



Kunnskap for en bedre verden

# Innendørs modellering ved bruk av sfærisk kamera, og bilder med ekvirektangulær projeksjon

Edward Rask Tekle, Even Lindgaard og Håkon Buhaug  
Holth.

Gradering: Åpen

Bachelor i ingeniørfag - bygg  
Innlevert: mai 2021  
Veileder: Andras Ladai

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for vareproduksjon og byggteknikk



Oppgavens tittel:	Dato: 20.05.2021		
Innendørs modellering ved bruk av sfærisk kamera, og bilder med ekvirektangulær projeksjon.	Antall sider: 146		
	Masteroppgave:	Bacheloroppgave	x
Navn: Edward Rask Tekle, Even Lindgaard og Håkon Buhaug Holth.			
Veileder: Andras Ladai			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/ veiledere:			

### Sammendrag:

Oppgavens hensikt er å finne ut hvor gode punktskyer man kan lage med bruk av et 360 – kamera og ekvirektangulær projeksjon, og om disse punktskyene har noen praktisk bruk.

Dette er gjort ved å produsere en omfattende mengde data, og en prøve/feile metode i programvare for å se hvor godt resultatet kan bli, og hvilke parametere som burde brukes for å få det beste resultatet. Punktsky fra laserskann er brukt som referanse til sammenligning.

Vi har testet forskjellige parametere i Pix4Dmapper som alle påvirker resultatet i en eller annen form; antall GCP'er og antall bilder som brukes i rekonstrueringen, samt hvordan geometrisk verifisert matching påvirker resultatene. På bakgrunn av disse prosesseringene har vi trukket konklusjoner som tar oss nærmere og nærmere den beste punktskyen. Vi har i tillegg sett på hvordan ekvirektangulær projeksjon fungerer i programvare, og beskrevet arbeidsgangen som ble til underveis.

Resultatene våre viser at antall bilder, og antall bilder med markerte GCP'er i stor grad bestemmer kvaliteten på punktskyen. Vi har fått det beste resultatet med å bruke hele datagrunnlaget vårt (1074 bilder), markere alle 30 GCP'ene i minst åtte bilder, og bruk av geometrisk verifisert matching.

Uten geometrisk verifisert matching i prosesseringen blir fellespunkter matchet bare på bakgrunn av bildeinnholdet. Når man bruker geometrisk verifisert matching blir også de relative kameraposisjonene tatt i betraktning, slik at det ikke genereres punkt av urealistiske treff. Her avslørte kvalitetsrapportene resultater som gikk på tvers av våre forventninger, og vi har ikke klart å forklare dette.

Ekvirektangulær projeksjon i rekonstrueringen er bra for det gir høyt overlapp, men skaper litt problemer når det kommer til å finne fellespunkt. Bildene blir såpass strukket i øvre og nedre del av bildet, at punktene som matches her ikke er pålitelige. I tillegg til dette er også stativføttene en feilkilde; punkt på stativføttene blir matchet, som igjen skaper upålitelige punkt.

For et prosjekt av dette omfanget kreves det en del tid i felt, og en del tid til etterarbeid/prosessering. Totalt tok det litt over 12 timer å produsere punktskyen med minst avvik til referansepunktskyen. Til sammenligning gikk det litt over fire timer fra første oppstilling med laserskanneren til rydding av punktskyen var ferdig. Her ser vi bort fra tiden det tar å sette ut targets (45 min).

Den laveste differansen vi klarte å oppnå mellom referanse – og testpunktsky er 10,6 cm. Med et så stort avvik duger ikke denne metoden til for eksempel as – built kontroll da det stilles for høye krav til nøyaktighet til denne typen dokumentasjon.

Metoden kan med automatisering av datafangst og rekonstruering, kanskje brukes til å kontinuerlig oppdatere en modell/punktsky for et anleggsområde. Med 10,6 cm. avvik vil selvfølgelig detaljene være vanskelig å rekonstruere nøyaktig, men punktskyen vil fremdeles kunne vise det store bildet, og eventuelle formenn/ledere vil kunne følge med på utviklingen uten å måtte forlate kontorbrakka for å oppdatere seg.

Stikkord:

360 kamera	Laserskann
3D – modellering	Pix4D
Cloud to Cloud	Punktsky
Ekvirektangulær projeksjon	
Fisheye linse	
Fotogrammetri	
Insta 360, Pro	

Håkon Holm

Even Lindgaard

(sign.)

Edward R. Tekle

# Abstract (engelsk)

The purpose of this bachelor's thesis is to determine how accurate it is possible to reconstruct a point cloud based on a substantial amount of image data, and to determine whether a point cloud of this quality has any practical uses.

This is done by producing a considerable amount of image data, and a trial/error approach to figuring out the optimal parameters, to produce point clouds with the least amount of deviation from a reference point cloud. The reference point cloud is acquired with a laserscanner.

We have tested how different parameters in Pix4Dmapper affects the reconstruction. These parameters are, how the number of GCP's and number of images used for the reconstruction, affects the results. We have also looked at what geometrically verified matching does to the point cloud and how equirectangular projection behaves in a photogrammetry software.

We have experienced that the number of images dictates together with the number of images with marked GCP's, the global average deviation between the reference point cloud and the test point cloud; the more images, the less deviation.

Without the use of geometrically verified matching, the ATP's are matched based solely on the content of the images. When using geometrically verified matching, the relative positions of the images are also taken into account when computing matches, so that geometrically unrealistic matches are rejected. The statistics from the quality reports are not behaving as we expected, and as result of this, we have not been able to explain these results.

The equirectangular projection gives a high overlap which makes it easier to find tie points in the center of the images. However, as we move closer to the top and bottom of the images, distortion increases, and tie points computed here are therefore of lower accuracy than of those in the center. This produces unreliable tie points, which contributes along with other factors, to noise in the resulting point cloud.

For a project of this size, one must account for a shy day's work of fieldwork for the data acquisition with the camera. In addition to this, five more hours went with processing the best point cloud. We ended up with a little more than 12 hours from start to finish for the

photogrammetry method, and about four hours with the laserscanner. The time spent placing targets (45 min) is not taken into account for these estimations.

The least amount of deviation that we were able to produce between the reference point cloud and the test point cloud, was a global average of 10,6 cm. With deviations of such magnitude, we cannot see that this method can be used for example as – built control. This type of documentation requires better accuracy than this method can provide.

By automating the process from data acquisition, to reconstruction of the point cloud, it is perhaps possible to have a mounted camera continuously update a point cloud/model of a construction site. A spherical camera may be mounted on a moving object such as an excavator, bulldozer or maybe a drilling rig, and will thus be moved around the site. With deviations of 10,6 cm. the details will of course be hard to reconstruct accurately, but such a point cloud might be able to show the bigger picture for foremen/leaders, so that they don't necessarily have to leave their office barracks to catch up on the project.

# Forord

Tre år med studier nærmer seg slutten, og denne oppgaven ser vi på som et verdig punktum for utdanningsløpet vårt, Bachelor Geomatikk, ved NTNU Gjøvik.

Vi har alle hatt ei fantastisk, men nogenlunde amputert studietid, som følge av Covid – 19. Til tross for dette har vi gjort jobben vår så godt som mulig, og vi står nå i andre enden og kan klappe oss selv på skuldra.

Vi vil takke vår veileder, Andras Ladai, for gode råd og veiledning gjennom denne oppgaven. Andras har vært til stor hjelp, og har kommet med gode spørsmål og uvurderlig innsikt når det kommer til tolking av resultater.

Vi vil takke Gjøvik kommune, og vår kontaktperson Adam Östman for fri tilgang til svømmehallen til alle døgnets tider.

# Innholdsfortegnelse

Abstract (engelsk) .....	v
Forord .....	vii
Innholdsfortegnelse .....	viii
Figur og tabelliste .....	x
Ordforklaringer og definisjoner .....	xi
1 Innledning .....	1
1.1 Bakgrunn for oppgaven .....	1
1.2 Problemstilling .....	2
1.2.1 Beskrivelse av problemstillingen .....	2
2 Teori .....	3
2.1 Fotogrammetri .....	3
2.2 Laserskanning .....	3
2.3 Pix4D .....	4
2.4 Leica 3DR .....	5
2.5 Insta360 Pro .....	6
2.6 Leica ScanStation P40 .....	6
2.7 Fisheye-objektiv .....	7
2.8 Ekvirektangulær projeksjon .....	7
2.9 Targets .....	8
2.10 GCP .....	8
2.11 Cloud to cloud .....	9
3 Metode .....	10
3.1 Feltarbeid .....	10
3.1.1 Test datafangst bilder .....	10
3.1.2 Targets .....	11
3.1.3 Laserskanning .....	11
3.1.4 Datafangst bilder .....	11
3.2 Prosessering .....	13
3.2.1 Leica Cyclone Register 360 .....	13
3.2.2 Leica Cyclone .....	13



3.2.3	Pix4D.....	14
3.2.4	Leica 3DR .....	14
3.2.5	Cloud Compare .....	14
3.3	Arbeidsgang og arbeidsmengde.....	16
3.3.1	Fotogrammetri.....	16
3.3.2	Laserskann.....	17
4	Resultat.....	18
4.1	Pix4D .....	18
4.1.1	Test datafangst bilder .....	18
4.1.2	Datafangst bilder .....	19
4.2	CloudCompare.....	20
4.2.1	Heatmap .....	20
4.2.2	Cloud to cloud .....	24
5	Diskusjon.....	25
5.1	Pix4D.....	25
5.1.1	Test datafangst bilder .....	25
5.1.2	Datafangst bilder .....	25
5.2	Cloud Compare.....	30
5.2.1	Heatmap .....	30
5.2.2	Cloud to cloud .....	31
5.3	Arbeidsgang og arbeidsmengde.....	31
5.3.1	Fotogrammetri.....	31
5.3.2	Laserskann.....	31
6	Konklusjon .....	32
7	Videre arbeid .....	33
	Bibliografi .....	34
8	Vedlegg .....	36

# Figur og tabelliste

Figur 1 - Insta360 Pro montert på stativ.....	6
Figur 2 - Leica ScanStation P40, montert på stativ.....	6
Figur 3 - Targets brukt i oppgaven.....	8
Figur 4 - Viser oppstillingene for datafangst med kameraet, tatt fra avsnittet «2D Keypoint Matches" i kvalitetsrapportene. ....	12
Figur 5 - Illustrasjonsbilde, datafangst laserskanning.....	13
Figur 6- Oversiktsbilde Cloud Compare modell.....	15
Figur 7 - Visualisering, cross sections fra CloudCompare sammen med bilde fra virkeligheten. ....	21
Figur 8 – Visualisering, cross sections fra CloudCompare sammen med bilde fra virkeligheten.....	22
Figur 9 – Visualisering, cross sections fra CloudCompare sammen med et bilde fra virkeligheten. Utklippene er tatt fra oven, og bildet fra virkeligheten er tatt helt høyre i utklippene.....	23
Figur 10 - Fordeling av ATP'er i bildene. ....	28
Figur 11 - 1/6 bilder med fisheye - objektiv.....	29
Figur 12 - Seks bilder tatt med fisheye - objektiv sys sammen til et bilde med kvirektangulær projeksjon. ....	29
Figur 13 - Visuell kontroll fra Pix4Dmapper viser ATP'er på stativfot og i veldig forvrengte deler av bildet. ....	30
Tabell 1:.....	18
Tabell 2:.....	19
Tabell 3:.....	19
Tabell 4:.....	20
Tabell 6:.....	24

# Ordforklaringer og definisjoner

Automatic Tie Point (ATP)	<i>Punkt som programvaren automatisk gjenkjenner i flere bilder, og som brukes til å lage 3D punkt.</i>
«Black – box» programvare	<i>Proprietær programvare som ikke gir brukeren innsyn i kildekoden.</i>
Ground Control Point (GCP)	<i>Bakkekontrollpunkt. Brukes i flyfotogrammetri om punkter på bakken med kjente koordinater i grunnriss/ og eller høyde. I dette prosjektet brukes targets fra laserskanningen som GCP'er.</i>
Ground Sampling Distance (GSD)	<i>Distansen mellom sentrum til to tilgrensende pixler, målt på bakken. Dess høyere GSD verdi, dess lavere oppløsning i bildet.</i>
Fisheye lens	Vidvinkel linse
LiDAR	<i>Light Detection and Ranging.</i>
Manual Tie Point (MTP)	<i>Godt definerte 3D punkt som markeres manuelt i bilder.</i>
Ortofoto	Fotografi tatt fra satellitt eller fly.
Punktsky	<i>En mengde punkt med posisjoner definert i et tredimensjonalt koordinatsystem.</i>
Relativ nøyaktighet	<i>Innbyrdes nøyaktighet mellom punkt. Nabonøyaktighet.</i>
Root Mean Square (RMS)	<i>Kvadratisk gjennomsnitt. Forteller hvor godt modellen passer GCP'ene.</i>

Targets	<i>Godt synlige blinker som kan ha kjente koordinater i grunnriss/ og eller høyde.</i>
---------	--

# 1 Innledning

Gjøvik kommune hadde planer om å rehabilitere bassenget i Fjellhallen, men trengte oppdatert prosjekteringsgrunnlag da de bare hadde utdaterte tegninger fra da Fjellhallen ble bygd. Kommunen stilte med et interessant objekt, og vi fikk gå fram slik vi ønsket. Dette så vi på som en gylden mulighet til å ta en nærmere titt på terrestrisk fotogrammetri.

Gjøvik olympiske fjellhall er verdens største publikumshall i fjell, og før OL i 1994 hadde kommunen planer om å bygge en ishockeyhall på Gjøvik. For å spare utvendig plass, valgte de å legge den inne i fjellet. Det var allerede bygd en innendørs svømmehall fra 1974 og erfaringene herfra var gode. “Vi ville skape økt aktivitet og bedre miljø i bykjernen, sette Gjøvik på verdenskartet og legge grunnlag for økt turisme og handel” (Fjellhallen, 2021).

Fjellhallen er godkjent for nesten 6000 mennesker og er ni etasjer høy. Det ble sprengt og fraktet ut over hundre tusen kubikk steinmasse. Steinmassen la de ved Mjøsas bredder og ble brukt for å lage deler av dagens Mjøsapromenade. Den totale kostnaden på prosjektet kom på over 135 millioner kroner (Fjellhallen, 2021).

## 1.1 Bakgrunn for oppgaven

Flyfotogrammetri har i mange år vært en anerkjent metode for kartlegging, men har tidligere lidd av å være en omfattende og kostbar prosess. I dag er det mulig å lage digitale kart og 3D – modeller til en brøkdel av både tid og pris, sammenlignet med tidligere år. Dette skyldes masseproduksjon av moderne droner, utstyrt med høyoppløselige kameraer som er i stand til å både fotografere og filme.

Bygg – og anleggsbransjen har for alvor tatt i bruk droner til kartleggingsformål, men hva er løsningen når man vil kartlegge/modellere områder der det ikke er mulig å fly droner? Svaret er laserskannere; raske og nøyaktige, men ofte dyre, og med uhåndterlige design.

Dette fikk oss til å tenke; er det mulig å lage gode punktskyer ved å bruke billigere instrumenter enn laserskannere?

Vi ble tidlig tipset av veileder om at det eksisterte sfæriske kameraer med linser i flere retninger, og dette fanget interessen vår.

## 1.2 **Problemstilling**

*«Hvor gode punktskyer kan man lage med bruk av 360 kameraer og bilder med ekvirektangulær projeksjon, og har disse noen praktisk nytte?»*

### 1.2.1 **Beskrivelse av problemstillingen**

Oppgaven handler i stor grad om analyse av punktskyer, både visuell kontroll og statistikken bak.

For å svare på problemstillingen, har vi undersøkt hvordan forskjellige parametere påvirker rekonstruering av punktskyene, og optimalisert disse for å få de beste punktskyene.

Parameterne som vi har kikket på er antall bilder og GCP'er, og hvordan disse påvirker resultatene. I tillegg har vi sett på hva geometrisk verifisert matching gjør med rekonstrueringen, og hvordan ekvirektangulær projeksjon fungerer i programvare..Vi har også tatt en titt på både tidsbruken i felt, og etterprosessering for begge teknologiene; fotogrammetri og laserskanning.

I forkant av prosjektet klarte vi ikke finne en godt definert arbeidsgang for innendørs modellering, og vi har derfor også valgt å beskrive fremgangsmåten vår, i tilfelle den kan være til nytte for andre i lik situasjon.

Det er foretatt laserskanning av interesseområdet, og denne punktskyen fungerer både som fasit og grunnlag for sammenligning.

# 2 Teori

## 2.1 Fotogrammetri

Ordet *fotogrammetri* er satt sammen av *fotogram*, som er et begrep som brukes for et bilde tatt med et målekamera, og *metri*, som betyr måling. Fotogrammetri er den teknikken vi anvender når vi ved hjelp av måling på fotogrammer bestemmer geometriske egenskaper ved det objektet som er avbildet (Skogseth & Norberg, 2014).

I fotogrammetrien tar man bilder og noen referanse punkt av det objektet man er ute etter å dokumentere. Resten av arbeidet gjøres inne på kontoret med hjelp av programvare. Fotogrammetri gir en detaljert, og god beskrivelse av høydeforhold og den gir en jevn nøyaktighet. Fotogrammetri er en rimeligere variant av innmåling enn f.eks. ved bruk av totalstasjon og GNSS. Ulempen ved fotogrammetri vil være at den bare kan måle på det som er synlig på bildene. Siden fotogrammetrien ofte blir tatt bilder fra luften blir bildene vertikale og tett vegetasjon som trær og busker vil hindrer innsyn til bakken og mindre detaljer vil skjules (Skogseth & Norberg, 2014).

Grunnleggende prinsipp ved fotogrammetri å ta flere bilder av det samme området som er tatt med minst to ulike posisjoner. Ved å vite posisjonen på kameraet, kan man ut i fra dette lage 3-dimensjonale koordinater. Dette blir på samme måte som stereoskopis syn, der man bruker prinsippet med dybdesyn. Mennesker har to øyer som ser ett bilde fra litt ulike vinkler, men som blir samordnet i netthinnen.

Fotogrammetri har mange ulike bruksområder. Noe av det fotogrammetrien blir brukt til er registrering av geodata, koordinatbestemmelser av grensepunkter, kulturarv, form og dimensjonskontroll av store konstruksjoner og politietterforskning (Terje & Dag, 2014).

## 2.2 Laserskanning

Laserskannere blir i størst grad bruk til terrestrisk laserskanning og flybåren laserskanning. Laserskanning er en nyttig metode for å samle hurtig informasjon i 3D av topografiske og industrielle gjenstander. Ved hjelp av en laserskanner kan en utføre en tredimensjonal

modellering. Skanneren dokumenterer alle de geometriske detaljene av ulike objekter, dette kan både være innvendig og utvendig i høyest mulig oppløsningskvalitet. Det kan være mange ulike bruksområder innenfor skanning som blant annet danne en punktsky av et spesifikt område eller bygning som igjen kan brukes som et visualiseringsverktøy eller til prosjekteringsgrunnlag. En av fordelene ved bruk av en profesjonell skanner er at dokumentasjonen av et objekt eller område går veldig mye raskere enn for eksempel bruk av totalstasjon.

Lidar har i det siste tiåret blitt en av de mest brukte og suksessfulle måtene det blir samlet inn data på, lidar står for «laser imaging detection and ranging». Lidar teknologien blir gjerne benyttet ved at skanneren blir plassert på et stativ ovenfra for å dokumentere overflaten og fasaden til større og mindre områder. Hvis en skal dokumentere større områder med en omkrets på flere kilometer blir dette gjerne utført via drone, helikopter, fly eller bil, altså bevegelige objekter blir det kalt for flybåren laserskanning (Lemmens, 2011).

Det er to ulike former for teknologi ulike laserskannere benytter seg av, det er fase og puls målinger. Fasemålinger går ut på forskjellene mellom bølgelengder. Dette vil si at ut ifra de forskjellene kan en beregne tidsforsinkelsen som gjør at avstanden til et objekt blir beregnet. Puls målinger fungerer på den måten at det blir sendt ut laserpulser som treffer objekter og blir reflektert tilbake til skanneren, deretter beregnes distansen til objektet ved å bruke tiden det tok før pulsen ble returnert til skanneren og lysets hastighet. (Genechten, 2008)

## 2.3 Pix4D

Pix4D er et sveitsisk firma som tilbyr programvarer og løsninger innenfor dronekartlegging. På markedet finnes det flere slike programvarer, der noen opererer med prosesseringsløyper som i stor grad drives av kommandolinjeløsninger, mens andre benytter seg av mer grafiske brukergrensesnittløsninger. Pix4Dmapper er en av disse programvarene, og er bygd opp av algoritmer som er laget for å løse fotogrammetriske problemer.

Et av disse problemene er å gjenkjenne detaljer fra forskjellige bilder. Tidlige algoritmer var i stand til å gjenkjenne overensstemmende detaljer på tvers av bilder, forutsatt at disse var tatt fra samme sted, og hadde lik skala (Snavely, et al., 2008).



Moderne og mer sofistikerte algoritmer klarer nå å finne disse overensstemmende detaljene (fellespunkter) til tross for at bildenes skala og perspektiv er forskjellig. Et eksempel på en slik algoritme er SIFT (Scale Invariant Feature Transform), og er godt egnet til bruk i situasjoner der interesseområdet er fotografert med bilder tatt fra forskjellige vinkler og distanser (Lowe, 2004).

En annen sentral algoritme som inngår i Pix4Dmappers prosessering, kalles RANSAC. RANSAC er i stand til å filtrere data med et høyt innhold av grove feil, slik at støy og feil i fellespunktene faller vekk (Fischler & Bolles, 1981).

For å gå fra fra 2D – bilder, til digitale 3D – modeller og kart, bruker Pix4Dmapper en metode som kalles «Structure – from – Motion», og både SIFT og RANSAC inngår i denne metoden. Metoden fungerer best når man har mange bilder med høy grad av overlapp, da blir det lettere for SIFT å finne fellespunkter.

Resultatet av en prosessering er punktskyen og en kvalitetsrapport som beskriver kvaliteten/nøyaktigheten til punktskyen fra et matematisk ståsted.

## 2.4 **Leica 3DR**

Dette er et program som tar hånd om felldatainnsamling. Det er mange ulike funksjoner i Leica 3DR. Den kan bli brukt til registrering, prosessering, rensing av punktskyer, georefere punktsky og cloud to cloud matching.

## 2.5 Insta360 Pro

Kameraet som ble benyttet heter Insta360 Pro. Insta360 Pro er et 360 graders kamera, og er utstyrt med 6 fisheye-linser. Maksimal oppløsning på en linse er 4000x3000 altså 12 megapiksler. Under 360 grader panoramisk billedtakning er det på 7680x3840. Kameraet har innebygd real time image stitching som syr sammen flere av enkeltbildene til et panorama bilde, slik at man slipper å gjøre det manuelt selv. Det er lagd en egen applikasjon for kameraet slik, at man får styrt kameraet med et nettbrett eller smarttelefon. Kameraet er også utstyrt med ett eget lokalt nettverk (LAN) for trådløs styring. Levetiden på kameraet er oppgitt på 75 minutter, men gruppen fikk brukt kameraet opp til 1 time og 30 minutter alle gangene. (Insta360, u.d.)



Figur 1 - Insta360 Pro montert på stativ.

På kameraet finnes en burst – funksjon som tar  $6 \times 10$  bilder på engang. Hver linse tar ti bilder som sys sammen til ti panoramabilder. Ved å bruke programmet Insta360 Pro Stitcher, kan man kombinere alle ti bildene og lage et bilde med 12K oppløsning.

## 2.6 Leica ScanStation P40

Laserskanneren som ble benyttet i denne oppgaven er en Leica ScanStation P40, som er en profesjonell laserskanner. Denne skanneren er en pulsskanner, og kan måle opp til 1 million punkt per sekund med en maksimal rekkevidde på opptil 270 meter. En kan forvente seg en tredimensjonal nøyaktighet på 3mm på 50m og 6mm på 100m, med et standardavvik på 2mm på 50m, ved skanning med dette instrumentet. Når det kommer til synsfeltet ved en oppstilling P40



Figur 2 - Leica ScanStation P40, montert på stativ.

skanneren kan den skanne 360 grader horisontalt og 290 grader vertikalt, derfor er det viktig å ha flere oppstillinger der en skal skanne for å få tilstrekkelig med overlapp for å dekke det vertikale hullet i hvert skann (Leica Geosystems, 2017).

## 2.7 Fisheye-objektiv

Fisheye-linser muliggjør billedtaking med ekstremt vid vinkel, og kan ta bilder opptil 180\* eller mer. Bilder tatt med fisheye-objektiv er sirkulære, og får svarte hjørner i enden av bildeflaten. (Pihl, 2021)

Slike bilder blir også påført en del forvrenging, og bilder med normalobjektiv leverer høyere nøyaktighet på lik distanse. Til tross for dette brukes fisheye-linser i kartlegging/modellering, fordi det er lettere å få tilstrekkelig overlapp pga. den ekstremt vide vinkelen. (Küng, 2014)

## 2.8 Ekvirektangulær projeksjon

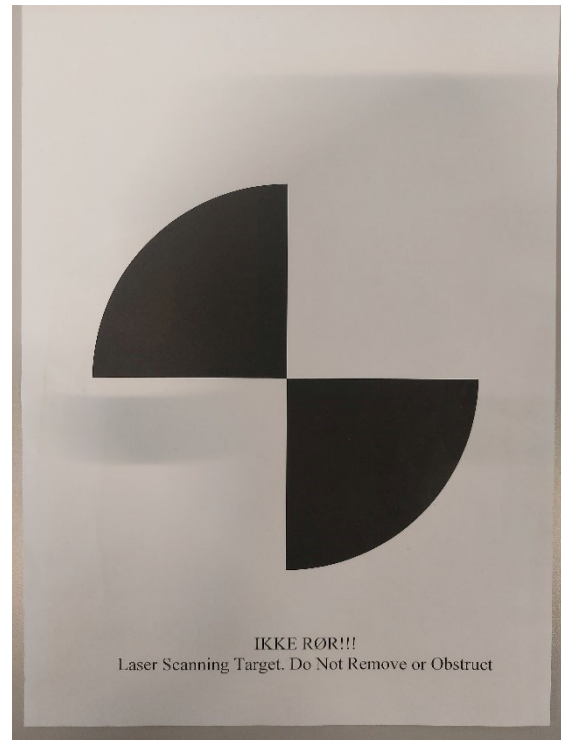
Den ekvirektangulære projeksjon har blitt brukt i kartopprettelse siden 100 år etter Kristusfødsel. I et ekvirektangulær panoramisk bilde forblir alle vertikale bilder vertikalt og horisontale blir rette linjer, som strekker seg langs midten av bildet. Koordinater i bildet kan relatere lineært til panorering og tilt vinkler i den virkelige verden. Polene Zenith som er plassert øverst og Nadir som er plassert nederst, er strukket til hele bildets bredde. Områder nær polene strekkes vannrett. Den ekvirektangulære projeksjonen er forhåndsvalg format hos laserskannere eller kameraer med 180 grader fisheye (som gir en 360 graders sfære).

Ekvirektangulære projeksjoner er vanlig i bruk som projeksjon type for bilder som er sfæriske panoramabilder. Et ekvirektangulært format er flere bilder sydd sammen til ett bilde av 360 grader horisontalt og 180 grader vertikalt. (Panotools Wiki, 2019)

Pix4D støtter ekvirektangulære formater for sfæriske kamerat for prosessering. Disse bildene blir automatisk oppdaget som sfæriske bilder.

## 2.9 Targets

Hvis en skal laserskanne er det ofte veldig gunstig å benytte seg av targets, hvis en foretar en skanning med flere stasjoner. Grunnen til dette er at laserskanneren gjenkjenner targetsen og dette gjør det lettere å sy sammen en fullstendig punktsky i programvare i ettertid. Det finnes flere ulike targets en kan bruke. Leica har sine egne spesialtargets som er skreddersydd for deres profesjonelle skannere som for eksempel Leica P40, skanneren som ble benyttet for å løse denne oppgaven. Skanneren klarer å gjenkjenne disse targetene automatisk i programvarene deres som for eksempel Leica Cylone 3DR. En annen metode en kan bruke er å benytte seg av såkalte naturlige targets hvor en finner veldefinerte objekter i skannene, dette kan for eksempel være hjørner på ulike objekter. Ulempen med å benytte seg av denne metoden kontra profesjonelle targets er at en ikke får den samme nøyaktigheten på grunn av at fellespunktene ikke er like godt definert.



Figur 3 - Targets brukt i oppgaven.

Targets med kjent posisjon kan også brukes til å plassere modellen på jordoverflata (georeferere).

## 2.10 GCP

GCP'er fungerer som fastmerker i et interesseområde, og kan både ha kjent posisjon såvell som ukjent. Ved å bruke GCP'er i prosesseringen bevarer man interesseområdets fasong, skala og orientering, som igjen øker den relative nøyaktigheten ved å forbedre rekonstrueringen. Hvis man i tillegg kjenner posisjonene til GCP'ene, kan man georeferere modellen. Uten GCP'er i prosjektet risikerer man at modellen rekonstrueres invertert. (Pix4D, u.d.)

## 2.11 **Cloud to cloud**

Cloud to cloud er en metode hvor en setter opp to ulike punktskyer opp mot hverandre, ved å bruke en av de som referansepunktsky og deretter sammenligner den andre punktskyen opp mot referansepunktskyen som i vårt tilfelle er P40 scannet.

## 3 Metode

I denne oppgaven har vi valgt å fokusere på relativ nøyaktighet, og targets/ GCP'er har derfor ikke bestemt posisjon i noen global referanseramme. De har imidlertid fått tildelt koordinater i et tilfeldig koordinatsystem under eksport/import av punktsky i Leica Cyclone, og det er disse som brukes i prosesseringsarbeidet.

Grunnlaget for prosessering i Pix4Dmapper er ett datasett med 1074 bilder. Vi har valgt å kjøre noen gjennomføringer med bare et utvalg av bildene, for å se hvilken effekt dette har på resultatene. I disse gjennomføringene er annethvert, og hvert tredje bilde valgt, for å sikre jevn fordeling i interesseområdet, og på denne måten kan man også si noe om størrelsen i rutenettet påvirker resultatene. Hvilken rekonstruering som har hvilket mønster, kan man se i avsnittet «2D Keypoint Matches" i kvalitetsrapportene.

Interesseområdets størrelse er rundt 800 m<sup>2</sup>.

### 3.1 Feltarbeid

#### 3.1.1 Test datafangst bilder

For å kunne fastslå en dugende datafangstmetode, ønsket vi å teste både kameraet og programvaren (Pix4Dmapper) i en litt mindre skala og valgte geomatikkklubben på NTNU campus Gjøvik. Testprosjektet ble formet slik at en kunne møte på en del av de samme utfordringene det ble sett for seg at en kunne møte når en skulle gjennomføre selve prosjektet i Fjellhallen. Testområdet har et repetitivt mønster noe også Fjellhallen har, derfor egnet det seg godt til dette formålet. De to best egnede lukkefunksjonene (burst og vanlig lukkemodus) på kameraet ble testet. En annen faktor vi undersøkte var om oppstillingsmønsteret hadde noen innvirkning.

Det viste seg fort at det krevdes et stort antall bilder for å kunne lage digitale modeller, og derfor bestemte gruppen seg for å heller dekke et hjørne av rommet tilstrekkelig. Det ble testet med forskjellige mønster som rutenett (50cm x 50cm) og sikksakk.

Resultatene med bruk av burst – funksjonen var bedre, men ikke gode nok til å forsvare den store mengden med data som fulgte, og det ble dermed bestemt at et rutenettmønster med vanlig lukkemodus på kameraet skulle benyttes i Fjellhallen, ref. tabell 1.

### **3.1.2 Targets**

I forkant av datafangsten ble det satt ut rundt 30 targets med bruk av teip, plassert på en slik måte at det er minimum tre targets pr. skann/bilde. Utsettingen av targets ble gjort etter Pix4Ds anbefalinger, og er jevnt fordelt utover interesseområdet.

Targetsene som ble benyttet i dette prosjektet var profesjonelle targets fra Leica Geosystems. Fordelen med å bruke denne typen targets er at de blir automatisk gjenkjent i programvare, så man inngår å manuelt markere de i etterkant av laserskanningen.

### **3.1.3 Laserskanning**

Laserskanningen ble gjennomført med en punkttetthet på 6,3mm på 10 meter, og det ble derfor forsøkt å ha oppstilling hver 10. meter. Grunnen til at det ble valgt å ta såpass mange oppstillinger var for å få tilstrekkelig med overlapp mellom de ulike oppstillingene.

Selve skannetiden i hver enkelt oppstilling var på ca 1 minutt og 40 sekunder. Valgte å skanne uten å ta med bilder, grunnen til dette er at det er vesentlig mere tidskrevende og vi var bare ute etter en punktsky og ikke bilder i tillegg. Det ble gjennomført vanlige skann oppstillinger, vi benyttet oss ikke av funksjonen subscann ettersom dette ikke var nødvendig for å oppnå nøyaktighetskravene i dette prosjektet.

### **3.1.4 Datafangst bilder**

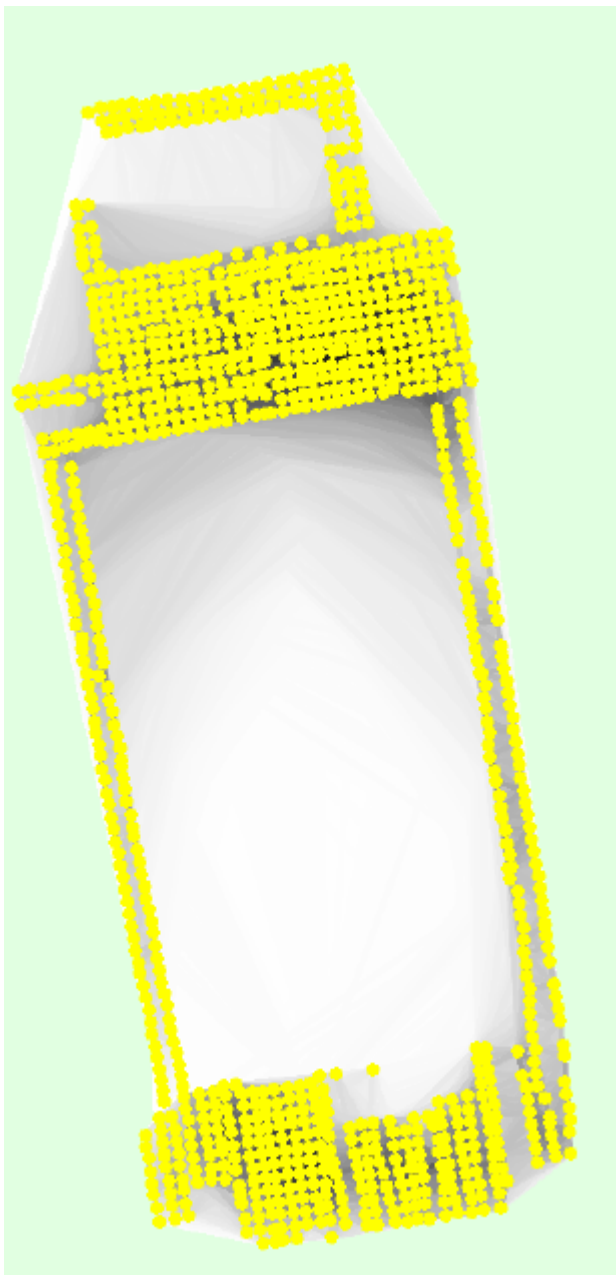
Gruppen valgte å markere opp store deler av gulvet på bassenget med maskeringsteip, i et rutenettmønster, med 50cm x 50cm på kryss og tvers av bassenget. Dette fordi man skulle få et oversiktlig og systematisk nett, man kunne ta oppstillinger på.

Tidsbruken med billedtaking tok opp mot 1 min per oppstilling. Kameraet har 6 linser som tar bilder og syr disse til ett panoramiskbilde. Ipad ble brukt til å styre kamera med en app, via et lokalt internett opprettet av kameraet.

For å kunne ta bilde måtte man ha fri sikt til Insta360 Pro. Samtidig som man måtte kunne gjemme seg, slik at man unngår å bli med på bildene.

Siden man bare flyttet seg en halv meter om gangen, delte vi inn i to ulike arbeidsroller. Ene styrte ipaden og tok bilde. Den andre personen, fikk ansvaret for å flytte kameraet til ny posisjon. Dette gjorde datafangsten av bilder mest effektiv.

Med kameraets levetid på ca. 75 minutter, ble arbeidsdagene litt oppstykket. Det ble 75min x 5 økter med kameraet, og den totale tiden endte opp rundt 6 timer og 15 min.



*Figur 4 - Viser oppstillingene for datafangst med kameraet, tatt fra avsnittet «2D Keypoint Matches» i kvalitetsrapportene.*



Feltene uten gule sirkler er bassengkroppene til barnebassenget og hovedbassenget, her ble det ikke foretatt noen oppstillinger.

## 3.2 **Prosessering**

### 3.2.1 **Leica Cyclone Register 360**

Denne programvaren ble brukt for å sy sammen alle punktskyene fra laserskanning til en punktsky. Det ble totalt ti oppstillinger, hvor en måtte skrotes fordi matchingen med de andre punktskyene ikke var så god som vi ønsket.

Den blå sirkelen på bildet nedenfor viser den skrotede oppstillingen.



*Figur 5 - Illustrasjonsbilde, datafangst laserskanning*

### 3.2.2 **Leica Cyclone**

For å kunne bruke GCP'ene i Pix4Dmapper, må først punktskyen åpnes i Leica Cyclone. Deretter må GCP'ene merkes og nummereres i et lokalt koordinatsystem, slik at de kan eksporteres i ønsket filformat.

### 3.2.3 Pix4D

Det ble utarbeidet en struktur for navngiving av prosjektene, slik at filnavnene for kvalitetsrapportene skulle være til dels selvforklarende, eks:

alle bilder, med geometrisk verifisert matching og med GCP'er (antall) →  
100%\_mgeom\_mgcp\_8

halvparten av bildene, uten geometrisk verifisert matching og uten GCP'er →  
50%\_ugeom\_ugcp

I programvaren er det fulgt en prøve/feile metode for å finne hvilket parameteroppsett som resulterer i de beste punktskyene/kvalitetsrapportene. Her har vi testet hvordan antall GCP'er og bilder påvirker rekonstrueringen. Vi har også sett på hvordan geometrisk verifisert matching og ekvirektangulær projeksjon fungerer i programvare.

### 3.2.4 Leica 3DR

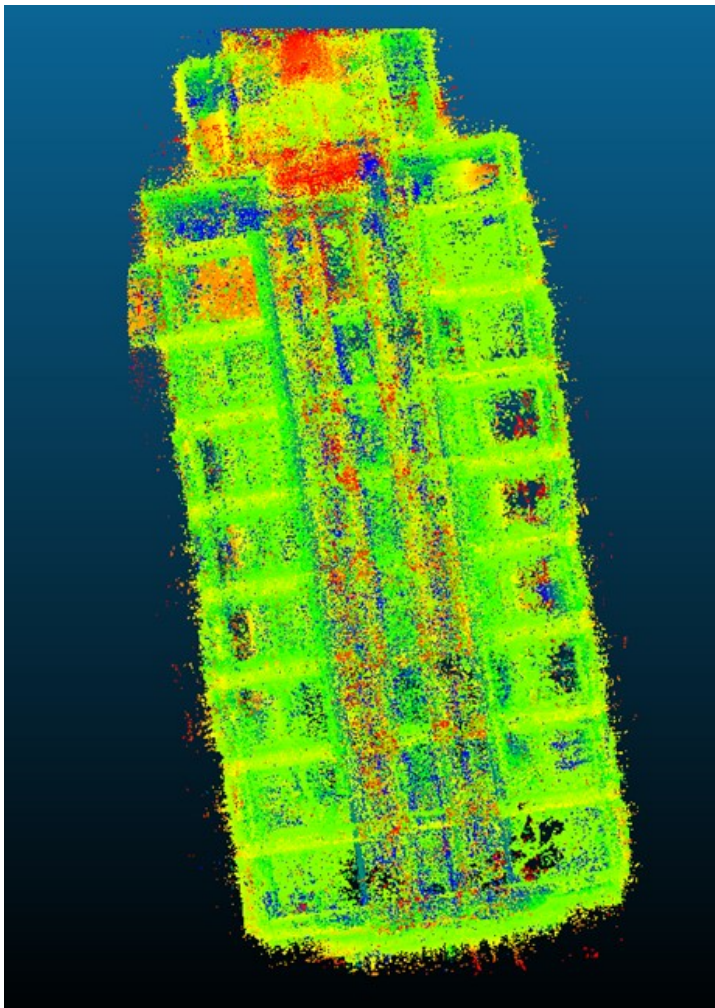
I denne oppgaven ble Leica 3DR benyttet til rensing av punktsky for både punktskyen fra laserskannet og punktskyen fra kameraet. Eksporterte ut..laz filer som ble brukt videre i CloudCompare.

### 3.2.5 Cloud Compare

Vi startet med å importere de ryddede punktskyene fra Leica 3DR inn i ASCII filformat. Når en skal bruke cloud to cloud funksjonen er det viktig at modellene ligger i samme koordinatsystem og har nok felles punkter. Med dette menes det at modellene overlapper hverandre godt. Modellene la seg automatisk i samme koordinatsystem ettersom at vi allerede hadde definert koordinater tidligere i Leica 3DR. Det er benyttet et cloud to cloud verktøy er for å få en visualiseringsmodell.

Det første som ble gjort var å skap en normal for referansepunktskyen som skulle kombineres med alle de ulike metodene. Hensikten med å gjennomføre denne prosessen er at den gitte distansen til referansepunktskyen vil bli målt og definert på en riktig måte. Prosessen ble gjort ved hjelp av «Normals» verktøyet under endrings fanen i Cloud Compare.

Det neste steg gikk ut på å gjøre en heatmap analyse ved hjelp av verktøyet «M3C2 distance» hvor en spesifiserer hvilken av punktskyene som skal være referanse før det deretter ble laget en felles modell av de to ulike modellene. Denne prosessen ble gjennomført med alle de ulike data lagene for analyse 100%, 50% og 25% av bildene. Bildefigur ... viser oss hvordan en slik modell blir seende ut i Cloud compare i vårt tilfelle. Her kan en se en helhetlig modell hvor avvikene blir illustrert ved hjelp av et fargespekter hvor grønn er bra og rød farge viser større avvik.



*Figur 6- Oversiktsbilde Cloud Compare modell*

Neste prosess var å få statistikk på hvordan kvaliteten av modellen er. Ved hjelp av verktøyet «Compute stats parameters» regnes det ut et standardavvik og en gjennomsnitts verdi for punktskyen. Disse verdien ble med videre for å sette en avgrensning når det kom visnings parameterne for modellene. Det som ble gjort var bruke 3 sigma verdier for å luke ut data som var i nærheten av normalfordelingen. Punktene som da faller utenfor 3 ganger sigma intervallet fremheves med rød og blå farge.

Når det kom til visualisering, ble hele modellen for stor for å visualiseres i ett. Det er veldig vanskelig å se detaljer, så derfor ble verktøyet «Cross Section» benyttet for å visualisere spesifikke områder av modellen. Dette er et verktøy hvor en kan klippe ut enkelte steder av en modell og få den delen over i et eget lag. Når en har fått spesifikke områder over i et eget lag kan en se avvik og bra kvalitet tydeligere kontra å ha hele modellen oppe i et lag.

## 3.3 Arbeidsgang og arbeidsmengde

### 3.3.1 Fotogrammetri

I løpet av prosjektet har vi tilegnet oss verdifull erfaring, og har på bakgrunn av dette klart å danne rammeverket for en arbeidsgang som kan fungere for andre som ønsker å gjennomføre lignende prosjekter. En slik fremgangsmåte er selvfølgelig bare veiledende, og må tilpasses det enkelte prosjekt.

#### Planlegging

- Fordeling av GCP'er.
- Fordeling av oppstillinger, med fokus på avstand mellom oppstillingene.

#### Utførende fase/feltarbeid

- Utsetting av GCP'er, 45 min.
- Billedtaking,  $75 \text{ minutter levetid} \times 5 \text{ økter} = 6t \text{ og } 15min$ . Totalt 1074 oppstillinger.

#### Datarydding/dataforbereding

- Rydding av punktsky fra Pix4Dmapper, måtte gjøres manuelt, 20 min pr. punktsky. Dette punkter kommer i praksis etter prosessering av punktskyen, men for ordens skyld er det inkludert under datarydding.

- Organisering av bilder. Bildene ble i vårt tilfelle importert i tilfeldig rekkefølge, med uregelmessige navn. Det ble laget et script som navnga, og sorterte bildene i rekkefølge. Tidsbruken på dette er ikke dokumentert.
- Nummerering og merking av GCP'er i Cyclone. 20 min.

### **Analyse/prosessering**

- Prosessering med alle bildene tar mellom 5-6 timer, halvparten av bildene tar litt over en time og  $\frac{1}{4}$  av bildene tar rundt 20 minutter.
- Undersøke statistikken/tallene fra rapportene.
- Visuell kontroll.
- Produksjon av heatmap mellom laserskann punktsky og bildepunktsky, 20 min pr punktsky.

### **3.3.2 Laserskann**

Laserskanningen tok mellom 2 – 3 timer, og etterprosesseringen tok under en time for å sy sammen punktskyene fra de forskjellige oppstillingene. Litt rydding måtte gjøres også her, og dette tok ca. 20 minutter.

# 4 Resultat

## 4.1 Pix4D

### 4.1.1 Test datafangst bilder

Tabell 1:

Tallene i kolonnen «Antall 3D punkt» er hentet fra «Results» - avsnittet i kvalitetsrapportene fra Pix4Dmapper.

Mønster	Antall 3D punkt
Sikksakk	33 727
Rutenett	155 917
Sikksakk burst	23 764
Rutenett burst	173 709
<b>Med geometrisk verifisert matching</b>	
Sikksakk	37 208
Rutenett	176 423
Sikksakk burst	31 539
Rutenett burst	181 574

## 4.1.2 Datafangst bilder

### Effekten av GCP'er

Tabell 2:

Tabellen viser utvalgte rader fra avsnittet "Results" i kvalitetsrapporten

	100%_ugeom_mgcp_8	100%_ugeom_mgcp_2	100%_ugeom_ugcp_
<b>Ant. 3D punkt</b>	5 001 910	7 085 390	7 143 462
<b>Punkttetthet</b>	4072,31	3213,98	24,13

### Hvordan påvirker antall bilder rekonstrueringen

Tabell 3:

Tabellen viser utvalgte rader fra avsnittet «Results» i kvalitetsrapportene

	100%_mgeom_mgcp_8	50%_mgeom_mgcp_8	25%_mgeom_mgcp
<b>Ant. 3D punkt</b>	6 645 582	4 437 202	2 171 970
<b>Punkttetthet</b>	3398,11	1687,56	1459,3

## Hvordan påvirker geometrisk verifisert matching rekonstrueringen

Tabell 4:

Tabellen viser utvalgte rader fra avsnittet «Results» i kvalitetsrapportene, samt raden matching fra avsnittet «Quality Check»..

	Ant punkt	Punkttetthet	Matchpunkt
<b>100%_mgeom_mgcp_8</b>	6645582	3398,11	171,735
<b>100%_ugeom_mgcp_8</b>	5001910	4072,31	6949,27
<b>50%_mgeom_mgcp_8</b>	4437202	1687,56	5260,48
<b>50%_ugeom_mgcp_8</b>	3792811	1891,86	157,081
<b>25%_mgeom_mgcp_8</b>	2 171 970	1459,3	193,856
<b>25%_ugeom_mgcp_8</b>	2 575 158	1130,4	4557,74

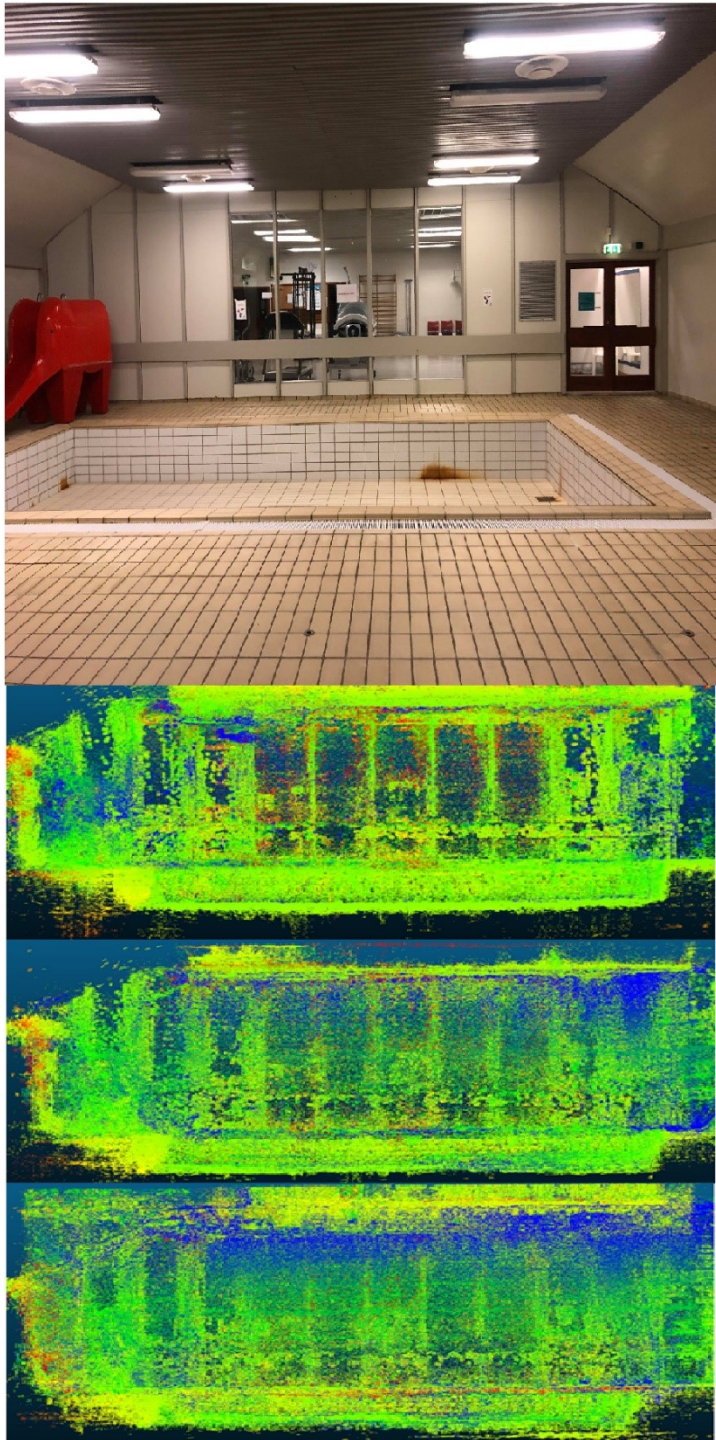
## 4.2 CloudCompare

### 4.2.1 Heatmap

Vi har valgt å lage heatmaps for å visualisere avvikene mellom de forskjellige punkttskyene. Her er det brukt fire forskjellige punkttskyer; laserskannpunkttsky (referanse), punkttskyene laget med ¼, ½ og 100% av bildene.

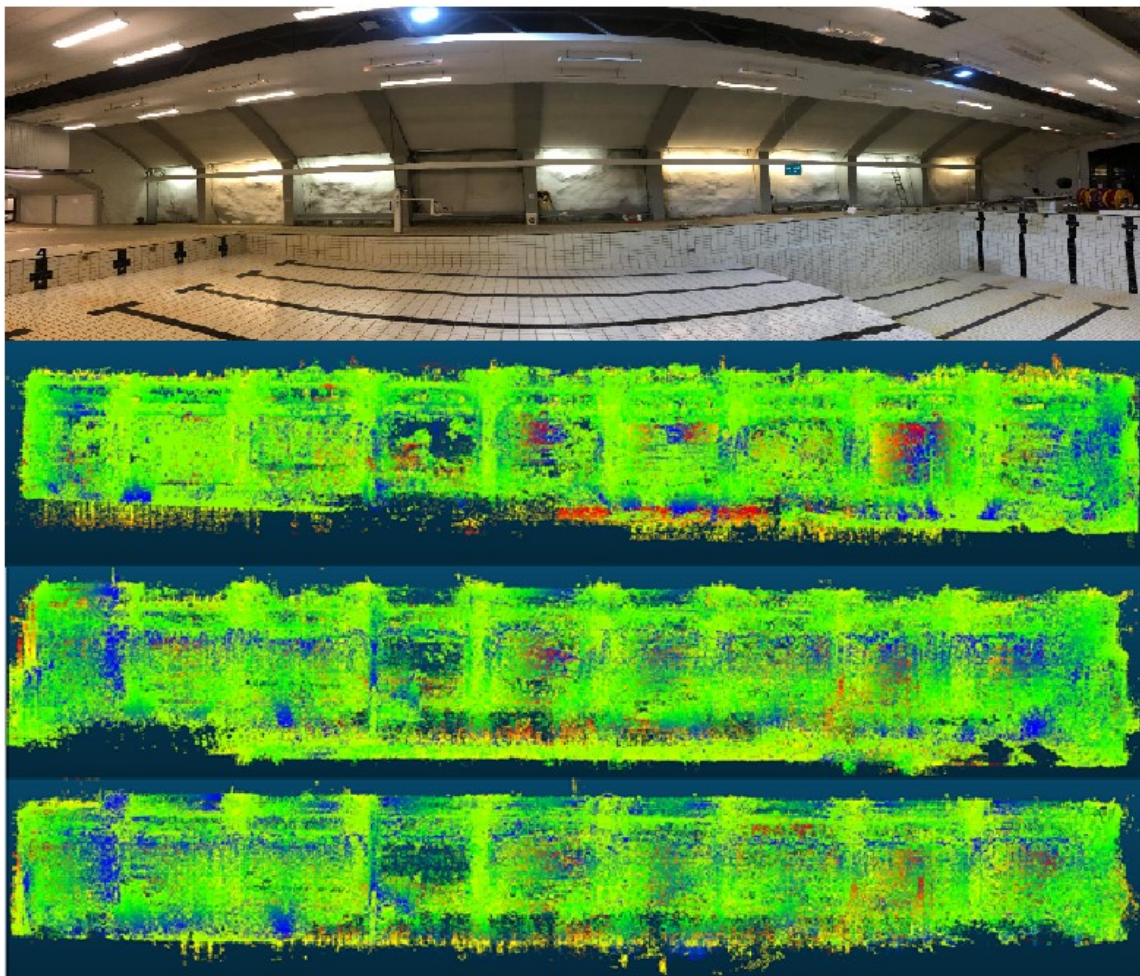
Rekkefølge fra øverste heatmap til nederste heatmap: 100%, ½ og ¼, gjelder for alle utklipp.





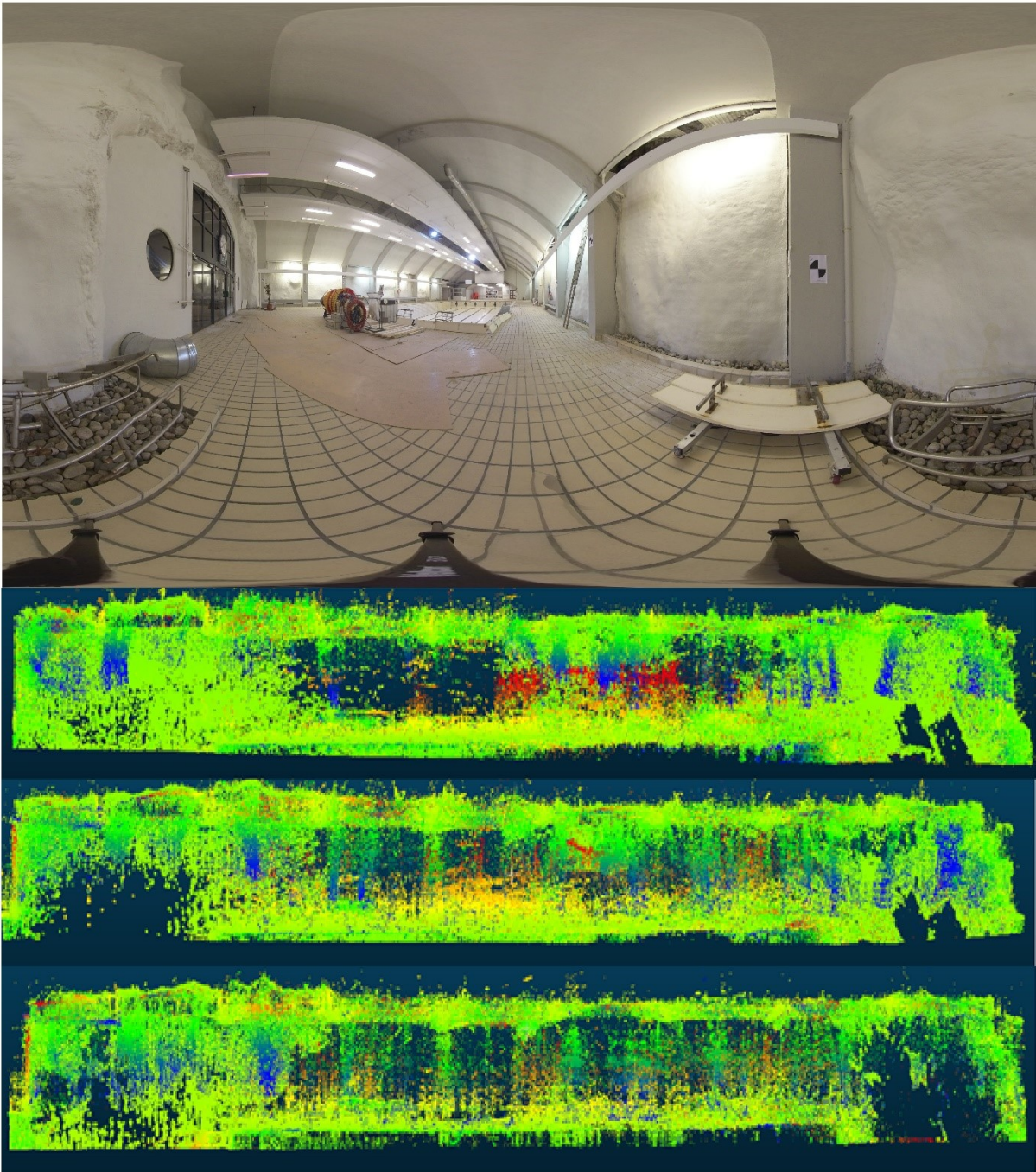
*Figur 7 - Visualisering, cross sections fra CloudCompare sammen med bilde fra virkeligheten.*

Utklippene viser en glassvegg og er inkludert her fordi området er preget av høye avvik.



*Figur 8 – Visualisering, cross sections fra CloudCompare sammen med bilde fra virkeligheten.*

Utklippet viser et av de områdene med minst avvik.



*Figur 9 – Visualisering, cross sections fra CloudCompare sammen med et bilde fra virkeligheten. Utklippene er tatt fra oven, og bildet fra virkeligheten er tatt helt høyre i utklippene.*

Utklippet viser gulvet som går langs med bassengkroppen, og er tatt med fordi det er preget av høye avvik. Gulvet som vises her er det samme gulvet som er «nedenfor» veggen i figur 8.

## 4.2.2 Cloud to cloud

Tabell 5:

Tabellen vise standardavviket og differansen mellom P40 punktskyen og rekonstrueringer med varierende antall bilder. H står for histogram.

	H_100%_mgeom_mgcp	H_50%_mgeom_mgcp	H_25%_mgeom_mgcp
<b>Standard-avvik</b>	0,650921	0,955990	1,046326
<b>Gjennomsnittlig differanse</b>	-0,106122	-0,141231	-0,229270

# 5 Diskusjon

## 5.1 Pix4D

### 5.1.1 Test datafangst bilder

Til å begynne med var det et stort behov å få testet både utstyr og programvare, siden ingen av oss har vært borti noe lignende før. Etter hvert som vi har jobbet med denne oppgaven innser vi at de initielle testene kunne vært gjort på en mer systematisk/metodisk, og undersøkende måte.

Til tross for varierende grad av kvalitet i initielle tester, gav de oss en pekepinn på hvor mange bilder som faktisk trengs for å lage modeller på denne måten. Resultatene av testene tillot oss å grovt anslå hvor lang tid datafangsten ville ta, og det gav oss et inntrykk av omfanget, samt forutsetninger for å kunne gjøre oppgaven på en undersøkende og systematisk måte.

### 5.1.2 Datafangst bilder

Grunnlaget for analysen er variasjon i parameterne og innstillingene som inngår i prosesseringen, samt avvik mellom punkttsky fra laserskanner og kamera. Vi har sett på:

- *Hvilken effekt har bakkekontrollpunkter (GCP) på prosesseringen.?*
- *Hvordan påvirker antall bilder resultatene fra prosessering?*
- *Hvordan påvirker geometrisk verifisert matching resultatene fra prosessering?*
- *Hvordan påvirker ekvirektangulær projeksjon resultatene?*

For å finne svar på disse spørsmålene, er det gjort en rekke gjennomføringer i programvare, slik at resultatene kan sammenlignes, og konklusjoner trekkes på bakgrunn av dette.

## Effekten av GCP'er.

Under import av GCP'er kan man velge å markere dem i GCP/MTP manager. Dette hjelper programvaren å lokalisere sentrum av GCP'ene.

Effekten av GCP'er er lett å få øye på, ref. vedlegg «100%\_ugeom\_mgcp\_8», «100%\_ugeom\_mgcp\_2» og «100%\_ugeom\_ugcp\_». Her kan man i avsnittet «Quality Check» se at gjennomføringer hvor GCP'er er inkludert, har en median for antall matcher per bilde som ligger rundt 7000. Til sammenligning har gjennomføringen uten GCP bare 193 matcher.

Her er det imidlertid viktig å nevne at i vedlegg «100%\_ugeom\_mgcp\_8», er de fleste GCP'ene markert og verifisert i åtte bilder. For vedlegg «100%\_ugeom\_mgcp\_2» er de fleste GCP'ene markert og verifisert i to bilder. For vedlegg «100%\_ugeom\_ugcp» er det ikke brukt GCP'er i prosesseringen.

Når man velger å bruke GCP'er i et slikt prosjekt, innfører man skala og tvang i rekonstrueringen. Dette viser seg i kvalitetsrapportene med et lavere antall punkt, men skalaen hjelper til med å bevare størrelse og fasong i interesseområde, og vil begrense mengden grove feil og støy i punktskyen.

En trend som er gjennomgående i alle ovennevnte rapporter er at i prosesseringer der GCP'er er brukt, oppnår bedre resultater på alle områder. I de tre rapportene der GCP'er inngår i prosesseringen er resultatene i praksis like. Til tross for dette, avslører tabell 2 resultater som går på tvers av trenden.

Tabell 2 viser at rekonstrueringen uten GCP'er faktisk matcher flest punkter, og at rekonstrueringen med flest markerte/verifiserte punkt gir færrest. Samtidig viser den også at punkttettheten er størst med flest markerte GCP'er. Vi tror at ved å inkludere GCP'er så innfører man også tvang i rekonstrueringen. Jo flere GCP'er, jo mer tvang, og da blir det vanskeligere for programvaren å matche punkt. Da øker terskelen for punkt som blir matchet, og de som blir det, legger seg også nærmere hverandre og det blir mindre støy i punktskyen.

## Hvordan påvirker antall bilder rekonstrueringen

Tabell 3 avslører at antall punkt og punkttetthet øker i takt med antall bilder. Dette gir mening med tanke på at det er innholdet i bildene som danner grunnlaget for punktene, og jo flere bilder som brukes, jo flere matcher er det mulig å finne.

Det må sies, at når det er så få bilder som  $\frac{1}{4}$  som brukes, blir det også vanskeligere å markere GCP'ene i tilstrekkelig antall bilder. Dette påvirker nok også resultatene.

## Hvordan påvirker geometrisk verifisert matching rekonstrueringen

Denne funksjonen er veldig nyttig når det er repeterende objekter som F.eks.: vinduer i en bygning, der mange av vindushjørnene ser like ut. (Pix4D, 2019).

Hvis interesseområdet innehar repeterende mønster/objekter, er det ikke alltid programvaren klarer å skille mellom punkt fra forskjellige bilder, som bare ser like ut, og punkt som faktisk er det samme punktet.

Hvis funksjonen ikke blir valgt, blir punkt opprettet med bare bildeinnholdet. Hvis den blir valgt, tas også de relative kameraposisjonene i betraktning for å forkaste geometrisk urealistiske treff. (Pix4D, u.d.)

Svømmehallen er et høyt antall kvadratmeter og hele gulvflaten er dekket av fliser som vist i figur 12. Når programvaren da finner store deler ATP'ene på gulvet som vist i figur 13, er dette en kilde til grove feil og støy.

Bruk av geometrisk verifisert matching vil være nyttig i denne oppgaven siden, Fjellhallen har utseende som er veldig repeterende med betong søyler langs hallen, flisbelagte gulv og glatte overflater på veggene.

Tabell 4 viser hvordan den geometriske verifiseringen påvirker resultatene. Slik gruppen har forstått hvordan verifisering fungerer, skal trenden på resultatene bli sånn det er i tabellen på de to med 100% bilder. Der den metoden med verifisering, får mindre antall matchende punkt som følge av strengere krav fra parameteren. Vi forventet også å se mindre støy, og høyere punkttetthet. Dette skjer ikke i de to rapportene med 50%. Der er trenden er motsatt. Vi har forsikret om at tallene tilhører de respektive rapportene, og vi klarer ikke å forstå

hvorfor geometrisk verifisert matching tilsynelatende påvirker rekonstrueringen motsatt av hvordan vi forventer.

### **Ekvirektangulær projeksjon i rekonstruering**

Visuell kontroll avslører at samtlige modeller fra Pix4Dmapper inneholder mye støy, og mesteparten av støyen ser ut til å være konsentrert rundt gulvet.

I kvalitetsrapportene genereres det et bilde som viser hvor i bildet ATP'ene er å finne.



*Figur 10 - Fordeling av ATP'er i bildene.*

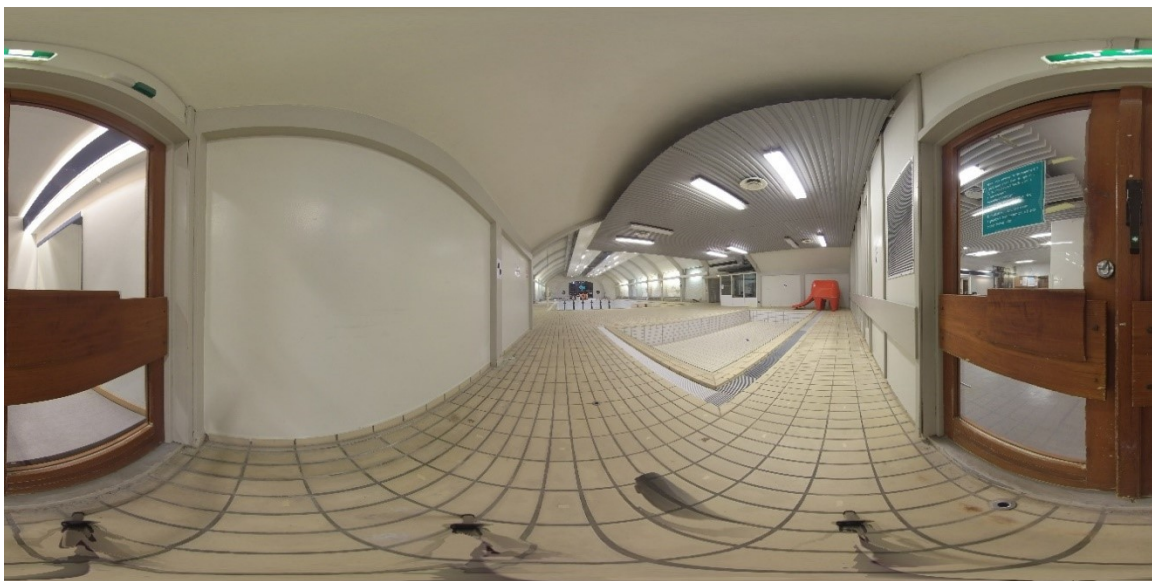
Antall ATP'er som er ekstrahert for hver pixel i bildene er her fargekodet med sort og hvitt. Sort indikerer at det i gjennomsnitt er ekstrahert 0 ATP'er for pixelen, og hvit indikerer at det i gjennomsnitt er ekstrahert mer enn 16 ATP'er. Bildet er et gjennomsnitt av alle bildene som inngår i prosesseringen.

Figur 10 indikerer at det er ekstrahert færrest ATP'er øverst, og nederst i bildene. Den ekvirektangulære projeksjonen er syndebukken. Dess nærmere polene man kommer i bildet, dess mer blir bildet strukket i horisontal retning. Dette gjør det vanskelig for programvaren å finne fellespunkter, og kan være en kilde til støy/grove feil i rekonstrueringen.





*Figur 11 - 1/6 bilder med fisheye - objektiv.*



*Figur 12 - Seks bilder tatt med fisheye - objektiv sys sammen til et bilde med kvirektangulær projeksjon.*

I figur 12 kan man tydelig se effekten av projeksjonen, og hvor mye bildene strekkes jo nærmere polene man kommer. I tillegg til dette, vises også deler av stativet i nedre del av bildet, og visuell kontroll viser at programvaren har funnet ATP'er på stativføttene og i de mest forvrengte delene av bildet. Dette resulterer i ukorrekt/dårlig matching, og er sannsynligvis en kilde til støy.



Figur 13 - Visuell kontroll fra Pix4Dmapper viser ATP'er på stativfot og i veldig forvrengte deler av bildet.

## 5.2 Cloud Compare

### 5.2.1 Heatmap

Hvis en ser på «cross sections» som er fremlagt i avsnitt 4.2.1, ser en betydelig forskjell i den visuelle kvaliteten mellom spesielt 100% og 50%, 25%. Detaljene og fasaden til svømmehallen kommer tydeligere frem og bedre definert i utklippet til 100% av bildene.

Dette tenker vi må være et resultat av det høye antallet punkt, og høye punkttettheten som tabell 3 viser. Her er det imidlertid viktig å nevne det som fremgår av avsnitt 5.2.2; når antall bilder er så få som  $\frac{1}{4}$ , blir det også vanskeligere å markere tilstrekkelig GCP'er i tilstrekkelig antall bilder.

Hvis vi ser på hvor i punktskyene de største formene for avvik kommer frem, er det ofte ved vindu og gulv i våre modeller. Når det kommer til vinduer er dette en vanlig feilkilde når det kommer til både fotogrammetri og skanning. Grunnen til at en skanner og et kamera har dette problemet er at linsen/laseren har problemer med glatte overflater. Et alternativ for å løse dette problemet kan være å tape eller dekke vinduer før skanningen eller billedtakingen.

Når det kommer til gulvet kan det være flere ulike faktorer som påvirker resultatet negativt. En av de kan være det at det er veldig repetitivt mønster i og med at gulvet bare består av det samme flismønstertet hele veien. Problemet blir da at programvaren i ettertid har problemer med å identifisere hva som er hva, grunnet at det er veldig mye likt. En annen årsak kan være glatte overflater som kommer av samme grunn som det repetitive mønsteret, det går ut på at programvaren har vanskeligheter med å gjenkjenne punkt på glatte overflater.

## **5.2.2 Cloud to cloud**

Tabell 6 viser standardavviket og gjennomsnittlig global differanse mellom testpunktskyene og referansepunktsky, for punktskyene med forskjellig antall bilder brukt til rekonstrueringen.

1 sigma standardavvik betyr at det er 66% sjanse for at et tilfeldig punkt vil bli rekonstruert innenfor distansen i tabellen (65cm for punktsky med 100% av bildene).

Global gjennomsnittlig differanse er distansen som skiller flertallet av punktene i referansepunktsky og testpunktsky (10cm for punktsky med 100% av bildene).

## **5.3 Arbeidsgang og arbeidsmengde**

Her har vi sett bort fra tiden det tar å sette ut targets, siden begge metodene brukte samme targets.

### **5.3.1 Fotogrammetri**

Det framgår av avsnitt 3.3.1, at for et prosjekt som dette, kreves det en del arbeid i felt, spesielt for datafangst med kamera. Det tar en liten arbeidsdag for datafangsten, og prosesseringen bruker godt over fem timer når man bruker samtlige bilder til rekonstrueringen.

### **5.3.2 Laserskann**

Til sammenligning tar datafangst med laserskanning mellom to og tre timer, og etterprosesseringen her er betydelig kortere på under en time på å sy sammen punktskyene.

## 6 Konklusjon

Den beste punktskyen vi klarte å lage, hadde en global gjennomsnittlig differanse på 10cm til referansepunktskyen. For å komme fram til dette resultatet, har vi brukt samtlige av bildene tatt under datafangsten (1074), markert GCP'er i åtte bilder og brukt geometrisk verifisert matching i rekonstrueringen.

Som vi nevnte innledningsvis så er det økende popularitet for flyfotogrammetri i bygg – og anleggsbransjen, og det er lett å trekke inn denne bransjen som en mulig forbruker av et slikt produkt.

Imidlertid ser vi i tabell 6, at vårt beste resultat inneholder en såpass høy gjennomsnittlig global differanse, og et standardavvik på 65,1 cm. Med slike tall er det ikke mulig å bruke denne metoden til for eksempel as – built kontroll, fordi kravene er såpass høye til denne typen dokumentasjon.

Denne metoden kan kanskje brukes til å kontinuerlig oppdatere en modell/punktsky. Med å automatisere arbeidsgangen fra datafangst til rekonstruering, kan et kamera montert på en bevegelig plattform (bulldozer, gravemaskin, borerigg osv...) brukes til å jevnlig oppdatere en modell av anleggsplassen. På denne måten kan formenn/ledere følge med på fremgangen til et prosjekt, uten å måtte fysisk være på anleggsplassen til enhver tid. Detaljer vil selvfølgelig være en utfordring å rekonstruere nøyaktig, men en slik punktsky vil kunne vise det større bildet.

## 7 Videre arbeid

Ta en grundig titt på hvordan geometrisk verifisering fungerer, og hvorfor resultatene går på tvers av forventningene våre.

Til tross for at punktskyen svekkes, så har enkelte elementer i kvalitetsrapportene en tendens til å bli «penere» jo færre bilder som brukes. Et forslag til videre arbeid er å undersøke hvor grensa går, før antall bilder ikke lengre er nok til å lage en punktsky, og samtidig se hvordan dette påvirker de samme elementene fra kvalitetsrapportene.

Det hadde vært interessant å lage mesh av punktskyene, og deretter laget heatmap for å se om den globale gjennomsnittlige differansen hadde endret seg betydelig.

Når man bruker et rutenettmønster for oppstillingene, vil rutenettstørrelsen indirekte påvirke antall bilder som tas i interesseområdet. Hva hadde skjedd med punktskyene om rutenettstørrelsen hadde økt fra 50cm x 50cm til 100cm x 100cm?

## Bibliografi

Fischler, M. A. & Bolles, R. C., 1981. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. *Communications of the ACM*, June, Issue 6, p. 381–395.

Fjellhallen, 2021. *Fjellhallen Turisinformasjon*. [Internett]  
Available at: <https://www.fjellhallen.no/turistinformasjon/>

Genechten, 2008. [Internett]  
Available at: [https://limo.libis.be/primo-explore/fulldisplay?docid=LIRIAS1773517&context=L&vid=Lirias&search\\_scope=Lirias&ab=default\\_tab&lang=en\\_US&fromSitemap=1](https://limo.libis.be/primo-explore/fulldisplay?docid=LIRIAS1773517&context=L&vid=Lirias&search_scope=Lirias&ab=default_tab&lang=en_US&fromSitemap=1)

Insta360, u.d. *Pro User Manual*. [Internett]  
Available at: <https://onlinemanual.insta360.com/pro1/en-us/basic/prepare/1>  
[Funnet 5 Mai 2021].

Küng, O., 2014. *Indoor mapping webinar by Pix4D*. s.l.:s.n.

Lemmens, 2011. [Internett]  
Available at: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-94-007-1667-4.pdf>

Lemmens, 2011. [Internett]  
Available at: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-94-007-1667-4.pdf>

Lowe, D. G., 2004. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. *International Journal of Computer Vision*, November, Issue 60, p. 91–110.

Panotools Wiki, 2019. *Panotools Wiki*. [Internett]  
Available at: [https://wiki.panotools.org/Equirectangular\\_Projection](https://wiki.panotools.org/Equirectangular_Projection)

Pihl, R., 2021. *Kameraobjektiv*. [Internett]  
Available at: <https://snl.no/kameraobjektiv>  
[Funnet 4 Mai 2021].

Pix4D, 2019. *Menu Process > Processing Options... > 1. Initial Processing > Matching*. [Internett]  
Available at: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/205433155-Menu-Process-Processing-Options-1-Initial-Processing-Matching#gsctab=0>  
[Funnet 29 April 2021].

Pix4D, 2020. *Pix4D products: Pix4Dmapper*. [Internett]  
Available at: <https://www.pix4d.com/product/pix4dmapper-photogrammetry-software>  
[Funnet 22 Mars 2021].

Pix4D, 2021. *Quality Report Help*. [Internett]

Available at: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202558689-Quality-Report-Help>  
[Funnet 28 04 2021].

Pix4D, u.d. *Menu Process > Processing Options... > 1. Initial Processing > Matching*.

[Internett]

Available at: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/205433155-Menu-Process-Processing-Options-1-Initial-Processing-Matching#label2>  
[Funnet 20 Mai 2021].

Pix4D, u.d. *Step 1. Before Starting a Project > 4. Getting GCPs on the field or through other sources (optional but recommended)*. [Internett]

Available at: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557489-Step-1-Before-Starting-a-Project-4-Getting-GCPs-on-the-field-or-through-other-sources-optional-but-recommended>  
[Funnet 30 April 2021].

Skogseth, T. & Norberg, D., 2014. *Grunnleggende landmåling*. Oslo: Gyldendal.

Snavely, N., Seitz, S. M. & Szeliski, R., 2008. Modeling the World from Internet Photo Collections. *International Journal of Computer Vision*, November, Issue 2, pp. 189-210.

Terje, S. & Dag, N., 2014. *Grunnleggende Landmåling*. 3 red. Oslo: Gyldendal.

# 8 Vedlegg



# Quality Report



Generated with Pix4Dmapper version 4.6.4



**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	100%_mgeom_mgcp_8
Processed	2021-04-30 20:05:58
Camera Model Name(s)	Insta360Pro_1.9_7680x3840 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	0.58 cm / 0.23 in

## Quality Check



<b>Images</b>	median of 24911 keypoints per image	
<b>Dataset</b>	1073 out of 1074 images calibrated (99%), all images enabled	
<b>Camera Optimization</b>	0% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
<b>Matching</b>	median of 171.735 matches per calibrated image	
<b>Georeferencing</b>	yes, 30 GCPs (30 3D), mean RMS error = 0.321 m	

## Calibration Details



Number of Calibrated Images	1073 out of 1074
Number of Geolocated Images	0 out of 1074



### Initial Image Positions

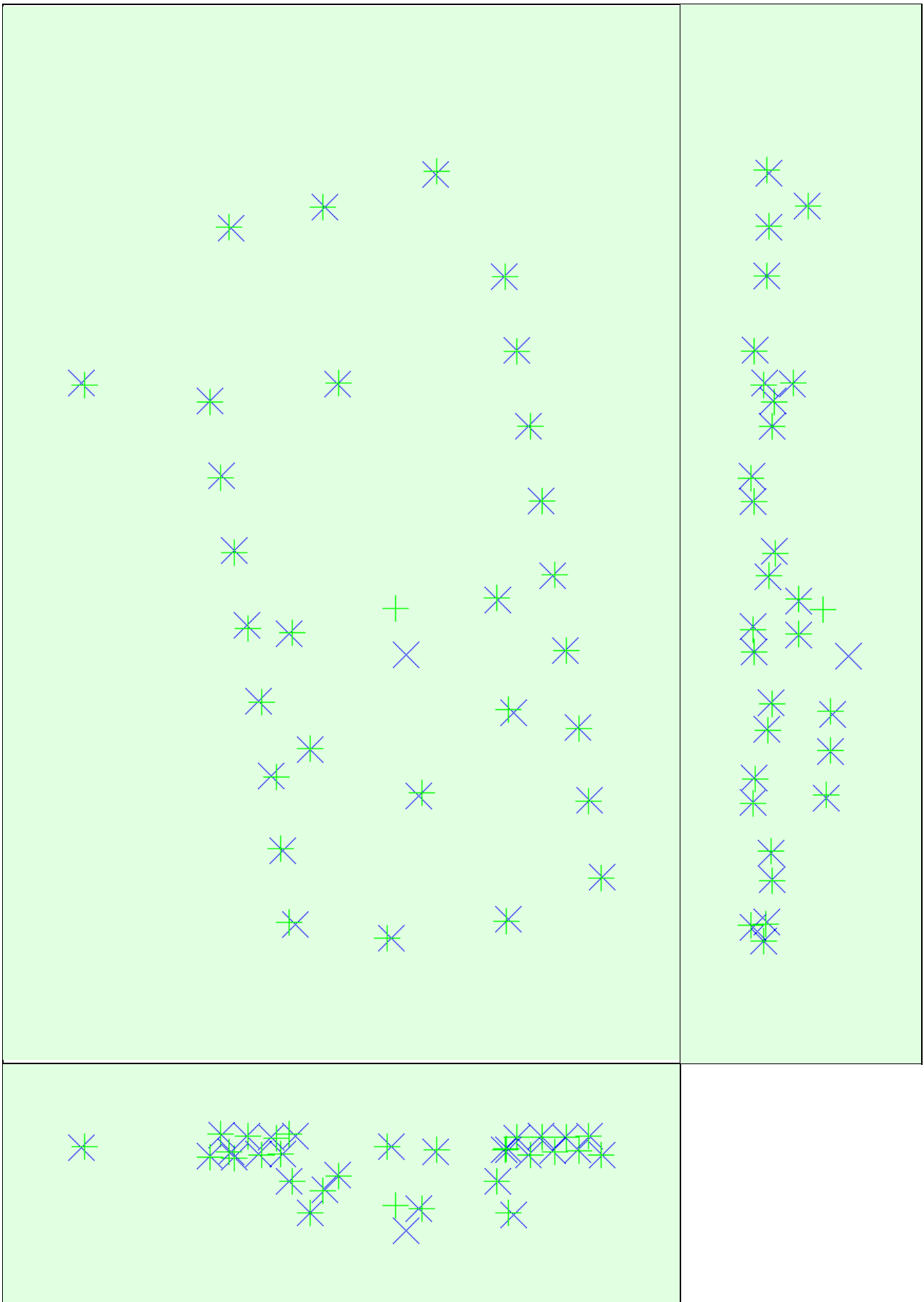


The preview is not generated for images without geolocation.



### Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions





Uncertainty ellipses 50x magnified

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). Red dots indicate disabled or uncalibrated images. Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.004	0.004	0.004	0.123	0.015	0.059
Sigma	0.001	0.001	0.001	0.316	0.004	0.302

## Bundle Block Adjustment Details

Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	185666
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	22306
Mean Reprojection Error [pixels]	0.604

### Internal Camera Parameters



EXIF ID: Insta360Pro\_1.9\_7680x3840

It is a spherical camera and it doesn't have internal parameters.



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, on average, more than 16 ATPs have been extracted at the pixel location. Black indicates that, on average, 0 ATPs have been extracted at the 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. The scale bar indicates the magnitude of 1 pixel error.

### 2D Keypoints Table

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	24911	172
Mn	15697	23
Max	30913	314
Mean	24236	173

### 3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	7168
In 3 Images	5348
In 4 Images	2989
In 5 Images	1537
In 6 Images	892
In 7 Images	609
In 8 Images	457
In 9 Images	368
In 10 Images	274
In 11 Images	236
In 12 Images	186
In 13 Images	183
In 14 Images	152
In 15 Images	109
In 16 Images	118
In 17 Images	86
In 18 Images	75
In 19 Images	64

In 20 Images	57
In 21 Images	64
In 22 Images	74
In 23 Images	49
In 24 Images	38
In 25 Images	47
In 26 Images	40
In 27 Images	31
In 28 Images	37
In 29 Images	32
In 30 Images	24
In 31 Images	27
In 32 Images	30
In 33 Images	29
In 34 Images	23
In 35 Images	22
In 36 Images	17
In 37 Images	25
In 38 Images	26
In 39 Images	22
In 40 Images	20
In 41 Images	24
In 42 Images	13
In 43 Images	15
In 44 Images	13
In 45 Images	16
In 46 Images	16
In 47 Images	21
In 48 Images	15
In 49 Images	15
In 50 Images	11
In 51 Images	18
In 52 Images	15
In 53 Images	13
In 54 Images	14
In 55 Images	13
In 56 Images	12
In 57 Images	7
In 58 Images	15
In 59 Images	6
In 60 Images	9
In 61 Images	11
In 62 Images	13
In 63 Images	7
In 64 Images	7
In 65 Images	5
In 66 Images	6
In 67 Images	8
In 68 Images	7
In 69 Images	5
In 70 Images	10
In 71 Images	9
In 72 Images	13
In 73 Images	6
In 74 Images	4
In 75 Images	5
In 76 Images	9
In 77 Images	5
In 78 Images	2

In 79 Images	9
In 80 Images	3
In 81 Images	6
In 82 Images	4
In 83 Images	6
In 84 Images	1
In 85 Images	6
In 86 Images	2
In 87 Images	7
In 88 Images	1
In 89 Images	3
In 90 Images	3
In 91 Images	2
In 92 Images	4
In 93 Images	4
In 94 Images	2
In 95 Images	3
In 96 Images	4
In 97 Images	3
In 98 Images	1
In 99 Images	1
In 100 Images	3
In 101 Images	4
In 102 Images	2
In 103 Images	4
In 104 Images	3
In 105 Images	1
In 106 Images	2
In 107 Images	1
In 108 Images	2
In 109 Images	2
In 110 Images	3
In 112 Images	3
In 113 Images	4
In 114 Images	4
In 116 Images	1
In 117 Images	3
In 118 Images	3
In 119 Images	3
In 121 Images	5
In 122 Images	3
In 124 Images	2
In 125 Images	1
In 127 Images	1
In 128 Images	2
In 129 Images	1
In 130 Images	2
In 131 Images	3
In 132 Images	1
In 134 Images	3
In 135 Images	1
In 136 Images	1
In 137 Images	2
In 138 Images	1
In 141 Images	1
In 143 Images	4
In 144 Images	2
In 145 Images	1
In 146 Images	1

In 147 Images	1
In 148 Images	2
In 149 Images	3
In 150 Images	3
In 151 Images	2
In 152 Images	3
In 153 Images	1
In 154 Images	3
In 157 Images	3
In 159 Images	1
In 165 Images	2
In 168 Images	1
In 170 Images	1
In 171 Images	1
In 172 Images	1
In 173 Images	1
In 174 Images	2
In 175 Images	1
In 176 Images	1
In 179 Images	1
In 181 Images	1
In 182 Images	1
In 183 Images	3
In 184 Images	1
In 188 Images	1
In 189 Images	1
In 190 Images	2
In 191 Images	1
In 192 Images	2
In 195 Images	3
In 204 Images	1
In 208 Images	3
In 209 Images	2
In 212 Images	1
In 214 Images	2
In 215 Images	1
In 217 Images	1
In 218 Images	1
In 219 Images	1
In 220 Images	3
In 223 Images	1
In 224 Images	1
In 226 Images	1
In 228 Images	1
In 229 Images	1
In 232 Images	2
In 234 Images	1
In 239 Images	1
In 240 Images	1
In 241 Images	1
In 246 Images	1
In 251 Images	1
In 252 Images	1
In 253 Images	2
In 256 Images	1
In 259 Images	1
In 260 Images	1
In 261 Images	1
In 262 Images	2

In 263 Images	1
In 267 Images	1
In 274 Images	1
In 278 Images	1
In 280 Images	1
In 286 Images	1
In 287 Images	1
In 288 Images	1
In 289 Images	1
In 290 Images	1
In 294 Images	1
In 300 Images	1
In 301 Images	2
In 304 Images	1
In 307 Images	1
In 310 Images	1
In 321 Images	1
In 323 Images	1
In 327 Images	1
In 337 Images	1
In 343 Images	1
In 347 Images	1
In 352 Images	1
In 356 Images	1
In 357 Images	1
In 370 Images	1
In 371 Images	1
In 379 Images	1
In 381 Images	1
In 387 Images	1
In 388 Images	1
In 395 Images	1
In 402 Images	1
In 406 Images	1
In 408 Images	1
In 409 Images	1
In 410 Images	2
In 412 Images	1
In 416 Images	1
In 423 Images	1
In 424 Images	1
In 427 Images	1
In 432 Images	1
In 436 Images	2
In 442 Images	1
In 443 Images	2
In 445 Images	1
In 451 Images	1
In 456 Images	1
In 460 Images	1
In 480 Images	1
In 487 Images	1
In 500 Images	1
In 508 Images	1
In 514 Images	1

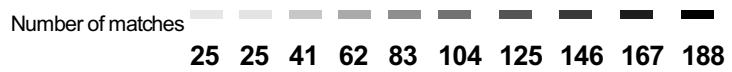
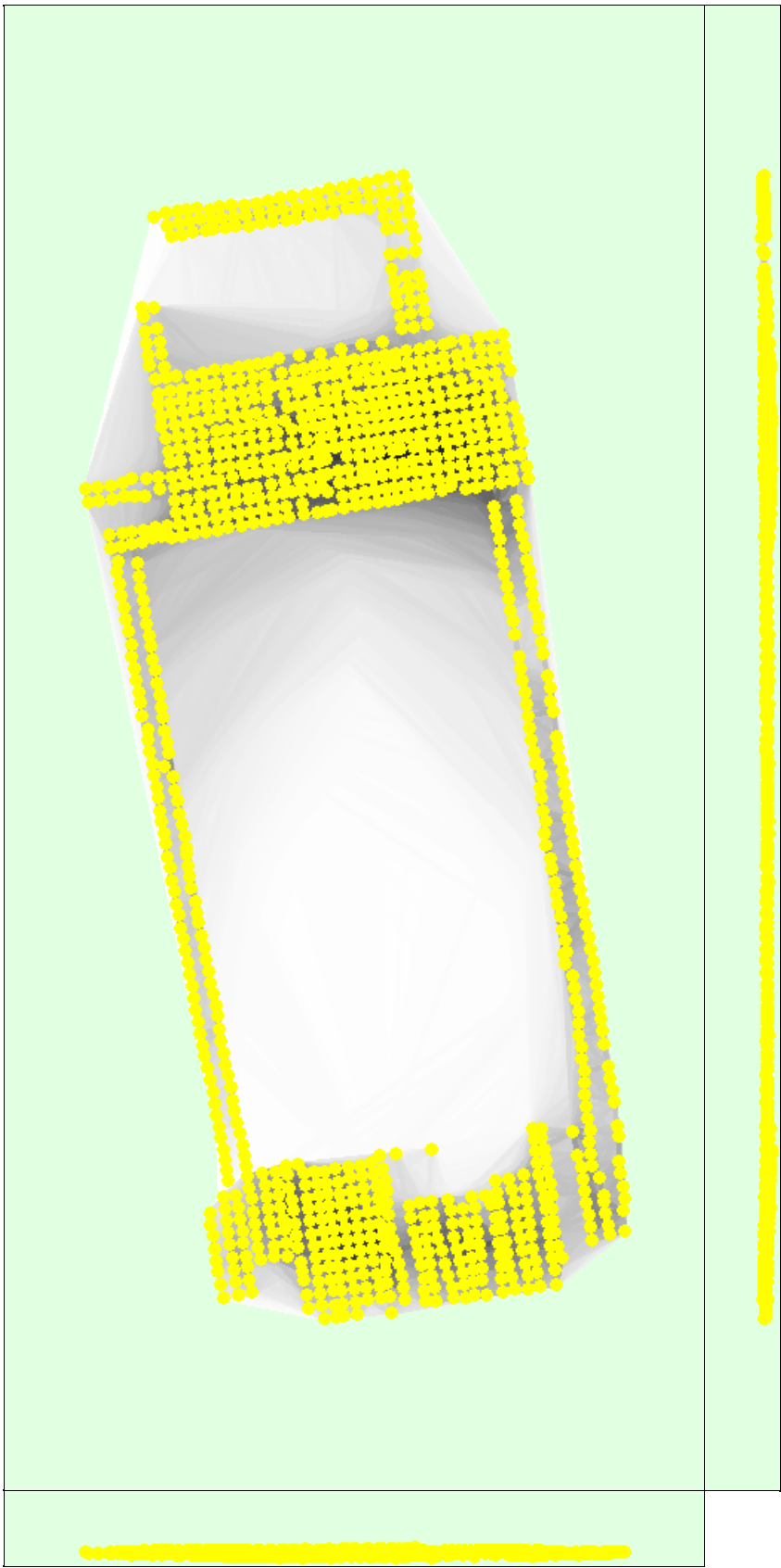


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images.

## 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
19 (3D)	0.020/ 0.020	-0.083	0.144	-0.001	5.745	8 / 8
20 (3D)	0.020/ 0.020	0.025	0.133	0.076	7.417	8 / 8
21 (3D)	0.020/ 0.020	0.090	0.125	-0.061	6.916	8 / 8
24 (3D)	0.020/ 0.020	-0.043	-0.014	0.028	1.847	8 / 8
6 (3D)	0.020/ 0.020	-0.084	0.011	0.034	3.360	8 / 8
7 (3D)	0.020/ 0.020	-0.059	-0.011	0.041	2.381	8 / 8
8 (3D)	0.020/ 0.020	-0.065	-0.002	0.044	2.448	8 / 8
9 (3D)	0.020/ 0.020	-0.067	0.009	-0.002	6.758	8 / 8
10 (3D)	0.020/ 0.020	-0.033	0.019	0.049	4.591	8 / 8
26 (3D)	0.020/ 0.020	0.272	-0.158	-0.160	3.144	8 / 8
27 (3D)	0.020/ 0.020	-0.222	-0.216	-0.040	1.466	8 / 8
14 (3D)	0.020/ 0.020	0.262	0.013	-0.009	5.345	8 / 8
16 (3D)	0.020/ 0.020	0.160	-0.142	0.004	7.071	7 / 7
28 (3D)	0.020/ 0.020	0.012	-0.117	0.014	2.072	8 / 8
17 (3D)	0.020/ 0.020	-0.327	0.062	0.042	4.940	8 / 8
18 (3D)	0.020/ 0.020	-0.170	0.111	0.060	6.979	8 / 8
4 (3D)	0.020/ 0.020	-0.047	0.007	-0.041	2.216	8 / 8
5 (3D)	0.020/ 0.020	-0.032	0.023	-0.028	3.709	8 / 8
22 (3D)	0.020/ 0.020	-0.011	0.079	0.063	3.165	8 / 8
1 (3D)	0.020/ 0.020	0.124	-0.074	-0.023	5.672	8 / 8
2 (3D)	0.020/ 0.020	0.097	-0.025	0.049	1.542	8 / 8
3 (3D)	0.020/ 0.020	-0.038	-0.167	-0.092	6.225	8 / 8
13 (3D)	0.020/ 0.020	0.137	0.138	-0.021	11.387	8 / 8
30 (3D)	0.020/ 0.020	0.614	-2.769	-1.498	1.441	8 / 8
29 (3D)	0.020/ 0.020	-0.210	-0.077	0.031	1.732	8 / 8
23 (3D)	0.020/ 0.020	-0.205	0.162	-0.057	3.427	8 / 8
25 (3D)	0.020/ 0.020	0.020	-0.094	0.007	1.019	8 / 8
11 (3D)	0.020/ 0.020	0.049	0.029	0.011	2.620	8 / 8
12 (3D)	0.020/ 0.020	0.061	0.074	-0.003	2.219	8 / 8
15 (3D)	0.020/ 0.020	0.335	-0.084	-0.092	7.301	8 / 8
<b>Mean [m]</b>		0.018701	-0.093699	-0.052541		
<b>Sigma [m]</b>		0.183502	0.506385	0.273341		
<b>RMS Error [m]</b>		0.184452	0.514981	0.278345		

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

## Initial Processing Details



### System Information



Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-9700K CPU @ 3.60GHz RAM: 16GB GPU: Intel(R) UHD Graphics 630 (Driver: 27.20.100.8681), NVIDIA GeForce RTX2070 (Driver: 27.21.14.6611)
Operating System	Windows 10 Home, 64-bit

### Coordinate Systems



Ground Control Point (GCP) Coordinate System	Arbitrary (m)
Output Coordinate System	Arbitrary (m)

## Processing Options



Detected Template	No Template Available
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Free Flight or Terrestrial
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: yes
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

## Point Cloud Densification details



### Processing Options



Image Scale	1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: no
LOD	Generated: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	04h:49m:41s
Time for Point Cloud Classification	NA
Time for 3D Textured Mesh Generation	20m:38s

### Results



Number of Processed Clusters	7
Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	6645582
Average Density (per m <sup>3</sup> )	3398.11

# Quality Report



Generated with Pix4DDiscovery version 4.6.4



**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	100%_ugeom_mgcp_2
Processed	2021-04-07 18:27:11
Camera Model Name(s)	Insta360Pro_1.9_7680x3840 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	0.69 cm / 0.27 in
Time for Initial Processing (without report)	05h:31m:32s

## Quality Check



<b>Images</b>	median of 24911 keypoints per image	
<b>Dataset</b>	1074 out of 1074 images calibrated (100%), all images enabled	
<b>Camera Optimization</b>	0% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
<b>Matching</b>	median of 6947.79 matches per calibrated image	
<b>Georeferencing</b>	yes, 29 GCPs (29 3D), mean RMS error = 0.169 m	

## Calibration Details



Number of Calibrated Images	1074 out of 1074
Number of Geolocated Images	0 out of 1074

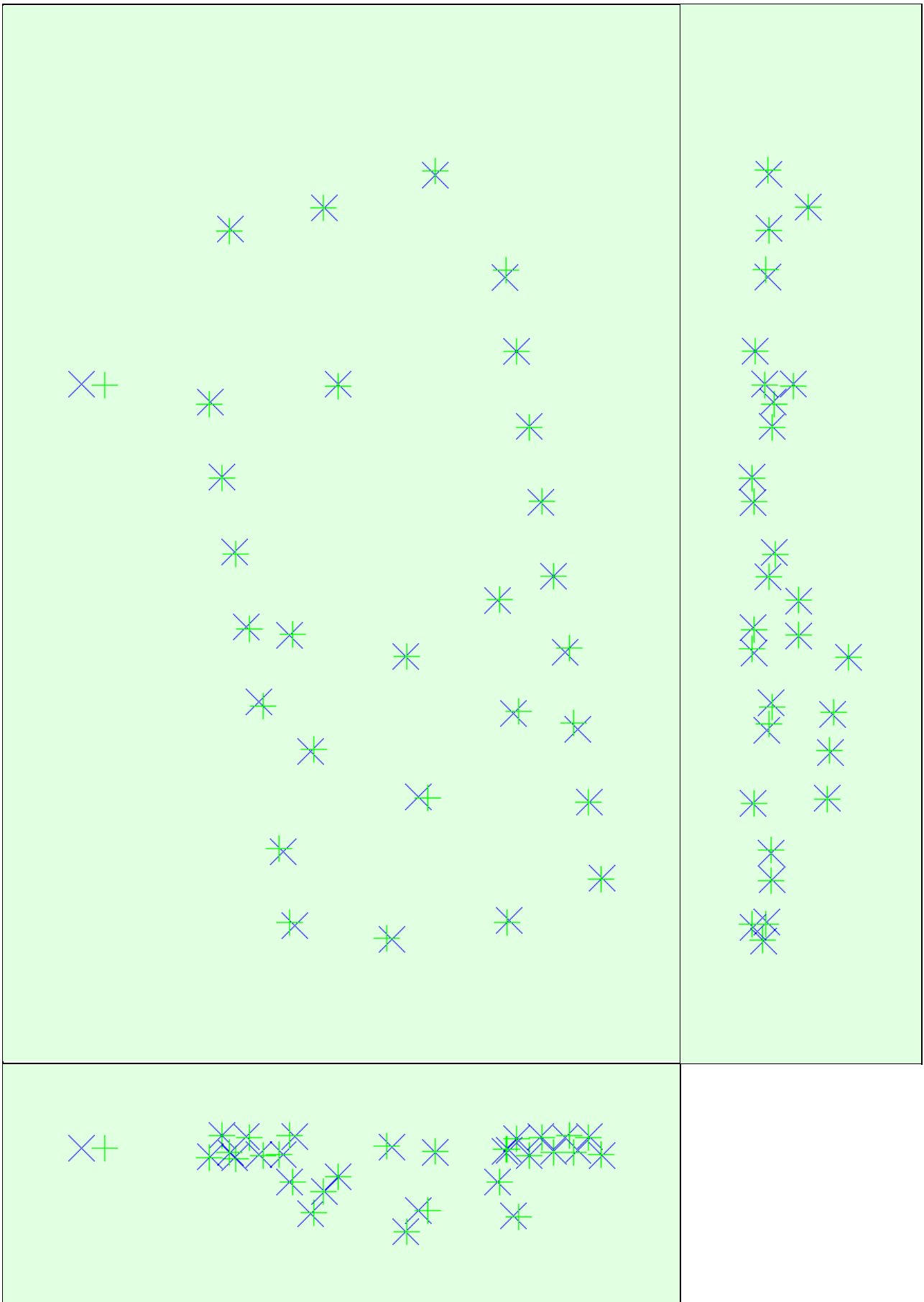
### Initial Image Positions



The preview is not generated for images without geolocation.

### Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions





Uncertainty ellipses 50x magnified

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). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

## ? Absolute camera position and orientation uncertainties



	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.004	0.004	0.004	0.115	0.014	0.055
Sigma	0.001	0.001	0.000	0.317	0.003	0.263

## Bundle Block Adjustment Details



Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	7348522
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	3115812
Mean Reprojection Error [pixels]	0.487

## ? Internal Camera Parameters



EXIF ID: Insta360Pro\_1.9\_7680x3840

It is a spherical camera and it doesn't have internal parameters.



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, on average, more than 16 ATPs have been extracted at the pixel location. Black indicates that, on average, 0 ATPs have been extracted at the 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. The scale bar indicates the magnitude of 1 pixel error.

## ? 2D Keypoints Table



	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	24911	6948
Mn	15697	519
Max	30913	9720
Mean	24235	6842

## ? 3D Points from 2D Keypoint Matches



	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	2725264
In 3 Images	228674
In 4 Images	70080
In 5 Images	31797
In 6 Images	17246
In 7 Images	10400
In 8 Images	6856
In 9 Images	4683
In 10 Images	3406
In 11 Images	2500
In 12 Images	1951
In 13 Images	1622
In 14 Images	1288
In 15 Images	1061
In 16 Images	955
In 17 Images	668
In 18 Images	652
In 19 Images	543

In 20 Images	455
In 21 Images	416
In 22 Images	337
In 23 Images	300
In 24 Images	291
In 25 Images	273
In 26 Images	240
In 27 Images	206
In 28 Images	188
In 29 Images	174
In 30 Images	167
In 31 Images	147
In 32 Images	139
In 33 Images	118
In 34 Images	115
In 35 Images	132
In 36 Images	101
In 37 Images	103
In 38 Images	85
In 39 Images	78
In 40 Images	91
In 41 Images	77
In 42 Images	66
In 43 Images	59
In 44 Images	74
In 45 Images	58
In 46 Images	45
In 47 Images	52
In 48 Images	59
In 49 Images	41
In 50 Images	42
In 51 Images	45
In 52 Images	31
In 53 Images	34
In 54 Images	49
In 55 Images	35
In 56 Images	29
In 57 Images	32
In 58 Images	20
In 59 Images	32
In 60 Images	29
In 61 Images	26
In 62 Images	33
In 63 Images	31
In 64 Images	18
In 65 Images	16
In 66 Images	15
In 67 Images	21
In 68 Images	14
In 69 Images	20
In 70 Images	25
In 71 Images	12
In 72 Images	9
In 73 Images	16
In 74 Images	20
In 75 Images	21
In 76 Images	13
In 77 Images	13
In 78 Images	14

In 79 Images	12
In 80 Images	11
In 81 Images	9
In 82 Images	9
In 83 Images	20
In 84 Images	9
In 85 Images	14
In 86 Images	7
In 87 Images	15
In 88 Images	12
In 89 Images	10
In 90 Images	6
In 91 Images	7
In 92 Images	15
In 93 Images	8
In 94 Images	13
In 95 Images	8
In 96 Images	7
In 97 Images	6
In 98 Images	8
In 99 Images	13
In 100 Images	11
In 101 Images	9
In 102 Images	6
In 103 Images	11
In 104 Images	7
In 105 Images	7
In 106 Images	8
In 107 Images	6
In 108 Images	4
In 109 Images	5
In 110 Images	8
In 111 Images	3
In 112 Images	5
In 113 Images	7
In 114 Images	2
In 115 Images	4
In 116 Images	6
In 117 Images	6
In 118 Images	5
In 119 Images	9
In 120 Images	3
In 121 Images	5
In 122 Images	5
In 123 Images	5
In 124 Images	5
In 125 Images	3
In 126 Images	2
In 127 Images	3
In 128 Images	5
In 129 Images	3
In 130 Images	4
In 131 Images	3
In 132 Images	5
In 133 Images	4
In 135 Images	4
In 136 Images	5
In 137 Images	6
In 138 Images	1

In 139 Images	2
In 140 Images	4
In 141 Images	6
In 142 Images	4
In 144 Images	2
In 145 Images	5
In 146 Images	3
In 147 Images	3
In 148 Images	4
In 149 Images	4
In 150 Images	2
In 152 Images	1
In 153 Images	2
In 154 Images	3
In 156 Images	3
In 157 Images	5
In 158 Images	2
In 159 Images	4
In 160 Images	1
In 161 Images	1
In 162 Images	5
In 163 Images	5
In 164 Images	3
In 165 Images	2
In 166 Images	2
In 168 Images	1
In 170 Images	1
In 171 Images	1
In 173 Images	6
In 174 Images	3
In 175 Images	3
In 176 Images	1
In 178 Images	2
In 179 Images	3
In 180 Images	1
In 181 Images	2
In 183 Images	1
In 186 Images	1
In 187 Images	3
In 188 Images	1
In 190 Images	6
In 191 Images	1
In 193 Images	1
In 194 Images	2
In 195 Images	1
In 196 Images	1
In 198 Images	2
In 199 Images	1
In 200 Images	2
In 201 Images	5
In 202 Images	2
In 203 Images	3
In 204 Images	3
In 206 Images	2
In 207 Images	1
In 209 Images	2
In 210 Images	3
In 211 Images	1
In 212 Images	1



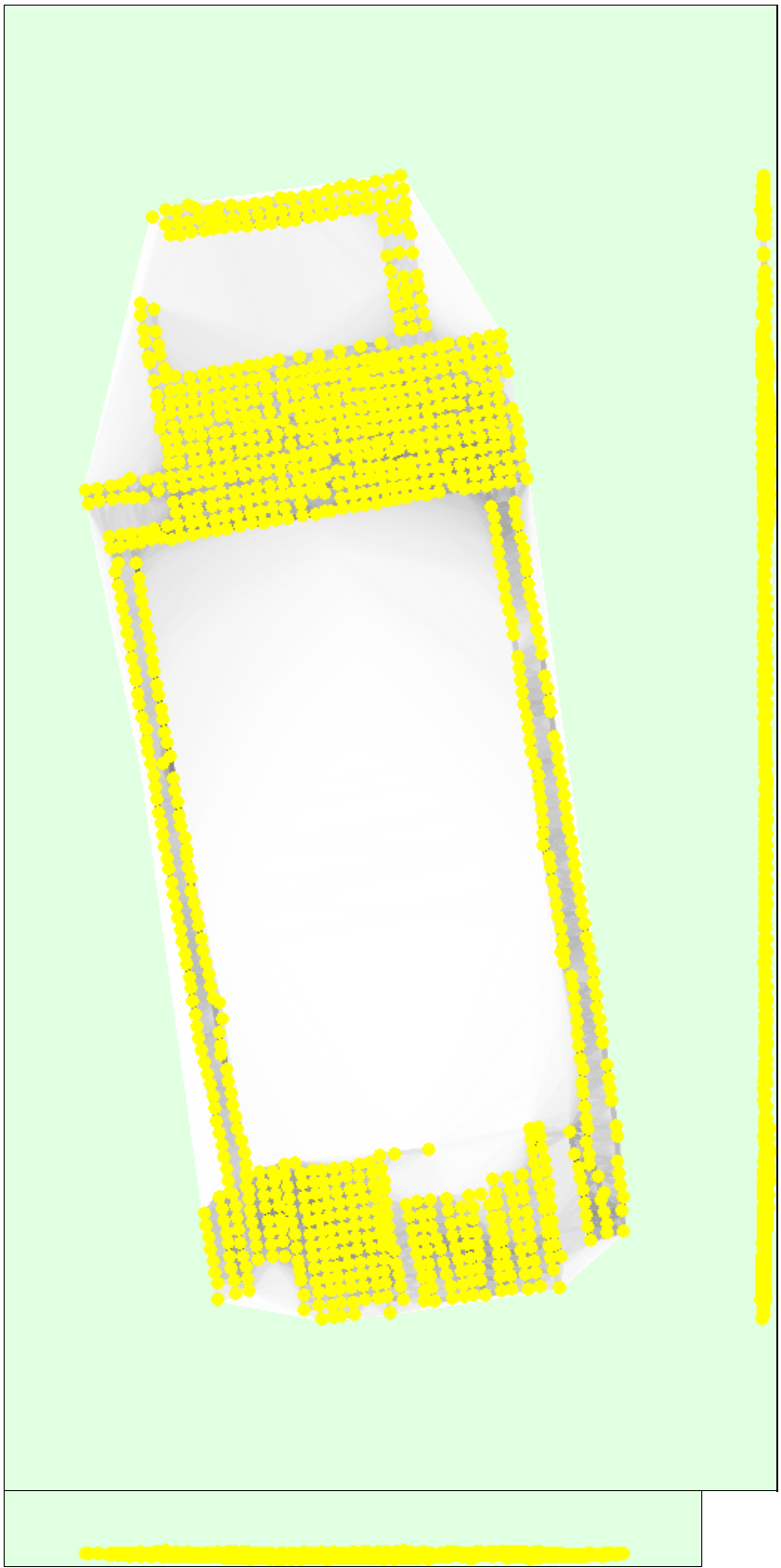
In 213 Images	3
In 214 Images	4
In 215 Images	1
In 216 Images	1
In 218 Images	1
In 219 Images	4
In 220 Images	2
In 222 Images	2
In 223 Images	2
In 225 Images	2
In 229 Images	1
In 230 Images	2
In 233 Images	3
In 235 Images	2
In 236 Images	1
In 237 Images	1
In 238 Images	1
In 240 Images	1
In 241 Images	2
In 242 Images	1
In 244 Images	1
In 245 Images	2
In 247 Images	2
In 248 Images	1
In 250 Images	2
In 251 Images	4
In 252 Images	2
In 253 Images	1
In 255 Images	1
In 258 Images	3
In 260 Images	1
In 261 Images	2
In 263 Images	2
In 264 Images	1
In 267 Images	2
In 269 Images	1
In 270 Images	2
In 272 Images	1
In 274 Images	1
In 275 Images	1
In 276 Images	1
In 277 Images	1
In 278 Images	1
In 281 Images	3
In 283 Images	1
In 285 Images	2
In 286 Images	1
In 288 Images	1
In 289 Images	1
In 291 Images	2
In 293 Images	1
In 295 Images	1
In 296 Images	1
In 297 Images	3
In 298 Images	2
In 301 Images	2
In 302 Images	1
In 304 Images	2
In 311 Images	1

In 312 Images	1
In 313 Images	1
In 314 Images	1
In 315 Images	1
In 317 Images	1
In 318 Images	2
In 322 Images	1
In 323 Images	1
In 325 Images	3
In 326 Images	1
In 328 Images	2
In 329 Images	2
In 332 Images	1
In 333 Images	1
In 334 Images	1
In 338 Images	2
In 339 Images	1
In 340 Images	1
In 344 Images	2
In 345 Images	1
In 347 Images	1
In 349 Images	2
In 350 Images	1
In 351 Images	1
In 353 Images	1
In 355 Images	1
In 359 Images	1
In 360 Images	1
In 366 Images	3
In 370 Images	1
In 371 Images	1
In 372 Images	1
In 373 Images	2
In 374 Images	1
In 376 Images	1
In 379 Images	1
In 380 Images	1
In 382 Images	1
In 383 Images	3
In 387 Images	2
In 388 Images	1
In 392 Images	1
In 394 Images	1
In 397 Images	2
In 398 Images	1
In 404 Images	2
In 406 Images	1
In 407 Images	1
In 410 Images	1
In 418 Images	1
In 421 Images	1
In 424 Images	2
In 427 Images	2
In 430 Images	1
In 433 Images	1
In 435 Images	2
In 439 Images	1
In 440 Images	2
In 442 Images	2

In 443 Images	1
In 444 Images	1
In 450 Images	2
In 456 Images	1
In 458 Images	1
In 460 Images	1
In 462 Images	1
In 464 Images	1
In 467 Images	1
In 474 Images	1
In 477 Images	1
In 482 Images	1
In 484 Images	1
In 489 Images	1
In 490 Images	1
In 509 Images	1
In 576 Images	1
In 577 Images	1

 **2D Keypoint Matches**





Number of matches 25 160 320 480 640 800 960 1120 1280 1440

Figure 5: Computed image positions with links between matched 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
19 (3D)	0.020/ 0.020	-0.154	0.155	0.014	1.891	2 / 2
20 (3D)	0.020/ 0.020	-0.088	0.160	0.050	3.366	3 / 3
21 (3D)	0.020/ 0.020	-0.015	0.115	0.027	13.222	4 / 4
24 (3D)	0.020/ 0.020	0.010	0.064	0.018	0.622	2 / 2
6 (3D)	0.020/ 0.020	-0.029	0.016	0.041	3.794	4 / 4
7 (3D)	0.020/ 0.020	-0.016	-0.026	0.055	0.864	2 / 2
8 (3D)	0.020/ 0.020	-0.021	-0.020	0.052	1.673	4 / 4
9 (3D)	0.020/ 0.020	-0.222	-0.213	-0.138	2.301	2 / 2
10 (3D)	0.020/ 0.020	0.251	-0.331	0.086	1.642	2 / 2
26 (3D)	0.020/ 0.020	-0.317	-0.129	0.003	0.066	2 / 2
27 (3D)	0.020/ 0.020	-0.534	0.049	0.043	0.110	2 / 2
14 (3D)	0.020/ 0.020	0.281	-0.044	-0.031	3.191	3 / 3
16 (3D)	0.020/ 0.020	0.274	-0.183	-0.022	2.901	3 / 4
28 (3D)	0.020/ 0.020	-0.184	-0.110	-0.059	1.057	2 / 2
17 (3D)	0.020/ 0.020	0.000	0.000	0.000	-1.000	1 / 2
18 (3D)	0.020/ 0.020	-0.252	0.254	0.051	1.750	3 / 3
4 (3D)	0.020/ 0.020	-0.061	-0.385	-0.104	1.929	2 / 2
5 (3D)	0.020/ 0.020	-0.026	0.006	0.008	6.561	2 / 2
22 (3D)	0.020/ 0.020	0.031	0.119	0.026	5.787	4 / 4
1 (3D)	0.020/ 0.020	0.067	0.092	0.007	2.010	2 / 2
2 (3D)	0.020/ 0.020	0.093	-0.039	0.026	2.552	2 / 2
3 (3D)	0.020/ 0.020	0.045	-0.229	-0.033	2.387	2 / 2
13 (3D)	0.020/ 0.020	0.112	0.124	-0.036	8.738	3 / 3
30 (3D)	0.020/ 0.020	-0.015	0.014	0.016	2.987	2 / 2
29 (3D)	0.020/ 0.020	-0.241	-0.042	0.021	2.288	2 / 2
23 (3D)	0.020/ 0.020	-1.402	0.065	-0.011	2.754	2 / 2
25 (3D)	0.020/ 0.020	-0.149	-0.050	0.008	0.234	2 / 2
11 (3D)	0.020/ 0.020	0.070	0.042	0.007	0.122	2 / 2
12 (3D)	0.020/ 0.020	0.090	0.087	-0.026	3.084	3 / 3
15 (3D)	0.020/ 0.020	0.345	-0.147	-0.066	3.097	3 / 3
<b>Mean [m]</b>		-0.070961	-0.020207	0.001150		
<b>Sigma [m]</b>		0.313322	0.146474	0.048290		
<b>RMS Error [m]</b>		0.321257	0.147862	0.048304		

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

## Initial Processing Details



### System Information



Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-9700K CPU @ 3.60GHz RAM: 16GB GPU: Intel(R) UHD Graphics 630 (Driver: 27.20.100.8681), NVIDIA GeForce RTX2070 (Driver: 27.21.14.5671)
Operating System	Windows 10 Home, 64-bit

### Coordinate Systems



Ground Control Point (GCP) Coordinate System	Arbitrary (m)
Output Coordinate System	Arbitrary (m)

## Processing Options



Detected Template	3D Models
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Free Flight or Terrestrial
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

## Point Cloud Densification details



### Processing Options



Image Scale	1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: no
LOD	Generated: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	01h:34m:59s
Time for Point Cloud Classification	NA
Time for 3D Textured Mesh Generation	20m:51s

### Results



Number of Processed Clusters	15
Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	7085390
Average Density (per m <sup>3</sup> )	3213.98



**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	100%_ugeom_ugcp
Processed	2021-02-28 02:34:51
Camera Model Name(s)	Insta360Pro_1.9_7680x3840 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	undefined
Time for Initial Processing (without report)	11h:08m:30s

## Quality Check



<b>Images</b>	median of 24911 keypoints per image	
<b>Dataset</b>	1074 out of 1074 images calibrated (100%), all images enabled	
<b>Camera Optimization</b>	0% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
<b>Matching</b>	median of 193.138 matches per calibrated image	
<b>Georeferencing</b>	no, no 3D GCP	

## Calibration Details



Number of Calibrated Images	1074 out of 1074
Number of Geolocated Images	0 out of 1074

### Initial Image Positions



The preview is not generated for images without geolocation.

### Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions



The preview is not generated for images without geolocation.

## Bundle Block Adjustment Details



Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	209575
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	23609
Mean Reprojection Error [pixels]	0.598

### Internal Camera Parameters



EXIF ID: Insta360Pro\_1.9\_7680x3840

It is a spherical camera and it doesn't have internal parameters.



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, on average, more than 16 ATPs have been extracted at the pixel location. Black indicates that, on average, 0 ATPs have been extracted at the pixel location. Click on the image to see the average direction and magnitude of the re-projection error for each pixel. Note that the vectors are scaled for better visualization. The scale bar indicates the magnitude of 1 pixel error.

## 2D Keypoints Table



	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	24911	193
Mn	15696	40
Max	30912	328
Mean	24234	195

## 3D Points from 2D Keypoint Matches



	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	7015
In 3 Images	5972
In 4 Images	3228
In 5 Images	1644
In 6 Images	1031
In 7 Images	665
In 8 Images	474
In 9 Images	392
In 10 Images	288
In 11 Images	246
In 12 Images	194
In 13 Images	148
In 14 Images	152
In 15 Images	122
In 16 Images	103
In 17 Images	82
In 18 Images	98
In 19 Images	78
In 20 Images	66
In 21 Images	65
In 22 Images	77
In 23 Images	50
In 24 Images	53
In 25 Images	43
In 26 Images	45
In 27 Images	51
In 28 Images	36
In 29 Images	39
In 30 Images	34
In 31 Images	23
In 32 Images	24
In 33 Images	40
In 34 Images	32
In 35 Images	27
In 36 Images	29
In 37 Images	21
In 38 Images	30
In 39 Images	32
In 40 Images	26
In 41 Images	20



In 42 Images	20
In 43 Images	21
In 44 Images	24
In 45 Images	13
In 46 Images	12
In 47 Images	22
In 48 Images	26
In 49 Images	14
In 50 Images	11
In 51 Images	9
In 52 Images	14
In 53 Images	12
In 54 Images	14
In 55 Images	8
In 56 Images	17
In 57 Images	12
In 58 Images	11
In 59 Images	11
In 60 Images	10
In 61 Images	9
In 62 Images	12
In 63 Images	8
In 64 Images	15
In 65 Images	6
In 66 Images	8
In 67 Images	11
In 68 Images	9
In 69 Images	12
In 70 Images	6
In 71 Images	8
In 72 Images	8
In 73 Images	6
In 74 Images	10
In 75 Images	7
In 76 Images	4
In 77 Images	5
In 78 Images	4
In 79 Images	6
In 80 Images	1
In 81 Images	4
In 82 Images	3
In 83 Images	4
In 84 Images	3
In 85 Images	5
In 86 Images	2
In 87 Images	5
In 88 Images	4
In 89 Images	4
In 90 Images	4
In 91 Images	5
In 92 Images	9
In 93 Images	5
In 94 Images	5
In 95 Images	3
In 96 Images	2
In 97 Images	6
In 98 Images	3
In 99 Images	9
In 100 Images	2

In 101 Images	4
In 102 Images	4
In 103 Images	4
In 104 Images	5
In 105 Images	2
In 106 Images	3
In 107 Images	3
In 108 Images	3
In 109 Images	3
In 110 Images	1
In 111 Images	3
In 112 Images	3
In 113 Images	4
In 114 Images	2
In 115 Images	2
In 116 Images	2
In 118 Images	3
In 119 Images	1
In 120 Images	2
In 121 Images	2
In 122 Images	2
In 123 Images	2
In 124 Images	4
In 125 Images	5
In 126 Images	4
In 127 Images	2
In 128 Images	3
In 129 Images	1
In 130 Images	2
In 131 Images	2
In 132 Images	3
In 133 Images	5
In 134 Images	3
In 135 Images	3
In 136 Images	2
In 137 Images	3
In 139 Images	4
In 140 Images	1
In 141 Images	1
In 142 Images	3
In 143 Images	1
In 145 Images	2
In 147 Images	4
In 148 Images	2
In 150 Images	2
In 151 Images	1
In 152 Images	3
In 153 Images	1
In 154 Images	2
In 155 Images	2
In 156 Images	3
In 157 Images	1
In 158 Images	2
In 161 Images	2
In 162 Images	1
In 163 Images	1
In 165 Images	2
In 167 Images	2
In 168 Images	2

In 169 Images	2
In 172 Images	1
In 174 Images	1
In 175 Images	1
In 176 Images	1
In 177 Images	2
In 179 Images	1
In 181 Images	2
In 185 Images	2
In 186 Images	2
In 187 Images	1
In 188 Images	2
In 189 Images	1
In 190 Images	1
In 194 Images	1
In 197 Images	2
In 198 Images	1
In 200 Images	3
In 202 Images	1
In 203 Images	2
In 204 Images	1
In 207 Images	2
In 208 Images	1
In 211 Images	1
In 212 Images	2
In 213 Images	2
In 214 Images	2
In 216 Images	2
In 222 Images	1
In 224 Images	3
In 225 Images	1
In 227 Images	1
In 228 Images	2
In 231 Images	1
In 237 Images	2
In 239 Images	2
In 245 Images	1
In 248 Images	2
In 250 Images	2
In 251 Images	1
In 252 Images	1
In 254 Images	1
In 255 Images	1
In 260 Images	1
In 263 Images	1
In 264 Images	1
In 265 Images	3
In 273 Images	1
In 274 Images	1
In 275 Images	1
In 280 Images	1
In 285 Images	1
In 286 Images	1
In 287 Images	1
In 288 Images	1
In 290 Images	2
In 291 Images	1
In 294 Images	1
In 297 Images	1

In 298 Images	1
In 300 Images	1
In 302 Images	2
In 303 Images	1
In 306 Images	2
In 314 Images	1
In 321 Images	1
In 323 Images	1
In 326 Images	1
In 327 Images	2
In 328 Images	1
In 329 Images	1
In 331 Images	1
In 337 Images	2
In 338 Images	1
In 342 Images	1
In 345 Images	1
In 351 Images	1
In 352 Images	2
In 363 Images	1
In 371 Images	1
In 377 Images	1
In 379 Images	1
In 383 Images	1
In 386 Images	1
In 388 Images	1
In 389 Images	1
In 392 Images	1
In 393 Images	1
In 394 Images	1
In 395 Images	1
In 396 Images	2
In 397 Images	1
In 406 Images	1
In 408 Images	1
In 423 Images	1
In 428 Images	1
In 430 Images	1
In 441 Images	1
In 442 Images	1
In 443 Images	1
In 445 Images	1
In 448 Images	1
In 456 Images	1
In 464 Images	2
In 473 Images	1
In 475 Images	1
In 484 Images	1
In 489 Images	1
In 490 Images	1
In 502 Images	1
In 584 Images	2

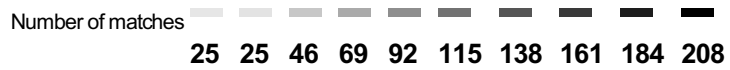
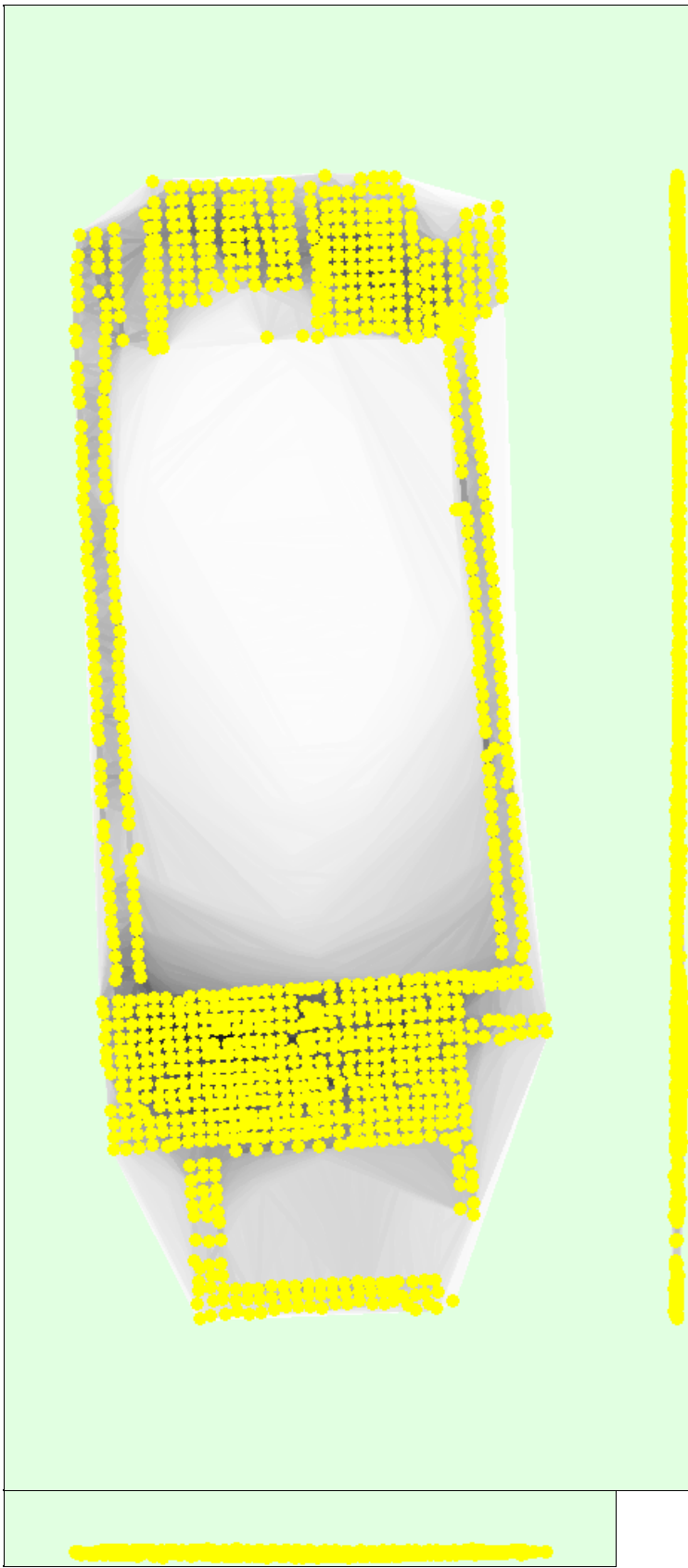


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images.

## Initial Processing Details




Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i5-4670K CPU @ 3.40GHz RAM: 16GB GPU: NMDIA GeForce GTX 770 (Driver: 27.21.14.5671)
Operating System	Windows 10 Home, 64-bit

## Coordinate Systems

Output Coordinate System	Arbitrary (m)
--------------------------	---------------

## Processing Options

Detected Template	 3D Models
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Free Flight or Terrestrial
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

## Point Cloud Densification details

### Processing Options

Image Scale	1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: no
LOD	Generated: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	03h:15m:24s
Time for Point Cloud Classification	NA
Time for 3D Textured Mesh Generation	49m:48s

### Results

Number of Processed Clusters	19
Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	7143462
Average Density (per m <sup>3</sup> )	24.13

- !** **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	25%_mgeom_mgcp_8
Processed	2021-05-12 13:47:06
Camera Model Name(s)	Insta360Pro_1.9_7680x3840 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	0.89 cm / 0.35 in
Time for Initial Processing (without report)	22m:53s

## Quality Check



<b>?</b> <b>Images</b>	median of 24957 keypoints per image	✓
<b>?</b> <b>Dataset</b>	268 out of 268 images calibrated (100%), all images enabled	✓
<b>?</b> <b>Camera Optimization</b>	0% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
<b>?</b> <b>Matching</b>	median of 193.856 matches per calibrated image	⚠
<b>?</b> <b>Georeferencing</b>	yes, 30 GCPs (30 3D), mean RMS error = 0.082 m	⚠

## Calibration Details



Number of Calibrated Images	268 out of 268
Number of Geolocated Images	0 out of 268

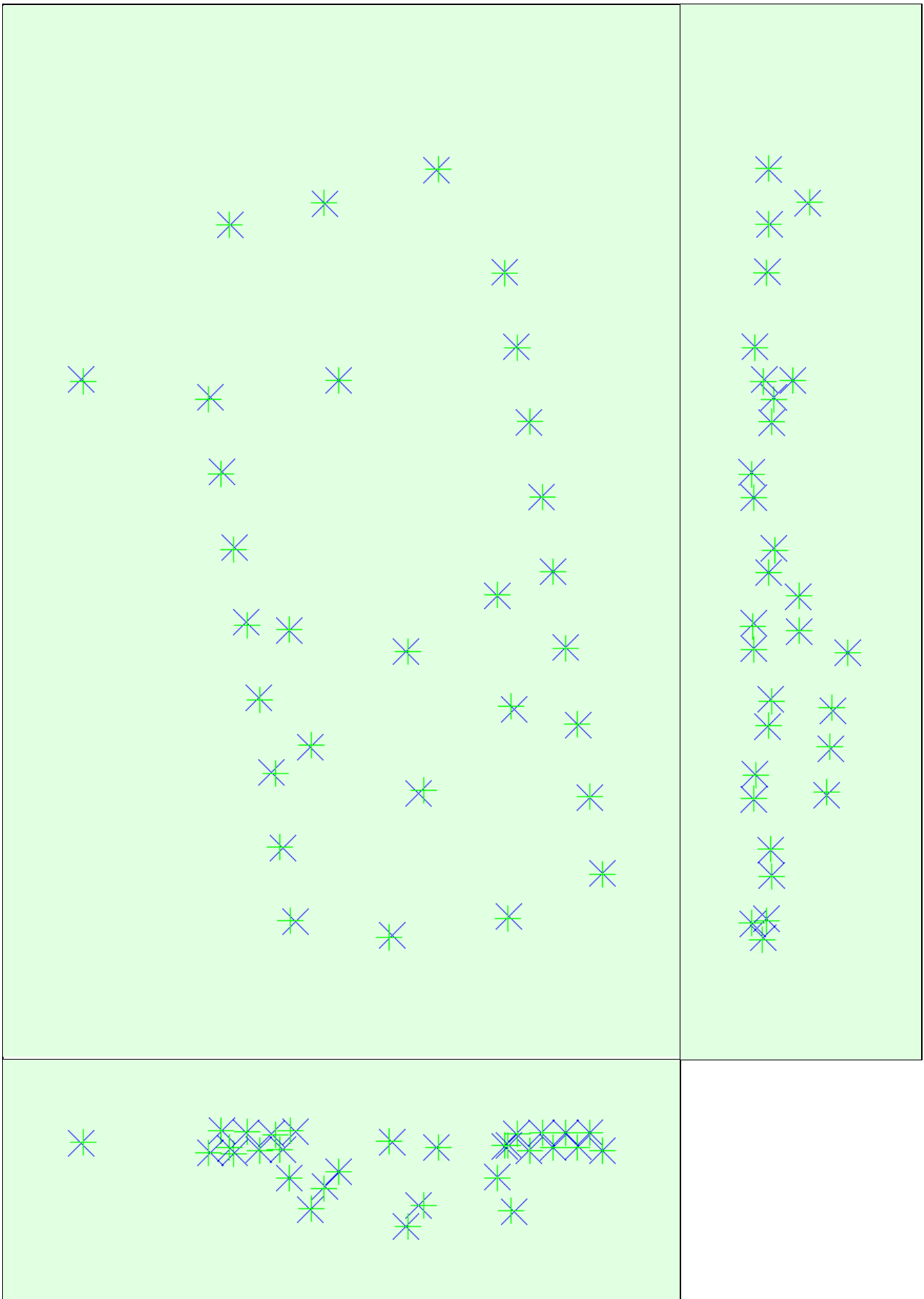
### **?** Initial Image Positions



The preview is not generated for images without geolocation.

### **?** Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions





Uncertainty ellipses 50x magnified

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). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.



	X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.005	0.005	0.004	0.120	0.019	0.049
Sigma	0.001	0.002	0.001	0.226	0.005	0.248

## Bundle Block Adjustment Details



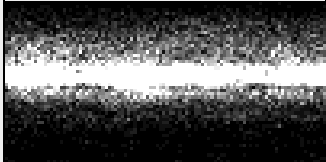
Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	52727
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	12231
Mean Reprojection Error [pixels]	0.529

### Internal Camera Parameters



EXIF ID: Insta360Pro\_1.9\_7680x3840

It is a spherical camera and it doesn't have internal parameters.



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, on average, more than 16 ATPs have been extracted at the pixel location. Black indicates that, on average, 0 ATPs have been extracted at the pixel location. Click on the image to see the average direction and magnitude of the re-projection error for each pixel. Note that the vectors are scaled for better visualization. The scale bar indicates the magnitude of 1 pixel error.

### 2D Keypoints Table



	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	24957	194
Mn	16023	44
Max	30554	349
Mean	24240	197

### 3D Points from 2D Keypoint Matches



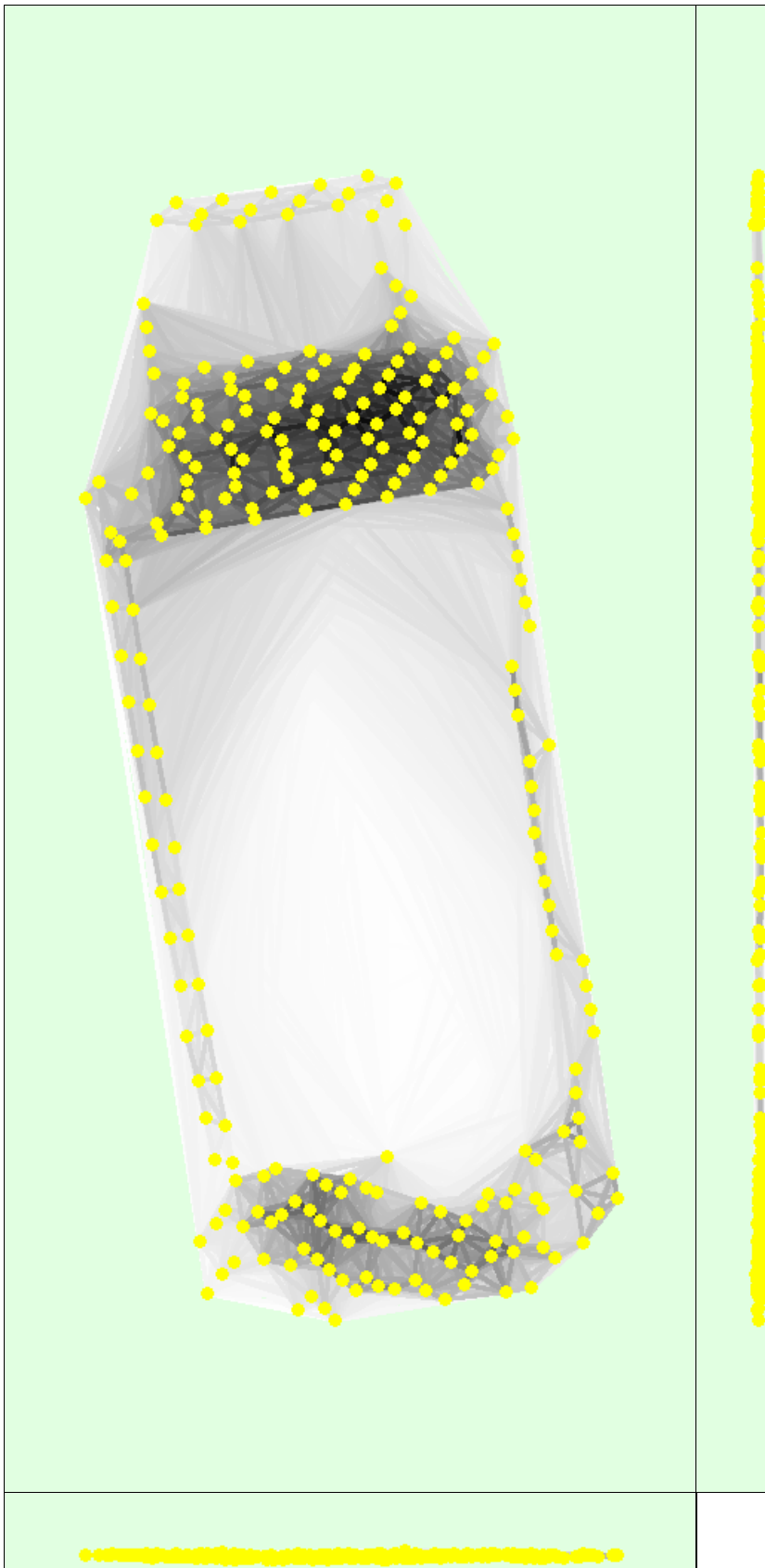
	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	8139
In 3 Images	1820
In 4 Images	611
In 5 Images	300
In 6 Images	226
In 7 Images	149
In 8 Images	115
In 9 Images	98
In 10 Images	87
In 11 Images	68
In 12 Images	51
In 13 Images	39
In 14 Images	33
In 15 Images	36
In 16 Images	32
In 17 Images	22
In 18 Images	18
In 19 Images	17
In 20 Images	20
In 21 Images	13
In 22 Images	14

In 23 Images	16
In 24 Images	23
In 25 Images	14
In 26 Images	12
In 27 Images	15
In 28 Images	5
In 29 Images	8
In 30 Images	9
In 31 Images	5
In 32 Images	8
In 33 Images	7
In 34 Images	6
In 35 Images	3
In 36 Images	9
In 37 Images	7
In 38 Images	4
In 39 Images	7
In 40 Images	3
In 42 Images	7
In 44 Images	4
In 45 Images	1
In 46 Images	8
In 47 Images	2
In 48 Images	5
In 49 Images	1
In 50 Images	3
In 51 Images	2
In 52 Images	4
In 53 Images	5
In 54 Images	5
In 55 Images	7
In 56 Images	5
In 57 Images	4
In 58 Images	2
In 59 Images	4
In 60 Images	1
In 61 Images	3
In 62 Images	1
In 63 Images	2
In 64 Images	2
In 65 Images	3
In 66 Images	2
In 68 Images	2
In 70 Images	2
In 71 Images	2
In 73 Images	2
In 75 Images	1
In 76 Images	2
In 77 Images	1
In 78 Images	2
In 79 Images	2
In 80 Images	3
In 81 Images	1
In 82 Images	2
In 83 Images	2
In 84 Images	3
In 85 Images	2
In 86 Images	3
In 87 Images	4

In 88 Images	1
In 89 Images	2
In 91 Images	2
In 92 Images	1
In 94 Images	1
In 95 Images	1
In 96 Images	1
In 97 Images	2
In 98 Images	1
In 100 Images	5
In 101 Images	1
In 103 Images	2
In 104 Images	1
In 105 Images	2
In 108 Images	1
In 109 Images	1
In 111 Images	1
In 112 Images	2
In 113 Images	1
In 114 Images	2
In 115 Images	3
In 116 Images	1
In 117 Images	1
In 119 Images	1
In 121 Images	1
In 123 Images	1
In 131 Images	1
In 132 Images	1
In 136 Images	1
In 159 Images	1

 **2D Keypoint Matches**





Number of matches 25 25 40 60 80 100 120 140 160 181

Figure 5: Computed image positions with links between matched 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
19 (3D)	0.020/ 0.020	-0.037	0.168	-0.006	3.427	4 / 4
20 (3D)	0.020/ 0.020	0.026	0.107	0.046	8.374	5 / 5
21 (3D)	0.020/ 0.020	0.047	0.094	-0.019	4.870	3 / 3
24 (3D)	0.020/ 0.020	-0.017	0.011	0.008	1.723	8 / 8
6 (3D)	0.020/ 0.020	-0.060	-0.063	0.000	3.354	5 / 5
7 (3D)	0.020/ 0.020	-0.045	-0.047	0.008	1.058	5 / 5
8 (3D)	0.020/ 0.020	-0.009	-0.027	0.042	2.875	5 / 5
9 (3D)	0.020/ 0.020	-0.021	0.040	0.009	2.996	6 / 6
10 (3D)	0.020/ 0.020	0.067	-0.025	0.056	2.427	5 / 5
26 (3D)	0.020/ 0.020	0.129	-0.184	-0.092	1.493	7 / 7
27 (3D)	0.020/ 0.020	-0.302	-0.143	-0.001	2.477	6 / 6
14 (3D)	0.020/ 0.020	0.188	0.134	-0.044	5.663	8 / 8
16 (3D)	0.020/ 0.020	0.175	-0.066	-0.009	11.306	8 / 8
28 (3D)	0.020/ 0.020	-0.030	-0.117	-0.035	2.714	7 / 7
17 (3D)	0.020/ 0.020	-0.296	0.057	0.050	3.891	4 / 4
18 (3D)	0.020/ 0.020	-0.087	0.131	0.043	5.728	3 / 3
4 (3D)	0.020/ 0.020	-0.008	0.033	-0.026	2.943	8 / 8
5 (3D)	0.020/ 0.020	-0.009	0.029	-0.004	3.403	3 / 3
22 (3D)	0.020/ 0.020	0.083	0.102	0.026	4.159	8 / 8
1 (3D)	0.020/ 0.020	0.068	0.003	-0.024	2.101	4 / 4
2 (3D)	0.020/ 0.020	0.046	-0.048	0.100	2.692	8 / 8
3 (3D)	0.020/ 0.020	-0.150	-0.069	-0.014	5.763	8 / 8
13 (3D)	0.020/ 0.020	0.065	0.136	-0.017	5.677	8 / 8
30 (3D)	0.020/ 0.020	-0.103	-0.020	-0.011	2.344	8 / 8
29 (3D)	0.020/ 0.020	0.003	-0.069	0.037	1.348	8 / 8
23 (3D)	0.020/ 0.020	-0.078	0.102	-0.089	3.637	8 / 8
25 (3D)	0.020/ 0.020	-0.005	-0.103	0.019	1.705	8 / 8
11 (3D)	0.020/ 0.020	0.022	-0.089	-0.001	3.535	5 / 5
12 (3D)	0.020/ 0.020	-0.017	0.019	-0.003	2.208	6 / 6
15 (3D)	0.020/ 0.020	0.267	-0.074	-0.049	3.423	8 / 8
<b>Mean [m]</b>		-0.002987	0.000658	-0.000043		
<b>Sigma [m]</b>		0.117598	0.090533	0.040126		
<b>RMS Error [m]</b>		0.117636	0.090535	0.040126		

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

## Initial Processing Details



### System Information



Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-9700K CPU @ 3.60GHz RAM: 16GB GPU: Intel(R) UHD Graphics 630 (Driver: 27.20.100.8681), NVIDIA GeForce RTX2070 (Driver: 27.21.14.6611)
Operating System	Windows 10 Home, 64-bit

### Coordinate Systems



Ground Control Point (GCP) Coordinate System	Arbitrary (m)
Output Coordinate System	Arbitrary (m)

## Processing Options



Detected Template	No Template Available
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Free Flight or Terrestrial
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: yes
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

## Point Cloud Densification details



### Processing Options



Image Scale	1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: no
LOD	Generated: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	30m:39s
Time for Point Cloud Classification	NA
Time for 3D Textured Mesh Generation	06m:55s

### Results



Number of Processed Clusters	3
Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	2171970
Average Density (per m <sup>3</sup> )	1459.3

- !** **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	25%_ugeom_mgcp_8
Processed	2021-05-12 14:47:43
Camera Model Name(s)	Insta360Pro_1.9_7680x3840 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	0.99 cm / 0.39 in
Time for Initial Processing (without report)	20m:49s

## Quality Check



<b>?</b> Images	median of 24957 keypoints per image	✓
<b>?</b> Dataset	268 out of 268 images calibrated (100%), all images enabled	✓
<b>?</b> Camera Optimization	0% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
<b>?</b> Matching	median of 4557.74 matches per calibrated image	✓
<b>?</b> Georeferencing	yes, 30 GCPs (30 3D), mean RMS error = 0.07 m	⚠

## Calibration Details



Number of Calibrated Images	268 out of 268
Number of Geolocated Images	0 out of 268

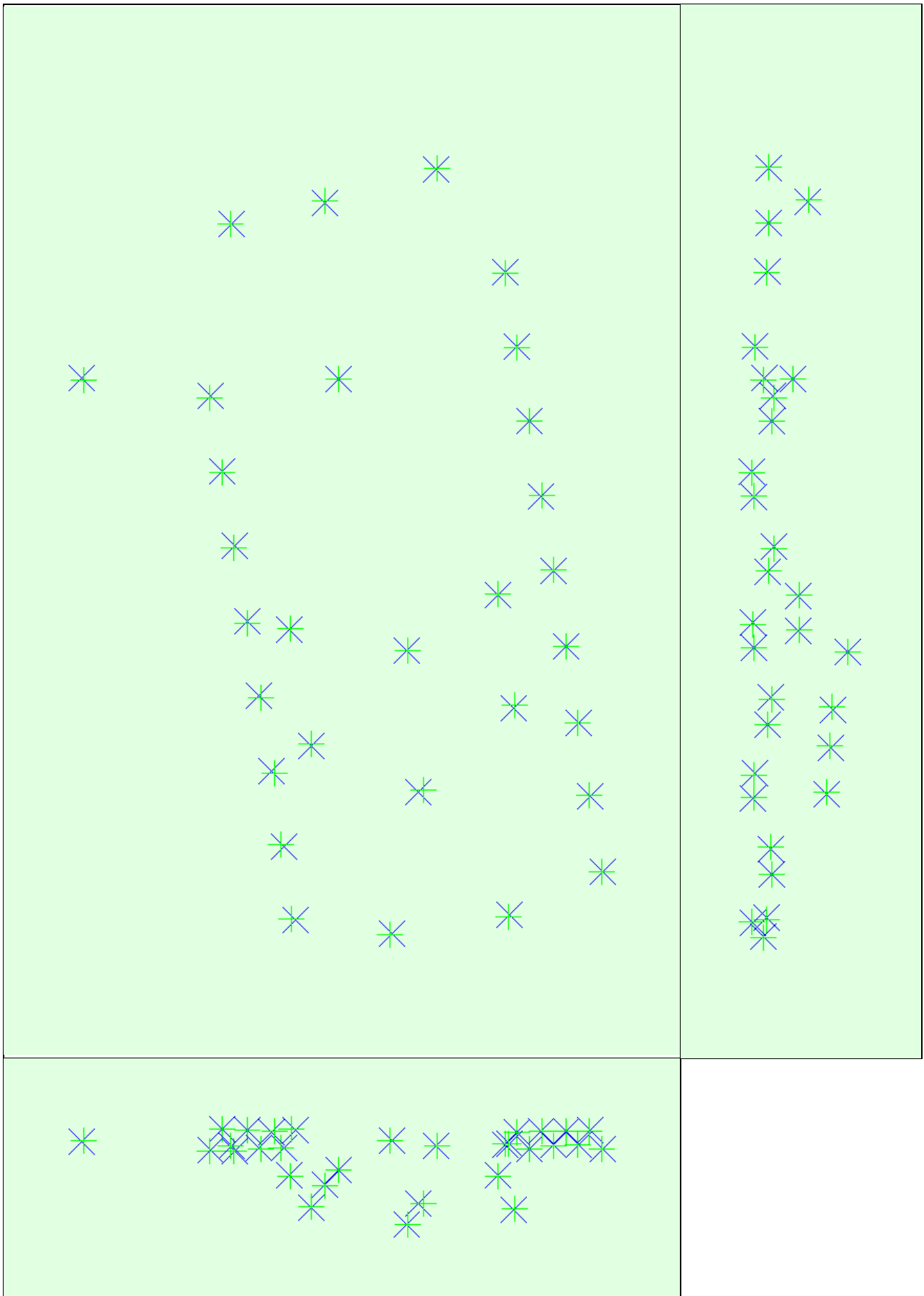
### **?** Initial Image Positions



The preview is not generated for images without geolocation.

### **?** Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions





Uncertainty ellipses 50x magnified

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). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.



	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.004	0.004	0.003	0.101	0.015	0.040
Sigma	0.001	0.001	0.001	0.202	0.003	0.248

## Bundle Block Adjustment Details


Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	1150363
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	483186
Mean Reprojection Error [pixels]	0.476

### Internal Camera Parameters



EXIF ID: Insta360Pro\_1.9\_7680x3840

It is a spherical camera and it doesn't have internal parameters.



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, on average, more than 16 ATPs have been extracted at the pixel location. Black indicates that, on average, 0 ATPs have been extracted at the pixel location. Click on the image to see the average direction and magnitude of the re-projection error for each pixel. Note that the vectors are scaled for better visualization. The scale bar indicates the magnitude of 1 pixel error.

### 2D Keypoints Table

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	24957	4558
Mn	16023	856
Max	30554	7038
Mean	24240	4292

### 3D Points from 2D Keypoint Matches

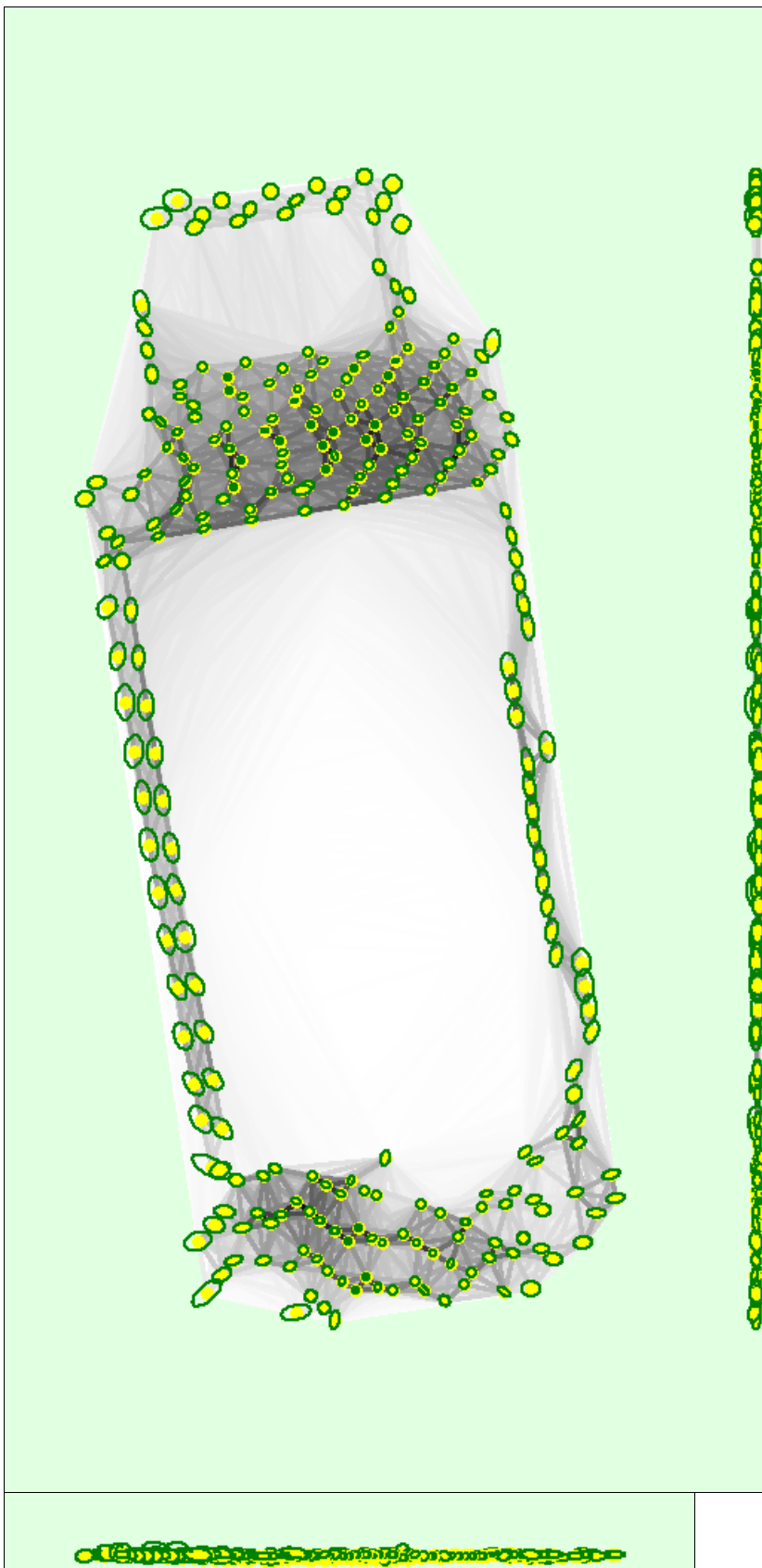
	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	421079
In 3 Images	34976
In 4 Images	11284
In 5 Images	5273
In 6 Images	2888
In 7 Images	1785
In 8 Images	1167
In 9 Images	831
In 10 Images	592
In 11 Images	454
In 12 Images	386
In 13 Images	267
In 14 Images	220
In 15 Images	203
In 16 Images	154
In 17 Images	132
In 18 Images	118
In 19 Images	111
In 20 Images	109
In 21 Images	80
In 22 Images	61

In 23 Images	72
In 24 Images	60
In 25 Images	51
In 26 Images	53
In 27 Images	37
In 28 Images	41
In 29 Images	32
In 30 Images	37
In 31 Images	21
In 32 Images	26
In 33 Images	20
In 34 Images	24
In 35 Images	21
In 36 Images	17
In 37 Images	27
In 38 Images	23
In 39 Images	16
In 40 Images	14
In 41 Images	4
In 42 Images	21
In 43 Images	15
In 44 Images	15
In 45 Images	15
In 46 Images	8
In 47 Images	11
In 48 Images	12
In 49 Images	15
In 50 Images	9
In 51 Images	10
In 52 Images	11
In 53 Images	7
In 54 Images	9
In 55 Images	5
In 56 Images	6
In 57 Images	7
In 58 Images	5
In 59 Images	9
In 60 Images	7
In 61 Images	3
In 62 Images	12
In 63 Images	7
In 64 Images	7
In 65 Images	7
In 66 Images	5
In 67 Images	5
In 68 Images	10
In 69 Images	6
In 70 Images	4
In 71 Images	3
In 72 Images	6
In 73 Images	6
In 74 Images	6
In 75 Images	5
In 76 Images	7
In 77 Images	1
In 78 Images	2
In 79 Images	6
In 80 Images	6
In 81 Images	4

In 82 Images	10
In 83 Images	2
In 84 Images	5
In 85 Images	3
In 86 Images	6
In 87 Images	2
In 88 Images	4
In 89 Images	4
In 91 Images	1
In 92 Images	2
In 93 Images	2
In 95 Images	2
In 96 Images	1
In 97 Images	3
In 98 Images	4
In 99 Images	3
In 100 Images	5
In 101 Images	2
In 102 Images	1
In 103 Images	4
In 104 Images	2
In 105 Images	3
In 106 Images	1
In 107 Images	2
In 109 Images	4
In 110 Images	7
In 111 Images	2
In 112 Images	1
In 113 Images	2
In 116 Images	4
In 117 Images	1
In 118 Images	2
In 119 Images	1
In 120 Images	1
In 121 Images	1
In 122 Images	2
In 124 Images	1
In 136 Images	1
In 147 Images	1

 **2D Keypoint Matches**





Uncertainty ellipses 100x magnified

Number of matches

25 101 202 304 405 506 608 709 810 912

Figure 5: Computed image positions with links between matched 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. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

**?** Relative camera position and orientation uncertainties



X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
------	------	------	----------------	--------------	----------------

Mean	0.003	0.003	0.002	0.082	0.014	0.032
Sigma	0.001	0.001	0.001	0.160	0.003	0.196

## 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
19 (3D)	0.020/ 0.020	-0.029	0.121	-0.018	3.370	4 / 4
20 (3D)	0.020/ 0.020	0.041	0.097	0.028	3.240	5 / 5
21 (3D)	0.020/ 0.020	0.046	0.083	-0.002	4.345	3 / 3
24 (3D)	0.020/ 0.020	-0.007	0.011	-0.006	2.727	8 / 8
6 (3D)	0.020/ 0.020	-0.035	-0.040	0.023	2.378	5 / 5
7 (3D)	0.020/ 0.020	-0.031	-0.044	0.028	2.014	5 / 5
8 (3D)	0.020/ 0.020	-0.020	-0.026	0.046	1.490	5 / 5
9 (3D)	0.020/ 0.020	-0.027	0.025	0.008	3.585	6 / 6
10 (3D)	0.020/ 0.020	0.045	-0.045	0.046	1.943	5 / 5
26 (3D)	0.020/ 0.020	-0.061	-0.134	-0.044	2.117	7 / 7
27 (3D)	0.020/ 0.020	-0.293	-0.070	-0.008	1.827	6 / 6
14 (3D)	0.020/ 0.020	0.142	0.078	-0.024	4.182	8 / 8
16 (3D)	0.020/ 0.020	0.182	-0.120	0.017	2.798	8 / 8
28 (3D)	0.020/ 0.020	-0.011	-0.098	-0.031	2.320	7 / 7
17 (3D)	0.020/ 0.020	-0.216	0.118	-0.019	2.729	4 / 4
18 (3D)	0.020/ 0.020	-0.083	0.102	0.034	4.856	3 / 3
4 (3D)	0.020/ 0.020	-0.021	0.048	-0.022	2.797	8 / 8
5 (3D)	0.020/ 0.020	-0.026	0.057	-0.006	1.745	3 / 3
22 (3D)	0.020/ 0.020	0.068	0.118	0.045	4.310	8 / 8
1 (3D)	0.020/ 0.020	0.049	-0.013	-0.012	1.412	4 / 4
2 (3D)	0.020/ 0.020	0.001	-0.144	0.043	4.316	8 / 8
3 (3D)	0.020/ 0.020	-0.064	-0.061	-0.019	4.524	8 / 8
13 (3D)	0.020/ 0.020	0.045	0.124	-0.024	4.874	8 / 8
30 (3D)	0.020/ 0.020	-0.072	-0.017	0.005	3.307	8 / 8
29 (3D)	0.020/ 0.020	-0.019	-0.050	0.034	1.363	8 / 8
23 (3D)	0.020/ 0.020	-0.092	0.128	-0.063	4.168	8 / 8
25 (3D)	0.020/ 0.020	-0.005	-0.073	0.015	1.332	8 / 8
11 (3D)	0.020/ 0.020	0.046	-0.060	0.006	2.426	5 / 5
12 (3D)	0.020/ 0.020	0.037	-0.037	-0.011	1.684	6 / 6
15 (3D)	0.020/ 0.020	0.232	-0.060	-0.046	4.180	8 / 8
<b>Mean [m]</b>		-0.005985	0.000563	0.000781		
<b>Sigma [m]</b>		0.098547	0.083187	0.029021		
<b>RMS Error [m]</b>		0.098729	0.083189	0.029032		

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

## Initial Processing Details

### System Information

Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-9700K CPU @ 3.60GHz RAM: 16GB GPU: Intel(R) UHD Graphics 630 (Driver: 27.20.100.8681), NVIDIA GeForce RTX2070 (Driver: 27.21.14.6611)
----------	---

## Coordinate Systems



Ground Control Point (GCP) Coordinate System	Arbitrary (m)
Output Coordinate System	Arbitrary (m)

## Processing Options



Detected Template	3D Models
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Free Flight or Terrestrial
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

## Point Cloud Densification details



### Processing Options



Image Scale	1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: no
LOD	Generated: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	39m:48s
Time for Point Cloud Classification	NA
Time for 3D Textured Mesh Generation	06m:57s

### Results



Number of Processed Clusters	3
Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	2575158
Average Density (per m <sup>3</sup> )	1130.4

# Quality Report



Generated with Pix4Dmapper version 4.6.4



**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	50%geom_mgcp_8
Processed	2021-05-11 16:47:40
Camera Model Name(s)	Insta360Pro_1.9_7680x3840 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	0.83 cm / 0.33 in
Time for Initial Processing (without report)	01h:40m:24s

## Quality Check



<b>Images</b>	median of 24902 keypoints per image	
<b>Dataset</b>	537 out of 537 images calibrated (100%), all images enabled	
<b>Camera Optimization</b>	0% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
<b>Matching</b>	median of 5260.48 matches per calibrated image	
<b>Georeferencing</b>	yes, 30 GCPs (30 3D), mean RMS error = 0.08 m	

## Calibration Details



Number of Calibrated Images	537 out of 537
Number of Geolocated Images	0 out of 537



### Initial Image Positions

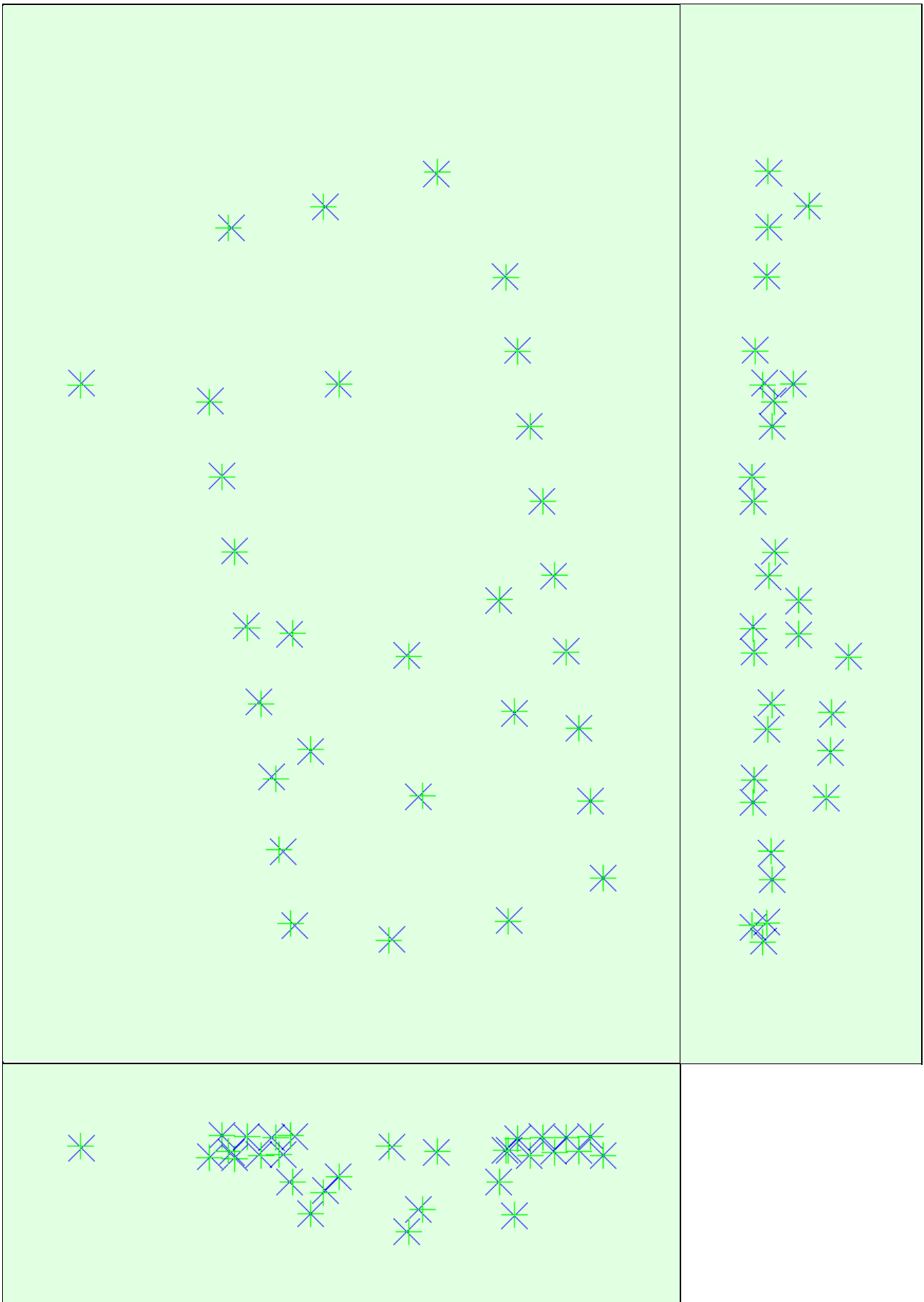


The preview is not generated for images without geolocation.



### Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions





Uncertainty ellipses 50x magnified

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). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.



## ? Absolute camera position and orientation uncertainties



	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.004	0.004	0.004	0.112	0.016	0.046
Sigma	0.001	0.001	0.001	0.213	0.003	0.207

## Bundle Block Adjustment Details



Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	2772597
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	1180872
Mean Reprojection Error [pixels]	0.467

## ? Internal Camera Parameters



EXIF ID: Insta360Pro\_1.9\_7680x3840

It is a spherical camera and it doesn't have internal parameters.



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, on average, more than 16 ATPs have been extracted at the pixel location. Black indicates that, on average, 0 ATPs have been extracted at the 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. The scale bar indicates the magnitude of 1 pixel error.

## ? 2D Keypoints Table



	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	24902	5260
Mn	16023	555
Max	30838	8433
Mean	24238	5163

## ? 3D Points from 2D Keypoint Matches

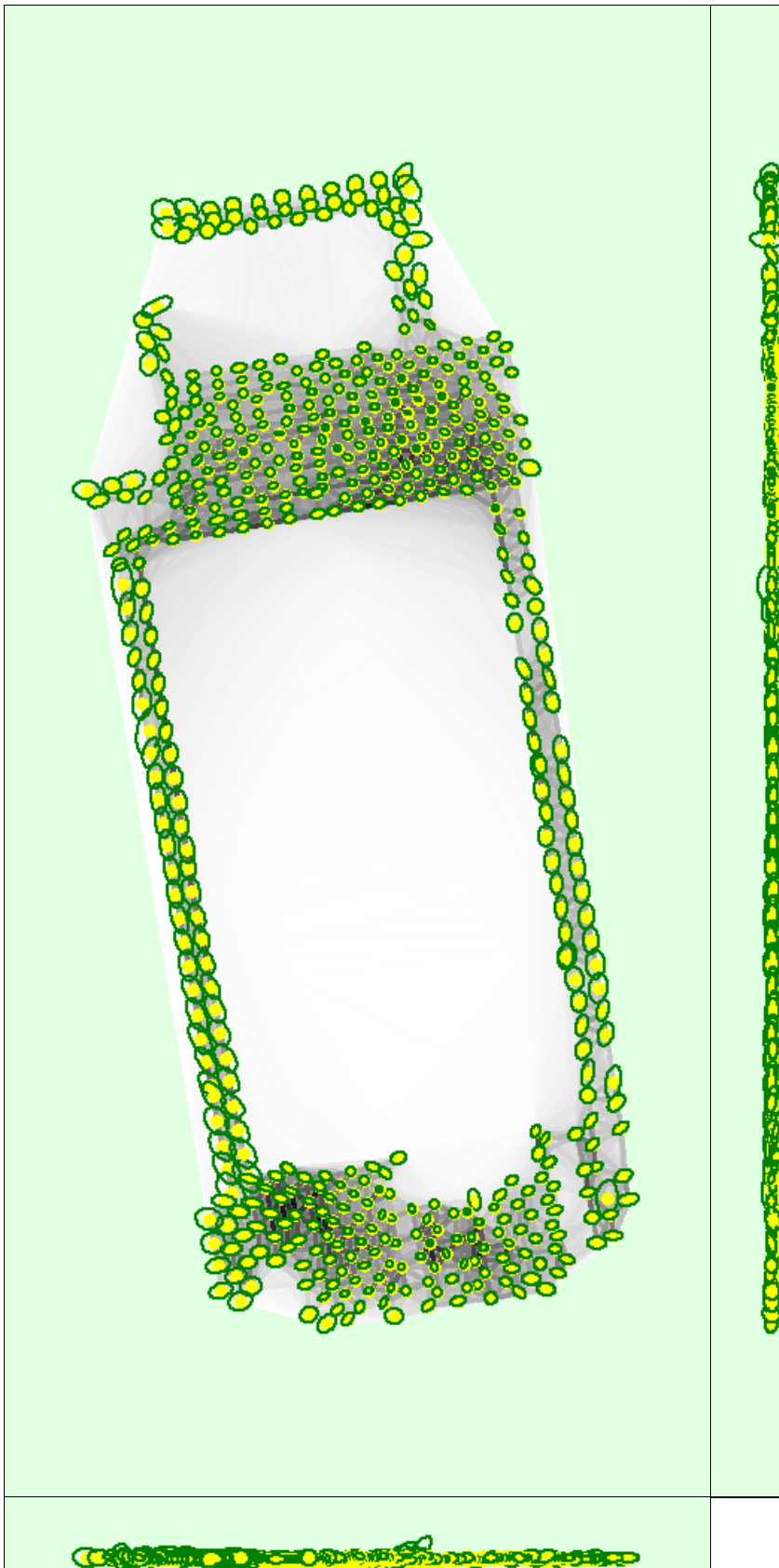


	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	1039370
In 3 Images	81210
In 4 Images	25450
In 5 Images	11815
In 6 Images	6299
In 7 Images	3896
In 8 Images	2691
In 9 Images	1811
In 10 Images	1303
In 11 Images	999
In 12 Images	730
In 13 Images	609
In 14 Images	519
In 15 Images	428
In 16 Images	375
In 17 Images	327
In 18 Images	293
In 19 Images	208

In 20 Images	195
In 21 Images	190
In 22 Images	145
In 23 Images	126
In 24 Images	114
In 25 Images	123
In 26 Images	88
In 27 Images	79
In 28 Images	72
In 29 Images	64
In 30 Images	62
In 31 Images	60
In 32 Images	59
In 33 Images	53
In 34 Images	61
In 35 Images	40
In 36 Images	67
In 37 Images	37
In 38 Images	39
In 39 Images	36
In 40 Images	31
In 41 Images	43
In 42 Images	21
In 43 Images	29
In 44 Images	29
In 45 Images	21
In 46 Images	26
In 47 Images	19
In 48 Images	14
In 49 Images	21
In 50 Images	17
In 51 Images	12
In 52 Images	23
In 53 Images	11
In 54 Images	13
In 55 Images	13
In 56 Images	14
In 57 Images	11
In 58 Images	7
In 59 Images	11
In 60 Images	13
In 61 Images	10
In 62 Images	12
In 63 Images	10
In 64 Images	13
In 65 Images	7
In 66 Images	8
In 67 Images	8
In 68 Images	11
In 69 Images	10
In 70 Images	9
In 71 Images	5
In 72 Images	14
In 73 Images	8
In 74 Images	9
In 75 Images	7
In 76 Images	2
In 77 Images	8
In 78 Images	8

In 79 Images	5
In 80 Images	4
In 81 Images	7
In 82 Images	2
In 83 Images	7
In 84 Images	3
In 85 Images	5
In 86 Images	4
In 87 Images	4
In 88 Images	2
In 89 Images	2
In 90 Images	6
In 91 Images	5
In 92 Images	3
In 93 Images	2
In 94 Images	2
In 95 Images	5
In 96 Images	2
In 97 Images	2
In 98 Images	4
In 99 Images	4
In 100 Images	2
In 102 Images	7
In 103 Images	5
In 104 Images	4
In 105 Images	2
In 106 Images	2
In 107 Images	6
In 108 Images	2
In 109 Images	3
In 111 Images	4
In 112 Images	2
In 113 Images	1
In 114 Images	2
In 115 Images	1
In 116 Images	2
In 117 Images	2
In 118 Images	1
In 119 Images	3
In 122 Images	1
In 124 Images	4
In 125 Images	4
In 126 Images	2
In 127 Images	1
In 128 Images	2
In 129 Images	1
In 130 Images	1
In 131 Images	2
In 132 Images	3
In 133 Images	1
In 134 Images	2
In 135 Images	1
In 136 Images	5
In 137 Images	2
In 138 Images	1
In 139 Images	2
In 142 Images	1
In 143 Images	2
In 144 Images	2

In 145 Images	2
In 146 Images	3
In 147 Images	2
In 148 Images	2
In 149 Images	2
In 150 Images	3
In 151 Images	1
In 152 Images	1
In 153 Images	2
In 155 Images	2
In 156 Images	2
In 157 Images	2
In 158 Images	2
In 159 Images	2
In 160 Images	2
In 161 Images	1
In 162 Images	2
In 163 Images	1
In 164 Images	2
In 165 Images	2
In 166 Images	1
In 168 Images	1
In 169 Images	1
In 170 Images	1
In 171 Images	3
In 172 Images	5
In 173 Images	1
In 175 Images	2
In 176 Images	1
In 177 Images	1
In 179 Images	1
In 180 Images	2
In 181 Images	4
In 182 Images	3
In 183 Images	1
In 188 Images	3
In 189 Images	1
In 190 Images	1
In 191 Images	4
In 195 Images	2
In 196 Images	1
In 198 Images	1
In 199 Images	1
In 200 Images	1
In 203 Images	1
In 204 Images	2
In 205 Images	2
In 206 Images	1
In 207 Images	2
In 215 Images	1
In 221 Images	2
In 225 Images	1
In 226 Images	1
In 229 Images	1
In 232 Images	1
In 236 Images	2
In 256 Images	1
In 266 Images	1



Uncertainty ellipses 100x magnified

Number of matches

25 105 211 317 423 529 635 741 847 953

Figure 5: Computed image positions with links between matched 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. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

## Relative camera position and orientation uncertainties



	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.003	0.003	0.002	0.088	0.014	0.036
Sigma	0.001	0.002	0.001	0.164	0.004	0.158

## 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
19 (3D)	0.020/ 0.020	-0.035	0.107	-0.021	1.960	8 / 8
20 (3D)	0.020/ 0.020	0.001	0.082	0.058	1.121	8 / 8
21 (3D)	0.020/ 0.020	0.018	0.047	0.007	2.196	8 / 8
24 (3D)	0.020/ 0.020	-0.046	0.011	0.033	2.288	8 / 8
6 (3D)	0.020/ 0.020	-0.025	-0.002	0.036	2.400	8 / 8
7 (3D)	0.020/ 0.020	-0.035	-0.026	0.019	1.242	8 / 8
8 (3D)	0.020/ 0.020	-0.043	-0.026	0.038	1.970	8 / 8
9 (3D)	0.020/ 0.020	-0.026	0.018	0.008	2.593	8 / 8
10 (3D)	0.020/ 0.020	-0.020	-0.014	0.031	1.700	8 / 8
26 (3D)	0.020/ 0.020	-0.025	-0.129	-0.067	1.558	8 / 8
27 (3D)	0.020/ 0.020	-0.251	-0.108	-0.028	2.867	8 / 8
14 (3D)	0.020/ 0.020	0.204	0.070	-0.021	3.009	8 / 8
16 (3D)	0.020/ 0.020	0.267	-0.146	0.005	2.203	8 / 8
28 (3D)	0.020/ 0.020	0.036	-0.077	-0.024	2.384	8 / 8
17 (3D)	0.020/ 0.020	-0.270	0.146	-0.003	2.186	5 / 5
18 (3D)	0.020/ 0.020	-0.138	0.144	0.054	2.560	7 / 7
4 (3D)	0.020/ 0.020	-0.068	0.051	-0.018	2.135	8 / 8
5 (3D)	0.020/ 0.020	-0.009	0.052	0.008	1.496	5 / 5
22 (3D)	0.020/ 0.020	0.029	0.088	0.046	2.496	8 / 8
1 (3D)	0.020/ 0.020	0.134	-0.029	-0.043	2.776	8 / 8
2 (3D)	0.020/ 0.020	0.104	-0.015	0.076	1.733	8 / 8
3 (3D)	0.020/ 0.020	-0.056	-0.108	-0.065	1.981	8 / 8
13 (3D)	0.020/ 0.020	0.079	0.070	-0.007	4.210	8 / 8
30 (3D)	0.020/ 0.020	-0.127	0.015	-0.002	2.541	8 / 8
29 (3D)	0.020/ 0.020	-0.165	-0.053	0.020	1.571	8 / 8
23 (3D)	0.020/ 0.020	0.092	0.118	-0.107	2.410	5 / 8
25 (3D)	0.020/ 0.020	-0.080	-0.064	0.012	1.320	8 / 8
11 (3D)	0.020/ 0.020	0.029	-0.052	0.002	2.288	8 / 8
12 (3D)	0.020/ 0.020	0.010	-0.010	-0.008	1.938	8 / 8
15 (3D)	0.020/ 0.020	0.264	-0.107	-0.050	1.715	8 / 8
<b>Mean [m]</b>		-0.005051	0.001735	-0.000337		
<b>Sigma [m]</b>		0.122500	0.079788	0.039737		
<b>RMS Error [m]</b>		0.122604	0.079807	0.039738		

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

## Initial Processing Details



## System Information



Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-9700K CPU @ 3.60GHz RAM: 16GB GPU: Intel(R) UHD Graphics 630 (Driver: 27.20.100.8681), NVIDIA GeForce RTX2070 (Driver: 27.21.14.6611)
Operating System	Windows 10 Home, 64-bit

## Coordinate Systems



Ground Control Point (GCP) Coordinate System	Arbitrary (m)
Output Coordinate System	Arbitrary (m)

## Processing Options



Detected Template	No Template Available
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Free Flight or Terrestrial
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: yes
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

## Point Cloud Densification details



### Processing Options



Image Scale	1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: no
LOD	Generated: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	01h:11m:47s
Time for Point Cloud Classification	NA
Time for 3D Textured Mesh Generation	10m:45s

### Results



Number of Processed Clusters	6
Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	4437202
Average Density (per m <sup>3</sup> )	1687.56

# Quality Report



Generated with Pix4Dmapper version 4.6.4



**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	50%_ugeom_mgcp_8
Processed	2021-05-12 01:24:00
Camera Model Name(s)	Insta360Pro_1.9_7680x3840 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	0.73 cm / 0.29 in
Time for Initial Processing (without report)	01h:07m:16s

## Quality Check



<b>Images</b>	median of 24902 keypoints per image	
<b>Dataset</b>	537 out of 537 images calibrated (100%), all images enabled	
<b>Camera Optimization</b>	0% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
<b>Matching</b>	median of 157.081 matches per calibrated image	
<b>Georeferencing</b>	yes, 30 GCPs (30 3D), mean RMS error = 0.111 m	

## Calibration Details



Number of Calibrated Images	537 out of 537
Number of Geolocated Images	0 out of 537

### Initial Image Positions

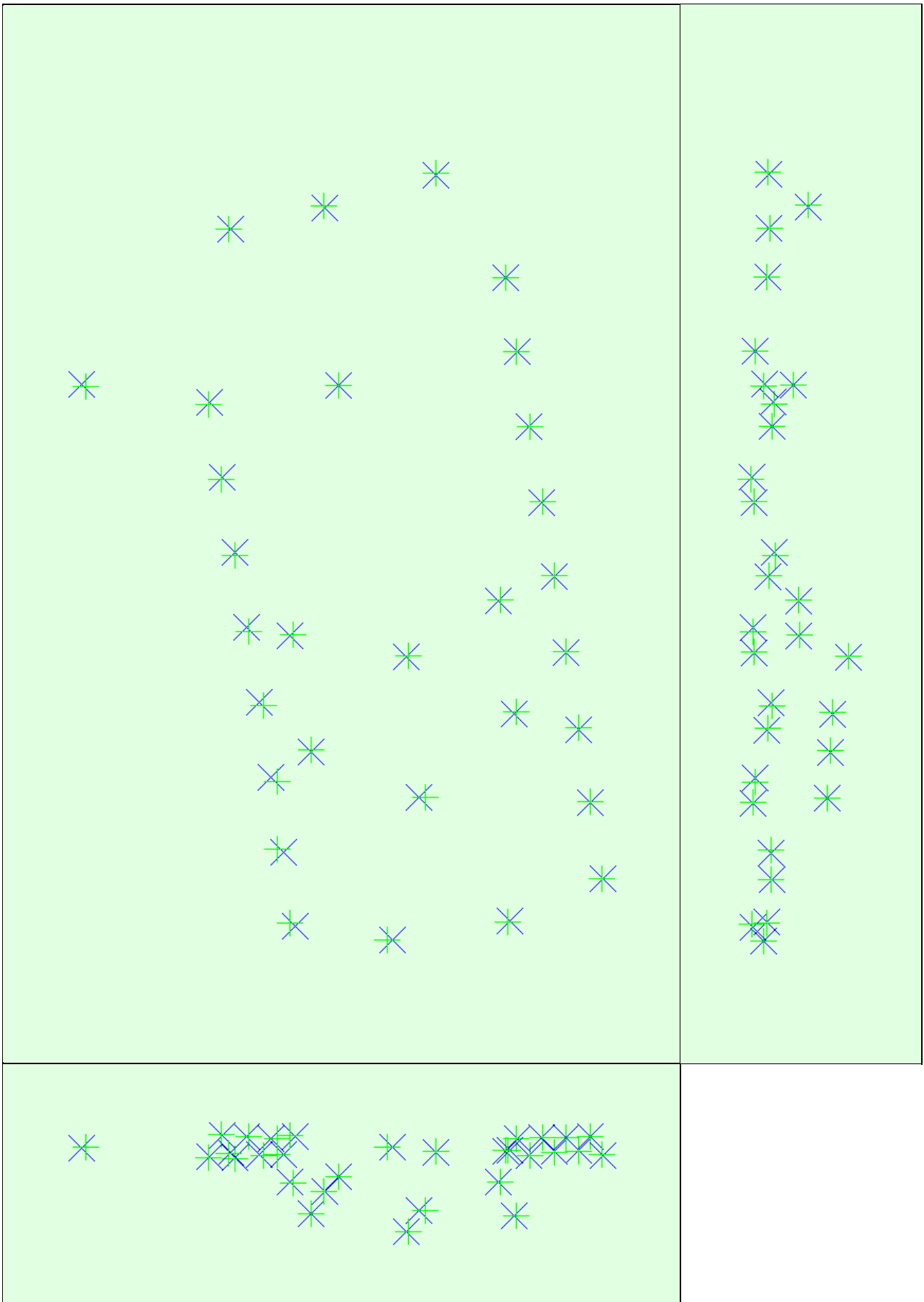


The preview is not generated for images without geolocation.

### Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions







Uncertainty ellipses 50x magnified

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). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

## ? Absolute camera position and orientation uncertainties



	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.005	0.005	0.004	0.132	0.018	0.055
Sigma	0.001	0.001	0.001	0.280	0.004	0.252

## Bundle Block Adjustment Details



Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	83417
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	11831
Mean Reprojection Error [pixels]	0.590

## ? Internal Camera Parameters



EXIF ID: Insta360Pro\_1.9\_7680x3840

It is a spherical camera and it doesn't have internal parameters.



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, on average, more than 16 ATPs have been extracted at the pixel location. Black indicates that, on average, 0 ATPs have been extracted at the 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. The scale bar indicates the magnitude of 1 pixel error.

## ? 2D Keypoints Table



	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	24902	157
Mn	16023	25
Max	30838	275
Mean	24238	155

## ? 3D Points from 2D Keypoint Matches



	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	5188
In 3 Images	2930
In 4 Images	1049
In 5 Images	522
In 6 Images	306
In 7 Images	208
In 8 Images	165
In 9 Images	113
In 10 Images	95
In 11 Images	91
In 12 Images	70
In 13 Images	63
In 14 Images	76
In 15 Images	44
In 16 Images	55
In 17 Images	50
In 18 Images	41
In 19 Images	31

In 20 Images	33
In 21 Images	22
In 22 Images	27
In 23 Images	34
In 24 Images	24
In 25 Images	25
In 26 Images	26
In 27 Images	21
In 28 Images	25
In 29 Images	18
In 30 Images	13
In 31 Images	12
In 32 Images	13
In 33 Images	18
In 34 Images	13
In 35 Images	10
In 36 Images	11
In 37 Images	16
In 38 Images	8
In 39 Images	10
In 40 Images	15
In 41 Images	14
In 42 Images	10
In 43 Images	10
In 44 Images	8
In 45 Images	10
In 46 Images	7
In 47 Images	9
In 48 Images	7
In 49 Images	5
In 50 Images	3
In 51 Images	8
In 52 Images	5
In 53 Images	12
In 54 Images	4
In 55 Images	3
In 56 Images	4
In 57 Images	7
In 58 Images	6
In 59 Images	3
In 60 Images	5
In 61 Images	3
In 62 Images	5
In 63 Images	3
In 64 Images	2
In 65 Images	5
In 66 Images	3
In 67 Images	3
In 68 Images	1
In 69 Images	4
In 70 Images	1
In 72 Images	4
In 73 Images	2
In 74 Images	4
In 75 Images	5
In 76 Images	1
In 77 Images	2
In 79 Images	3
In 81 Images	1

In 82 Images	3
In 83 Images	2
In 84 Images	1
In 85 Images	2
In 86 Images	1
In 87 Images	1
In 88 Images	2
In 89 Images	2
In 91 Images	5
In 92 Images	3
In 93 Images	1
In 94 Images	2
In 95 Images	2
In 96 Images	1
In 97 Images	3
In 98 Images	1
In 99 Images	3
In 100 Images	2
In 102 Images	3
In 104 Images	1
In 105 Images	3
In 107 Images	1
In 108 Images	2
In 110 Images	1
In 112 Images	2
In 114 Images	2
In 117 Images	3
In 118 Images	3
In 120 Images	1
In 121 Images	1
In 122 Images	2
In 124 Images	2
In 125 Images	1
In 126 Images	1
In 128 Images	1
In 131 Images	2
In 132 Images	4
In 133 Images	1
In 137 Images	1
In 138 Images	2
In 140 Images	1
In 142 Images	1
In 143 Images	3
In 144 Images	1
In 147 Images	2
In 148 Images	1
In 150 Images	1
In 151 Images	1
In 154 Images	2
In 155 Images	2
In 158 Images	1
In 159 Images	1
In 160 Images	1
In 161 Images	1
In 162 Images	1
In 164 Images	1
In 168 Images	1
In 171 Images	1
In 172 Images	2

In 176 Images	1
In 179 Images	2
In 180 Images	1
In 184 Images	1
In 186 Images	1
In 187 Images	3
In 193 Images	1
In 194 Images	1
In 196 Images	1
In 201 Images	4
In 205 Images	2
In 206 Images	1
In 208 Images	1
In 214 Images	1
In 216 Images	2
In 217 Images	2
In 223 Images	1
In 225 Images	1
In 226 Images	1
In 227 Images	2
In 228 Images	3
In 230 Images	1
In 231 Images	1
In 232 Images	1
In 238 Images	1
In 244 Images	3
In 245 Images	1
In 247 Images	1
In 258 Images	1
In 259 Images	1
In 260 Images	1
In 296 Images	1

 **2D Keypoint Matches**



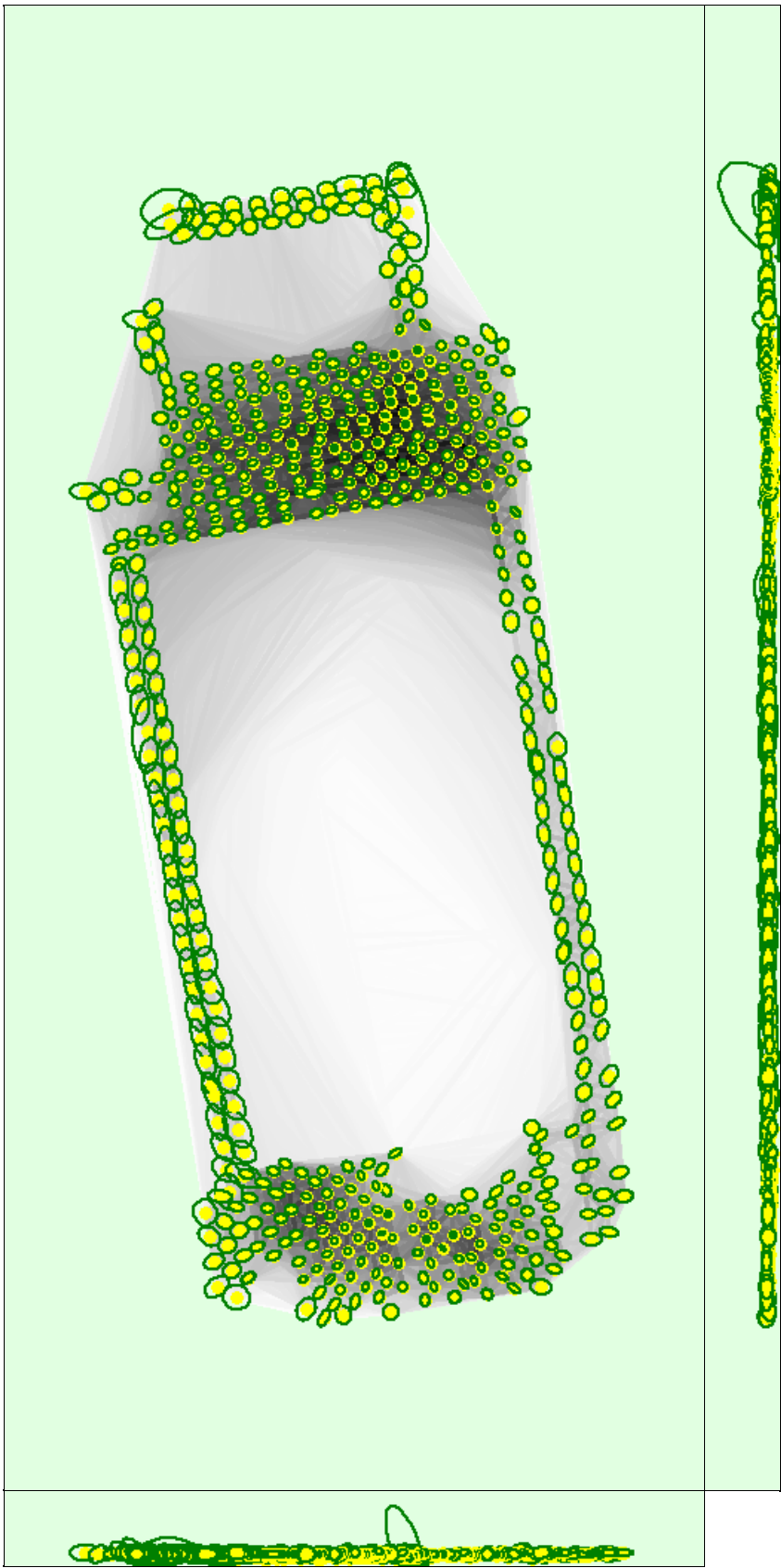


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

**Relative camera position and orientation uncertainties**

X[m]	Y[m]	Z[m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
------	------	------	----------------	--------------	----------------

Mean	0.003	0.003	0.002	0.099	0.016	0.041
Sigma	0.001	0.002	0.001	0.204	0.005	0.181

## 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
19 (3D)	0.020/ 0.020	-0.090	0.234	-0.014	3.351	8 / 8
20 (3D)	0.020/ 0.020	-0.014	0.199	0.047	2.215	8 / 8
21 (3D)	0.020/ 0.020	0.054	0.150	-0.034	3.077	8 / 8
24 (3D)	0.020/ 0.020	-0.027	-0.001	-0.001	2.731	8 / 8
6 (3D)	0.020/ 0.020	-0.013	-0.044	0.019	3.751	8 / 8
7 (3D)	0.020/ 0.020	-0.029	-0.064	0.023	1.996	8 / 8
8 (3D)	0.020/ 0.020	-0.029	-0.055	0.056	2.666	8 / 8
9 (3D)	0.020/ 0.020	-0.016	-0.039	0.015	4.546	8 / 8
10 (3D)	0.020/ 0.020	-0.010	-0.080	0.036	2.713	8 / 8
26 (3D)	0.020/ 0.020	-0.110	-0.129	-0.043	1.958	8 / 8
27 (3D)	0.020/ 0.020	-0.390	-0.049	0.013	3.174	8 / 8
14 (3D)	0.020/ 0.020	0.270	0.030	-0.019	5.260	8 / 8
16 (3D)	0.020/ 0.020	0.388	-0.218	0.005	5.352	8 / 8
28 (3D)	0.020/ 0.020	-0.009	-0.130	-0.019	2.381	8 / 8
17 (3D)	0.020/ 0.020	-0.365	0.277	0.010	3.048	5 / 5
18 (3D)	0.020/ 0.020	-0.232	0.214	0.065	4.592	7 / 7
4 (3D)	0.020/ 0.020	-0.026	0.016	-0.040	2.107	8 / 8
5 (3D)	0.020/ 0.020	0.030	0.005	-0.012	1.657	5 / 5
22 (3D)	0.020/ 0.020	0.064	0.138	0.054	5.394	8 / 8
1 (3D)	0.020/ 0.020	0.129	-0.015	0.014	5.592	8 / 8
2 (3D)	0.020/ 0.020	0.068	-0.147	0.039	7.323	8 / 8
3 (3D)	0.020/ 0.020	0.054	-0.144	-0.062	8.248	8 / 8
13 (3D)	0.020/ 0.020	0.121	0.058	-0.024	6.377	8 / 8
30 (3D)	0.020/ 0.020	-0.135	-0.024	-0.008	2.502	8 / 8
29 (3D)	0.020/ 0.020	-0.222	-0.063	0.022	1.883	8 / 8
23 (3D)	0.020/ 0.020	-0.242	0.173	-0.071	6.044	8 / 8
25 (3D)	0.020/ 0.020	-0.159	-0.068	0.019	1.865	8 / 8
11 (3D)	0.020/ 0.020	0.039	-0.064	-0.011	3.727	8 / 8
12 (3D)	0.020/ 0.020	0.038	-0.011	-0.027	2.742	8 / 8
15 (3D)	0.020/ 0.020	0.344	-0.168	-0.043	2.301	8 / 8
<b>Mean [m]</b>		-0.017326	-0.000771	0.000255		
<b>Sigma [m]</b>		0.172995	0.126089	0.034554		
<b>RMS Error [m]</b>		0.173861	0.126091	0.034555		

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

## Initial Processing Details


### System Information

Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-9700K CPU @ 3.60GHz RAM: 16GB GPU: Intel(R) UHD Graphics 630 (Driver: 27.20.100.8681), NVIDIA GeForce RTX2070 (Driver: 27.21.14.6611)
----------	---

## Coordinate Systems

Ground Control Point (GCP) Coordinate System	Arbitrary (m)
Output Coordinate System	Arbitrary (m)

## Processing Options

Detected Template	 3D Models
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Free Flight or Terrestrial
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

## Point Cloud Densification details

### Processing Options

Image Scale	1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: no
LOD	Generated: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	01h:58m:58s
Time for Point Cloud Classification	NA
Time for 3D Textured Mesh Generation	10m:24s

### Results

Number of Processed Clusters	4
Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	3792811
Average Density (per m <sup>3</sup> )	1891.86



# Quality Report



Generated with Pix4Dmapper version 4.6.4



**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	100%_mgeom_mgcp_8
Processed	2021-04-30 20:05:58
Camera Model Name(s)	Insta360Pro_1.9_7680x3840 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	0.58 cm / 0.23 in

## Quality Check



<b>Images</b>	median of 24911 keypoints per image	
<b>Dataset</b>	1073 out of 1074 images calibrated (99%), all images enabled	
<b>Camera Optimization</b>	0% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
<b>Matching</b>	median of 171.735 matches per calibrated image	
<b>Georeferencing</b>	yes, 30 GCPs (30 3D), mean RMS error = 0.321 m	

## Calibration Details



Number of Calibrated Images	1073 out of 1074
Number of Geolocated Images	0 out of 1074

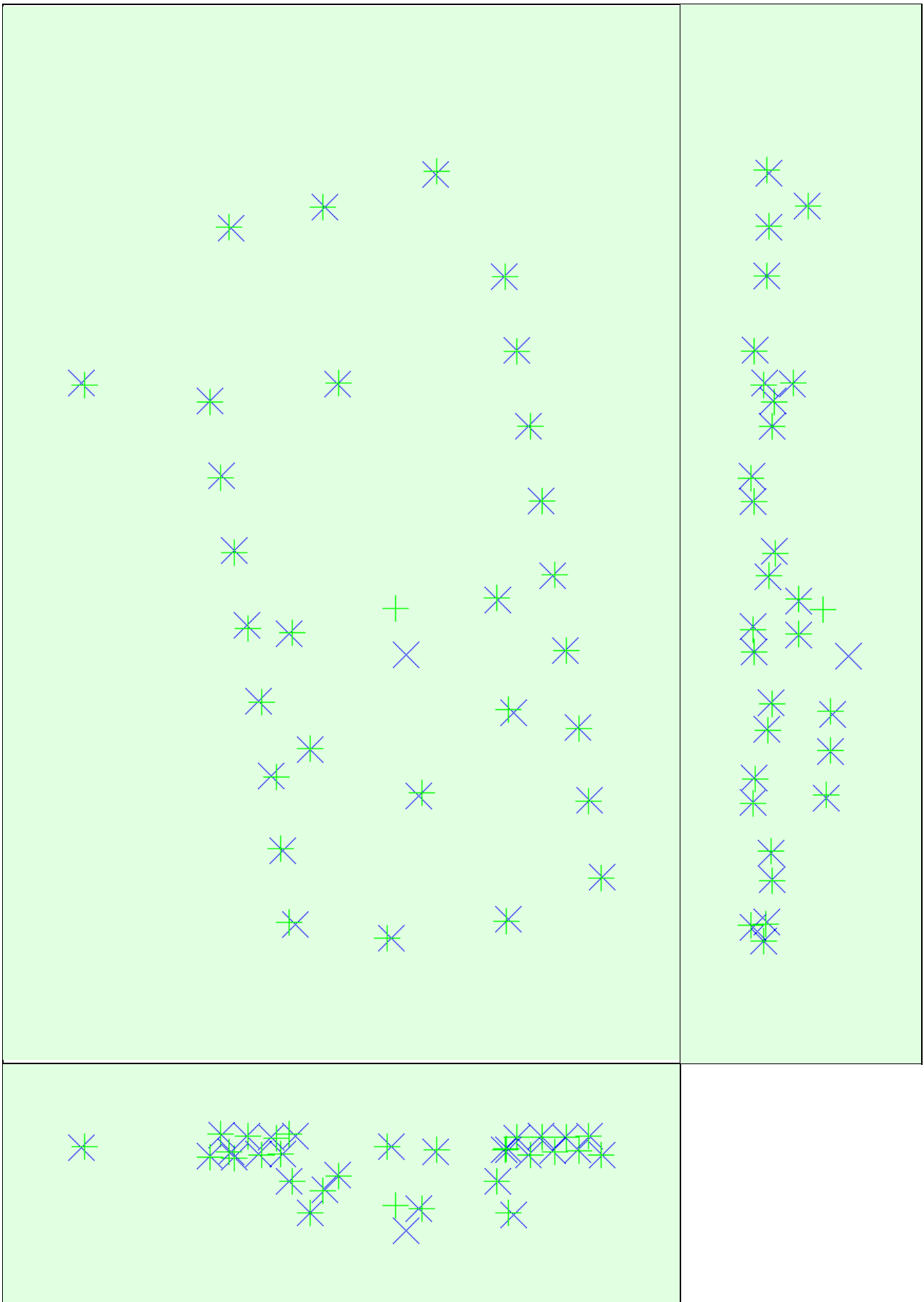
### Initial Image Positions



The preview is not generated for images without geolocation.

### Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions





Uncertainty ellipses 50x magnified

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). Red dots indicate disabled or uncalibrated images. Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.004	0.004	0.004	0.123	0.015	0.059
Sigma	0.001	0.001	0.001	0.316	0.004	0.302

## Bundle Block Adjustment Details

Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	185666
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	22306
Mean Reprojection Error [pixels]	0.604

### Internal Camera Parameters



EXIF ID: Insta360Pro\_1.9\_7680x3840

It is a spherical camera and it doesn't have internal parameters.



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, on average, more than 16 ATPs have been extracted at the pixel location. Black indicates that, on average, 0 ATPs have been extracted at the 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. The scale bar indicates the magnitude of 1 pixel error.

### 2D Keypoints Table

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	24911	172
Mn	15697	23
Max	30913	314
Mean	24236	173

### 3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	7168
In 3 Images	5348
In 4 Images	2989
In 5 Images	1537
In 6 Images	892
In 7 Images	609
In 8 Images	457
In 9 Images	368
In 10 Images	274
In 11 Images	236
In 12 Images	186
In 13 Images	183
In 14 Images	152
In 15 Images	109
In 16 Images	118
In 17 Images	86
In 18 Images	75
In 19 Images	64

In 20 Images	57
In 21 Images	64
In 22 Images	74
In 23 Images	49
In 24 Images	38
In 25 Images	47
In 26 Images	40
In 27 Images	31
In 28 Images	37
In 29 Images	32
In 30 Images	24
In 31 Images	27
In 32 Images	30
In 33 Images	29
In 34 Images	23
In 35 Images	22
In 36 Images	17
In 37 Images	25
In 38 Images	26
In 39 Images	22
In 40 Images	20
In 41 Images	24
In 42 Images	13
In 43 Images	15
In 44 Images	13
In 45 Images	16
In 46 Images	16
In 47 Images	21
In 48 Images	15
In 49 Images	15
In 50 Images	11
In 51 Images	18
In 52 Images	15
In 53 Images	13
In 54 Images	14
In 55 Images	13
In 56 Images	12
In 57 Images	7
In 58 Images	15
In 59 Images	6
In 60 Images	9
In 61 Images	11
In 62 Images	13
In 63 Images	7
In 64 Images	7
In 65 Images	5
In 66 Images	6
In 67 Images	8
In 68 Images	7
In 69 Images	5
In 70 Images	10
In 71 Images	9
In 72 Images	13
In 73 Images	6
In 74 Images	4
In 75 Images	5
In 76 Images	9
In 77 Images	5
In 78 Images	2

In 79 Images	9
In 80 Images	3
In 81 Images	6
In 82 Images	4
In 83 Images	6
In 84 Images	1
In 85 Images	6
In 86 Images	2
In 87 Images	7
In 88 Images	1
In 89 Images	3
In 90 Images	3
In 91 Images	2
In 92 Images	4
In 93 Images	4
In 94 Images	2
In 95 Images	3
In 96 Images	4
In 97 Images	3
In 98 Images	1
In 99 Images	1
In 100 Images	3
In 101 Images	4
In 102 Images	2
In 103 Images	4
In 104 Images	3
In 105 Images	1
In 106 Images	2
In 107 Images	1
In 108 Images	2
In 109 Images	2
In 110 Images	3
In 112 Images	3
In 113 Images	4
In 114 Images	4
In 116 Images	1
In 117 Images	3
In 118 Images	3
In 119 Images	3
In 121 Images	5
In 122 Images	3
In 124 Images	2
In 125 Images	1
In 127 Images	1
In 128 Images	2
In 129 Images	1
In 130 Images	2
In 131 Images	3
In 132 Images	1
In 134 Images	3
In 135 Images	1
In 136 Images	1
In 137 Images	2
In 138 Images	1
In 141 Images	1
In 143 Images	4
In 144 Images	2
In 145 Images	1
In 146 Images	1

In 147 Images	1
In 148 Images	2
In 149 Images	3
In 150 Images	3
In 151 Images	2
In 152 Images	3
In 153 Images	1
In 154 Images	3
In 157 Images	3
In 159 Images	1
In 165 Images	2
In 168 Images	1
In 170 Images	1
In 171 Images	1
In 172 Images	1
In 173 Images	1
In 174 Images	2
In 175 Images	1
In 176 Images	1
In 179 Images	1
In 181 Images	1
In 182 Images	1
In 183 Images	3
In 184 Images	1
In 188 Images	1
In 189 Images	1
In 190 Images	2
In 191 Images	1
In 192 Images	2
In 195 Images	3
In 204 Images	1
In 208 Images	3
In 209 Images	2
In 212 Images	1
In 214 Images	2
In 215 Images	1
In 217 Images	1
In 218 Images	1
In 219 Images	1
In 220 Images	3
In 223 Images	1
In 224 Images	1
In 226 Images	1
In 228 Images	1
In 229 Images	1
In 232 Images	2
In 234 Images	1
In 239 Images	1
In 240 Images	1
In 241 Images	1
In 246 Images	1
In 251 Images	1
In 252 Images	1
In 253 Images	2
In 256 Images	1
In 259 Images	1
In 260 Images	1
In 261 Images	1
In 262 Images	2

In 263 Images	1
In 267 Images	1
In 274 Images	1
In 278 Images	1
In 280 Images	1
In 286 Images	1
In 287 Images	1
In 288 Images	1
In 289 Images	1
In 290 Images	1
In 294 Images	1
In 300 Images	1
In 301 Images	2
In 304 Images	1
In 307 Images	1
In 310 Images	1
In 321 Images	1
In 323 Images	1
In 327 Images	1
In 337 Images	1
In 343 Images	1
In 347 Images	1
In 352 Images	1
In 356 Images	1
In 357 Images	1
In 370 Images	1
In 371 Images	1
In 379 Images	1
In 381 Images	1
In 387 Images	1
In 388 Images	1
In 395 Images	1
In 402 Images	1
In 406 Images	1
In 408 Images	1
In 409 Images	1
In 410 Images	2
In 412 Images	1
In 416 Images	1
In 423 Images	1
In 424 Images	1
In 427 Images	1
In 432 Images	1
In 436 Images	2
In 442 Images	1
In 443 Images	2
In 445 Images	1
In 451 Images	1
In 456 Images	1
In 460 Images	1
In 480 Images	1
In 487 Images	1
In 500 Images	1
In 508 Images	1
In 514 Images	1

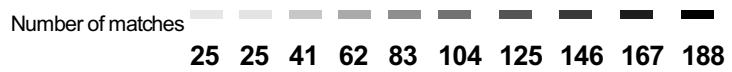
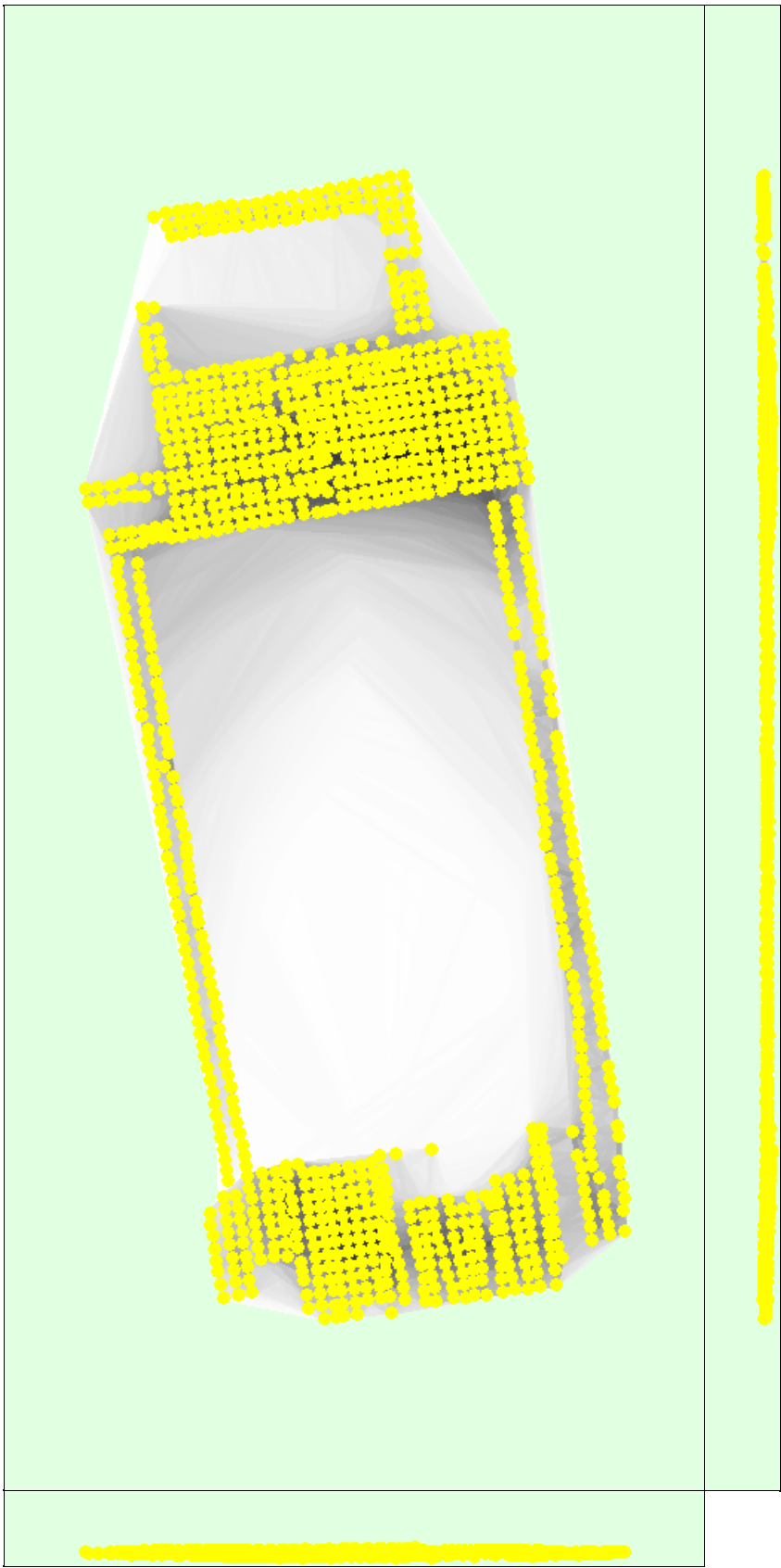


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images.

## 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
19 (3D)	0.020/ 0.020	-0.083	0.144	-0.001	5.745	8 / 8
20 (3D)	0.020/ 0.020	0.025	0.133	0.076	7.417	8 / 8
21 (3D)	0.020/ 0.020	0.090	0.125	-0.061	6.916	8 / 8
24 (3D)	0.020/ 0.020	-0.043	-0.014	0.028	1.847	8 / 8
6 (3D)	0.020/ 0.020	-0.084	0.011	0.034	3.360	8 / 8
7 (3D)	0.020/ 0.020	-0.059	-0.011	0.041	2.381	8 / 8
8 (3D)	0.020/ 0.020	-0.065	-0.002	0.044	2.448	8 / 8
9 (3D)	0.020/ 0.020	-0.067	0.009	-0.002	6.758	8 / 8
10 (3D)	0.020/ 0.020	-0.033	0.019	0.049	4.591	8 / 8
26 (3D)	0.020/ 0.020	0.272	-0.158	-0.160	3.144	8 / 8
27 (3D)	0.020/ 0.020	-0.222	-0.216	-0.040	1.466	8 / 8
14 (3D)	0.020/ 0.020	0.262	0.013	-0.009	5.345	8 / 8
16 (3D)	0.020/ 0.020	0.160	-0.142	0.004	7.071	7 / 7
28 (3D)	0.020/ 0.020	0.012	-0.117	0.014	2.072	8 / 8
17 (3D)	0.020/ 0.020	-0.327	0.062	0.042	4.940	8 / 8
18 (3D)	0.020/ 0.020	-0.170	0.111	0.060	6.979	8 / 8
4 (3D)	0.020/ 0.020	-0.047	0.007	-0.041	2.216	8 / 8
5 (3D)	0.020/ 0.020	-0.032	0.023	-0.028	3.709	8 / 8
22 (3D)	0.020/ 0.020	-0.011	0.079	0.063	3.165	8 / 8
1 (3D)	0.020/ 0.020	0.124	-0.074	-0.023	5.672	8 / 8
2 (3D)	0.020/ 0.020	0.097	-0.025	0.049	1.542	8 / 8
3 (3D)	0.020/ 0.020	-0.038	-0.167	-0.092	6.225	8 / 8
13 (3D)	0.020/ 0.020	0.137	0.138	-0.021	11.387	8 / 8
30 (3D)	0.020/ 0.020	0.614	-2.769	-1.498	1.441	8 / 8
29 (3D)	0.020/ 0.020	-0.210	-0.077	0.031	1.732	8 / 8
23 (3D)	0.020/ 0.020	-0.205	0.162	-0.057	3.427	8 / 8
25 (3D)	0.020/ 0.020	0.020	-0.094	0.007	1.019	8 / 8
11 (3D)	0.020/ 0.020	0.049	0.029	0.011	2.620	8 / 8
12 (3D)	0.020/ 0.020	0.061	0.074	-0.003	2.219	8 / 8
15 (3D)	0.020/ 0.020	0.335	-0.084	-0.092	7.301	8 / 8
<b>Mean [m]</b>		0.018701	-0.093699	-0.052541		
<b>Sigma [m]</b>		0.183502	0.506385	0.273341		
<b>RMS Error [m]</b>		0.184452	0.514981	0.278345		

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

## Initial Processing Details



### System Information



Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-9700K CPU @ 3.60GHz RAM: 16GB GPU: Intel(R) UHD Graphics 630 (Driver: 27.20.100.8681), NVIDIA GeForce RTX2070 (Driver: 27.21.14.6611)
Operating System	Windows 10 Home, 64-bit

### Coordinate Systems



Ground Control Point (GCP) Coordinate System	Arbitrary (m)
Output Coordinate System	Arbitrary (m)

## Processing Options



Detected Template	No Template Available
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Free Flight or Terrestrial
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: yes
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

## Point Cloud Densification details



### Processing Options



Image Scale	1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: no
LOD	Generated: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	04h:49m:41s
Time for Point Cloud Classification	NA
Time for 3D Textured Mesh Generation	20m:38s

### Results



Number of Processed Clusters	7
Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	6645582
Average Density (per m <sup>3</sup> )	3398.11

# Quality Report



Generated with Pix4Dmapper version 4.6.4



**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	100%_ugeom_mgcp_8
Processed	2021-05-05 07:16:01
Camera Model Name(s)	Insta360Pro_1.9_7680x3840 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	0.71 cm / 0.28 in
Time for Initial Processing (without report)	06h:07m:51s

## Quality Check



<b>Images</b>	median of 24911 keypoints per image	
<b>Dataset</b>	1074 out of 1074 images calibrated (100%), all images enabled	
<b>Camera Optimization</b>	0% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
<b>Matching</b>	median of 6949.27 matches per calibrated image	
<b>Georeferencing</b>	yes, 29 GCPs (29 3D), mean RMS error = 0.337 m	

## Calibration Details



Number of Calibrated Images	1074 out of 1074
Number of Geolocated Images	0 out of 1074

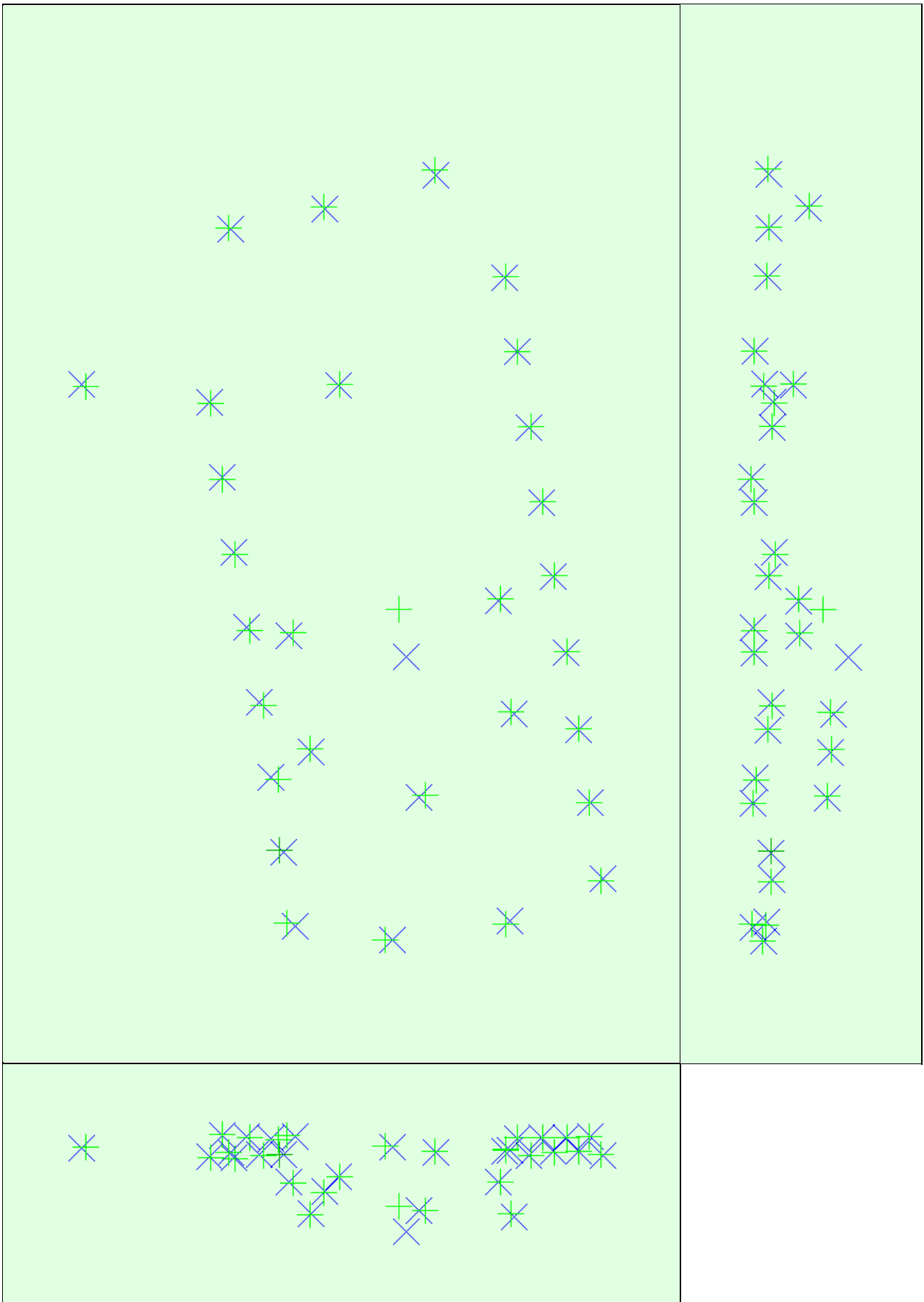
### Initial Image Positions



The preview is not generated for images without geolocation.

### Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions





Uncertainty ellipses 50x magnified

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). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

## ? Absolute camera position and orientation uncertainties



	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.004	0.004	0.004	0.113	0.014	0.058
Sigma	0.001	0.001	0.001	0.250	0.003	0.325

## Bundle Block Adjustment Details



Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	7232832
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	3068533
Mean Reprojection Error [pixels]	0.487

## ? Internal Camera Parameters



EXIF ID: Insta360Pro\_1.9\_7680x3840

It is a spherical camera and it doesn't have internal parameters.



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, on average, more than 16 ATPs have been extracted at the pixel location. Black indicates that, on average, 0 ATPs have been extracted at the 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. The scale bar indicates the magnitude of 1 pixel error.

## ? 2D Keypoints Table



	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	24911	6949
Mn	15697	620
Max	30913	9578
Mean	24235	6734

## ? 3D Points from 2D Keypoint Matches



	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	2686249
In 3 Images	224942
In 4 Images	68209
In 5 Images	30713
In 6 Images	16747
In 7 Images	9928
In 8 Images	6626
In 9 Images	4588
In 10 Images	3483
In 11 Images	2506
In 12 Images	1903
In 13 Images	1566
In 14 Images	1155
In 15 Images	1055
In 16 Images	861
In 17 Images	712
In 18 Images	625
In 19 Images	585

In 20 Images	471
In 21 Images	400
In 22 Images	348
In 23 Images	276
In 24 Images	275
In 25 Images	283
In 26 Images	236
In 27 Images	207
In 28 Images	189
In 29 Images	163
In 30 Images	165
In 31 Images	133
In 32 Images	132
In 33 Images	115
In 34 Images	128
In 35 Images	105
In 36 Images	102
In 37 Images	81
In 38 Images	101
In 39 Images	83
In 40 Images	80
In 41 Images	78
In 42 Images	65
In 43 Images	51
In 44 Images	55
In 45 Images	57
In 46 Images	44
In 47 Images	52
In 48 Images	54
In 49 Images	43
In 50 Images	42
In 51 Images	33
In 52 Images	34
In 53 Images	37
In 54 Images	47
In 55 Images	28
In 56 Images	39
In 57 Images	32
In 58 Images	28
In 59 Images	36
In 60 Images	22
In 61 Images	26
In 62 Images	26
In 63 Images	17
In 64 Images	26
In 65 Images	34
In 66 Images	22
In 67 Images	23
In 68 Images	17
In 69 Images	21
In 70 Images	18
In 71 Images	15
In 72 Images	17
In 73 Images	18
In 74 Images	18
In 75 Images	15
In 76 Images	12
In 77 Images	17
In 78 Images	17

In 79 Images	12
In 80 Images	8
In 81 Images	11
In 82 Images	14
In 83 Images	6
In 84 Images	10
In 85 Images	8
In 86 Images	12
In 87 Images	11
In 88 Images	14
In 89 Images	13
In 90 Images	14
In 91 Images	12
In 92 Images	13
In 93 Images	3
In 94 Images	11
In 95 Images	9
In 96 Images	8
In 97 Images	9
In 98 Images	6
In 99 Images	6
In 100 Images	10
In 101 Images	9
In 102 Images	6
In 103 Images	12
In 104 Images	9
In 105 Images	4
In 106 Images	3
In 107 Images	5
In 108 Images	2
In 109 Images	4
In 110 Images	6
In 111 Images	4
In 112 Images	2
In 113 Images	6
In 114 Images	7
In 115 Images	7
In 116 Images	9
In 117 Images	6
In 118 Images	3
In 119 Images	4
In 120 Images	3
In 121 Images	4
In 122 Images	3
In 123 Images	6
In 124 Images	5
In 125 Images	7
In 126 Images	10
In 127 Images	3
In 128 Images	3
In 129 Images	4
In 130 Images	1
In 131 Images	7
In 132 Images	3
In 133 Images	3
In 134 Images	3
In 135 Images	1
In 136 Images	1
In 137 Images	3

In 138 Images	7
In 139 Images	1
In 140 Images	6
In 141 Images	6
In 142 Images	2
In 143 Images	4
In 144 Images	3
In 145 Images	3
In 146 Images	5
In 147 Images	4
In 148 Images	6
In 149 Images	2
In 150 Images	4
In 151 Images	3
In 152 Images	1
In 154 Images	5
In 155 Images	2
In 156 Images	2
In 157 Images	1
In 158 Images	3
In 159 Images	4
In 160 Images	3
In 161 Images	1
In 162 Images	5
In 164 Images	4
In 165 Images	1
In 166 Images	1
In 167 Images	1
In 168 Images	1
In 169 Images	2
In 171 Images	1
In 172 Images	2
In 173 Images	3
In 174 Images	1
In 175 Images	2
In 176 Images	3
In 177 Images	1
In 178 Images	2
In 179 Images	3
In 180 Images	1
In 181 Images	5
In 182 Images	3
In 183 Images	1
In 184 Images	3
In 185 Images	1
In 186 Images	3
In 187 Images	2
In 188 Images	1
In 189 Images	3
In 190 Images	1
In 191 Images	1
In 192 Images	1
In 193 Images	3
In 194 Images	2
In 195 Images	3
In 196 Images	2
In 197 Images	1
In 198 Images	2
In 200 Images	2



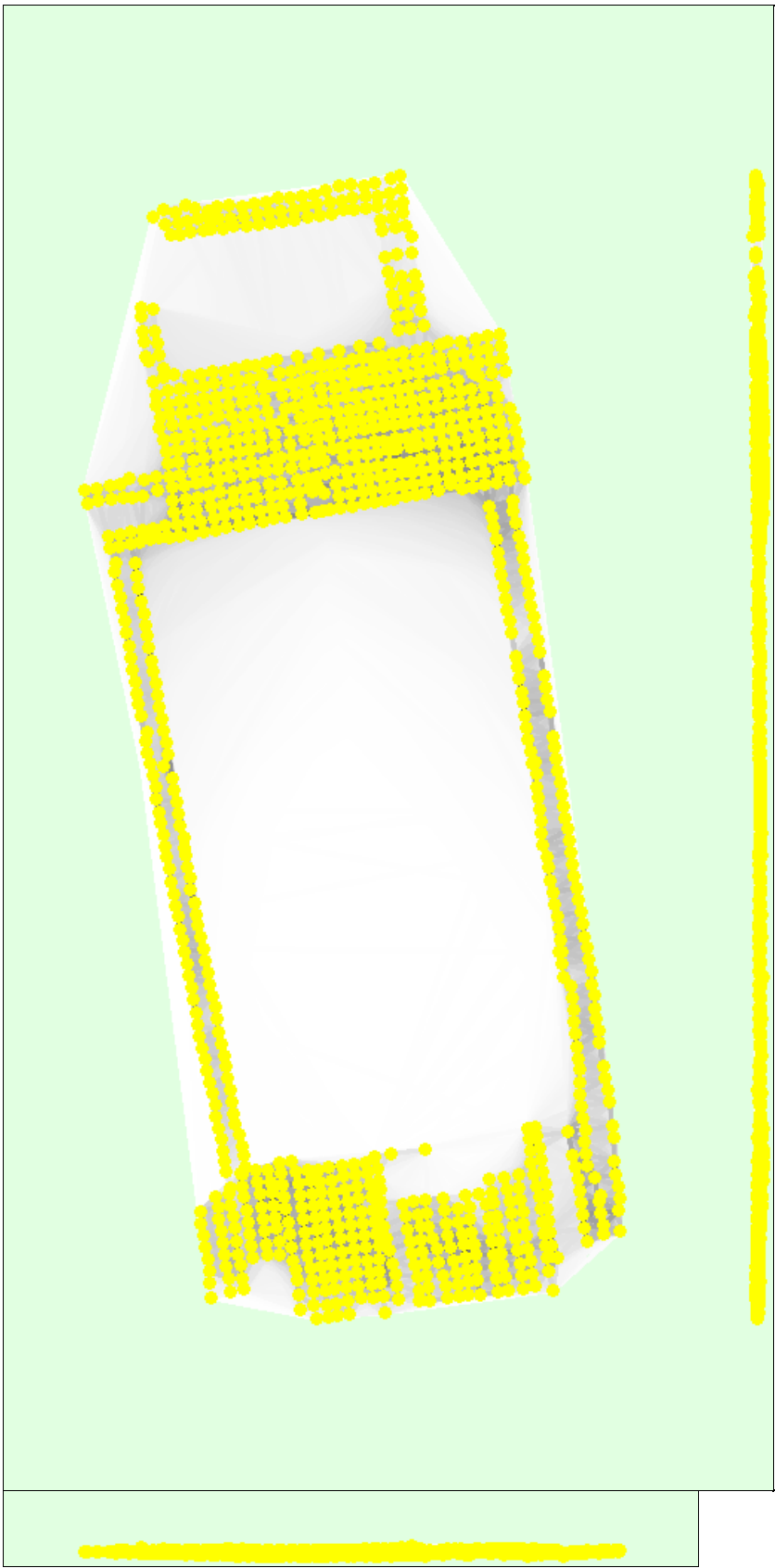
In 201 Images	3
In 202 Images	2
In 203 Images	2
In 204 Images	1
In 205 Images	2
In 206 Images	3
In 207 Images	3
In 209 Images	2
In 210 Images	1
In 211 Images	1
In 212 Images	1
In 213 Images	6
In 214 Images	1
In 215 Images	1
In 216 Images	4
In 217 Images	1
In 218 Images	1
In 220 Images	2
In 221 Images	2
In 222 Images	3
In 223 Images	1
In 224 Images	1
In 225 Images	2
In 226 Images	2
In 227 Images	2
In 231 Images	1
In 233 Images	1
In 235 Images	2
In 236 Images	2
In 237 Images	2
In 239 Images	3
In 241 Images	1
In 242 Images	2
In 243 Images	1
In 245 Images	2
In 246 Images	1
In 248 Images	1
In 249 Images	1
In 251 Images	2
In 252 Images	3
In 253 Images	2
In 254 Images	2
In 256 Images	1
In 258 Images	2
In 259 Images	3
In 261 Images	2
In 262 Images	1
In 263 Images	3
In 264 Images	1
In 265 Images	1
In 267 Images	1
In 268 Images	2
In 269 Images	1
In 274 Images	2
In 275 Images	1
In 276 Images	1
In 277 Images	1
In 278 Images	1
In 279 Images	2

In 281 Images	3
In 285 Images	1
In 286 Images	1
In 287 Images	1
In 288 Images	2
In 290 Images	1
In 292 Images	1
In 293 Images	2
In 295 Images	4
In 296 Images	1
In 297 Images	2
In 298 Images	2
In 301 Images	1
In 304 Images	1
In 306 Images	2
In 310 Images	1
In 311 Images	1
In 313 Images	1
In 314 Images	2
In 315 Images	1
In 316 Images	1
In 317 Images	1
In 318 Images	1
In 320 Images	1
In 325 Images	1
In 326 Images	1
In 327 Images	3
In 328 Images	1
In 329 Images	1
In 330 Images	1
In 332 Images	1
In 333 Images	2
In 337 Images	1
In 338 Images	2
In 340 Images	2
In 347 Images	2
In 348 Images	1
In 350 Images	1
In 351 Images	2
In 352 Images	1
In 354 Images	2
In 355 Images	2
In 356 Images	1
In 360 Images	1
In 361 Images	1
In 363 Images	1
In 368 Images	1
In 370 Images	1
In 374 Images	3
In 375 Images	1
In 377 Images	1
In 380 Images	1
In 381 Images	1
In 383 Images	1
In 384 Images	1
In 386 Images	1
In 388 Images	2
In 389 Images	2
In 391 Images	1

In 393 Images	1
In 395 Images	1
In 397 Images	1
In 402 Images	1
In 404 Images	1
In 407 Images	2
In 420 Images	1
In 421 Images	1
In 424 Images	1
In 425 Images	1
In 427 Images	1
In 430 Images	1
In 435 Images	2
In 441 Images	1
In 443 Images	1
In 444 Images	1
In 445 Images	1
In 450 Images	1
In 454 Images	1
In 455 Images	2
In 459 Images	1
In 463 Images	1
In 464 Images	1
In 466 Images	1
In 473 Images	1
In 474 Images	1
In 483 Images	1
In 489 Images	1
In 574 Images	1
In 580 Images	1

 **2D Keypoint Matches**





Number of matches

25	161	323	484	646	807	969	1130	1292	1454
----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------

Figure 5: Computed image positions with links between matched 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
19 (3D)	0.020/ 0.020	-0.169	0.186	0.017	4.838	8 / 8
20 (3D)	0.020/ 0.020	-0.051	0.139	0.089	7.288	8 / 8
21 (3D)	0.020/ 0.020	0.017	0.124	-0.043	8.606	8 / 8
24 (3D)	0.020/ 0.020	-0.068	-0.031	0.016	1.840	8 / 8
6 (3D)	0.020/ 0.020	-0.077	-0.062	0.019	3.464	8 / 8
7 (3D)	0.020/ 0.020	-0.059	-0.065	0.023	2.756	8 / 8
8 (3D)	0.020/ 0.020	-0.063	-0.060	0.046	3.677	8 / 8
9 (3D)	0.020/ 0.020	-0.049	-0.047	-0.007	5.047	8 / 8
10 (3D)	0.020/ 0.020	-0.014	-0.026	0.037	4.788	8 / 8
26 (3D)	0.020/ 0.020	0.181	-0.131	-0.144	3.276	8 / 8
27 (3D)	0.020/ 0.020	-0.360	-0.171	0.003	1.834	8 / 8
14 (3D)	0.020/ 0.020	0.420	0.002	-0.036	6.117	8 / 8
16 (3D)	0.020/ 0.020	0.219	-0.167	0.016	9.579	4 / 8
28 (3D)	0.020/ 0.020	0.074	-0.182	0.015	2.210	8 / 8
17 (3D)	0.020/ 0.020	-0.459	0.139	0.098	4.081	8 / 8
18 (3D)	0.020/ 0.020	-0.279	0.187	0.088	10.507	8 / 8
4 (3D)	0.020/ 0.020	-0.035	-0.045	-0.065	2.612	8 / 8
5 (3D)	0.020/ 0.020	-0.022	-0.044	-0.037	4.194	8 / 8
22 (3D)	0.020/ 0.020	-0.047	0.064	0.051	2.150	8 / 8
1 (3D)	0.020/ 0.020	0.115	-0.117	-0.004	7.516	8 / 8
2 (3D)	0.020/ 0.020	0.054	-0.067	0.089	3.441	8 / 8
3 (3D)	0.020/ 0.020	0.064	-0.292	-0.034	8.379	8 / 8
13 (3D)	0.020/ 0.020	0.227	0.180	-0.067	13.270	8 / 8
30 (3D)	0.020/ 0.020	0.477	-2.777	-1.468	1.567	8 / 8
29 (3D)	0.020/ 0.020	-0.219	-0.150	0.027	1.618	8 / 8
23 (3D)	0.020/ 0.020	-0.239	0.156	-0.073	2.964	8 / 8
25 (3D)	0.020/ 0.020	-0.146	-0.144	0.014	0.927	8 / 8
11 (3D)	0.020/ 0.020	0.084	0.025	-0.015	4.071	8 / 8
12 (3D)	0.020/ 0.020	0.099	0.112	-0.036	2.777	8 / 8
15 (3D)	0.020/ 0.020	0.506	-0.188	-0.092	4.188	8 / 8
<b>Mean [m]</b>		-0.001226	-0.113369	-0.051279		
<b>Sigma [m]</b>		0.218687	0.519265	0.273545		
<b>RMS Error [m]</b>		0.218690	0.531496	0.278310		

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

## Initial Processing Details



### System Information



Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-9700K CPU @ 3.60GHz RAM: 16GB GPU: Intel(R) UHD Graphics 630 (Driver: 27.20.100.8681), NVIDIA GeForce RTX2070 (Driver: 27.21.14.6611)
Operating System	Windows 10 Home, 64-bit

### Coordinate Systems



Ground Control Point (GCP) Coordinate System	Arbitrary (m)
Output Coordinate System	Arbitrary (m)

## Processing Options



Detected Template	3D Models
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Free Flight or Terrestrial
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

## Point Cloud Densification details



### Processing Options



Image Scale	1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: no
LOD	Generated: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	47m:19s
Time for Point Cloud Classification	NA
Time for 3D Textured Mesh Generation	23m:35s

### Results



Number of Processed Clusters	30
Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	5001910
Average Density (per m <sup>3</sup> )	4072.31