1794
In 34 Images	1518
In 35 Images	1209
In 36 Images	1039
In 37 Images	983
In 38 Images	770
In 39 Images	652
In 40 Images	564
In 41 Images	401
In 42 Images	332
In 43 Images	298
In 44 Images	246
In 45 Images	217
In 46 Images	196
In 47 Images	175
In 48 Images	133
In 49 Images	132
In 50 Images	102
In 51 Images	84
In 52 Images	68
In 53 Images	53
In 54 Images	51
In 55 Images	39
In 56 Images	33
In 57 Images	19
In 58 Images	11
In 59 Images	4

2D Keypoint Matches

1



Number of matches  
 25 222 444 666 888 1111 1333 1555 1777 2000

Figure 5: Top view of the image computed positions with a link between matching images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images.



## Geolocation Details

### Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
G3 (3D)	0.020/ 0.020	0.019	-0.002	-0.021	0.481	10 / 10
H1 (3D)	0.020/ 0.020	0.017	-0.006	-0.012	0.685	8 / 8
H2/G4 (3D)	0.020/ 0.020	0.020	-0.027	-0.001	0.503	9 / 9
H3 (3D)	0.020/ 0.020	0.011	0.003	0.026	0.250	6 / 6
H4 (3D)	0.020/ 0.020	-0.008	0.018	-0.005	0.687	6 / 6
H5 (3D)	0.020/ 0.020	-0.001	0.012	-0.011	0.217	6 / 6
H6 (3D)	0.020/ 0.020	0.009	-0.018	0.049	0.432	11 / 11
H7 (3D)	0.020/ 0.020	0.006	0.029	-0.015	0.372	7 / 7
H8 (3D)	0.020/ 0.020	0.012	0.024	-0.078	0.808	7 / 7
L1 (3D)	0.020/ 0.020	0.012	-0.014	0.003	0.356	8 / 8
L2 (3D)	0.020/ 0.020	-0.001	-0.008	0.015	0.423	9 / 9
L3 (3D)	0.020/ 0.020	-0.019	-0.023	-0.016	0.382	8 / 8
L4 (3D)	0.020/ 0.020	-0.006	-0.003	0.018	0.316	12 / 12
L5 (3D)	0.020/ 0.020	-0.017	-0.005	0.008	0.255	9 / 9
L6 (3D)	0.020/ 0.020	-0.030	-0.002	-0.005	0.368	8 / 8
L7 (3D)	0.020/ 0.020	-0.012	0.009	-0.008	0.282	8 / 8
<b>Mean [m]</b>		0.000749	-0.000814	-0.003407		
<b>Sigma [m]</b>		0.014424	0.015481	0.026027		
<b>RMS Error [m]</b>		0.014444	0.015502	0.026249		

0 out of 3 check points have been labeled as inaccurate.

Check Point Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
NGCP01	0.0200/0.0200	-0.0430	-0.0449	0.0625	0.8885	17 / 18
NGCP02	0.0200/0.0200	-0.0201	-0.0176	0.0376	0.1577	7 / 7
NGCP03	0.0200/0.0200	-0.0115	-0.0016	0.0399	0.4205	5 / 5
<b>Mean [m]</b>		-0.024863	-0.021361	0.046648		
<b>Sigma [m]</b>		0.013315	0.017892	0.011273		
<b>RMS Error [m]</b>		0.028204	0.027864	0.047991		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

### Absolute Geolocation Variance

0 out of 466 geolocated and calibrated images have been labeled as inaccurate.

Mn Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-150.00	0.00	0.00	0.00
-150.00	-120.00	0.00	0.00	0.00
-120.00	-90.00	0.00	0.00	0.00
-90.00	-60.00	0.00	0.00	0.00
-60.00	-30.00	0.00	0.00	0.00
-30.00	0.00	68.88	43.99	54.29
0.00	30.00	31.12	56.01	45.71
30.00	60.00	0.00	0.00	0.00
60.00	90.00	0.00	0.00	0.00
90.00	120.00	0.00	0.00	0.00
120.00	150.00	0.00	0.00	0.00
150.00	-	0.00	0.00	0.00
<b>Mean [m]</b>		1.469701	-0.856984	0.571043
<b>Sigma [m]</b>		3.232585	1.068671	2.278101
<b>RMS Error [m]</b>		3.551003	1.369846	2.348582

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Geolocation Bias	X	Y	Z
Translation [m]	1.448313	-0.834299	0.562474

Bias between image initial and computed geolocation given in output coordinate system.

### Relative Geolocation Variance

Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	99.36	100.00	99.57
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	20.343348	20.343348	20.343348
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	5.229715	5.229715	5.229715

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

### Georeference Verification

GCP Name: G3 (0.000,0.000,0.000)



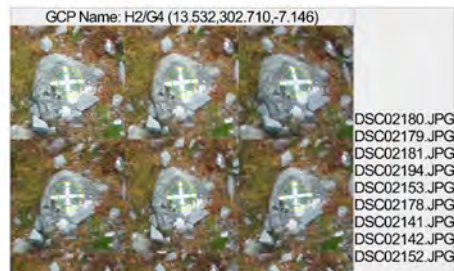
DSC02468.JPG  
DSC02467.JPG  
DSC02469.JPG  
DSC02491.JPG  
DSC02490.JPG  
DSC02492.JPG  
DSC02493.JPG  
DSC02489.JPG  
DSC02494.JPG  
DSC02495.JPG

GCP G3 was not marked on the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, also measure the GCP in these images to improve the accuracy.

DSC02513.JPG  
DSC02514.JPG  
DSC02515.JPG  
DSC02516.JPG



GCP H1 was not marked on the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, also measure the GCP in these images to improve the accuracy.



GCP H2/G4 was not marked on the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, also measure the GCP in these images to improve the accuracy.



GCP Name: H3 (57.499,320.500,-30.170)



DSC02177.JPG  
DSC02176.JPG  
DSC02138.JPG  
DSC02139.JPG  
DSC02156.JPG  
DSC02155.JPG

GCP H3 was not marked on the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, also measure the GCP in these images to improve the accuracy.



DSC02075.JPG  
DSC02076.JPG  
DSC02077.JPG  
DSC02097.JPG  
DSC02098.JPG  
DSC02099.JPG

GCP Name: H4 (86.019,301.023,-26.395)



DSC02176.JPG  
DSC02196.JPG  
DSC02197.JPG  
DSC02175.JPG  
DSC02177.JPG  
DSC02195.JPG

GCP H4 was not marked on the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, also measure the GCP in these images to improve the accuracy.



DSC02135.JPG  
DSC02136.JPG  
DSC02137.JPG  
DSC02138.JPG  
DSC02139.JPG  
DSC02156.JPG

GCP Name: H5 (122.857,297.767,-34.503)



DSC02210.JPG  
DSC02199.JPG  
DSC02174.JPG  
DSC02198.JPG  
DSC02173.JPG  
DSC02200.JPG

GCP H5 was not marked on the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, also measure the GCP in these images to improve the accuracy.



DSC02136.JPG  
DSC02137.JPG  
DSC02158.JPG  
DSC02159.JPG  
DSC02160.JPG  
DSC02161.JPG

GCP Name: H6 (173.179.309.382-50.532)



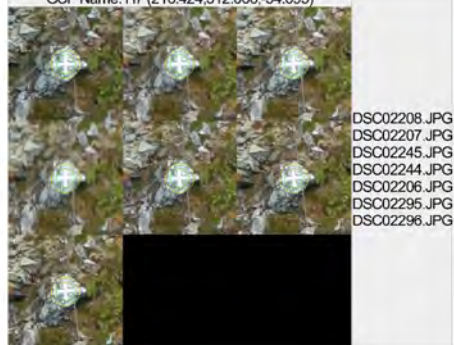
DSC02210.JPG  
DSC02209.JPG  
DSC02208.JPG  
DSC02202.JPG  
DSC02201.JPG  
DSC02171.JPG  
DSC02291.JPG  
DSC02170.JPG  
DSC02203.JPG  
DSC02290.JPG  
DSC02292.JPG

GCP H6 was not marked on the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, also measure the GCP in these images to improve the accuracy.



DSC02129.JPG  
DSC02130.JPG  
DSC02131.JPG  
DSC02132.JPG  
DSC02133.JPG  
DSC02134.JPG

GCP Name: H7 (216.424.312.066-54.695)



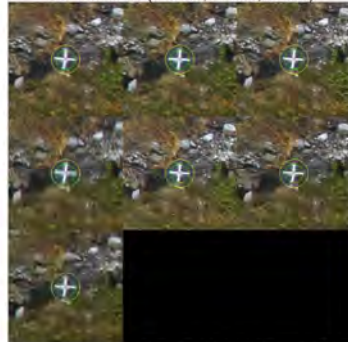
DSC02208.JPG  
DSC02207.JPG  
DSC02245.JPG  
DSC02244.JPG  
DSC02206.JPG  
DSC02295.JPG  
DSC02296.JPG

GCP H7 was not marked on the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, also measure the GCP in these images to improve the accuracy.



DSC02130.JPG  
DSC02131.JPG  
DSC02132.JPG  
DSC02163.JPG  
DSC02164.JPG  
DSC02165.JPG

GCP Name: H8 (248.466,317.995,-57.819)



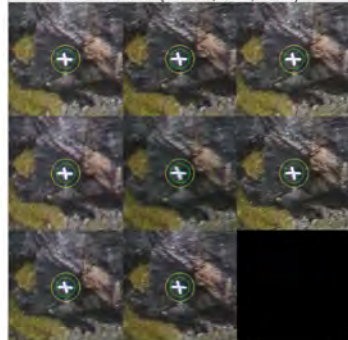
DSC02207.JPG  
DSC02245.JPG  
DSC02206.JPG  
DSC02244.JPG  
DSC02205.JPG  
DSC02243.JPG  
DSC02293.JPG

GCP H8 was not marked on the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, also measure the GCP in these images to improve the accuracy.



DSC02129.JPG  
DSC02130.JPG  
DSC02165.JPG  
DSC02166.JPG  
DSC02167.JPG  
DSC02168.JPG

GCP Name: L1 (-14.259,5.858,-9.769)



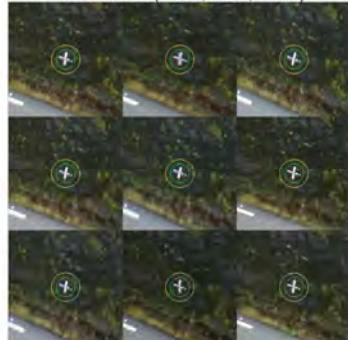
DSC02466.JPG  
DSC02468.JPG  
DSC02467.JPG  
DSC02465.JPG  
DSC02469.JPG  
DSC02491.JPG  
DSC02464.JPG  
DSC02490.JPG

GCP L1 was not marked on the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, also measure the GCP in these images to improve the accuracy.



DSC02463.JPG  
DSC02492.JPG  
DSC02493.JPG  
DSC02494.JPG  
DSC02495.JPG  
DSC02513.JPG

GCP Name: L2 (16.559,13.262,-17.044)



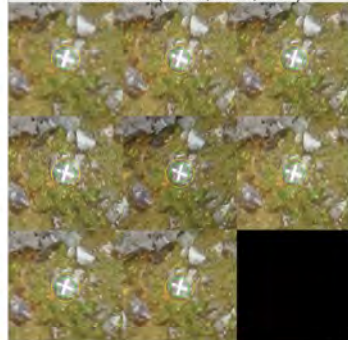
DSC02468.JPG  
DSC02469.JPG  
DSC02466.JPG  
DSC02467.JPG  
DSC02465.JPG  
DSC02491.JPG  
DSC02464.JPG  
DSC02470.JPG  
DSC02490.JPG

GCP L2 was not marked on the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, also measure the GCP in these images to improve the accuracy.



DSC02461.JPG  
DSC02462.JPG  
DSC02463.JPG  
DSC02471.JPG  
DSC02488.JPG  
DSC02489.JPG

GCP Name: L3 (59.320,13.278,-9.852)



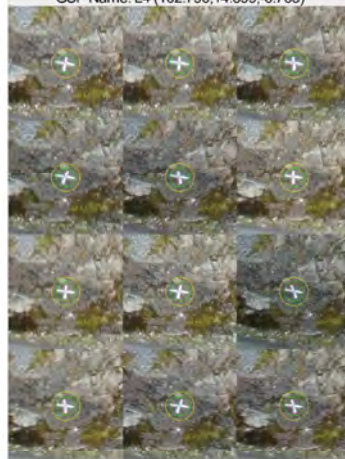
DSC02469.JPG  
DSC02470.JPG  
DSC02471.JPG  
DSC02468.JPG  
DSC02472.JPG  
DSC02489.JPG  
DSC02490.JPG  
DSC02488.JPG

GCP L3 was not marked on the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, also measure the GCP in these images to improve the accuracy.



DSC02459.JPG  
DSC02466.JPG  
DSC02467.JPG  
DSC02473.JPG  
DSC02486.JPG  
DSC02487.JPG

GCP Name: L4 (102.790,14.899,-6.763)



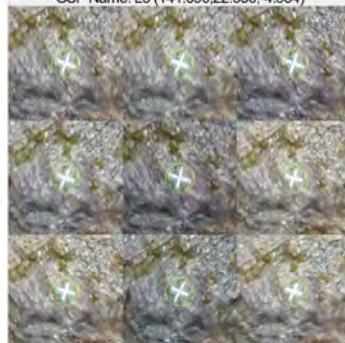
DSC02471.JPG  
DSC02472.JPG  
DSC02473.JPG  
DSC02470.JPG  
DSC02474.JPG  
DSC02486.JPG  
DSC02487.JPG  
DSC02488.JPG  
DSC02475.JPG  
DSC02485.JPG  
DSC02489.JPG  
DSC02484.JPG

GCP L4 was not marked on the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, also measure the GCP in these images to improve the accuracy.



DSC02495.JPG  
DSC02496.JPG  
DSC02497.JPG  
DSC02498.JPG  
DSC02499.JPG  
DSC02500.JPG

GCP Name: L5 (141.696,22.350,-4.584)



DSC02474.JPG  
DSC02475.JPG  
DSC02473.JPG  
DSC02476.JPG  
DSC02472.JPG  
DSC02484.JPG  
DSC02485.JPG  
DSC02477.JPG  
DSC02483.JPG





Figure 7: Images in which GCPs have been marked (yellow circle) and in which their computed 3D points have been projected (green circle). A green circle outside of the yellow circle indicates either an accuracy issue or a GCP issue.

#### Processing Options

1

Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-6700 CPU @ 3.40GHz RAM: 32GB GPU: NVIDIA GeForce GTX 960 (Driver: 10.18.13.5850)
Operating System	Windows 10 Pro, 64-bit
Camera Model Name	ILCE-7R_FE35mmF2.8ZA_35.0_7360x4912 (RGB)
Image Coordinate System	Arbitrary (m)
Ground Control Point (GCP) Coordinate System	Arbitrary (m)
Output Coordinate System	Arbitrary (m)
Keypoints Image Scale	Custom, Image Scale: 2
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: yes
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard, Internal Parameters Optimization: int_all, External Parameters Optimization: ext_all, Rematch: yes

## Point Cloud Densification details

### Processing Options

Image Scale	multiscale, 1 (Original image size, Slow)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes, Maximum Number of Triangles: 1000000, Texture Size: 8192x8192
Advanced: Matching Window Size	9x9 pixels
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Densification Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Advanced: Limit Camera Depth Automatically	no
Time for Point Cloud Densification	1d:01h:32m:31s
Time for 3D Textured Mesh Generation	01h:10m:07s

### Results

Number of Processed Clusters	8
Number of Generated Tiles	31
Number of 3D Densified Points	463198937
Average Density (per m <sup>3</sup> )	6077.21

## DSM, Orthomosaic and Index Details

### Processing Options

DSM and Orthomosaic Resolution	3 [cm/pixel]
DSM Filters	Noise Filtering: yes, Surface Smoothing: yes, Sharp
DSM Generation	yes, Method: Inverse Distance Weighting, Merge Tiles: yes
Grid DSM	yes, Spacing [cm]: 3
Time for DSM Generation	03h:34m:31s
Time for Orthomosaic Generation	57m:55s



Norges  
vassdrags- og  
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29  
Postboks 5091 Majorstuen  
0301 Oslo

Telefon: 09575  
Internett: [www.nve.no](http://www.nve.no)

