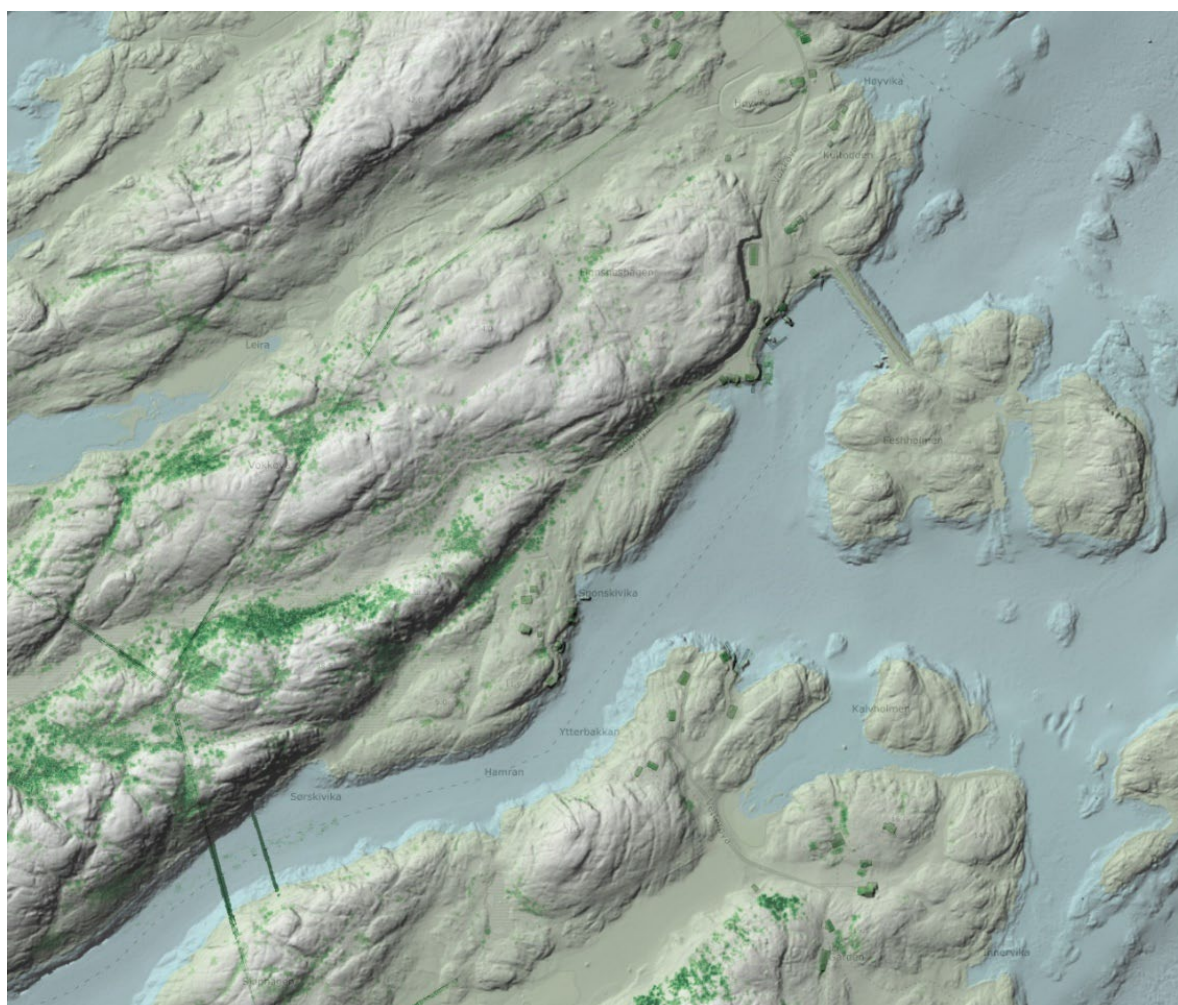


NDH

Airborne LiDAR Bathymetry

Vurdering ALB sensor for Topokartlegging

Christian Malmquist, Statens kartverk Bodø



1	Motivasjon	3
2	Erfaring Gjennomføring	4
	2.1 Forarbeid	4
	2.2 Feltarbeid og Datafangst	4
	2.3 Effektivitet Datafangst	5
3	Kartlegging av Topografi med ALB sensor	6
4	Samfinansiering ALB datasett	12
5	Vurdering nøyaktighet Bildematching i kystområder	13
6	Vedlegg	15
7	Oversiktskart Helligvær	16
8	Oversiktskart Bliksvær	17

Oppsummering

ALB sensoren er meget godt egnet for etablering av sømløse topobatymodeller og metoden er meget effektiv med 13km² sanket per flytid inkludert svinger og krysslinjer.

Klarmelding for datafangst basert på observasjon av siktdyp bør unngås og datafangstperiode bør settes til høst for å sikre lite algeoppblomstring. Søknad om tillatelse til kartlegging bør starte minimum et halvt år i forveien for å sikre at firma kan mobilisere ved rett tidspunkt.

Det er observert meget god punkttetthet i sjø ned til 25m under NN2000. Sensoren gir en god terrengdefinering, god penetrering i vegetasjon og god detekteringsevne på ledning.

Uten justering mot punktsky ligger absolutt nøyaktighet rett over skrankeverdier satt for ALS i Produktspesifikasjon Punktsky. Med justering mot kontrollflater innfrir sensoren nøyaktighetskrav.

Topobaty kartlegging er vurdert som godt egnet for samfinansiering, både over Geovekst, men også sammen med andre etater som ikke er en del av samarbeidet.

For kystområder vil en DTM basert på overflatemodell fra bildematching ikke være egnet for å bygge nasjonal detaljert terrengmodell.

1 Motivasjon

NDH programmet for test av ALB sensorer for kartlegging av kystområder og Teledyne Optech CZMIL Supernova (CZMIL) sensoren, operert av Terratec, ble testet over to øygrupper i Bodø Kommune, Nordland sommeren 2021

Motivasjonen for testkartleggingen var:

1. Bygge erfaring med kombinert datafangst batymetri og topografi.
2. Vurdere hvorvidt en ALB sensor innfrir som topokartlegger
3. Vurdere datafangst med ALB som grunnlag for samfinansiering
4. Vurdere nøyaktighet av bildematchet punktsky fra omløpsfoto i Kystsone

Områdene ble selektert på basis av følgende kriterier:

1. Topografi

Helligvær har variert infrastruktur (hus, ledningstraséer, veier) for vurdering av deteksjonsevne. Flate partier med innmark er egnet for å vurdere terrengdefinering.

Bliksvær har et variert terreng bestående av store tørrfalsområder og tett skog for vurdering av penetrasjonsevne.

2. Batymetri

Begge områdene ligger i Nordområdene med generelt meget god sikt og med en sandig bunntype mot øst som det forventes vil gi god retur. Mot vest er dominerende bunntype mørkere fjell med større tareskoger, større dyp og generelt mer bølger.

Bliksvær har store umålte tørrfall og overlapp moderne multistråle for validering.

Helligvær er på grunn av sitt grunne farvann og høyt antall øyer og skjær ikke målt inn med moderne målemetoder og kartleggingen kan brukes videre til å eventuelt effektivisere sjøkartlegging fra båt.

3. Generelt

Begge områdene er av en slik størrelse at de vil gi gode estimat på effektivitet.

Begge områdene er i nærhet av flyplass for rask mobilisering og det er enkel tilgang for innmåling av kontrollflater.

2 Erfaring Gjennomføring

2.1 Forarbeid

Områdeavgrensninger basert på 40m dybdekote ble brukt som et grunnlag for flyplanleggingen.

Kartlegging med ALB er ikke definert i Produksjon av Basis Geodata (PaBG) og nøyaktighetsmål og fotavtrykk i Produktspesifikasjon FKB-Laser er ikke gjeldende for denne type sensor. Begge dokument var derfor veiledende ved datafangst. Erfaring fra datafangst og analyse av datasettene er tatt med inn i etablering av ny [Produktspesifikasjon: Punktsky](#).

All datafangst i sjø må godkjennes av Forsvaret og prosjektet må oversende en søknad til Kartverket Sjø som detaljerer områdeavgrensning, motivasjon og tiltenkt videre bruk av datasettet. For de to områdene ble det søkt om frigivelse ned til 30m og publisering over høydedata.no. Søknad ligger i Kartverket Arkiv med saksnummer 21/42544. Behandlingstid kan variere og arbeid med å innhente de nødvendige tillatelser bør startes tidlig.

2.2 Feltarbeid og Datafangst

Ideelle forhold for ALB i Nordområdene er høst mot vinter da algeoppblomstring og solforhold er på et minimum. Utfordringen med datafangst på dette tidspunkt er statistisk dårligere vær og snødekke. Datafangst ble derfor satt til vår mot tidlig sommer og siktforholdene ble vurdert med in-situ secchi målinger:

- 16.Mai.2021 / Bliksvær / 5-6m sikt
- 30.Mai.2021 / Bliksvær / 5-6m sikt
- 06.Juni.2021 / Bliksvær / 5-6m sikt
- 02.Juli.2021 / Helligvær / 7-8m sikt

Feltarbeid av denne typen er praktisk utfordrende og bør ikke være en absolutt forutsetning for gjennomføring av en ALB-kartlegging. Det er usikkert om målingene gir et robust grunnlag for klarmelding, men for denne testkartleggingsoppgaven var det av interesse å ha en formening om siktforholdene tett på datafangst.

Kontrollflater på begge øyer ble målt inn med CPOS.

Prosjektet ble klarmeldt for datafangst 01. juli og datafangst ble gjennomført 04 juli 2021 etter noen dager standby på grunn av lav havtåke. Klarmelding tillot datafangst nattetid for å sikre effektiv gjennomføring.

Sensoren har en rekke forskjellige konfigurasjoner og firma gjennomførte kartleggingen i den modusen som de mente var best for å sikre god definering på land. Firma var på forhånd informert om at fokus i denne kartleggingsoppgaven var på topografisk kartlegging og systemet ble satt opp deretter.



Figur 1 - Måling Siktdyp

2.3 Effektivitet Datafangst

Begge områdene ble fløyet i løpet av en kveld og effektiviteten er beregnet til å være 13km² per time i luften. Dette inkluderer svinger og kryssløp og er uten tilflyvning.

God dekning ned til 28m under NN2000. (26m under LAT)

Datafangst startet etter fjære sjø (90cm under NN2000) kl 15:34 passerte høyvann (40cm over NN2000) som ble registrert til kl 21:54 og lå 40cm over middelvann.

	Helligvær	Bliksvær
Areal fra flyplan [km ²]	79	23
Stipulert areal til 40m [km ²]	60	20
Faktisk Topobatydekning [km ²]	44	16
Dekningsprosent Flyplan	56%	70%
Dekningsprosent Stipulert	73%	80%
Flylinjer Lengde [km]	386	133
Flylinjer Ant	33	21
Tid Start (fra INS)	17:45:24	21:32:19
Tid Stopp (fra INS)	21:21:26	22:40:28
Tidbruk (ink 2x xlines)	03:36:02	01:08:09
km ² / time	12	14
km ² / time kombinert	13	
km flylinje / km ²	9	8
km flylinje / km ² kombinert	9	

- Vurderinger av klarmelding basert på målinger av siktedyp (Secchi) er utfordrende og denne type målinger bør ikke være nødvendig for klarmelding.
- Måling av siktedyp ved datafangst er bra for å vurdere resultat, men kan vurderes når vi etter hvert kjenner sensoren bedre.
- Søknad til Forsvaret om datafangst bør utføres tidlig slik at manglende tillatelse ikke utsetter klarmelding.
- Produktspesifikasjon er etablert for ALB
- ALB sensoren er effektiv med en god tetthet på 25m under NN2000 og med en datafangstrate på 13km² per time i operasjonsområdet.

3 Kartlegging av Topografi med ALB sensor

Kartverket har varierende erfaring med kartlegging av topografi med ALB type LiDAR sensorer som ga en lett nervøs terrengmodell med synlig 'ripple artefacts' (Figur 3) og en begrenset penetreringsevne i vegetasjon (Figur 4, SørVestre Hjørne).

ALB sensorene benytter forskjellige målemønstre og energinivåer enn klassisk ALS sensorer og det vil være forskjeller i sluttresultat. Det er også forskjellige tilnærminger mellom forskjellige ALB sensorer. Vurderingen er subjektiv for CZMIL sensoren benyttet i prosjektet.

Med lav flyhøyde, stort fotavtrykk og potensielt mye energi så viser CZMIL sensoren god detekteringsevne. Noe rippleeffekt i engområder, men god definering på harde flater. Sensoren viser også en meget god detekteringsevne på ledning og selv de minste 'spredning' registreres i punktsky. (Figur 5)

I vegeterte områder ser vi god penetreringsevne uten nevneverdig tap i tetthet. (Figur 6, Figur 7).

I prosjektet ble test mot kontrollflater utført hos Kartverket på en ujustert leveranse. Dette for å vurdere nødvendighet av kontrollflater som kan være utfordrende etablere i kystområder. Resultat fra 'Direct Georeferencing' uten lokale kontrollflater ligger rett over forventet nøyaktighet (10cm) gitt for Psky_1_ALS_B med et overaskende likt datumshift for de to områdene.

Intern nøyaktighet i punktskyen er god med 5cm standardavvik over alle kontrollflatene på grus. 13cm forskjell mellom landmålt GCP og punktsky indikerer, som forventet, et datumshift. Men for denne type områdene ute i havgapet, med en dårligere bestemt geoide, bør man gjøre en grundig vurdering av absolutt nøyaktighet og nødvendighet av lokale kontrollflater.



Figur 2 - Kontrollflate Bliksvær

1. Resultat Helligvær:			
Punktsky mot GCP	Median dZ	=	-0.13m
	StdDev	=	0.04m
2. Resultat Bliksvær			
Punktsky mot GCP	Median dZ	=	-0.13m
	StdDev	=	0.05m

For vurdering av nøyaktighet for CZMIL og de andre tilgjengelige sensorene i markedet når korrekt justert mot kontrollflater etablert i henhold til PaBG i vises det til artikkelen [Quantitative Evaluation of Bathymetric LiDAR Sensors and Acquisition Approaches in Lærdal River in Norway](#).

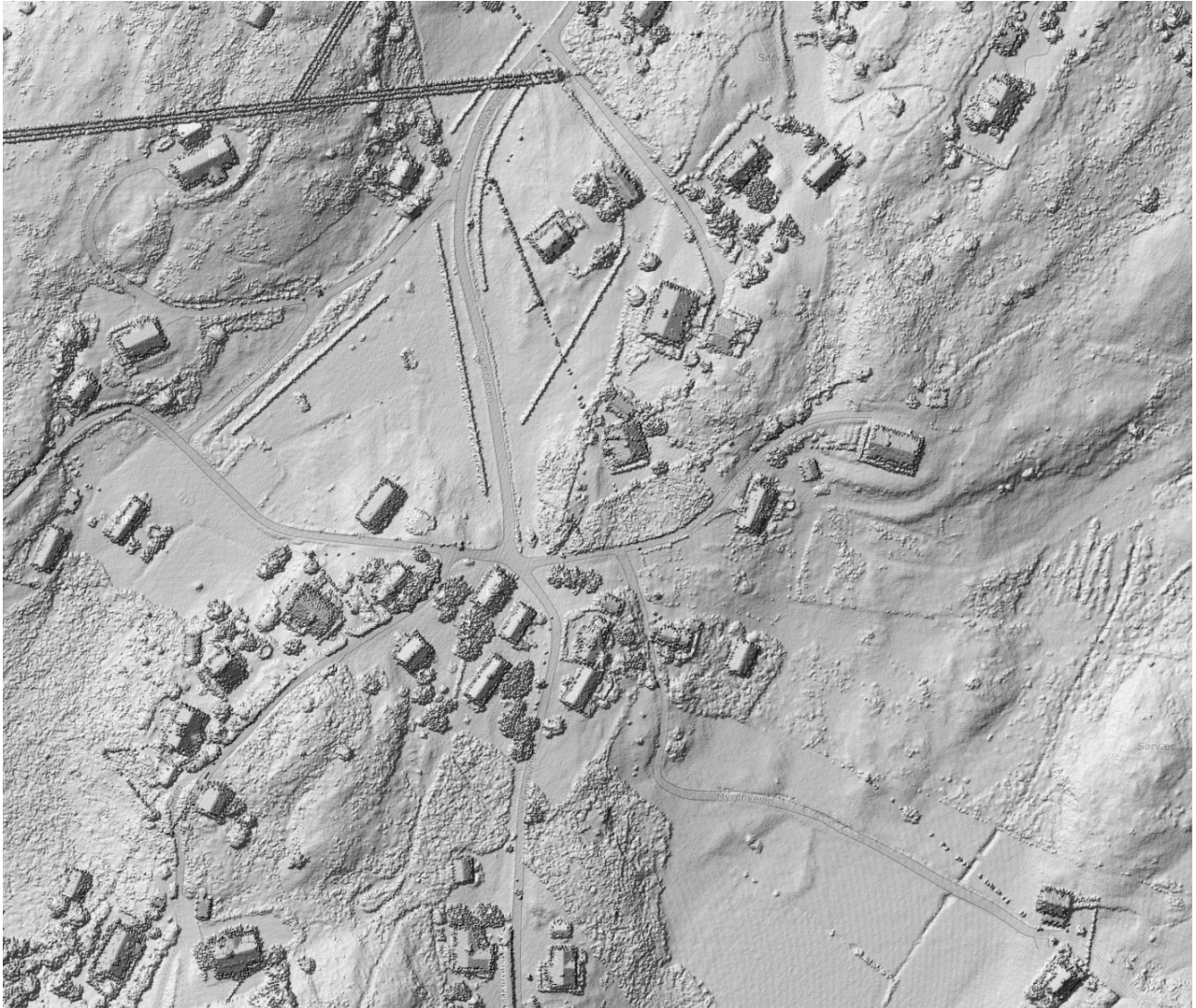
- CZMIL sensoren vurderes som godt egnet som topokartlegger
- Med lav flyhøyde viser den meget god evne til å detektere ledning.
- I tett vegetasjon er det ikke nevneverdig tap
- Ujustert punktsky i dette prosjektet lå rett over krav til nøyaktighet satt for ALS
- Justert punktsky fra en ALB sensor forventes å innfri krav til nøyaktighet for ALS



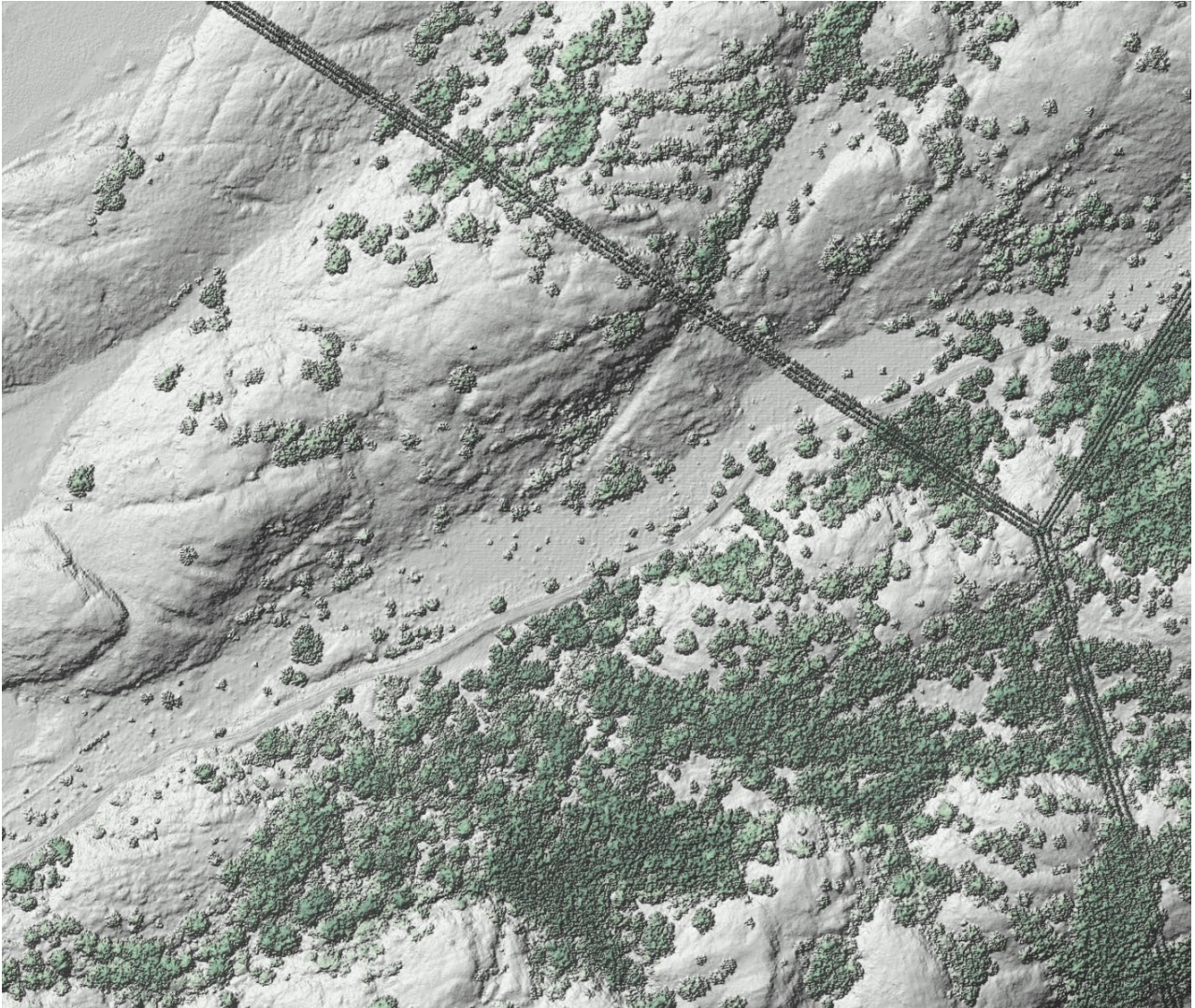
Figur 3 - Overflatemodell Optech Titan (5p / 1:1000)



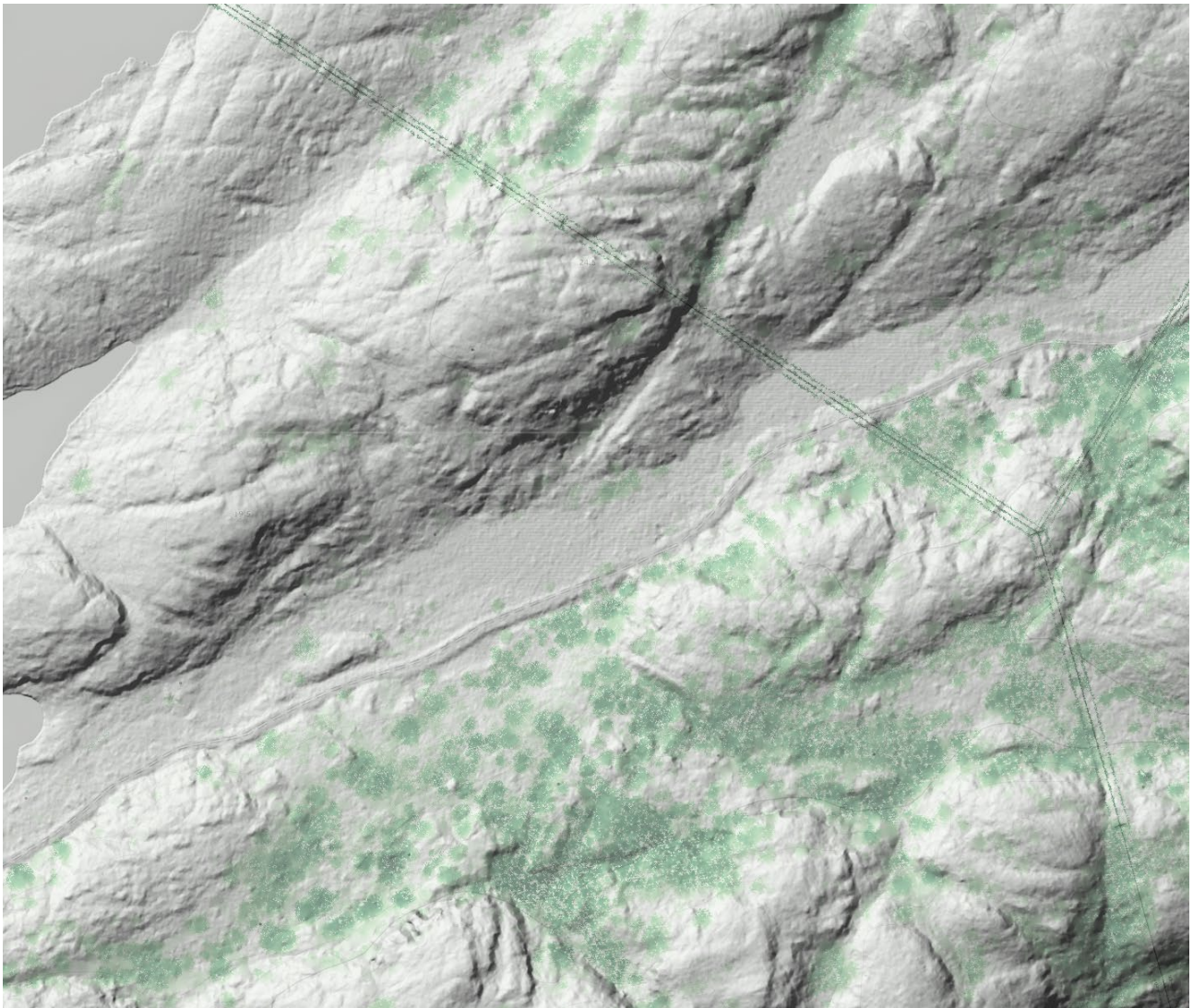
Figur 4 - Terrengmodell Optech Titan (5p / 1:1000)



Figur 5 -  flatemodell Teledyne Optech CZMIL Supernova (5p / 1:1000)



Figur 6 - CZMIL DOM under normalisert raster (5p / 1:1000)

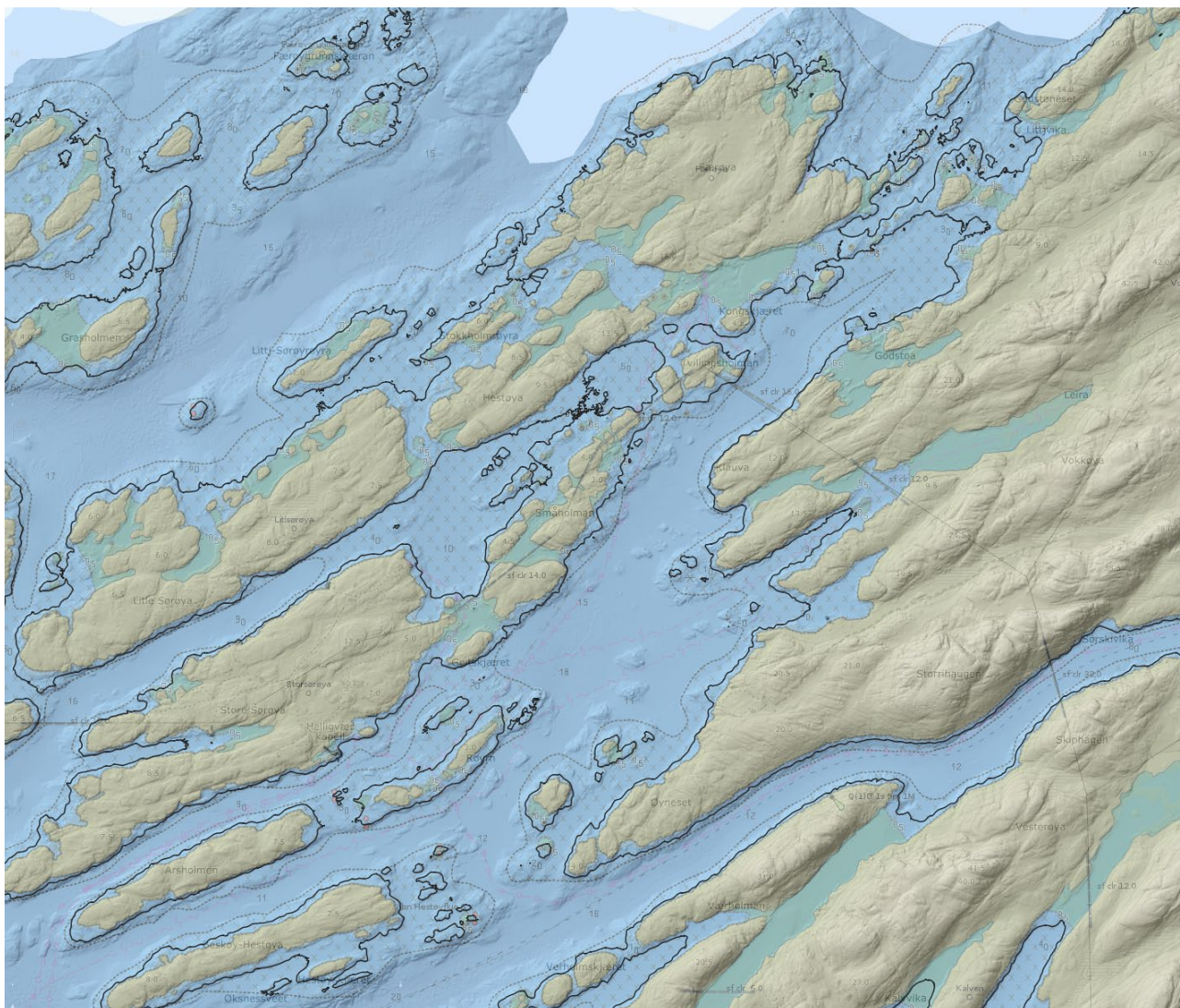


Figur 7 - CZMIL DTM under normalisert raster (5p / 1:1000)

4 Samfinansiering ALB datasett

Datasett fra en topobatykartlegging innfrir forventninger fra alle parter i Geovekst og i egnede områder bør kost-nytte vurderes opp mot en standard ALS kartlegging. Kostnadene forventes å være signifikant høyere enn ALS på grunn av sensor tilgjengelighet og en lav flyhøyde på 400m, men datasettet vil kunne benyttes til prosjektering, geotekniske analyser, ledningskartlegging, beregning av vegetasjonsvolum og ikke minst etablering av en sømløs topobatymodell ned til gitt dybde. Datasettene kan også gi merverdi for eventuell etablering av marine grunnkart og som grunnlag for å planlegge effektiv datafangst fra båt.

Bathymetrien strekker seg ned med god dekning ned til 25m og etablerer en meget god batymetrimodell som vist i som kan gi nytte inn mot arbeid med hydrografiske produkter (Figur 8).

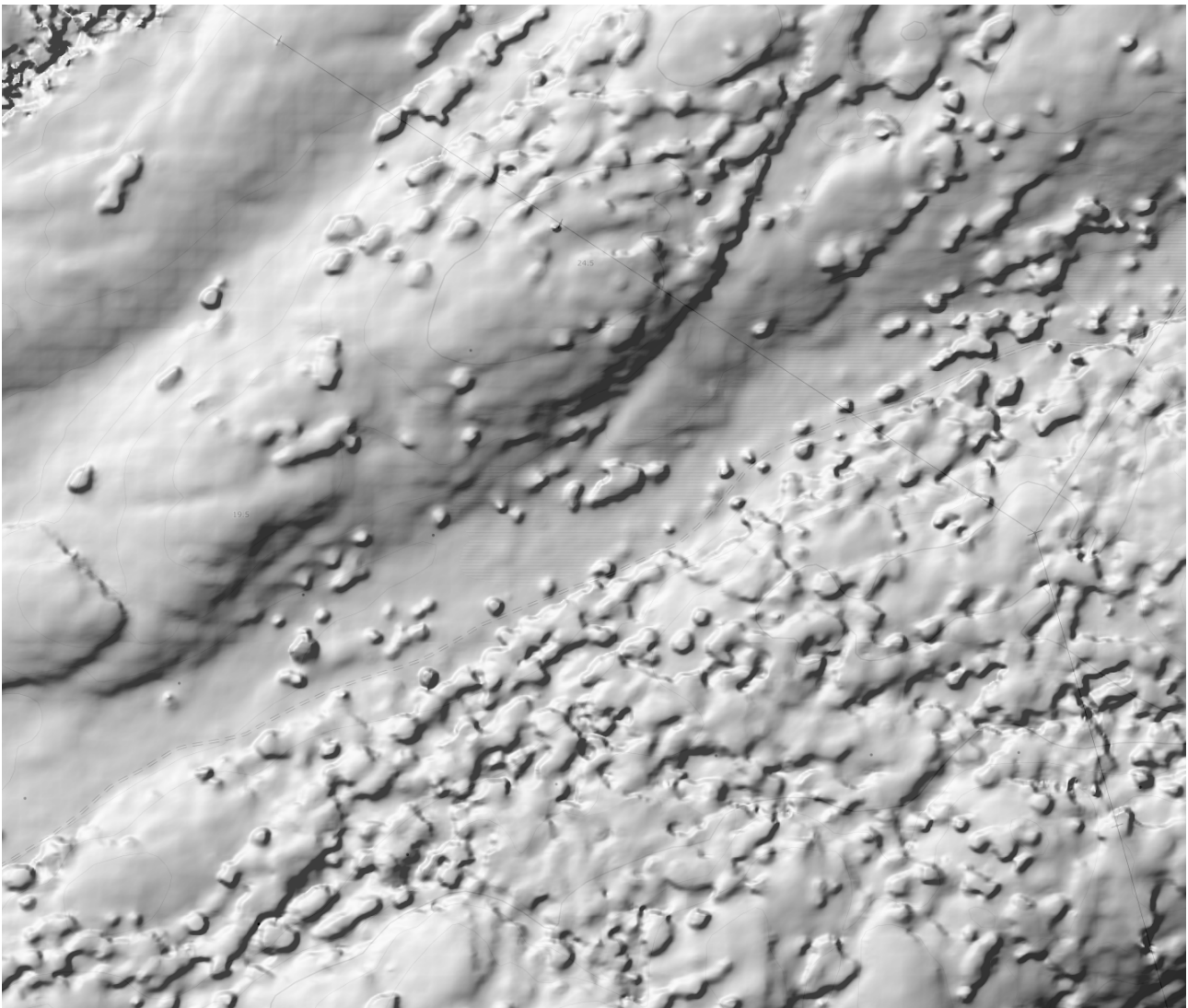


Figur 8 - ENC over Topobathy med -4m med autogenerated -4m dybdekontur.

- Topobaty kartlegging med ALB sensor vurderes som godt egnet for samfinansiering, både over Geovekst, men også sammen med andre etater.

5 Vurdering nøyaktighet Bildematching i kystområder

Ved bygging av en heldekkende nasjonal terrengmodell er det i høyfjell og kystområder tenkt benyttet overflatemodeller etablert med bildematching fra omløpsfoto. Punktskyene fra denne bildematchingen kjøres gjennom en klassifisering som klassifiserer bort enkle busker og mindre steiner i åpent fjellterreng. Ute i kystområdene hvor man har en miks av bart fjell, lett vegetasjon, skog og infrastruktur gir ikke punktskyen et godt nok grunnlag til å etablere en god terrengmodell. I praksis vil vi i disse områdene etablere terrengmodellen med en overflatemodell, noe som er uheldig for videre foredling av dette datasettet. Figur 9 viser bildematchet modell over samme område som Figur 6 og Figur 7.



Figur 9 - Nordland Nord 2022 - (4p / 1:1000)

For å kvantifisere forskjellen er det utført en dH analyse, matching minus CZMIL justert mot kontrollpunkt, innenfor landareal. Landareal etablert med 5m negativ buffer for å garantere at vannflatestøy ikke påvirker analysen.

For Helligvær er følgende resultat beregnet for dH grid:

dH Maks	11,95m
dH Gjennomsnitt	0,09m
dH Min	-2,65m
dH Standardavvik	0,69m

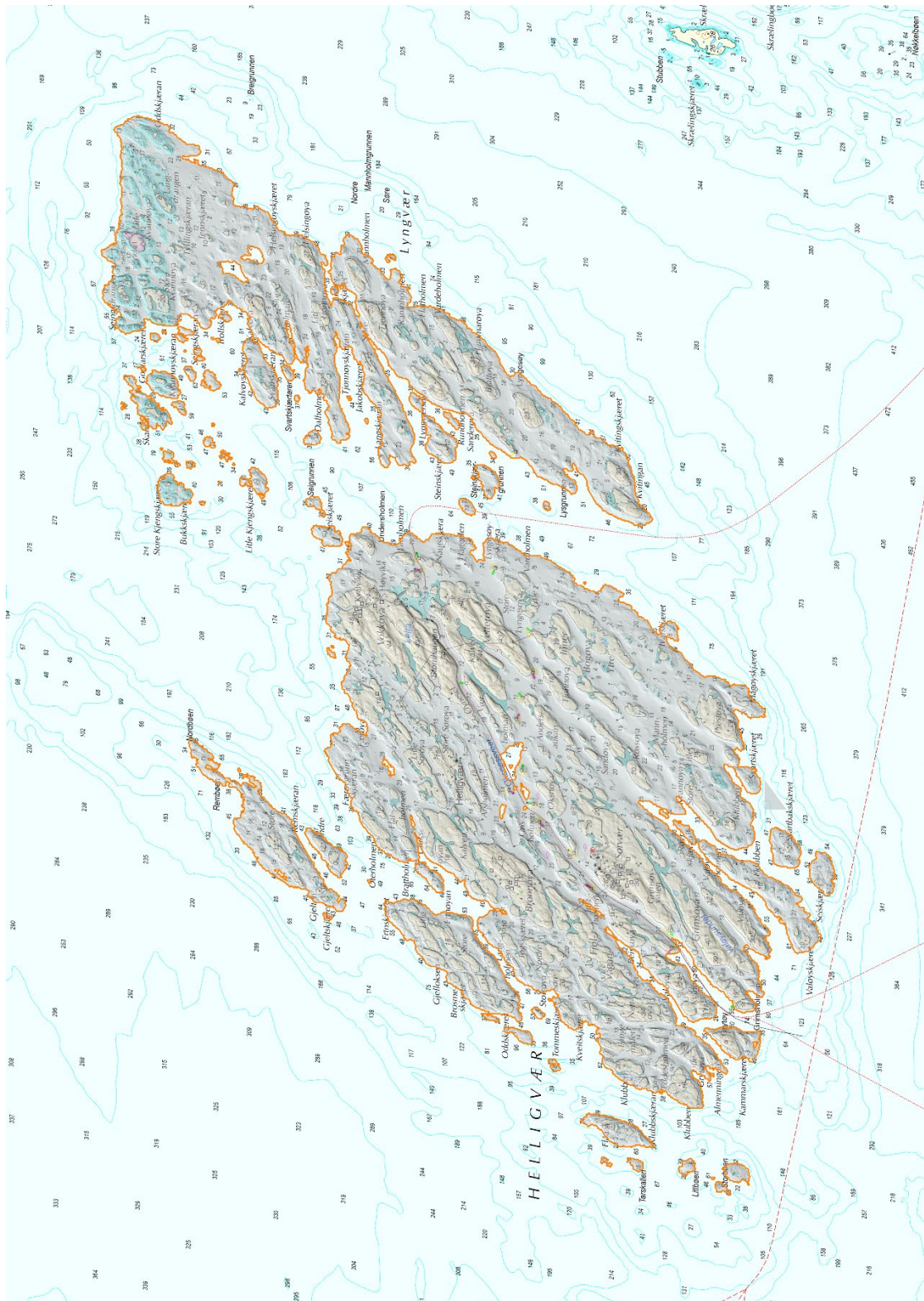
Bildematchet punktsky ligger innenfor en desimeter, men standardavvik på dH plottet er på 70cm på grunn av nevnt problematikk med overflatemodell versus terrengmodell i områder med skog og bebyggelse.

- For kystområder vil en DTM basert på overflatemodell fra bildematching ikke være egnet for å bygge nasjonal detaljert terrengmodell og det anbefales at områder langs kyst nominert for bildematching områdene ikke prosesseres inn i NDH.

6 Vedlegg

- «NDH Topobaty Helligvær 5pkt 2021»
 - hoydedata.no
 - [rapport](#)
- Datasett «NDH Topobaty Bliksvær 5pkt 2021» (hoydedata.no)
 - hoydedata.no
 - [rapport](#)
- Rapporter ALB Elv Innsjøprosjekt:
 - [NVE Rapport 2/2023: Validation and application of Airborne LiDAR Bathymetry \(ALB\) technology for improved management and monitoring of Norwegian rivers and lakes : a pilot study 2021-2022](#)
 - [NTNU Open: Quantitative Evaluation of Bathymetric LiDAR Sensors and Acquisition Approaches in Lærdal River in Norway](#)

7 Oversiktskart Helligvær



8 Oversiktskart Bliksvær

