# NG Teknisk notat

Til:	Statsforvalteren i Innlandet
v/	Søndre Sølen Verneområdestyre v/Hilde Nystuen
Kopi til:	
Dato:	2023-11-24
Rev.nr. / Rev.dato:	0/
Dokumentnr.:	20210578-04-TN
Prosjekt:	Erosjonssikring - Mistra
Prosjektleder:	Ingar Steinholt
Utarbeidet av:	Eivind Magnus Paulsen
Kontrollert av:	Ingar Steinholt

### Kartlegging og produksjon av terrengmodell

### Innhold

1 Innledning 2 Feltarbeid	og datainnsamling	2 3
<ul> <li>Prosessering av data og sluttprodukter</li> <li>Anbefalinger</li> </ul>		3 3
Figur		
Figur 1-1 viser e Figur 1-2 viser e	et oversiktsbilde nedover elva fra brua. et oversiktsbilde nedover elva etter utført sikringstiltak.	2 2
Vedlegg		
Vedlegg A Vedlegg B	Landmåling og droneflyging Lidar punktsky	

Vedices D	Eldar particity
Vedlegg C	Områdekartlegging med drone
Vedlegg D	Detaljkartlegging med drone
Vedlegg E	Synlige endringer i elveløpet mellom 7.juli og 9.oktober 2023.

#### Kontroll- og referanseside

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT NGI.NO

Hovedkontor Oslo PB. 3930 Ullevål Stadion 0806 Oslo

Avd. Trondheim T 22 02 30 00 PB. 5687 Torgarden NGI@ngi.no 7485 Trondheim

BANK KONTO 5096 05 01281 ORG.NR 958 254 318MVA FS 32989/EMS 612006

ISO 9001/14001 CERTIFIED BY BSI

Dokumentnr.: 20210578-04-TN Dato: 2023-11-24 Rev.nr.: 0 Side: 2

#### 1 Innledning

Mistdalen er et seterområde ved Mistra som ligger om lag 20 km øst for tettstedet Øvre Rendal i Rendalen kommune. I 2003 ble en liten parsell ved seterområdet erosjonssikret av NVE for å hindre videre erosjon av elveskråning. I etterkant av dette arbeidet har erosjonssikringen blitt ødelagt og erosjon tiltatt. I august 2023 ble det utført et nytt sikringstiltak med endringer i terrenget. Statsforvalteren i Innlandet (heretter kalt oppdragsgiver) ønsker derfor en ny kartlegging for å kunne vurdere effekten av tiltaket. Figur 1-1 og Figur 1-2 viser oversiktsbilder fra 9.0ktober 2023.



Figur 1-1 viser et oversiktsbilde nedover elva fra brua.



*Figur 1-2 viser et oversiktsbilde nedover elva etter utført sikringstiltak.* 

#### 2 Feltarbeid og datainnsamling

Feltarbeid ble utført 9.oktober 2023 av Eivind Magnus Paulsen. Kartlegging av terrenget ble utført med en drone av typen DJI Matrice 300 RTK og med ekstern sensor Zenmuse L1 (LiDAR og kamera). Det ble også benyttet en drone av typen DJI Mavic 3 Enterprise med RTK-modul. Det ble gjennomført flere separate flyginger, en basert på LiDAR resterende med fotografering (til fotogrammetri), og diverse oversiktsbilder og video.

LiDAR er en optisk fjernmålingsteknikk som brukes til hurtig måling av fysiske objekters posisjon. Den aktuelle sensoren utfører opptil 120.000 avstandsmålinger per sekund. Punkttetthet på bakken bestemmes av flyhøyde og hastighet til dronen. Dronen ble programmert til å fly ca. 60 meter over terrenget som gir en punkttetthet på ca. 400-600 punkter per kvadratmeter. Til sammenligning har flybåren laser en punktetthet på mellom 2 og 5 punkter per kvadratmeter.

#### **3 Prosessering av data og sluttprodukter**

Det er utført flere flyginger med to forskjellige typer droner. Det er flere datasett som er tatt med videre og brukt som grunnlag til dataleveranser.

Vedlegg A beskriver landmåling og droneflyging.

Vedlegg B beskriver Lidar-data som dekker samme område som juli 2023.

Vedlegg C beskriver oversiktskartlegging med drone.

Vedlegg D beskriver detaljkartlegging med drone av det aktuelle sikringstiltaket.

Vedlegg E viser synlige endringer i elveløpet mellom 7.juli og 9.oktober 2023.

#### 4 Anbefalinger

Data fra denne kartleggingen bør brukes til å vurdere langsiktig effekt av sikringstiltaket, og som dokumentasjon. Det anbefales å gjøre en ny kartlegging etter en vinter/vår med isgang og flom.

Dokumentnr.: 20210578-04-TN Dato: 2023-11-24 Rev.nr.: 0 Vedlegg A, side: 1

## Vedlegg A

LANDMÅLING OG DRONEFLYGING

### Innhold

A1	Etablering av GNSS basestasjon	2
A2	Signalering og innmåling	4
A3	Eksempler på innmåling av kjentpunkter	8

#### A1 Etablering av GNSS basestasjon

For å kunne måle inn kontrollpunkter, og fly med drone, er det vanlig å bruke tjenesten CPOS fra Statens kartverk via internett, enten fra SIM-kort i GNSS eller via hot-spot fra telefon. På grunn av mangelfull mobildekning er ikke internett tilgjengelig. Det er derfor ikke mulig å motta sanntids korreksjon fra en nettverks-basestasjon via tjenesten CPOS.

Alternativet var derfor å sette opp lokale basestasjoner ved hjelp av to Emlid RS2+ som er to-frekvente GNSS-mottagere med radioforbindelse mellom hverandre. Det offentlige fastmerket (H29T0191) etablert av kommunen ble brukt til å etablere basestasjonen.

For å finne nøyaktig posisjon til basestasjonen ble fastmerket «H29T0191» målt inn og lagret med navnet «H29T0191-measured». De kjente koordinatene til fastmerket ble lagt inn manuelt via appen «Emlid Flow» og danner grunnlaget for å bruke funksjonen «Baseforskyvning» som gjelder for et gitt prosjekt i Emlid.

Baseforskyvning gjelder for ett gitt prosjekt, og prosedyren er å velge to punkter, dvs. den kjente fastmerket og innmålingen av fastmerket. Basert på denne informasjonen beregner mottageren baseforskyvningen (dXYZ) som brukes til å korrigere posisjonen til basestasjonen. Denne funksjonen fungerer kun internt i RS2+ for det aktuelle prosjektet i Emlid Flow. Det er viktig å merke seg at basestasjonen ikke er endret, korreksjonen skjer bare lokalt på Emlid RS2+ rover for nye punkter som måles inn.



Figur 1-1 viser hvordan basestasjonen ble brukt ved terrengkartlegging.

Figur 1-1 viser hvilke basestasjoner dronene var tilkoblet ved flygingene.

Figur 1-2 og Figur 1-3 viser datagrunnlaget og koordinatene til den lokale basestasjonen. Figur 1-4 viser en av dronene som mottar sanntids korreksjon slik at posisjonen til bilder og drone kan bestemmes med centimeter-nøyaktighet.

	Е	N	Н
H29T0191-measured	623794.732	6862375.646	698.845
H29T0191	623795.267	6862375.346	698.276
H29T0192-measured-after-base-shift	623795.263	6862375.345	698.281
Baseforskyvning	-0.535	0.300	0.569

Figur 1-2 viser datagrunnlaget for å beregne baseforskyvning.



*Figur 1-3 viser koordinatene til lokal basestasjon, dvs. senter av mottager og antennehøyde = 0* 



Figur 1-4 viser dronen DJI M300 RTK med LiDAR-sensor Zenmuse L1 som mottar sanntids korreksjonsdata fra den lokale GNSS-basestasjonen.

#### A2 Signalering og innmåling

Figur 2-1 viser fysisk plassering av basestasjoner og kjentpunkter (target). Disse punktene brukes til å kontrollere og dokumentere kvaliteten på Lidar og fotogrammetri.



Figur 2-1 viser plassering av fastmerke, basestasjoner og kontrollpunkter. Basestasjon er markert med blå tekst.

Dokumentnr.: 20210578-04-TN Dato: 2023-11-24 Rev.nr.: 0 Vedlegg A, side: 5

![](_page_7_Picture_2.jpeg)

Figur 2-2 viser plassering og navn på punkter.

![](_page_7_Picture_4.jpeg)

Figur 2-3 viser landmålingsutstyr til bruk ved innmåling av kontrollpunkter og som basestasjoner ved droneflyging.

# NGI

Dokumentnr.: 20210578-04-TN Dato: 2023-11-24 Rev.nr.: 0 Vedlegg A, side: 6

![](_page_8_Picture_2.jpeg)

#### • H29T0191 • P

Point info Permanent Survey Marker

Code P Point in Points and lines

Coordinate system ETRS89 / UTM zone 32N + NN2000 height

#### Coordinates

Local (origin) Global

Easting 623795.267 m Northing 6862375.346 m Elevation 698.276 m

Landsnettpunkt	1
Punktnummer	H29T0191
Punktnavn	MISTERDALSSETRA
Nord	6862375.346
Øst	623795.267
Sone	32
Høyde_nn2000	698.276 m
Høyde_nn1954	698.148 m
Ellipsoidisk_høyde	736.704
Punkttype	Landsnett
Underlag	STEIN
Kvalitet_nn1954	30 mm
Kvalitet_grunnriss	10 mm
Status	{"Text":""}
Status_år	
Beskrivelse	I STEIN CA 2 M ØST FOR VEIEN VED LITEN P- PLASS

#### • H29T0191 • P

Point info Permanent Survey Marker

Code P | Point in Points and lines

Coordinate system ETRS89 / UTM zone 32N + NN2000 height

#### Coordinates

Local (origin) Global

Easting 11.35417440° Northing 61.87389416° Elevation 736.703 m

Figur 2-4 viser innmåling av fastmerke "H29T0191" Misterdalssetra.

Name	Easting	Northing	Elevation	Description
H29T0191-measured	623794.732	6862375.646	698.845	Measured "Fastmerke"
H29T0191	623795.267	6862375.346	698.276	Permanent Survey Marker
H29T0192-measured-after-base-shift	623795.263	6862375.345	698.281	Permanent Survey Marker
Target-01	623848.319	6862377.553	694.876	Aerial target
Target-02	623860.751	6862473.511	698.681	Aerial target
GCP-1	623893.296	6862655.353	699.904	Control point
Target-03	623886.099	6862649.397	702.956	Aerial target
Target-04	623932.951	6862901.104	704.249	Aerial target
Target-05	624055.758	6862888.051	701.158	Aerial target
Target-06	624090.524	6862609.404	704.796	Aerial target
Target-07	624088.961	6862425.426	700.009	Aerial target
Target-08	623803.971	6862667.683	701.788	Aerial target
Target-09	623823.252	6862644.346	701.666	Alternativ base for PPK
D-RTK2	623805.448	6862645.211	701.762	Alternativ base for PPK
Base	623802.022	6862650.854	703.501	Base station (antenna height = 0)

Figur 2-5 viser koordinater og høyde til punktene. Høyden til «Base» er IKKE på bakken, men høyden til senter av antennen.

Dokumentnr.: 20210578-04-TN Dato: 2023-11-24 Rev.nr.: 0 Vedlegg A, side: 8

![](_page_10_Picture_2.jpeg)

### A3 Eksempler på innmåling av kjentpunkter

*Figur 3-1 viser kontrollpunktene "Target-01" øverst, og "Target-02" nederst.* 

![](_page_11_Picture_0.jpeg)

![](_page_11_Picture_2.jpeg)

Figur 3-2 viser kontrollpunktene "Target-04" øverst, og "Target-07" nederst.

Dokumentnr.: 20210578-04-TN Dato: 2023-11-24 Rev.nr.: 0 Vedlegg B, side: 1

## Vedlegg B

LIDAR

### Innhold

B1	Kartlegging med Lidar	2
B2	Dekningsområde	3
B3	Kvalitetskontroll	4
B4	Dataleveranse	4

### Vedlegg

Kvalitetsrapport\_Lidar\_v2\_offset-0.6m

5

#### B1 Kartlegging med Lidar

Feltarbeid ble utført 9.oktober 2023 av Eivind Magnus Paulsen. Kartlegging av terrenget ble utført med en drone av typen DJI Matrice 300 RTK og med ekstern sensor Zenmuse L1 (LiDAR og kamera). Det ble også benyttet en drone av typen DJI Mavic 3 Enterprise med RTK-modul. Det ble gjennomført flere separate flyginger, en basert på LiDAR resterende med fotografering (til fotogrammetri), og diverse oversiktsbilder og video.

LiDAR er en optisk fjernmålingsteknikk som brukes til hurtig måling av fysiske objekters posisjon. Den aktuelle sensoren utfører opptil 120.000 avstandsmålinger per sekund. Punkttetthet på bakken bestemmes av flyhøyde og hastighet til dronen. Dronen ble programmert til å fly ca. 60 meter over terrenget som gir en punkttetthet på ca. 400-600 punkter per kvadratmeter. Til sammenligning har flybåren laser en punktetthet på mellom 2 og 5 punkter per kvadratmeter.

![](_page_13_Picture_5.jpeg)

Figur 1-1 viser punktsky fra Lidar med farge (RGB) er hentet fra dronebilder.

Dokumentnr.: 20210578-04-TN Dato: 2023-11-24 Rev.nr.: 0 Vedlegg B, side: 3

### B2 Dekningsområde

Dekningsområdet er identisk med kartleggingen som ble utført i juli 2023. For å kunne sammenligne datasett følger dronen nøyaktig samme rute og høyde.

![](_page_14_Picture_4.jpeg)

*Figur 2-1 viser punktsky med RGB-verdier til venstre, og punktsky fargelagt med høydeverdier til høyre.* 

#### **B3** Kvalitetskontroll

Kvalitetskontrollen i Figur 3-1 er basert på sammenligning med kjentpunkter. Etter høydejustering av punktskyen er gjennomsnittlig avvik under 1 cm i høyde. I praksis er forventet høydenøyaktighet i resten av modellen nærmere 5 cm. Største avvik sammenlignet mot kjentpunkt var rundt 19 centimeter, men skyldes trolig at punktet ligger helt i ytterkant av kartleggingsområdet. Se flere detaljer i vedlagt kvalitetsrapport fra programmet DJI Terra.

0.008765	-0.088969	0.185444
Average Altitude Difference	Min Altitude Difference	Max Altitude Difference

*Figur 3-1 viser resultater fra kvalitetskontroll mot kjentpunkter.* 

#### **B4** Dataleveranse

Resultater fra Lidar-skanningen leveres som en punktsky på LAS-format. Dette datasettet kan åpnes i de fleste programmer som kan bruke punktskyer. Et eksempel på et gratisprogram er <u>CloudCompare</u> hvor videre analyse er mulig. For eksempel direkte sammenligning med tidligere kartlegginger, eller produksjon av overflatemodeller og terrengmodeller.

Punktsky med full oppløsning på LAS-format har en filstørrelse på ca. 5GB og inneholder over 200 millioner punkter, som vist i Figur 4-1.

![](_page_15_Picture_9.jpeg)

Figur 4-1 viser punktsky på 5GB i programmet CloudCompare.

### **DJI Terra Quality Report**

V3.8.0 2023-11-22 17:51 Mission: 2023-10-09-Mistdalen-Lidar\_v2\_offset-0.6m

### Quality Report for LiDAR Point Cloud Processing

![](_page_16_Figure_4.jpeg)

Flight Parameters	
POS Data Collection Time	18min 31s
Point Cloud Data Collection Time	15min 38s
LiDAR Point Cloud Block Count	1
Use custom base station data	Yes

#### Mission Parameters

<b>፰</b> Reconstruction Parameters	
Point Cloud Density (By Percentage)	High
Scenario	Point Cloud Processing
Accuracy Check	Yes
Point Cloud Effective Distance	300 m
Optimize Point Cloud Accuracy	No
Smooth Point Cloud	No
Generate DEM	No

፰ System Parameters	
CPU	Intel Core(TM) i9-10900 CPU @ 2.80GHz 20 cores
GPU Count	1
GPU 0	NVIDIA GeForce RTX 2080 SUPER
RAM	32480 M

#### Check Point

#### Our Check Point Error

Parameters	Average Altitude Difference	Min Altitude Difference	Max Altitude Difference	Average Absolute Value of Altitude Diff erence	Root Mean Square	Standard Deviation

Value	0.008765	-0.088969	0.185444	0.058149	0.08071	0.086282
Η Error Info						
ID	X/E	Y/N	Z/U	Reconstruction Altitude	Altitude Difference	Reflectivity
Target-01	623848.319	6862377.553	694.876	694.864302	-0.011698	35.742331
Target-02	623860.751	6862473.511	698.681	698.653051	-0.027949	62.741784
GCP-1	623893.296	6862655.353	699.904	699.815031	-0.088969	46.856764
Target-03	623886.099	6862649.397	702.956	702.973237	0.017237	62.086538
Target-04	623932.951	6862901.104	704.249	704.180077	-0.068923	58.669014
Target-05	624055.758	6862888.051	701.158	701.343444	0.185444	34.055556
Target-06	624090.524	6862609.404	704.796	*	*	*
Target-07	624088.961	6862425.426	700.009	700.070907	0.061907	42.141104
Target-08	623803.971	6862667.683	701.788	*	*	*
Target-09	623823.252	6862644.346	701.666	701.669068	0.003068	55.303704
Base	623802.022	6862650.854	703.501	*	*	*

(1) When height difference between check point and actual point is greater than 60 cm, error data of the check point will be displayed as \* and the check point will not be used for calculation

### Other Info

#### 🗋 Output List

XML FilePNTS FileLAS FilePLY Point Cloud FilePCD FileS3MB Point Cloud File

幸 POS Status			
Fix	95.88%		
Other	4.12%		

Dokumentnr.: 20210578-04-TN Dato: 2023-11-24 Rev.nr.: 0 Vedlegg C, side: 1

## Vedlegg C

OVERSIKTSKARTLEGGING

#### Innhold

C1	Oversiktskartlegging med dronebilder	2
C2	Dekningsområde	2
С3	Prosessering av dronebilder	3
	C3.1 Posisjonering og orientering av bilder	3
C4	Kvalitetskontroll	3
	C4.1 Kvalitetsrapport fra fotogrammetri	3
C5	Dataleveranser	5
	C5.1 Punktsky	5
	C5.2 Terrengmodell (uten vegetasjon og bygninger)	6
	C5.3 Ortofoto	7

### Vedlegg

 $Mist dalen\_Oversikts kart legging\_kvalitets rapport$ 

8

#### C1 Oversiktskartlegging med dronebilder

Feltarbeid ble utført 9.oktober 2023 av Eivind Magnus Paulsen. Kartlegging av terrenget ble utført med en drone av typen DJI Mavic 3 Enterprise med RTK-modul. Dronen er typegodkjent og merket med C2 som gjør at krav til sikkerhetsavstander til utenforstående blir redusert. Dronen ble flydd i åpen kategori klasse A2. Denne dronen har også mekanisk lukker som gjør at bildekvalitet blir god selv om dronen har høy hastighet. Det ble gjennomført flere flyginger, inkludert oversiktsbilder og video.

#### C2 Dekningsområde

Figur 2-1 viser området som er dekket av oversiktskartlegging med dronen Mavic 3E.

![](_page_18_Picture_6.jpeg)

Figur 2-1 viser kartleggingsområdet med punktsky, overflatemodell og ortofoto.

#### C3 Prosessering av dronebilder

Dronen har innebygde sensorer som kontinuerlig registrerer posisjon og orientering. Ved bruk av sanntids korreksjon fra en lokal GNSS basestasjon blir posisjonen bestemt med centimeter-nøyaktighet.

#### C3.1 Posisjonering og orientering av bilder

Dronebildene er prosessert i programmet *MetaShape* hvor diverse algoritmer finner sammenfallende punkter i overlappende bilder. Deretter skapes en grov punktsky som brukes til å finjustere orienteringen og kalibrering av dronebildene. Neste trinn er å produsere en detaljert punktsky, terrengmodell og ortofoto. Se senere avsnitt.

#### C4 Kvalitetskontroll

De kjente kontrollpunktene er brukt til å optimalisere nøyaktighet i orientering av bilder og rekonstruksjon av punktsky. De opprinnelige bildene hadde et avvik i høyde som tilsvarer avstanden fra bakken til antennen på den aktuelle GNSS-basestasjonen. Denne systematiske feilen ble automatisk korrigert i prosesseringen.

#### C4.1 Kvalitetsrapport fra fotogrammetri

Se vedlagt kvalitetsrapport fra prosessering av dronebilder.

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
Target-01	-0.0350758	-0.21875	-0.415728	0.471075	0.591 (5)
Target-02	-0.235271	0.304297	0.490209	0.623101	0.448 (4)
Target-04	-1.01412	1.49037	0.466464	1.86205	0.417 (7)
Target-05	-0.590872	-1.7819	-0.257839	1.89493	0.238 (5)
Target-06	2.24609	-0.742003	0.145399	2.36995	0.310 (4)
Target-07	-0.684468	0.711555	0.136351	0.996694	0.478 (7)
Target-08	0.343223	0.547799	-0.423211	0.772654	0.439 (5)
Target-09	-0.205227	-0.440105	0.397319	0.627434	0.487 (5)
Total	0.94257	0.94124	0.366386	1.38152	0.441

Tabell 4-1Oversikt over avvik i de forskjellige kontrollpunktene.

Dokumentnr.: 20210578-04-TN Dato: 2023-11-24 Rev.nr.: 0 Vedlegg C, side: 4

#### **Camera positions**

![](_page_20_Figure_3.jpeg)

Figur 4-1 viser en systematisk feil som ble korrigert ved prosessering av dronebilder. Avviket skyldes at antennehøyden ikke var lagt inn riktig ved etablering av den ene basestasjonen.

Dokumentnr.: 20210578-04-TN Dato: 2023-11-24 Rev.nr.: 0 Vedlegg C, side: 5

#### C5 Dataleveranser

Oversiktskartleggingen med drone er brukt til å lage en punktsky, terrengmodell og ortofoto som kan brukes som bakgrunnskart og innsyn.

#### C5.1 Punktsky

Punktskyen er basert på 3D-rekonstruksjon basert på målinger i dronebilder. Punktene er fargelagt med RGB-verdier fra bildene. Punktskyen er brukt til å lage en overflatemodell (DSM) og terrengmodell (DTM).

![](_page_21_Picture_6.jpeg)

Figur 5-1 viser punktsky fra en detaljert rekonstruksjon fra dronebilder.

Dokumentnr.: 20210578-04-TN Dato: 2023-11-24 Rev.nr.: 0 Vedlegg C, side: 6

#### C5.2 Terrengmodell (uten vegetasjon og bygninger)

Terrengmodellen er basert på punktskyen, men kun punkter som antas å ligge på bakkenivå er tatt med videre. Områder med mye vegetasjon er interpolert slik at det blir en sammenhengende overflate.

![](_page_22_Picture_4.jpeg)

*Figur 5-2 viser terrengmodell hvor mesteparten av vegetasjon er fjernet.* 

Dokumentnr.: 20210578-04-TN Dato: 2023-11-24 Rev.nr.: 0 Vedlegg C, side: 7

#### C5.3 Ortofoto

Ortofoto er flybilder med samme geometriske egenskaper som et kart, det vil si at det er lik målestokk i hele bildet. Fotografiets perspektiviske fortegning og radielle forskyvning er fjernet med en rektifisering av bildet på grunnlag av bildets orientering og en høydemodell av terrenget.

![](_page_23_Picture_4.jpeg)

Figur 5-3 viser et målestokkriktig ortofoto.

### Mistdalen 2023-10-09 - Mavic 3E

Processing Report 22 November 2023

![](_page_24_Picture_2.jpeg)

## Survey Data

![](_page_25_Picture_1.jpeg)

Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	622	Camera stations:	622
Flying altitude:	64.8 m	Tie points:	545,815
Ground resolution:	1.7 cm/pix	Projections:	2,209,604
Coverage area:	0.222 km²	Reprojection error:	1.33 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
M3E (12.29mm)	5280 x 3956	12.29 mm	3.36 x 3.36 µm	No

Table 1. Cameras.

## **Camera Calibration**

![](_page_26_Figure_1.jpeg)

Fig. 2. Image residuals for M3E (12.29mm).

#### M3E (12.29mm)

622 images

Туре

Resolution

Focal Length

Pixel Size

Frame

5280 x 3956

12.29 mm

3.36 x 3.36 µm

	Value	Error	F	Cx	Су	К1	К2	КЗ	P1	P2
F	3712.2	0.11	1.00	-0.01	-0.24	-0.32	0.05	-0.13	0.01	0.23
Cx	13.4269	0.038		1.00	0.02	0.02	-0.02	0.02	-0.60	-0.01
Су	-19.6442	0.04			1.00	0.07	0.01	0.01	-0.00	-0.65
К1	-0.104503	2.1e-05				1.00	-0.92	0.88	-0.02	-0.08
К2	-0.00390041	5.2e-05					1.00	-0.98	0.02	0.01
кз	-0.0154247	4e-05						1.00	-0.01	-0.02
P1	7.4047e-05	1.5e-06							1.00	0.01
P2	-0.000280741	1.5e-06								1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

### **Camera Locations**

![](_page_27_Figure_1.jpeg)

![](_page_27_Figure_2.jpeg)

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

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
0.0208884	0.0244981	2.14641	0.0321945	2.14665

Table 3. Average camera location error.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

## **Ground Control Points**

![](_page_28_Figure_1.jpeg)

Fig. 4. GCP locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape. Estimated GCP locations are marked with a dot or crossing.

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
8	0.94257	0.94124	0.366386	1.33206	1.38152

Table 4. Control points RMSE.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
2	0.282357	1.12789	2.62628	1.16269	2.87214

Table 5. Check points RMSE.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
Target-01	-0.0350758	-0.21875	-0.415728	0.471075	0.591 (5)
Target-02	-0.235271	0.304297	0.490209	0.623101	0.448 (4)
Target-04	-1.01412	1.49037	0.466464	1.86205	0.417 (7)
Target-05	-0.590872	-1.7819	-0.257839	1.89493	0.238 (5)
Target-06	2.24609	-0.742003	0.145399	2.36995	0.310 (4)
Target-07	-0.684468	0.711555	0.136351	0.996694	0.478 (7)
Target-08	0.343223	0.547799	-0.423211	0.772654	0.439 (5)
Target-09	-0.205227	-0.440105	0.397319	0.627434	0.487 (5)
Total	0.94257	0.94124	0.366386	1.38152	0.441

Table 6. Control points.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
GCP-1	0.251641	0.79957	-3.0661	3.17861	0.329 (4)
Target-03	-0.310044	1.3802	-2.09612	2.5288	0.089 (4)
Total	0.282357	1.12789	2.62628	2.87214	0.241

Table 7. Check points.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

## **Digital Elevation Model**

![](_page_30_Picture_1.jpeg)

Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: Point density: 3.4 cm/pix 867 points/m<sup>2</sup>

### **Processing Parameters**

#### General

Cameras Aligned cameras Markers Coordinate system Rotation angles **Tie Points** Points RMS reprojection error Max reprojection error Mean key point size Point colors Key points Average tie point multiplicity **Alignment parameters** Accuracy Generic preselection Reference preselection Key point limit Key point limit per Mpx Tie point limit Exclude stationary tie points Guided image matching Adaptive camera model fitting Matching time Matching memory usage Alignment time Alignment memory usage Date created Software version File size **Depth Maps** Count Depth maps generation parameters Quality Filtering mode Max neighbors Processing time Memory usage Date created Software version File size **Point Cloud** Points Coordinate precision **Point attributes** Color Normal Confidence Point classes

622 622 11 ETRS89 / UTM zone 32N + NN2000 height (EPSG::5972) Yaw, Pitch, Roll 545,815 of 618,281 0.16483 (1.32944 pix) 0.64233 (69.5407 pix) 6.6991 pix 3 bands, uint8 No 4.24845 Medium Yes Source 40,000 1,000 4,000 Yes Yes No 37 minutes 38 seconds 323.57 MB 18 minutes 32 seconds 371.86 MB 2023:11:21 20:32:28 2.0.3.16960 54.42 MB 622 High Mild 16 59 minutes 23 seconds 5.09 GB 2023:11:22 09:00:21 2.0.3.16960 4.44 GB 22,846,353 8.49 mm 3 bands, uint8 10 - 35

Created (never classified) 3,918,382 Ground 18,927,965 Low Point (noise) 6 Depth maps generation parameters Quality High Filtering mode Mild Max neighbors 16 Processing time 59 minutes 23 seconds 5.09 GB Memory usage Point cloud generation parameters 1 hours 43 minutes Processing time Memory usage 11.43 GB Ground points classification parameters Max angle (°) 15 Max distance (m) 1 50 Cell size (m) 59 seconds Classification time Classification memory usage 1.38 GB 2023:11:22 10:44:17 Date created Software version 2.0.3.16960 File size 392.46 MB DEM Size 11,621 x 17,697 Coordinate system ETRS89 / UTM zone 32N + NN2000 height (EPSG::5972) **Reconstruction parameters** Source data Point cloud Interpolation Enabled 3 minutes 36 seconds Processing time Memory usage 157.09 MB Date created 2023:11:22 12:58:29 Software version 2.0.3.16960 File size 632.05 MB Orthomosaic Size 7,890 x 12,015 Coordinate system ETRS89 / UTM zone 32N + NN2000 height (EPSG::5972) Colors 3 bands, uint8 **Reconstruction parameters** Blending mode Mosaic Surface DEM Enable hole filling Yes Enable ghosting filter No 15 minutes 9 seconds Processing time 1.56 GB Memory usage 2023:11:22 14:06:55 Date created Software version 2.0.3.16960 File size 2.59 GB System Software name Agisoft Metashape Professional Software version 2.0.3 build 16960 Windows 64 bit OS RAM 31.72 GB CPU Intel(R) Core(TM) i9-10900 CPU @ 2.80GHz GPU(s) NVIDIA GeForce RTX 2080 SUPER

Dokumentnr.: 20210578-04-TN Dato: 2023-11-24 Rev.nr.: 0 Vedlegg D, side: 1

6

## Vedlegg D

DETALJKARTLEGGING AV SIKRINGSTILTAK

### Innhold

D1	Detaljkartlegging med dronebilder	2
D2	Dekningsområde	2
D3	Prosessering av dronebilder	3
	D3.1 Posisjonering og orientering av bilder	3
D4	Kvalitetskontroll	3
	D4.1 Kvalitetsrapport fra fotogrammetri	3
D5	Dataleveranser	4
	D5.1 Punktsky	4

### Vedlegg

Mistdalen_Kvalitetsrapport_	detaljkartlegging
-----------------------------	-------------------

#### D1 Detaljkartlegging med dronebilder

Feltarbeid ble utført 9.oktober 2023 av Eivind Magnus Paulsen. Kartlegging av terrenget ble utført med en drone av typen DJI Mavic 3 Enterprise med RTK-modul. Ved detaljkartleggingen ble dronen flydd manuelt og veldig nærme bakken. Totalt antall bilder er over 500 som dekker det aktuelle sikringstiltaket.

#### D2 Dekningsområde

Figur 2-1 viser området som er dekket av detaljkartlegging med dronen Mavic 3E.

![](_page_34_Picture_6.jpeg)

Figur 2-1viser kartleggingsområdet for området i umiddelbar nærhet til sikringstiltaket.

![](_page_34_Picture_8.jpeg)

Figur 2-2 viser punktsky fra en detaljert rekonstruksjon fra dronebilder.

#### D3 Prosessering av dronebilder

Dronen har innebygde sensorer som kontinuerlig registrerer posisjon og orientering. Ved bruk av sanntids korreksjon fra en lokal GNSS basestasjon blir posisjonen bestemt med centimeter-nøyaktighet.

#### D3.1 Posisjonering og orientering av bilder

Dronebildene er prosessert i programmet *MetaShape* hvor diverse algoritmer finner sammenfallende punkter i overlappende bilder. Deretter skapes en grov punktsky som brukes til å finjustere orienteringen og kalibrering av dronebildene. Neste trinn er å produsere en detaljert punktsky og eventuelle 3D-modeller.

#### D4 Kvalitetskontroll

Noen av bildene fikk en posisjon med nøyaktighet på 1-2 meter. Dette skyldes at kontakten med basestasjonen ble brutt som følge av en flyhøyde på under 1 meter over bakken. Nøyaktig posisjon ble bestemt ved å sammenstille disse med andre bilder med nøyaktig posisjon.

#### D4.1 Kvalitetsrapport fra fotogrammetri

Figur 4-1 viser et utdrag fra vedlagt kvalitetsrapport fra prosessering av dronebilder.

![](_page_35_Figure_10.jpeg)

Figur 4-1 viser mange bilder med dårlig posisjonsnøyaktighet som skyldes brudd i forbindelsen til sanntids kommunikasjon med GNSS-basestasjonen. Dette ble automatisk korrigert ved prosessering av bildene i programmet Metashape.

Dokumentnr.: 20210578-04-TN Dato: 2023-11-24 Rev.nr.: 0 Vedlegg D, side: 4

#### **D5** Dataleveranser

Detaljkartleggingen med drone er brukt til å lage en punktsky som kan brukes til videre analyse og visualisering av sikringstiltaket.

#### D5.1 Punktsky

Figur 5-1 viser punktskyen som er basert på 3D-rekonstruksjon basert på målinger i dronebilder. Punktene er fargelagt med RGB-verdier fra bildene. Figur 5-2 viser bilder projisert sammen med 3D-modell i programmet MetaShape.

![](_page_36_Picture_6.jpeg)

Figur 5-1 viser en detaljert 3D-modell av sikringstiltaket.

Dokumentnr.: 20210578-04-TN Dato: 2023-11-24 Rev.nr.: 0 Vedlegg D, side: 5

![](_page_37_Picture_2.jpeg)

Figur 5-2 viser dronebilder projisert sammen med 3D-modellen. Det gjør at det er mulig å se detaljer som ikke er med i 3D-modellen. Det var kontinuerlig og pågående erosjon i form av små mini-utglidninger av masser i løpet av halvtimen det tok å samle inn dronebilder.

## Sikringstiltak - 3D

Processing Report 22 November 2023

![](_page_38_Picture_2.jpeg)

## Survey Data

![](_page_39_Figure_1.jpeg)

Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	530	Camera stations:	525
Flying altitude:	9.76 m	Tie points:	315,649
Ground resolution:	2.33 mm/pix	Projections:	1,698,538
Coverage area:	1.71e+03 m <sup>2</sup>	Reprojection error:	1.22 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
M3E (12.29mm)	5280 x 3956	12.29 mm	3.36 x 3.36 µm	Yes

Table 1. Cameras.

## **Camera Calibration**

![](_page_40_Figure_1.jpeg)

#### M3E (12.29mm)

530 images, precalibrated

Туре	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	5280 x 3956	12.29 mm	3.36 x 3.36 µm

	Value	Error	F	Cx	Су	К1	К2	КЗ	P1	P2
F	3709.48	0.025	1.00	0.15	-0.49	-0.21	0.15	-0.16	-0.01	0.23
Сх	12.0891	0.022		1.00	-0.05	-0.02	0.01	0.00	0.45	0.04
Су	-19.8065	0.027			1.00	-0.05	0.06	-0.05	0.07	0.03
К1	-0.102763	1.5e-05				1.00	-0.96	0.91	-0.00	-0.10
К2	-0.00830011	3.9e-05					1.00	-0.98	0.01	0.03
КЗ	-0.0119323	3e-05						1.00	-0.00	-0.04
P1	1.73588e-05	8.2e-07							1.00	-0.06
P2	-0.000333495	1e-06								1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

### **Camera Locations**

![](_page_41_Figure_1.jpeg)

![](_page_41_Figure_2.jpeg)

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

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
1.28608	0.93467	1.9013	1.58985	2.47841

Table 3. Average camera location error.

X - Longitude, Y - Latitude, Z - Altitude.

## **Digital Elevation Model**

![](_page_42_Figure_1.jpeg)

Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: Point density: 6.37 mm/pix2.46 points/cm<sup>2</sup>

### **Processing Parameters**

#### General

530 Cameras Aligned cameras Coordinate system Rotation angles **Tie Points** Points RMS reprojection error Max reprojection error Mean key point size Point colors Key points Average tie point multiplicity **Alignment parameters** Accuracy Generic preselection Reference preselection Key point limit Key point limit per Mpx Tie point limit Exclude stationary tie points Guided image matching Adaptive camera model fitting Matching time Matching memory usage Alignment time Alignment memory usage Date created Software version File size **Depth Maps** Count Depth maps generation parameters Quality Filtering mode Max neighbors Processing time Memory usage Date created Software version File size **Point Cloud** Points Coordinate precision **Point attributes** Color Normal Confidence Point classes Created (never classified)

525 WGS 84 (EPSG::4326) Yaw, Pitch, Roll 315,649 of 403,388 0.220628 (1.22195 pix) 0.664748 (67.2363 pix) 4.52489 pix 3 bands, uint8 1.01 GB 5.64566 High Yes Source 40,000 1,000 4,000 Yes Yes No 5 minutes 21 seconds 561.20 MB 4 minutes 37 seconds 424.36 MB 2023:11:21 12:45:07 2.0.3.16960 51.90 MB 515 High Mild 16 52 minutes 50 seconds 6.36 GB 2023:11:22 09:01:21 2.0.3.16960 3.79 GB 94,932,874

0.582 mm

3 bands, uint8

11 - 85

94,932,874

#### Depth maps generation parameters Ouality Filtering mode Max neighbors Processing time Memory usage Point cloud generation parameters Processing time Memory usage Date created Software version File size Model Faces Vertices Vertex colors Texture Depth maps generation parameters Quality Filtering mode Max neighbors Processing time Memory usage **Reconstruction parameters** Surface type Source data Interpolation Strict volumetric masks Processing time Memory usage **Texturing parameters** Mapping mode Blending mode Texture size Enable hole filling Enable ghosting filter UV mapping time UV mapping memory usage Blending time Blending memory usage Blending GPU memory usage Date created Software version File size **Tiled Model** Texture Depth maps generation parameters Quality Filtering mode Max neighbors Processing time Memory usage **Reconstruction parameters** Source data Tile size Face count

Page 7

Ultra High

18.18 GB

26.19 GB

1.43 GB

High

Mild

16

6.36 GB

Arbitrary

Enabled

9.68 GB

Generic

Mosaic

8,192

3.33 GB

4.80 GB 2.55 GB

2.0.3.16960 655.63 MB

3 bands, uint8

High

Mild

16

256

Low

6.36 GB

Depth maps

Yes

Yes

No

Depth maps

1 hours 42 minutes

3 minutes 26 seconds

6 minutes 1 seconds

2023:11:22 10:43:19

52 minutes 50 seconds

2.0.3.16960

12,655,015 6,340,295

3 bands, uint8

8,192 x 8,192, 4 bands, uint8

52 minutes 50 seconds

1 hours 51 minutes

14 hours 1 minutes

2023:11:22 04:48:32

Mild

16

Enable ghosting filter Processing time Memory usage Date created Software version File size

#### System

Software name Software version OS RAM CPU GPU(s) No 1 hours 40 minutes 9.19 GB 2023:11:22 13:17:17 2.0.3.16960 387.88 MB

Agisoft Metashape Professional 2.0.3 build 16960 Windows 64 bit 31.72 GB Intel(R) Core(TM) i9-10900 CPU @ 2.80GHz NVIDIA GeForce RTX 2080 SUPER

![](_page_46_Picture_0.jpeg)

2

## Vedlegg E

SYNLIGE ENDRINGER I ELVELØPET MELLOM JULI OG OKTOBER 2023

#### Innhold

E1 Endringer i elveløpet mellom juli til oktober 2023

#### E1 Endringer i elveløpet mellom juli til oktober 2023

Ved å sammenligne ortofoto fra kartleggingene i juli og oktober 2023 er det mulig å se endringer i elveløpet som antas å være menneskeskapt, i tillegg til selve sikringstiltaket. Se figurene under.

![](_page_47_Picture_4.jpeg)

Figur 1-1 viser endringer i elveløpet mellom 7.juli til 9.oktober 2023.

![](_page_48_Picture_0.jpeg)

![](_page_48_Picture_2.jpeg)

*Figur 1-2 viser endringer i elveløpet mellom 7.juli til 9.oktober 2023.* 

![](_page_49_Picture_0.jpeg)

![](_page_49_Picture_2.jpeg)

Figur 1-3 viser endringer i elveløpet mellom 7.juli til 9.oktober 2023.

p:\2021\05\20210578\delivery-result\tech-notes\20210578-04-tn\vedlegg e - sammenligning fra juli til oktober 2023\20210578-04-tn-vedlegg\_e\_mistdalen\_ortofoto-julioktober.docx

![](_page_50_Picture_0.jpeg)

![](_page_50_Picture_2.jpeg)

Figur 1-4 viser endringer i elveløpet mellom 7. juli til 9. oktober 2023. Området markert med blått er delvis oversvømt med vann.

## **NG** Kontroll- og referanseside/ Review and reference page

Dokumentinformasjon/Document information									
Dokumenttittel/Document title	Dokumentnr./Document no.								
Kartlegging og produksjon av terrengmo	dell	20210578-04-TN							
Dokumenttype/Type of document	Dato/Date								
Teknisk notat / Technical note	Statsforvalteren i Innlandet. Sølen LVO	2023-11-24							
Rettigheter til dokumentet iht kontrakt,	Proprietary rights to the document	Rev.nr. & dato/Rev.no. & date							
according to contract		0/							
NGI									
Distribusjon/Distribution									
BEGRENSET: Distribueres til oppdragsgiv	er og er tilgjengelig for NGIs ansatte / LIM	ITED: Distributed to client and							
available for NGI employees									
Emneord/ <i>Keywords</i>									
Erosjon, Sikringstiltak, Drone, Kartlegging	3								
Stedfesting/Geographical information	วท								
Land, fylke/Country Hayområde/Offshore greg									

Land, fylke/Country Norge, Innlandet	Havområde/ <i>Offshore area</i>
<b>Kommune/<i>Municipality</i></b> Rendalen	Feltnavn/ <i>Field name</i>
<b>Sted/Location</b> Mistdalen	Sted/Location
Kartblad/Map	Felt, blokknr./ <i>Field, Block No.</i>
UTM-koordinater/UTM-coordinates	Koordinater/Coordinates
Sone: 32V Øst: 623852 Nord: 6862506	Projeksjon, datum: UTM Øst: Ø11.3553° Nord: N61.875°

Imentkontroll/ <i>Document control</i> etssikring i henhold til/ <i>Quality assuranc</i> a	e according to NS-EI	N ISO9001		
Revisjonsgrunnlag/Reason for revision	Egenkontroll av/ Self review by:	Sidemanns- kontroll av/ Colleague review by:	Uavhengig kontroll av/ Independent review by:	Tverrfaglig kontroll av/ Inter- disciplinary review by:
	2023-11-24	2023-11-24		
Originaldokument	Eivind Magnus	Ingar Steinholt		
	Paulsen			
	Imentkontroll/Document control Tetssikring i henhold til/Quality assurance Revisjonsgrunnlag/Reason for revision Originaldokument	Immentkontroll/Document control         Revisjonsgrunnlag/Reason for revision       Egenkontroll av/ Self review by:         Originaldokument       2023-11-24 Eivind Magnus Paulsen         Image: Construct of the second secon	Immentkontroll/Document control         Retissikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001         Revisjonsgrunnlag/Reason for revision       Egenkontroll av/ Self review by:       Sidemanns- kontroll av/ Colleague review by:         Originaldokument       2023-11-24 Eivind Magnus Paulsen       2023-11-24 Ingar Steinholt         Image: Steinholt       Ingar Steinholt         Image: Steinholt       Image: Steinholt         Image: Steinholt       <	Butterstation of the set of the se

P:\2021\05\20210578\Delivery-Result\Tech-Notes\20210578-04-TN\20210578-04-TN\_Kartlegging og produksjon av terrengmodell.docx

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen ingeniørrelaterte geofag. Vi tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg, og hvordan jord og berg kan benyttes som byggegrunn og byggemateriale.

Vi arbeider i følgende markeder: GeoMiljø – Offshore energi – Naturfare – GeoData og teknologi

NGI er en privat næringsdrivende stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskap i Houston, Texas, USA og i Perth, Western Australia.

#### www.ngi.no

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting within the geosciences. NGI develops optimum solutions for society and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the natural and built environment.

NGI works within the following sectors: Geotechnics and Environment – Offshore energy – Natural Hazards – GeoData and Technology.

NGI is a private foundation with office and laboratory in Oslo, branch office in Trondheim and daughter companies in Houston, Texas, USA and in Perth, Western Australia

www.ngi.no

Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemann uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGI.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this risk and take full responsibility for use of this document.

This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document was prepared for. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the owner's consent. No changes to the document shall be made without consent from NGI.

![](_page_53_Picture_0.jpeg)

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT NGI.NO

Hovedkontor Oslo PB. 3930 Ullevål Stadion PB. 5687 Torgarden NGI@ngi.no 0806 Oslo

Avd. Trondheim 7485 Trondheim

T 22 02 30 00 BANK

 KONTO 5096 05 01281
 CERTIFIED BY BSI

 ORG.NR 958 254 318MVA
 FS 32989/EMS 612006

ISO 9001/14001