



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2022 30 stp
Fakultet for Realfag og Teknologi

Data fra ulike innsamlings- plattformer i bratte fjellområder og deres egnethet til deteksjon av ras

Data from different platforms in steep mountain
areas and their suitability for landslide detection

Mohammed Sahan
Emilie Lampe Marifjæren
Geomatikk

Sammendrag

I Norge er det varierende terreng med tidvis bratte fjellpartier. For å kunne dokumentere mulige skred- eller rashendelser er det behov for god, innsamlet informasjon om områdene. I vårt tilfelle ser vi nærmere på Trollstigen, hvor vi ønsker å undersøke om det kan detekteres ras. Plattformene som vil bli sett på er fly, helikopter og drone, der data fra disse vil gå til produksjon av ulike modelltyper. Det skal dermed vurderes hvilken plattform som egner seg best til å detektere ras, samt hvordan de ulike modellene egner seg til formålet.

I denne sammenligningen vil det gjennomgås teori rundt ras og luftbåren laserskanning, før det videre forklares hva som inngår i databehandlingen av de ulike modelltypene. For å få en forståelse for området og hva som inngår i rashendelser, vil også dette presenteres etterfulgt av en forklaring på de ulike plattformene, og hva som inngår i de. All prosessering av flydata er gjort av oss, noe som gjør at ulike parametre og innstillinger er valgt ut i fra undersøkelsens vinkling. Dette innebærer datainnsamling, prosessering og ulike kvalitetskontroller underveis. Punktskyer fra andre innsamlingsplattformer som er brukt i sammenligningen ble ferdigstilt på forhånd. Dette viste seg å skape noen utfordringer rundt sammenligning grunnet forskjvninger mellom datasettene.

Resultatene som fremkommer av denne undersøkelsen viser til at laserdata fra de forskjellige plattformene har flere likheter, og vil kunne ha ulike bruksområder. Modellene som er benyttet vil vurderes ut i fra egnethetskriterier som vi mener er vesentlig for å kunne muliggjøre deteksjon av endringer i terrenget langs fjellvegger. På grunn av den ferdigprosesserte dataens nøyaktighet, vil det ikke kunne konstateres med sikkerhet, endringer som er mindre enn 6 cm i grunnriss og 8 cm i høyde.

Avslutningsvis vil de ulike plattformene og modellene undersøkes før det endelig konkluderes med at dronedata egner seg best ut i fra våre kriterier, gjerne i kombinasjon med en meshmodell. Dette resultatet vil begrunnes gjennom sammenligningsprosessen. Denne masteroppgaven konkluderer ikke om det har foregått skredhendelser mellom innsamlingsintervallene, men mye tyder på at det er mulig å detektere det på ulike nivåer dersom det skulle bli tilfellet.

Abstract

Norway introduces varying terrain, with occasional steep mountainous areas. To be able to observe possible landslide events, there is a need for accurate geospatial data about the areas. In this case, we take a closer look at Trollstigen, where we have a desire to investigate whether landslides can be detected. The platforms that will be used are aircraft, helicopter and drone, where data from these will be used to produce different model types. It should thus be considered which platform is best suited to detect landslides, and to which degree the model types achieve this goal.

In this thesis, theory around landslide and airborne laser scanning will be reviewed, before it further explains what is included in the data processing of the different model types. To achieve an understanding of the area and landslides in general, theory around this topic will be introduced, followed by an explanation for the various platforms and what is included in them. All processing of flight data is done by us, which means that different parameters and settings are selected based on the issue at hand. This involves data collection, processing and various quality checks along the way. Point clouds from other collection platforms used in the assignment were completed in advance. This was found to create some challenges around comparison due to displacements between the datasets.

The results that appear from the thesis indicate that laser data from the different platforms have several similarities and may have different applications. The models used will be evaluated based on suitability criterias that we believe are essential to achieve detection of changes in the terrain along mountains. Due to the accuracy of the processed data, it will not be possible to detect changes that are less than 6 cm in the x-y direction and 8 cm in height with certainty.

Finally, the various platforms and models will be examined before it is finally concluded that drone data is best suited for our criterias, often in combination with a mesh model. This result will be justified in the comparison process. This master's thesis does not conclude whether there have been any actual landslides between the collection periods, but several factors indicate that it will be detectable if landslides occur.

Forord

Denne oppgaven er avslutningen på en femårsperiode med studier ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Oppgaven baserer seg på kunnskap og interesse som er akkumulert i løpet av denne studietiden, samt ny teori. Underveis har vi hatt ulike ansvarsområder, men vi står begge inne ved helheten av oppgavens innhold. Ansvaret har vært fordelt slik at Mohammed Sahan har foretatt prosesseringen, mens Emilie L. Marifjæren har stått for bruk av analyseverktøy. Begge parter har likevel tatt del i alle stegene underveis, og er enig i at arbeidsoppgavene har vært jevnt fordelt ellers.

Vi vil takke vår eksterne veileder, Kay Frode Kristiansen, samt andre ansatte ved Field Group, for all hjelp med tilgang til programvare, prosessering og ideer. Field Group er navnet på tidligere Terratec og KVS Technologies, da disse ble sammenslått i løpet av oppgavens periode. Det vil derfor refereres til de tidligere navnene i teksten. Selv om terrenget som er jobbet med er krevende, har Kristiansen bidratt med alternative metoder som har satt sitt preg på undersøkelsen. Det skal også gis ut en stor takk til tilleggsveileder Dagrun Aarsten for tilgang og god veiledning i Quick Terrain Modeler, samt innspill og hjelp til ulike vinklinger rundt oppgaven.

Uten Halgeir Dahle fra Statens Vegvesen, ville sammenligningen vært foruten ett av hovedområdene. Det rettes derfor en stor takk til han for deling av gode data, samt sin store interesse rundt problemstillingen vår.

I tillegg ønsker vi å rette en stor takk til hovedveileder Ivar Maalen-Johansen ved NMBU for gode samtaler rundt problemstillingen, og hjelpsomme råd under oppgaveskrivingen.

Avslutningsvis vil vi gjerne takke hverandre for et godt og plettfritt samarbeid, både gjennom denne oppgaven og ved tidligere anledninger under studieperioden. Sist, men ikke minst, rettes stor takknemlighet til venner og familie som har hjulpet med motivasjon, og generell støtte underveis.



Mohammed Sahan



Emilie Lampe Marifjæren

Ås, 13. desember 2022

Forkortelser

Tabell 1: Forkortelser i oppgaven

DOM	Digital Overflatemodell
DTM	Digital Terrengmodell
ECEF	Earth Centered Earth Fixed
FKB	Felles KartdataBase
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
HDOP	Horisontal Dilution of Precision
IMU	Inertial Measurement Unit
INS	Inertial Navigation System
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
LiDAR	Light Detection And Ranging
NDH	Nasjonal Detaljert Høydemodell
NED	North East Down
NVE	Norges Vassdrag- og Energidirektorat
PDOP	Position Dilution of Precision
RMS	Root Mean Square
RTK	Real-Time Kinematic
SOSI	Samordnet Opplegg for Stedfestet Informasjon
TIN	Triangulated Irregular Network
UTM	Universal Transverse Mercator
VDOP	Vertical Dilution of Precision

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	I
Abstract	II
Forord	III
Forkortelser	IV
Figurliste	VII
Tabelliste	X
1 Innledning	1
1.1 Problemstilling	1
1.2 Bakgrunn for oppgaven	1
2 Teori	2
2.1 Rasregistrering	2
2.2 Prinsipper for laserskanning	3
2.2.1 LiDAR	3
2.2.2 Oppbygging	3
2.2.3 Bruksområder	4
2.3 Luftbåren laserskanning	5
2.3.1 GNSS og IMU	5
2.3.2 Laserskanner	6
2.3.3 Mulige feil, avvik og nøyaktigheter	8
2.4 Databehandling	10
2.4.1 Filtrering og klassifisering	10
2.4.2 Kvalitetskrav	16
2.5 Datatyper	17
2.5.1 Punktsky	17
2.5.2 Digital terreng- og overflatemodell	18
2.5.3 3D-mesh	18
3 Områdebeskrivelse og materiale	19
3.1 Om området - Trollstigen	19
3.1.1 Våre områdeavgrensninger	21
3.2 Om ras	22
3.2.1 Steinsprang	22
3.2.2 Steinskred	22
3.2.3 Skadeomfang	22
3.2.4 Utløsende faktorer	23
3.2.5 LiDAR og ras	23
3.3 Rasvurdering i Trollstigen	25
3.4 Plattformer og instrumenter	27
3.4.1 Fly	27

3.4.2	Helikopter	28
3.4.3	Drone	29
3.4.4	Fordeler og ulemper	29
3.5	Spesifikasjoner	30
3.6	Programvare	31
3.6.1	Terrapos	31
3.6.2	RiProcess	31
3.6.3	MicroStation og Terrasolid	31
3.6.4	CloudCompare	31
3.6.5	Quick Terrain Modeler (QTM)	31
4	Metode	32
4.1	Klargjøring av data	32
4.1.1	Prosessering	33
4.2	Produksjon av modeller	49
4.2.1	Punktskyjustering - CloudCompare	49
4.2.2	3D-Meshmodell - CloudCompare	52
4.2.3	Digital Terrengmodell - QTM	53
4.3	Ortofoto	54
5	Resultat	55
5.1	Oversiktskart	55
5.2	Utfordringer med volumberegninger	56
5.3	Egnethet	58
5.4	Område B	59
5.4.1	Punktsky	59
5.4.2	Digital Terrengmodell	62
5.4.3	3D-mesh	64
5.5	Område C	67
5.5.1	Punktsky	67
5.5.2	Digital Terrengmodell	70
5.5.3	3D-mesh	72
5.6	Område D	74
5.6.1	Punktsky	74
5.6.2	Digital Terrengmodell	77
5.6.3	3D-mesh	80
5.7	Egnethetstabell	83
5.8	Resultat	84
5.8.1	Plattformer	84
5.8.2	Modeller	85
5.8.3	Feilkilder	86
6	Konklusjon	87
6.1	Ved fremtidig arbeid	88
	Litteraturliste	89
	Figurreferanser	93
	Vedlegg	95

Figurer

2.1	Bilde fra Skredregistrering.no	2
2.2	Oppbygging av laserskanner	3
2.3	Ulike typer laserskanning	4
2.4	Komponenter i fly	5
2.5	Komponentenes akser	5
2.6	Objektets spektralsignatur	6
2.7	Roterende polygon	6
2.8	Fotavtrykk	7
2.9	Illustrasjon av multipath	7
2.10	Multiple returer	7
2.11	Parametre i <i>Ground Classification</i>	11
2.12	Illustrasjon av <i>Ground Classification</i> parametre	11
2.13	Parametre i <i>Hard Surface Classification</i>	12
2.14	Parametre i <i>Buildings Classification</i>	13
2.15	Parametre i <i>Low Points Classification</i>	14
2.16	Illustrasjon av <i>Low Points</i> parametre	14
2.17	Parametre i <i>Isolated Points Classification</i>	15
2.18	Parametre i <i>Height from ground Classification</i>	15
2.19	Parametre i <i>Absolute Elevation Classification</i>	16
2.20	Utdrag fra Punktsky 1.0	17
2.21	Digital terrengmodell	18
2.22	Digital overflatemodell	18
3.1	Trollstigen	19
3.2	Trollstigeveien med navn	20
3.3	NVE Temakart	20
3.4	Områdeavgrensninger	21
3.5	Steinsprang	22
3.6	Steinskred	22
3.7	Ramnefjellet i Loen	23
3.8	Rotspreng i berg	23
3.9	Rasområde i Gjerdrum kommune	24
3.10	Registrerte skredhendelser	25
3.11	Antatte områder med ustabile steinblokker	26
3.12	Grustaksvingen med ny veisløyfe midt i bildet	26
3.13	Flyplan	27
3.14	Installert system i fly	28
3.15	Riegl VQ1560II-S	28
3.16	Riegl VUX-1UAV	28
3.17	Intertial Labs RESEPI Payload	29
3.18	Livox Avia LiDAR Sensor	29
4.1	Prosesseringsløype	32
4.2	Flyets rute	33
4.3	Standardavvik gitt med tid	34

4.4	DOP-verdier og satellittdekning gitt med tid	35
4.5	Ionosfæriske effekter	36
4.6	Import av las-filer	37
4.7	Illustrasjon av dårlig støyklassifisering	38
4.8	Områder med klasse 18 - Høy støy	39
4.9	Punkter bak fjellvegg	39
4.10	Fargeforklaring	40
4.11	Område A	40
4.12	V til H: Område C, D og B	40
4.13	Fortynnet punktsky	41
4.14	Innstillinger ved tielinesøk	42
4.15	Resultat av tielinesøk	42
4.16	Før korreksjoner	43
4.17	Etter korreksjoner	43
4.18	Uklassifiserte fjellpartier	45
4.19	Støy langs fjellvegger	45
4.20	Klassifisering etter editering	45
4.21	Utsnitt fra rapport	46
4.22	Mønelinje fra toppen	47
4.23	FKB-vektor og punktskyvektor	47
4.24	DTM basert på høyeste bakkepunkt	48
4.25	DTM basert på laveste bakkepunkt	48
4.26	Parametre i <i>Fine Registration (ICP)</i>	49
4.27	Resultat etter <i>Fine Registration (ICP)</i>	49
4.28	Resultat av punktskyjustering, Område A	50
4.29	Resultat av punktskyjustering, Område C	51
4.30	Testing av SF-verdier - Område B	52
4.31	Testing av SF-verdier - Område C	52
4.32	Utsnitt av punktsky fra drone, Område A	53
4.33	Utsnitt av DTM laget fra dronepunktsky, Område A	53
4.34	Utklipp fra norgebilder.no	54
5.1	Digital overflatemodell drapert med ortofoto	55
5.2	Tverrsnitt: DTMer benyttet til volumberegning	56
5.3	Tagger i DTM av flydata - Område B	57
5.4	Tagger i DTM av dronedata - Område B	57
5.5	Område B - Punktskyer	59
5.6	Område B - Objektgjenkjenning i punktskyer	61
5.7	Område B - Detaljer i punktskyer	61
5.8	Område B - Digitale terrengmodeller	62
5.9	Område B - Objektgjenkjenning i terrengmodeller	63
5.10	Område B - Detaljer i terrengmodeller	64
5.11	Område B - Meshmodeller	64
5.12	Område B - Objektgjenkjenning og punkttetthet i meshmodeller	65
5.13	Område B - Detaljer i meshmodeller	66
5.14	Område C - Punktskyer	67
5.15	Område C - Objektgjenkjenning i punktskyer	68
5.16	Område C - Detaljer i punktskyer	69
5.17	Område C - Digitale terrengmodeller	70
5.18	Område C - Objektgjenkjenning i terrengmodeller	70
5.19	Område C - Tverrsnitt i terrengmodeller	71

5.20	Område C - Detaljer i terrengmodeller	71
5.21	Område C - Meshmodeller	72
5.22	Område C - Objektgjenkjenning i meshmodeller	73
5.23	Område C - Detaljer i meshmodeller	73
5.24	Område D - Punktskyer	74
5.25	Område D - Objektgjenkjenning i punktskyer	75
5.26	Område D - Detaljer og sprekkdannelse i punktskyer	76
5.27	Område D - Digitale terrengmodeller	77
5.28	Område D - Objektgjenkjenning i terrengmodeller	78
5.29	Område D - Detaljer i terrengmodeller	78
5.30	Tverrsnitt i terrengmodeller gjennom C2.6	79
5.31	Område D - Meshmodeller	80
5.32	Område D - Objektgjenkjenning i meshmodeller	81
5.33	Område D - Detaljer i meshmodeller	82
6.1	Midlet temperatur per dag over ett år (Sept 2021 - Sept 2022)	95
6.2	Nedbør per dag over ett år (Sept 2021 - Sept 2022)	96
6.3	Tetthetsplot for laserdata fra fly med områdeavgrensningene	97

Tabeller

1	Forkortelser i oppgaven	IV
3.1	Plattformer og systemdetaljer	30
4.1	Kontroll av grunnrissnøyaktighet	47
5.1	Volumberegninger	56
5.2	Område B - Punkttetthet i punktskyer	60
5.3	Område C - Punkttetthet i punktskyer	68
5.4	Område D - Punkttetthet i punktskyer	75
5.5	Fargeskala	83
5.6	Egnethetstabell	83

Innledning

1.1 Problemstilling

I denne undersøkelsen skal vi sammenligne data fra ulike plattformer for bratte fjellområder, og undersøke deres egnethet til å detektere ras. I dette tilfellet vil dette være laserdata fra plattformene fly, helikopter og drone. Punktskyen vil deretter brukes som en base for å lage digitale terrengmodeller og 3D-meshmodeller som også skal brukes som sammenligningsgrunnlag. Vi ønsker å finne ut av *hvilken plattform som egner seg best til å detektere endringer i terrenget, i bratte fjellområder*. For å kunne svare på denne problemstillingen må det gjøres en del prosessering før alle datasett kan sammenlignes.

For å få frem interessante funn og andre spennende vinklinger underveis ble det satt noen delmål. Disse er:

- Hva regnes som egnethet i vårt tilfelle?
- På hvilke områder kan plattformene egne seg ut i fra dataen oppgaven har resultert i?
- Hvor mye forflytning kreves for at det kan identifiseres endringer i datasettene?
- Hva slags-, eller hvilket type datasett egner seg best for deteksjon av endringer i terrenget?

1.2 Bakgrunn for oppgaven

Gjennom studietiden vår har vi gradvis fått en spesiell interesse for rashendelser og dronebruk. Vi ble derfor svært fornøyd da Terratec ga oss mulighet til å se på laserdata fra drone og fly i Trollstigen. Dette gjorde det mulig for oss å sammenligne de ulike plattformene når det kom til deres egnethet til å detektere endringer i terrenget. Valget falt dermed naturlig på den angitte problemstillingen.

Innledningsvis skulle begge datasettene tildeles ferdig prosessert, men på grunn av en stor gjestfrihet fra Terratec sin side, ble det flydd på ny. Dette ble gjort for å kunne oppnå en høyere punkttetthet for vår oppgaves skyld. Dette resulterte i at vi også fikk muligheten til å gjennomføre prosesseringen av flydata på egen hånd. Dette vil gjenspeiles i undersøkelsen.

Terratec har i tillegg vært meget hjelpelig med tilgang til programvarer. Disse har vært benyttet til navigasjonsløsninger, preprosessering av rådata og produksjon av ferdig produkt. Henholdsvis kalles disse programvarene Terrapos, RiProcess og Terrasolid. Det er også benyttet andre programvarer for analyse på eget initiativ. Ved hjelp av de ulike programvarene har det vært mulig å produsere ulike modeller, samt å analysere dem.

Underveis fikk vi også tildelt data og informasjon fra Statens Vegvesen. Dette bidro til ett ekstra undersøkelsesområde, noe som beriket sammenligningen med et større omfang når det kom til undersøkelse av bratte fjellområder. Tidligere rapporter og undersøkelser fra Statens Vegvesen sin side ga også et klarere inntrykk av Trollstigen og skred generelt. Noen av disse rapportene har innhold som vil bli videre undersøkt i oppgaven.

Teori

Under dette kapittelet vil det introduseres prinsipper som er anvendt for å kunne komme frem til brukbare modeller for et ønskelig resultat. I undersøkelsen er det benyttet laserskanning, og en egen type databehandling for innsamlet informasjon. Det er gjort laserskanning fra flere plattformen, men for fly, helikopter og drone vil prinsippene under flybåren laserskanning gjelde for samtlige. På grunn av oppgavens problemstilling vil det også være naturlig å belyse rasvurdering.

2.1 Rasregistrering

I Norge er det Olje- og energidepartementet (OED) som gjennom Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) har ansvaret for å kartlegge, overvåke og varsle om ustabile fjellparti. NVE har sammen med kommunen, fylkesmannen, politiet og redningstjenesten et hovedansvar for blant annet varsling og overvåking av rashendelser [NVE, 2015].

Det kan naturligvis forekomme at politiet blir varslet av befolkningen om skred som allerede har skjedd, og de vil da sammen med NVE sette i gang med evakuering og eventuelt redningsarbeid [Politiet, 2022]. Privatpersoner kan også registrere informasjon om skredhendelser på skredregistrering.no. Her vil informasjonen lagres i NVE sin nasjonale skredhendelsesdatabase. Det som rapporteres inn gjennom denne databasen vil være tilgjengelig i NVEs egen kartportal, NVE-atlas (Figur 2.1)[NVE, 2022c]. Her er det også viktig å legge merke til at kildene ikke nødvendigvis er gitt og at kompetansenivået til melder er ukjent.



Figur 2.1: Bilde fra Skredregistrering.no [NVE, 2022c]

På bakgrunn av informasjon som vil gjennomgås i undersøkelsen, kan det også antas at gjennomførte registreringer kun vil speile en liten del av helhetsbildet. Dette kan komme av flere grunner, for eksempel at det til tider kan ha vært manglende registreringsrutiner eller at det har passert skred som ikke har lagt igjen skredmasser i veien. I en rapport fra Statens Vegvesen er rasfrekvensen beregnet ved hjelp av ulike databaser og dokumenteringssystemer, som for eksempel Nasjonal Vegdatabank(NVDB) og Vegloggen¹ [Dahle og Humstad, 2018].

Statens Vegvesen leder også forskningsprosjektet GEOSFAIR², som skal undersøke droners egnethet til analyse av skredfare mot vei [Statens Vegvesen, 2022]. Hovedsakelig fokuseres det på snøskred, men med planer om å benytte samme forskning for alle naturfarer. Tidligere forskning fra 2012 konkluderer med at luftbårne innsamlingsmetoder trolig vil benyttes hyppigere ved skredanalyser i fremtiden, kombinert med digitale terrengmodeller [Jaboyedoff mfl., 2012]. Selv om GEOSFAIR ikke spesifiserer bruken av digitale terrengmodeller, er luftbåren laserskanning allikevel blitt et godt alternativ for skredkartlegging i Norge.

¹Vegtrafikksentralenes system for registrering av blant annet hendelser på vegnettet

²GEOSFAIR er et samarbeid med NGI og SINTEF

2.2 Prinsipper for laserskanning

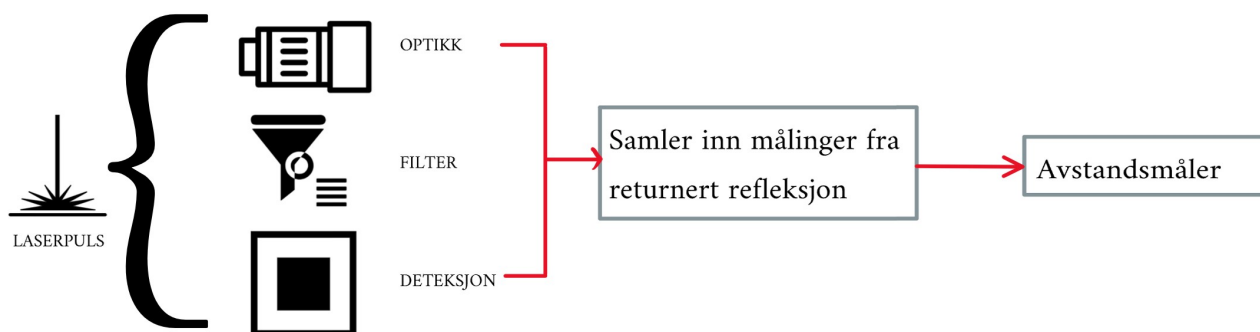
2.2.1 LiDAR

LiDAR (Light Detection And Ranging) er en aktiv sensor som krever klar sikt. En aktiv sensor vil si at den selv sender ut et signal - i dette tilfellet en laserpuls som registreres når signalet returneres. LiDAR er en av tre metoder for optisk måling, der den også kalles “Time of flight” eller “Light Transit Time Estimation” [Vosselman og Maas, 2010b]. Målingene kan være høyoppløselige, og med høy presisjon dersom det er tilgang til nyttig metadata eller attributter [Aarsten, 2021a]. I denne metoden brukes laser for å gjøre målinger der høy energitetthet og kort bølgelengde gir en konsentrert lysstråle med lang rekkevidde. Med en smal spektralbredde vil det også være liten påvirkning fra annen uønsket stråling. Det kan dermed tas i bruk korte pulslengder og kort pulsstigningstid slik at det kan oppnås nøyaktige avstandsmålinger. Dette kan anvendes med en høy målefrekvens, noe som resulterer i høy punkttetthet og høyere effekt. “Time of flight”-metoden fungerer slik at det sendes ut en laserpuls som deretter reflekteres av målepunktet. Pulsen returneres til sensor, og avsending- og returtid (δt) registreres. Når denne tiden er observert, kan avstanden (d) mellom skanner og målt objekt regnes ut ved å multiplisere den med lysets hastighet (c) [Aarsten, 2021b].

$$d = \frac{\delta t * c}{2}$$

2.2.2 Oppbygging

Laserskanneren er bygget opp av flere komponenter. Laserpulsene sendes ut fra kilden, og deretter gjennomgå en fokusering før den sendes ut gjennom lysåpningen (Figur 2.2). Lyset som sendes ut vil sendes gjennom et medium - vanligvis luft, og treffer deretter overflaten som skal måles før det reflekteres. Når laserpulsene sendes ut vil strålen divergere. Det vil si at dersom strålen treffer et nært objekt, vil det såkalte fotavtrykket av laseren være mindre enn dersom den skulle treffe et objekt med større avstand fra lyskilden. Strålen som reflekteres mottas i åpningen, og samles til slutt i detektoren før den blir registrert og konvertert til et digitalt signal.



Figur 2.2: Oppbygging av laserskanner

2.2.3 Bruksområder

Laserskanningsprinsippet kan tas i bruk på flere måter (Figur 2.3), og er med tiden utviklet til å være mer håndterbart og mobilt.

Terrestrisk laserskanner er plassert på bakken noe som kan gi høy nøyaktighet, og er ofte brukt i sammenheng med skanning av bygg. **Bærbar** laserteknologi kan også tas i bruk ved skanning av bygg, men denne vil gi en lavere nøyaktighet da denne vil flyttes mer rundt på. Både terrestrisk og bærbar laserskanning kan bidra til leveranser i form av punktskyer, kontroller, dokumentasjon og digitale tvillinger [Terratec AS, 2022e]. En annen mobil metode er **bilbåren** laserskanning. Denne muliggjør skanning overalt hvor en bil kan kjøre, og regnes som både rask og effektiv. Resultater av en slik type skanning kan resultere i detaljerte punktskyer som også kan bli grunnlag for TIN-modeller [Terratec AS, 2022b]. I områder hvor det både kan være vanskelig å gå eller kjøre, er **flybåren** laserskanning en stor fordel. Dette gjør det mulig å dekke større arealer på kort tid, men vil i gjengjeld gi en lavere nøyaktighet og punkttetthet [Terratec AS, 2022d]. Sistnevnte metoden skal sees nærmere på i neste delkapittel.

En hvilken som helst laserskanning kan resultere i store mengder data. Disse blir vanligvis lagret som .las- eller .laz-filer, der en av hovedforskjellene mellom dem er at sistnevnte er en komprimert versjon av førstnevnte. Dette er av typen lossless kompresjon og vil ikke medføre til tap av informasjon. Bildene under refererer til ulike metoder for laserinnsamling.



Terrestrisk



Bærbar



Bilbåren

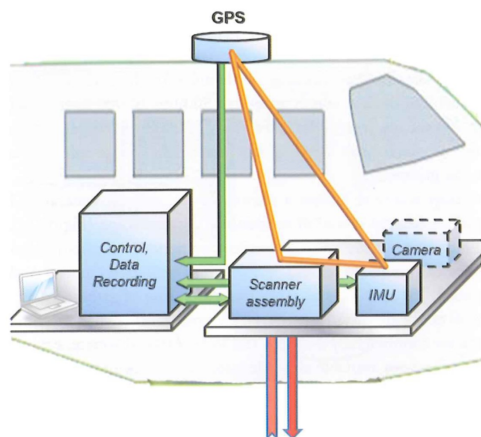


Fly

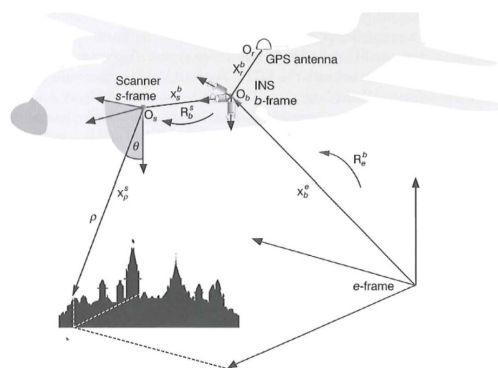
Figur 2.3: Ulike typer laserskanning
[Terratec AS, 2022a]

2.3 Luftbåren laserskanning

Når en laserskanner er plassert på fly, helikopter eller drone og benytter LiDAR-prinsippet for å gjøre målinger, kalles det luftbåren laserskanning. Ettersom laserskanning innebærer en måling per punkt, må hver måling beregnes ved hjelp av flyets posisjon og orientering, som vist i Figur 2.5. Det er også viktig å ta hensyn til laserskannerens speil, da denne utgjør en vesentlig større vinkel enn orienteringen. Systemet som samler inn data fra målingene kan deles inn i tre ulike komponenter, der hver del har sitt eget respektive koordinatsystem. Disse komponentene kan deles inn i GNSS, IMU og selve laserskanneren (ref. Figur 2.4) [Vosselman og Maas, 2010b].



Figur 2.4: Komponenter i fly
[Vosselman og Maas, 2010a]



Figur 2.5: Komponentenes akser
[Vosselman og Maas, 2010a]

2.3.1 GNSS og IMU

Samspillet mellom de tre komponentene gir observasjoner i ECEF-koordinater. GNSS vil gi en absolutt posisjonering, og har god nøyaktighet over tid. Denne er typisk montert på toppen av et fly (for eksempel) for å gi en uforstyrret kobling til satellittene, men kan derimot påvirkes av eksterne faktorer som atmosfære og multiple returer. INS gir orientering ved å måle rotasjonene til GNSS-antennen, flyet og laserskanneren. INS bidrar også til relativ posisjonering. Denne komponenten drifter over tid, men påvirkes ikke av eksterne faktorer. Kombinasjonen av GNSS og INS gir muligheten til å rekonstruere flystripene med en nøyaktighet på under 10 cm. [Vosselman og Maas, 2010b]

Selv om de fleste terrestriske laserskanningsoppdrag kun krever et lokalt koordinatsystem, vil det i denne sammenhengen være behov for en mer “global ramme”, samt flere mellomliggende rammer. De ulike komponentene har ulike koordinatsystemer, og ved hjelp av disse kan vi finne posisjonen til hver observasjon når man har de nødvendige vektorene og rotasjonsmatrisene. Dette gjøres ved at det måles en vinkel(θ) og avstand(ρ) mellom laserskanneren og bakken som danner s-frame eller sensorrammen. Når denne slås sammen med målingene fra INS dannes en b-frame (body frame). Parametrene herfra er typisk roll, pitch, yaw som registreres ut fra flyets bevegelse. Vektoren som er beregnet fra disse legges til i GNSS-posisjonen og gir en e-frame. Denne oppgis i ECEF-koordinater, før den videre omgjøres i et lokalt koordinatsystem (l-frame) til NED-koordinater. I formel 2.1 vises det hvordan komponentene fungerer i lag, når det skal beregnes enkeltmålinger [Vosselman og Maas, 2010c].

$$x_p^e(t) = x_b^e(t) + R_l^e(\omega(t), \varphi(t), \kappa(t)) R_b^l(r(t), p(t), y(t)) R_s^b(\omega\varphi\kappa) \times \begin{bmatrix} x_b^s + \rho(t) \\ \sin\theta(t) \\ \cos\theta(t) \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

der:

$x_b^e(t)$ = Posisjon gitt fra GNSS/INS

$R_l^e(\omega(t), \varphi(t), \kappa(t))$ = Rotasjoner fra l-frame til e-frame

$R_b^l(r(t), p(t), y(t))$ = Rotasjon fra b-frame til l-frame, med rotasjoner for roll, pitch, yaw fra INS

$R_s^b(\omega\varphi\kappa)$ = Skannerens rotasjon i forhold til INS, fra s-frame til b-frame

$x_b^s(t)$ = Posisjon fra GNSS / INS

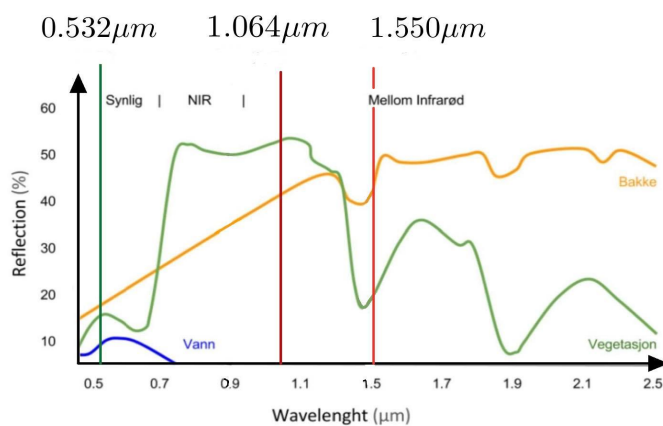
$\rho(t)$ = Avstandsmåling (fra laserskanner)

$\theta(t)$ = Speilvinkel i laserskanner

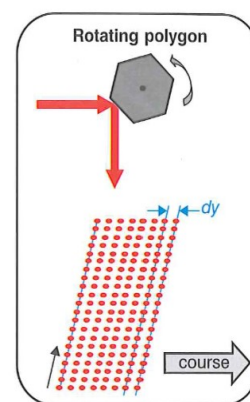
2.3.2 Laserskanner

Lasertype

Når data skal samles inn ved hjelp av luftbåren laserskanning er det viktig at flyruten planlegges med tanke på blant annet tid, flyhøyde og værforhold. Grunnen til dette er at de fleste laserskannere ikke kan penetrere skyer, tåke eller tett vegetasjon. Laserskannerne opererer vanligvis på bølgelengder mellom 500 nm og 1550 nm, og varieres basert på hva som skal skannes (Figur 2.6). Eksempelvis brukes det i hovedsak 1064 nm bølgelengder for topografisk LiDAR skanning og 532 nm bølgelengder for batymetrisk LiDAR skanning.



Figur 2.6: Objekters spektralsignatur
[Maalen-Johansen, 2019]



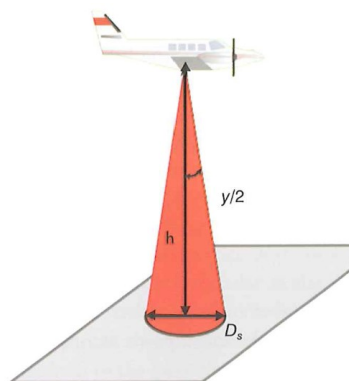
Figur 2.7: Roterende polygon
[Vosselman og Maas, 2010a]

Roterende speilmekanisme

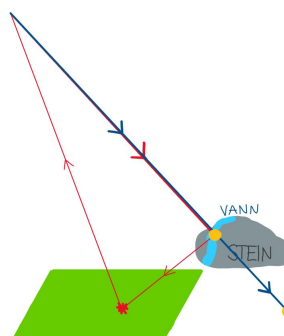
Det er ønskelig å spre laserpulsene jevnt over terrenget det flys over. For å unngå at målingene kun gjøres rett under flyet, kreves det en skannemekanisme som kan spre laseren. I vårt tilfelle er det benyttet et roterende polygon (ref. Figur 2.7). Denne bidrar til en uniform punktfordeling, samtidig som den gir en konstant skannehastighet og -retning. Punktene som samles inn med denne mekanismen karakteriseres ved at de genereres i kun en skanneretning og at skannelinjene er parallelle. Den roterende speilmekanismen kan vanligvis skanne med en vinkel på mellom 30° og 60° .

Fotavtrykk og multiple returer

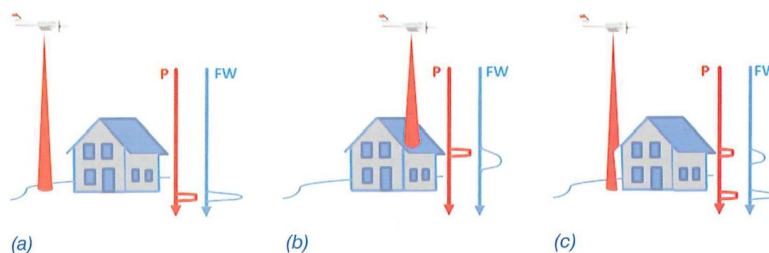
Strålen som sendes ut av laserskanneren er vanligvis mellom 0.1 nm og 0.5 nm ved utskytning. På grunn av stråledivergens, vil fotavtrykket til laserpulsene som treffer objektet eller bakken være større (ref. Figur 2.8). Enkelte objekter som treffes av laseren kan også reflekteres strålen slik at den heller måler andre objekter, noe som kalles multipath. Ettersom den da vil bruke lengre tid før den reflekteres til detektoren, kan disse målte punktene ofte sees under bakken eller bak fjellveggen i vårt tilfelle. Dette kommer av at detektoren går ut i fra vinkelen strålen er sendt ut fra, i stedet for løypen strålen faktisk har beveget seg (Figur 2.9). I enkelte tilfeller er det også mulig at det mottas flere returer fordi fotavtrykket treffer mer enn en flate. I tilfellet A og B i Figur 2.10 er det kun observert en flate, henholdsvis bakke og tak. Dette vil resultere i en bølgetopp i signalet, gitt over tid i de enkelte situasjoner. I tilfelle C treffer laserens fotavtrykk på hushjørnet, og treffer dermed både bakken og taket, noe som resulterer i to returer/bølgetopper. Dersom en måling gir flere returer, kalles dette for multiple returer [Vosselman og Maas, 2010b]. I vårt tilfelle, når vi ser på bratte fjellområder, vil dette også være viktig å følge med på. Dette kommer av at det vil kunne observeres fjellhyller og utstikkere langs fjellveggen.



Figur 2.8: Fotavtrykk
[Vosselman og Maas, 2010a]



Figur 2.9: Illustrasjon av multipath



Figur 2.10: Multiple returer
[Vosselman og Maas, 2010a]

2.3.3 Mulige feil, avvik og nøyaktigheter

Systematisk og tilfeldige avvik

I luftbåren laserskanning er det flere ulike komponenter som kan påvirke nøyaktigheten. Vi skiller gjerne mellom to ulike måter dette kan skje på: systematiske avvik og tilfeldige feil.

Systematiske avvik er gjerne regelmessige, og vil gi utslag i alle målinger. Denne type feil kan vanligvis observeres ved kalibreringer i systemet. Eksempler på denne type feil kan være vinkel-feil i skanneren, feil ved installasjon eller synkroniseringsfeil mellom komponentene.

Tilfeldige avvik kan være støy eller unøyaktige målinger. Eksempler på tilfeldige feil kan komme av fotavtrykket, multiple returer eller usikkerhet i orienteringen til en eller flere komponenter [Huising og Gomes Pereira, 1998].

Interne og ytre feil

Ettersom det er flere mulige feilkilder, deles de gjerne opp i interne og ytre feil.

Interne feil sees gjerne at kommer fra laserskanneren eller INS. Feil fra laserskanneren sees ofte i avstanden eller speilets mekanisme. Avstandsfeil avhenger av flere ulike elementer. Eksempel på disse kan være styrke på utsendt og returnert måling, sensitivitet, strålens divergens og støy. Enkelte av disse type feilene kan være konstante, og kan dermed bli svært vanskelig å detektere ved kalibrering. Feilen fra INS er hvor nøyaktig det faktisk kan måles akselerasjoner og rotasjoner. Ettersom INS justeres med GNSS og laserskanner vil fare for større feil minskes.

Ytre feil kommer ofte fra GNSS-systemet på grunn av satellittbaner, atmosfæren eller faseflertydighet. Dette vil dermed være typiske feil som varierer med området og klimaet det flys i. Ettersom GNSS-posisjonen påvirker målingene, må feil herfra kunne regnes med.

Det er også viktig å påpeke at valg av type skanner kan inneha flere feilkilder. I pulsbaserte skannere kan feil sees både internt og fra en objektsoverflate. Internt kan skanneren for eksempel ha klokkefeil, noe som vil resultere i vanskeligheter ved nøyaktig måling av utsending og retur av signal for avstandsberging. Objektsoverflaten har også påvirkning på hva som måles. Dette kan blant annet komme av at flaten er skrå eller har høy refleksjonsegenskap [Vosselman og Maas, 2010c]. Da kan fotavtrykket gi ukorrekte målinger, henholdsvis i form av utstruktet puls eller punkt langt bort fra den faktiske overflaten. [Maalen-Johansen, 2020]

I Formel (2.2) er ligningen for enkeltmålinger lagt til de ulike feilkildene i hvert ledd:

$$x_p^e = x_b^e + \Delta x_b^e + R_i^e R_b^l(\widehat{rpy}) R_b^{b'}(\Delta r \Delta p \Delta y) R_s^{b'}(\Delta \omega \Delta \varphi \Delta \kappa) T_s^{s'}(\widehat{\omega \varphi \kappa}) \times \begin{bmatrix} -(\widehat{\rho} + \Delta \rho) \sin(\Delta \eta) \\ -(\widehat{\rho} + \Delta \rho) \sin(\widehat{\theta} + \Delta \theta) \cos(\Delta \eta) + \widehat{x}_b^s + \Delta x_b^s \\ -(\widehat{\rho} + \Delta \rho) \sin(\widehat{\theta} + \Delta \theta) \cos(\Delta \eta) \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

der:

Δx_b^e = Posisjonsfeil fra GNSS/INS

$R_b^l(\Delta r \Delta p \Delta y)$ = GPS/INS orienteringsfeil

$R_s^b(\Delta \omega \Delta \varphi \Delta \kappa)$ = “Bore-sight” orienteringsfeil

$T_s^s(\widehat{\omega} \widehat{\varphi} \widehat{\kappa})$ = Installasjonsfeil

$\Delta \rho$ = Skannerens avstandsfeil

$\Delta \theta$ = Skannerens vinkelfeil i speil

$\Delta \eta$ = Galvometer i skannerens vinkelfeil

Δx_b^s = Feil mellom laserskanner og IMU

Nøyaktighet

På grunn av at målingene er utsatt for ulike type feil, vil nøyaktigheten variere. Helling i terrenget, kompleksitet, vegetasjon og flyhøyde er ulike faktorer som kan påvirke det endelige resultatet [Maalen-Johansen, 2020]. I vårt tilfelle består terrenget fortrinnsvis av bratte fjellpartier med noe vegetasjon og muligheter for snø. Lenger nede i dalen preges terrenget av mer vegetasjon, noe som kan være utfordrene å kombinere i prosesseringen.

2.4 Databehandling

Hvordan man håndterer og prosesserer data fra rådata i sensoren til et ferdigstilt produkt står sentralt i hvor godt resultat man får i alle typer analyser. Det er derfor viktig å forsøke og holde en god struktur og arbeidsflyt under hele prosessen. Rådata kommer i mange ulike formater, og kan derfor prosesseres gjennom flere ti-talls forskjellige programvarer hvor mange av disse er utviklet av sensor-produsentene selv.

Det finnes også svært mange etter-prosesseringsløsninger for navigasjonsdata avhengig av hva slags navigasjonssystem man bruker sammen med en LiDAR-sensor i en datafangstplattform (Fly, drone, bil, etc.).

Rå navigasjonsdata som brukes, er ikke kompatibelt med programvarer som benyttes i etterkant for å knytte de til laserdata fra LiDAR-sensoren. Navigasjonsdata må derfor gjennom etterprosessering for å få ut mer standardiserte filformater som kan brukes senere i arbeidet.

2.4.1 Filtrering og klassifisering

Klassifisering av en punktsky er muligens det viktigste steget i lys av vår problemstilling. Dersom en god bakkeklassifisering kan produseres, vil det også være mulig å få ut en god og detaljert digital terrengmodell som kan brukes i videre sammenligninger av ulike datasett. Det er derfor sentralt å kunne skille ut forskjellige typer klasser slik at vi står igjen med en representativ klassifisering av bakken. Hvis det av ulike grunner er krevende å klassifisere terrenget, vil dette gjenspeiles i alle modeller som bruker punktskyen som sitt grunnlag. Eksempelvis vil det introdusere dårligere terrengmodeller ved at flere områder må interpoleres for å få verdier, mens andre områder vil ha manglende informasjon.

Det er flere måter å klassifisere en punktsky på. Dersom det er ønskelig å klassifisere laserdata ved hjelp av programmering, finnes det i dag mange verktøy som kan brukes til dette formålet i PYTHON og C++. Dette krever gode ferdigheter og forståelse rundt programmering generelt. For å få ut et godt resultat uavhengig av terrenget i området, kan også maskin- og deeplearning og spesifikke klassifiseringsalgoritmer tas i bruk. LiDAR-analyser ved bruk av C++ har tidligere vist potensiale til å framstille gode sammenligninger og modeller [Choi, Shin-Kyu, 2020]. Klassifisering av punktskyer kan også gjøres mer automatisert ved hjelp av ulike programvarer som støtter det (i vårt tilfelle: Microstation og Terrasolid). I denne programvaren er det hovedsakelig to rutiner som brukes for å klassifisere bakke. Rutinene skiller seg ut i hva slags type bakke de klassifiserer best.

Den første klassifiseringsrutinen, *Ground classification* egner seg best for klassifisering av naturlig terreng. Denne metoden lager en triangulert overflate som brukes videre i en iterativ prosess for å finne flere bakkepunkter. Lave støypunkter kan av den grunn skape problemer dersom de ikke filtreres ut først. Klassifiseringen velger først ut lave punkter (innenfor et område) som programvaren er sikker på er bakkepunkter. Deretter lages det en TIN-overflate basert på disse punktene. Overflaten bygges gradvis på i en iterativ prosess som etterhvert nærmer seg den faktiske bakken i punktskyen [Terrasolid, 2022a].

Rutinen kan tilpasses ved hjelp av ulike parametre som vil bestemme i hvilken grad klassifiseringen er fleksibel eller ikke (Figur 2.11). Disse må ofte endres på, spesielt i krevende terreng som består av bratte fjellvegger og andre uforutsigbare vinkelendringer.

De mest sentrale parameterne å tenke på er:

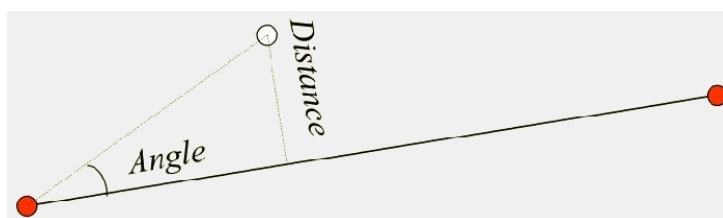
Max building size som kun brukes helt i begynnelsen av klassifiseringsrutinen. Rutinen krever en overflate som den kan jobbe etter, og parameteren vil hjelpe med å generere overflaten. Dette området bestemmer hvor stort areal det skal velges bakkepunkter fra. Eksempelvis kan man velge 60 meter, noe som betyr at den vil velge det laveste punktet innenfor et 60x60 m område. Dersom det befinner seg bygninger større enn dette området, risikerer man at et triangulert bakkepunkt befinner seg på taket. Dette vil fremstå som en forhøyning i terrenget, i stedet for som et punkt på et tak.

Terrain angle bestemmer hvor stor vinkel i TIN-modellen som aksepteres for å inkludere et punkt som bakkepunkt eller ikke. Parameteren er svært viktig å reflektere over, avhengig av terrenget som skal klassifiseres. Dersom det skal klassifiseres bakke i et relativt flatt eller urbant område, vil det ikke være gunstig å bruke store vinkler, da det kan introdusere feilklassifisering i form av blant annet bygninger.

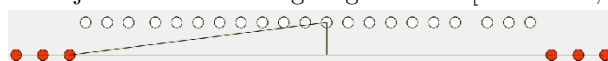
Iteration angle bestemmer den største vinkelen som aksepteres mellom et punkt P og punktets projeksjon ned mot det triangulerte planet i TIN-modellen, og det nærmeste hjørnet/kanten i modellen.

Iteration distance bestemmer hvor store steg rutinen kan ta for å bestemme nye bakkepunkter. Denne kan være grei å justere på for å hindre at klassifiseringen finner lav vegetasjon som mulige bakkepunkter (ref. Figur 2.12).

Figur 2.11: Parametre i *Ground Classification* [Terrasolid, 2022b]



(a) Illustrasjon av iteration angle og distance [Terrasolid, 2022c]



(b) Illustrasjon av iterasjonsavstander [Terrasolid, 2022d]

Figur 2.12: Illustrasjon av *Ground Classification* parametre

Den andre klassifiseringsrutinen, *Hard surface classification* som benyttes, egner seg best for å klassifisere asfaltveier, pukk eller andre harde flater som ofte ikke finnes i naturlig terreng. Denne klassifiseringsrutinen er ikke like sensitiv mot lave støypunkter. Hard surface classification lager også en initiell TIN-overflate som et grunnlag for å finne flere tilsvarende punkter basert på ulike parametre som spesifiseres før klassifiseringen starter (Figur 2.13)[Terrasolid, 2022e].

Figur 2.13: Parametre i *Hard Surface Classification*
[Terrasolid, 2022f]

Noen av de mest sentrale parametrene er:

Plane tolerance som bestemmer hvor godt et punkt som skal klassifiseres må passe med det lokale planet fra TIN-modellen. Det er i hovedsak denne parameteren som bestemmer hvor mange punkter som vil bli klassifisert.

Max terrain slope bestemmer hvilken maksvinkel som er akseptabel i et lokalt område i den endelige modellen som produseres. Harde overflater har ikke like varierende vinkler som naturlig terreng, og det vil derfor være ugunstig å øke denne verdien for mye.

Iteration angle bestemmer vinkelen opp til et punkt **P** på samme måte som det er nevnt i Ground classification.

En kombinasjon av begge klassifiseringsrutinene vil forsikre brukeren om å få et godt utgangspunkt i bakkeklassifiseringen.

Andre klassifiseringsrutiner som ofte benyttes i sammenheng med ovennevnte rutiner er *Buildings*, *Low points*, *Isolated points*, *Height from ground* og *Absolute elevation*.

Buildings-rutinen klassifiserer punkter som befinner seg på taket av bygninger som også passer sammen for å danne en overflate innenfor spesifiserte rammer. For at klassifiseringen skal fungere optimalt, er det nødvendig å ha en grov bakkeklassifisering som kan brukes som en referanseflate. Til å begynne med vil rutinen søke etter bygninger i områder hvor bakkemodellen har større hull [Terrasolid, 2022g].

Figur 2.14: Parametre i *Buildings Classification*
[Terrasolid, 2022h]

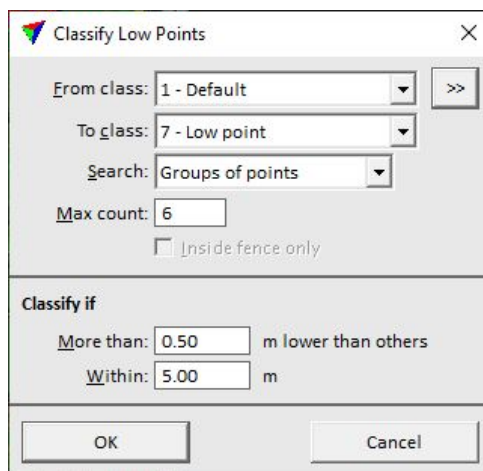
Sentrale parametre som inngår i denne rutinen (Figur 2.14) er:

Minimum size som bestemmer hvor stort arealet av et hull i bakkemodellen må være for at rutinen skal søke etter bygninger der.

Z tolerance bestemmer hvor jevnt punktene på en gitt takoverflate må være i Z-retning. Jo høyere denne settes, jo mer ujevn vil klassifiseringen på taket være.

Use echo information: Laserdatasettet inneholder informasjon om returer for hvert enkelt punkt. Dette kan være nyttig for å klassifisere tak fordi disse punktene mest sannsynlig kun har en retur. Skanning i tett vegetasjon vil på en annen side bestå av flere punkter fra samme utsendte laserpuls. Disse punktene vil da registreres etter dette. Dersom det ønskes at returinformasjonen skal vektlegges i klassifiseringen, kan denne slås på.

Low points-rutinen brukes for å klassifisere eller filtrere bort enkeltstående eller små grupper av punkter som befinner en bestemt avstand fra omkringliggende punkter. Disse små gruppene av punkter blir ofte sett på som støypunkter og ønskes ikke at skal være en del av datasettet fremover. Dersom man er sikker på at det befinner seg flere lag med støypunkter under bakken, vil det være nødvendig å bruke denne rutinen flere ganger for å bli kvitt dette problemet [Terrasolid, 2022i].



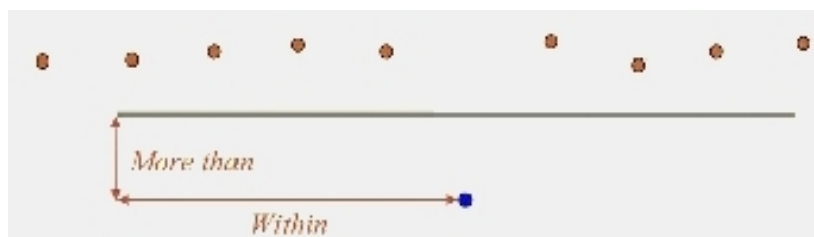
Figur 2.15: Parametre i *Low Points Classification* [Terrasolid, 2022j]

Viktige innstillinger å justere på i rutinen(Figur 2.15):

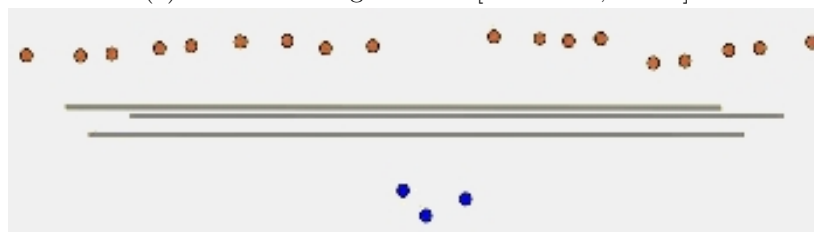
More than som forteller klassifiseringsrutinen hva minste høydedifferanse må være mellom et singulært eller en gruppe støypunkter og de resterende omkringliggende punktene.

Within bestemmer hvor stort 2D søkeområdet i rutinen skal være (Figur 2.16).

Max count spesifiserer maks antall punkter en klynge kan bestå av for å klassifisere de.



(a) **More than** og **Within** [Terrasolid, 2022k]



(b) En gruppe lave punkter [Terrasolid, 2022l]

Figur 2.16: Illustrasjon av *Low Points* parametre

Isolated points-rutinen fungerer på mange måter som *low points*-rutinen, men den takler også punkter over bakken. Denne rutinen brukes i stor grad til å finne klart isolerte punkter som er langt fra andre punkter (Figur 2.17)[Terrasolid, 2022m].

Figur 2.17: Parametre i *Isolated Points Classification*
[Terrasolid, 2022n]

Within som spesifiserer en radius som brukes for et 3D søkeområde for å gjøre konklusjoner om spesifikke punkter.

If fewer than-verdien spesifiserer maks antall punkter innenfor 3D søkeområdet før det gjeldende punktet ikke blir klassifisert som isolert.

Height from ground-rutinen klassifiserer punkter basert på dens avstand fra en referanseflate som allerede eksisterer. På denne måten kan det for eksempel klassifiseres for ulike typer vegetasjon på bakgrunn av høyde eller andre menneskeskapte objekter [Terrasolid, 2022o].

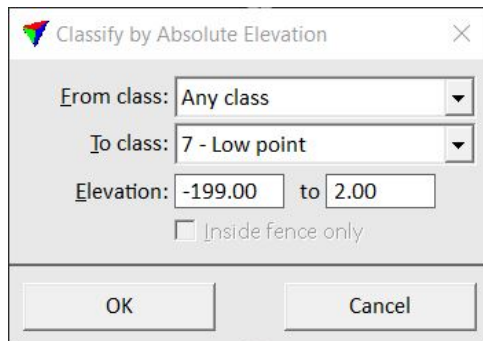
Figur 2.18: Parametre i *Height from ground Classification*
[Terrasolid, 2022p]

Sentrale parametre (Figur 2.18) består blant annet av:

Min height som er minste høyde fra en referansebakkemodell hvor rutinen klassifiserer punkter.

Max height er maks høyde fra en referansebakkemodell hvor rutinen klassifiserer punkter.

Absolute elevation-rutinen klassifiserer punkter basert på høydeverdier som er lagret i dataformatet som er brukt. Denne type klassifisering har mange bruksområder, for eksempel en enklere og grovere filtrering av støypunkter som befinner seg flere høydemeter over eller under punktshøyden. Rutinen kan også brukes under mer detaljerte omstendigheter, for eksempel for å filtrere ut store vannmengder i datasettet [Terrasolid, 2022q].



Figur 2.19: Parametre i *Absolute Elevation Classification* [Terrasolid, 2022r]

Denne klassifiseringen (Figur 2.19) er enklere i forhold til tidligere nevnte rutiner og krever kun et høydeintervall som er ønsket å klassifisere innenfor.

2.4.2 Kvalitetskrav

Vi har hatt kontakt med representanter fra ulike selskaper som har et godt fotfeste i overvåkning og analysing av rasutsatte områder. På bakgrunn av disse samtalerne er det blitt bestemt å ikke introdusere spesifikke nøyaktighetskrav, annet enn det som kan forventes av instrumenter som er brukt i denne undersøkelsen. Den absolutte nøyaktigheten er i stor grad irrelevant for oss, da vi kun skal sammenligne ulike datasett mot hverandre og benytter i mange tilfeller lokale referansesystemer i sammenligningsprosessen. Det er likevel verdt å nevne at målet vårt vil være å følge Punktshøyde 1.0-standarden så godt det lar seg gjøre, da prosesseringsløypen vil være preget av denne i stor grad. Dette i form av nøyaktighetstall, men også klasseinndelinger som blir brukt i punktshøydefiler.

2.5 Datatyper

2.5.1 Punktsky

Punktskyer består av mange innsamlede målinger fra LiDAR. Punktene inneholder data om posisjon (x,y,z), intensitet, ekko og posisjon o.l. Punktskyene kan ha flere ulike format [Aarsten, 2021c], men vil i denne undersøkelsen kun sees som .las eller .laz. Disse egenskapene kan benyttes for å klassifisere punktskyen. Typisk vil bakkeklassen være grunnlag til å konstruere digitale terrengmodeller, men det kan også klassifiseres andre objekter ved behov [Kartverket, 2022b]. Ut i fra hva som ønskes og undersøkes kan bygninger, veier, vegetasjon, strømlinjer og steiner klassifiseres. Punktskyen egner seg til bruk ved analyser av for eksempel veiplanlegging og skoganalyser [Terratec AS, 2022c].

Punktskyene i undersøkelsen, som er konstruert fra flydata, følger produktspesifikasjonen “Punktsky 1.0” (Figur 2.20). Dette er en spesifikasjon som forteller noe om hvordan etablering og forvaltning av punktskyer skal foretas. En av standardene som settes i denne er hva de ulike klassene skal inneholde [Geonorge, 2022].

Klasse	ASPRS Beskrivelse	Beskrivelse	
0	Created, never classified	Aldri Klassifisert	Skal ikke leveres.
1	Unclassified	Uklassifisert	Alle punkt som ikke er aktivt klassifisert.
2	Ground	Terreng	Punkt på bakke. Hvis ikke klasse 9 (vann) er benyttet skal alle punkt på vannoverflate til bakkeklasse. Faste store steiner skal klassifiseres til bakke. Løse steiner og steiner som er løsmasser etter ras klassifiseres til klasse 1 (uklassifisert).
3	Low Vegetation	Lav Vegetasjon	Punkt på lav vegetasjon (Definerende høyde må spesifiseres per prosjekt).
4	Medium Vegetation	Middels Vegetasjon	Punkt på middels vegetasjon (Definerende høyde må spesifiseres per prosjekt).
5	High Vegetation	Høy Vegetasjon	Punkt på høy vegetasjon (Definerende høyde må spesifiseres per prosjekt).
6	Building	Bygning	Punkt på bygningskropp.
7	Low Point (Noise)	Støy	Støypunkt forårsaket av skyer, fugler, "multipath". Klassen omfatter unormalt høye og lave punkt (spikere).
8	Model Key-Point (mass point)		Skal ikke leveres.

Figur 2.20: Utdrag fra Punktsky 1.0
[Geonorge, 2022]

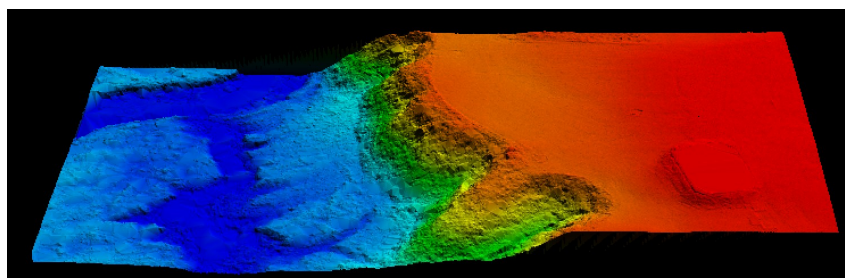
2.5.2 Digital terreng- og overflatemodell

Digital terrengmodell (DTM)

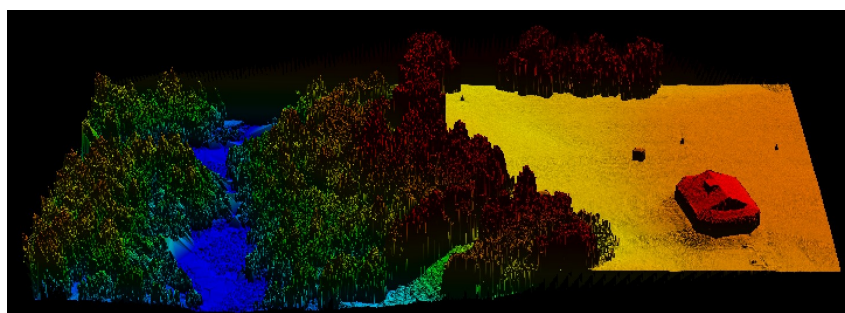
Digitale terrengmodeller er et rutenett som vanligvis er dannet på grunnlag av klassifiserte bakkepunkt [Høydedata, 2022] her farget etter høyde (Figur 2.21). Denne kan konstrueres ved hjelp av flere ulike metoder. I hver rute i nettverket vil det vanligvis observeres flere punkter. Ut i fra hvilken metode som benyttes kan terrengmodellen blant annet konstrueres ut i fra høyeste, laveste eller gjennomsnittlig høydeverdi per rute. Ulike betingelser kan vanligvis settes ved produksjon av terrengmodellene, som for eksempel størrelse på hver av rutene i nettverket. Filformatet på digitale terrengmodeller som benyttes i denne sammenligningen er i GEOTiff-format.

Digital overflatemodell (DOM)

Digitale overflatemodeller er rutenett som baserer seg på alle målte punkt, med unntak av støypunkt [Høydedata, 2022]. Overflatemodellen (Figur 2.22) er basert på samme område som terrengmodellen, men med vegetasjon, bygninger, og andre oppstikkende objekter, her farget etter høyde. Ulike metoder kan benyttes for å velge hvilken type høydeverdi som skal anvendes i hver rute. I overflatemodeller kan det være til fordel å ha en lavere størrelse på hver av rutene i nettverket for å få en så detaljert overflate som mulig. Digitale overflatemodeller benytter også GEOTiff-formatet.



Figur 2.21: Digital terrengmodell



Figur 2.22: Digital overflatemodell

2.5.3 3D-mesh

En 3D-mesh-modell er bygget opp av flere sammensatte polygoner. En meshmodell vil kunne gi virkelighetsnære modeller i 3D dersom polygonene er små, og dataen er detaljert nok. Typisk er det trekantene som utgjør polygonene, altså en TIN-modell. I vårt tilfelle benyttes en punktsky for å produsere 3D-mesh i det interne filformatet .bin. Avhengig av punkttetthet og -dekning kan resultatet variere. Dersom punktskyen som benyttes er av større karakter, kan prosesseringstiden potensielt bli veldig lang. Dette kan føre til en slags “flaskehals” under 3D-meshproduksjonen.

Områdebeskrivelse og materiale

Undersøkelsen baserer seg på en sammenligning av laserdata fra ulike innsamlingsplattformer. I dette kapittelet vil det gjennomgås informasjon som dekker hvor området som undersøkes er plassert, plattformene og hva komponenter som inngår i de ulike plattformene. Videre vil det også sees på skredvurderinger, datatyper og programvarer som er anvendt.

3.1 Om området - Trollstigen

Dalen som ender med Trollstigen er en typisk u-dal, der bunnen er langflat. Denne dalen kalles Isterdalen. Området ligger like sør for Åndalsnes i Rauma kommune, Møre og Romsdal. Den nasjonale turistveien består av bratte veier og elleve krappe svinger, som beveger seg oppover i et bratt terreng, preget av høye fjell, frodige daler, fosser og juv (ref. Figur 3.1). Denne fylkesveien er omringet av fem fjell som strekker seg fra 1426 til 1629 meter over havet, der den høyeste toppen kalles Storgrovfjellet [Fjord Norway, 2022]. Området er hyppig besøkt på grunn av sin storslagne utsikt, noe som resulterer i en del turister. I 2019 ble det registrert 1,16 millioner besøkende i følge Statens Vegvesen sin trafikktelling [Bratteng, 2019]. Alle disse besøkende har vært innom Trollstigen mellom slutten av mai og starten av november. På grunn av fare for is- og snøras, er veien vinterstengt, noe som påvirker den begrensede besøksperioden [Reite, 2018].

I løpet av det siste året har temperaturen i området rundt Trollstigen variert fra -10°C til 18°C i følge Meteorologisk institutt¹. Det er til tider også registrert store nedbørsmengder, helt opp mot 250 mm på en dag². Området er i tillegg snølagt store deler av året, noe som også resulterer i større mengder smeltevann som beveger seg i terrenget. I delkapittelet om utløsende faktorer vil både temperaturforskjeller og vannføring presenteres som typiske utløsende årsaker for skred.

I et området som Trollstigen, der terrenget til tider er svært bratt og det ferdes mye trafikk, vil det være viktig å tenke på skredmonitorering. Dette for å forhindre at menneskeliv går tapt dersom et ras eller steinsprang skulle oppstå. I mellom 1994 og 2017 ble det registrert 69 skredhendelser på denne vegen, der 64 prosent av dem var steinsprang eller steinras [Dahle og Humstad, 2018]. Tidligere i år gikk det også et skred som bidro til større materielle skader på caféen plassert på toppen av Trollstigen. Dette raset var vel å merke et snøskred. Under opprydningsarbeidet noen måneder senere gikk det et steinsprang på den samme plassen [Korsnes, 2022]. I 2021 gikk det også et steinsprang som traff flere biler, men også her ble det kun materielle skader [Hellem-Hansen, 2021].



Figur 3.1: Trollstigen
[Steinar Myhr, 2020]

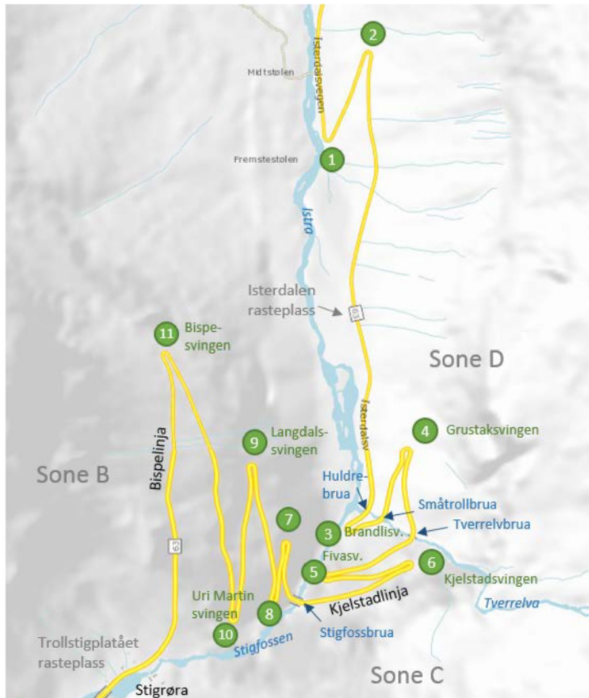
¹Se Vedlegg 1: Midlet temperatur per dag over ett år

²Se Vedlegg 2: Midlet nedbør per dag over ett år

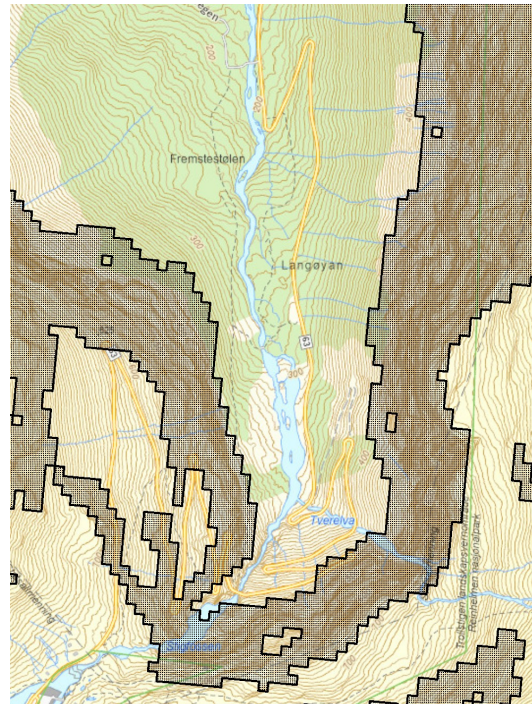
Historikken og nylige hendelser viser til at det er stor skredaktivitet i området. I følge temakartet fra NVE, er store deler av Isterdalen regnet som et utløpsområde, mens de aller fleste fjellvegger rundt regnes som utløsningsområde for steinsprang [NVE, 2022a].

Noen av områdene som sees nærmere på i sammenligningen finner vi over Grustaksvingen (nr. 4) og Kjelstadsvingen (nr. 6). Når vi sammenligner Statens Vegvesen sitt oversiktskart (Figur 3.2) med NVE sitt temakart (Figur 3.3), kan vi se at begge disse områdene befinner seg i såkalte utløsningsområder (skavert grått).

Oversiktskart



Figur 3.2: Trollstigeveien med navn [Dahle og Humstad, 2018]



Figur 3.3: NVE Temakart [NVE, 2022b]

3.1.1 Våre områdeavgrensninger

I løpet av denne sammenligningen vil området over Grustaksvingen refereres til som Område B, mens området over Kjelstadsvingen vil omtales som Område D. I tillegg til disse to områdene er det samlet inn data over et Område A som befinner seg lenger nede i Isterdalen, og et Område C som er plassert i øvre del av dalen ved caféen (ref. Figur 3.4). Ettersom Område A ikke inneholder bratte fjellområder vil ikke denne bli benyttet til sammenligninger, men vil likevel ta del i den overordnede prosesseringsløpyen vi følger. Område C er i dronedatasettet snøbelagt, og snøfritt i flydatasettet. Dette vil bli tatt hensyn til i sammenligningen. Legg gjerne merke til at områdenavnene er bestemt uavhengig av oversiktskartet over, og vil derfor ikke stemme overens.



Figur 3.4: Områdeavgrensninger
[Google Earth, 2022]

3.2 Om ras

3.2.1 Steinsprang

I et typisk steinsprang ser vi blokker av mindre volum, gjerne på opptil 100 kubikkmeter. Disse blokkene forblir som oftest inntakte etter forflytningen (ref. Figur 3.5) [NVE, 2021].

Et annet kriterie som må oppfylles for at det skal klassifiseres som steinsprang, er hvordan blokkene beveger seg. Det kalles et steinsprang så lenge blokkene beveger seg uavhengig av hverandre, og typisk at de faller, ruller eller spretter nedover fjellet før de gjerne samles i en ur nederst ved fjellfoten eller i dalen. Blokkene har begrenset rekkevidde, og de største finnes typisk nederst i uren. Dersom det forekommer større steinsprang, kan dette medføre til at blokkene river med seg ustabile urer og løsmasser på veien. Om dette er tilfellet, og volumet er stort nok, vil det omklassifiseres til steinskred (Figur 3.6) [NGU, 2021].

Eksempel på rastyper



Figur 3.5: Steinsprang
[Kåre Strande, 2020]



Figur 3.6: Steinskred
[Steinar Fresvik, 2022]

3.2.2 Steinskred

I tilfellet av steinskred observeres det typisk 100 - 10 000 kubikkmeter med forflyttet masse. Steinblokkene knuses gjerne på vei nedover fjellsiden og tar ofte med seg andre løsmasser. Bevegelsen til steinskredet kan ofte sees på som at massene har en viss påvirkning på hverandre, og kan ligne en strøm som beveger seg nedover mot fjellfoten.

I tilfeller med gjentatte steinskred over lengre tid vil det danne seg en kjegleformet ur, også kalt skredvifte, med grovmasser nederst i fjellskråningen. Massene fra skredet har vanligvis lenger rekkevidde enn et steinsprang, og kan ende opp med å blokkere trangere daler og/eller vannløp [NGU, 2021].

3.2.3 Skadeomfang

Både steinsprang og -skred kan være direkte årsaker til store materielle skader. Dette kan føre til skadet og stengte veier, og ødelagt bebyggelse [NGU, 2021]. Dersom rasene ender i en innsjø eller fjord kan det også forekomme større flodbølger [NVE, 2021]. Tidligere har større fjell- og steinskred ført til noen av de verste naturkatastrofene i Norge. Skredene som gikk i Loen i 1905 og 1936, og i Tafjord i 1934 var årsaken til store flodbølger som totalt krevde over 170 menneskeliv [NGI, 2022]. Skredene som gikk i Loen kan fortsatt sees spor etter langs Ramnefjellet den dag i dag (Figur 3.7).



Figur 3.7: Ramnefjellet i Loen
[Jørn-Arne Tomasgard, 2016]



Figur 3.8: Rotspreng i berg
[Harald Duklæt, 2022]

3.2.4 Utløsende faktorer

Det kan være flere grunner til at det utløses et steinsprang eller -skred. I alle tilfeller av bart, bratt fjell vil det forekomme forvitring og oppsprekking. Dette kan skyldes av ulike forhold. I områder hvor det kan sees minusgrader, kan vann trekke ned i fjellsprekker, fryse, og føre til frostspreng. Dersom dette skjer gjentatte ganger over lengre tid, vil dette kunne løsne blokker. Tilsvarende hendelsesforløp kan sees når trerøtter slår rot i sprekker, og fører til rotspreg (Figur 3.8). Bergartenes egenskaper vil være avgjørende for hvor mye de ulike faktorene påvirker ut i fra hvor massiv og kompakt den er. Dersom fjellveggen utsettes for deformasjoner i strukturer og svakere områder over lenger tid, kan større volum løsne [NGU, 2021].

Andre faktorer som kan utløse skred er klimarelaterte årsaker. Store nedbørsmengder eller vannføring og naturlig erosjon er ofte observerte faktorer. Større, gjentagende temperatursvingninger bidrar til at berget kan utvide og trekke seg sammen igjen, noe som danner spenning i de ytterste lagene av fjellet. Over tid vil lagene svekkes, og steinsprang og -ras kan oppstå dersom deler av lagene løsner. I tilfeller med ekstrem belastning, som for eksempel jordskjelv, kan det også observeres påvirkning på fjellmassene. I kommende fremtid med stadige klimaforandringer, vil det trolig kunne forekomme skred i områder hvor det tidligere ikke har vært registrert slik aktivitet [NGI, 2022].

3.2.5 LiDAR og ras

I situasjoner der det har forekommet skred- eller flomhendelser, har det vært nyttig med effektiv dokumentasjon gjennom luftbåren datafangst, gjerne med LiDAR. For å kunne takle slike forekomster, er det opprettet et samarbeid mellom Geovekst-partene, inkludert NVE og Bane NOR. Dette gjelder for datafangst fra luften dersom en krise skulle oppstå, og det er behov for rask dokumentasjon. Avtalen er basert på at en av partene er initiativtaker, og vil bli økonomisk ansvarlig for kostnadene av bestilt produkt. Kartverket har ansvaret for at det aktualiseres en tilbudsforespørsel, samt at det avtales og startes med den ønskede datainnsamlingen. Denne avtalen ble blant annet tatt i bruk etter kvikkleireskredet som gikk i Gjerdrum kommune, januar 2021 [Kartverket, 2022a].

Etter hendelsen i Gjerdrum ble det publisert en årsaksrapport hvor det trekkes frem hvordan laserdata ble brukt til å danne terrengmodeller. Ved hjelp av datasett fra både før og etter skredet, kunne terrengendringer tydelig synliggjøres og volumberegninger gjennomføres. Rapporten trekker blant annet frem at skyggelegging av terrengmodeller som et nyttig verktøy. Denne metoden synliggjorde skredgroper, raviner og fjellblotninger [Regjeringen, 2021]. I Figur 3.9 er laserdata over Gjerdrum i etterkant av kvikkleireskredet i 2021 fra høydedata.no, drapert med ortofoto fra norgebilder.no.



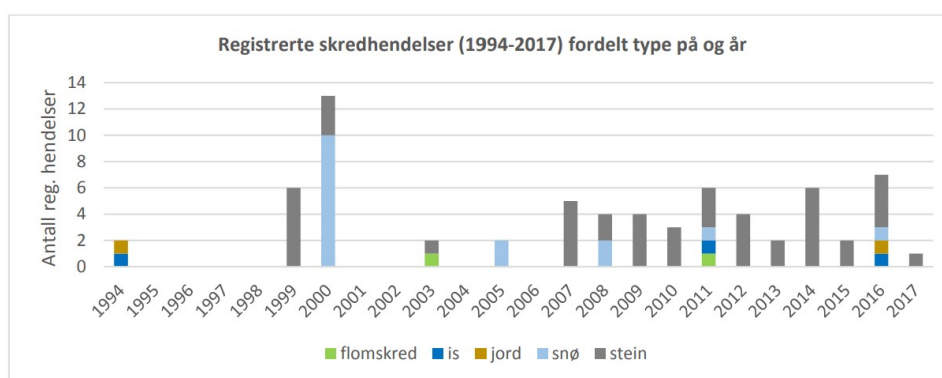
Figur 3.9: Rasområde i Gjerdrum kommune
[Emilie L. Marifjæren, 2021]

LiDAR har også blitt brukt til detaljerte skanninger av ustabile fjellområder. I 2014 ble det benyttet bakkebasert LiDAR for å kunne kartlegge fjellet ved Mannen i Rauma kommune. Flere høyoppløselige punktskyer med laserdata muliggjorde analyser av massen, volumendring og bevegelse i terrenget. På denne måten kunne volumet beregnes ved et eventuelt skred [NGU, 2015].

3.3 Rasvurdering i Trollstigen

På grunn av fare for skred, og tidvis høy aktivitet blant turister i Trollstigen er det utviklet to oppdragsrapporter av Statens Vegvesen. Den første rapporten fra 2018 er en naturfarevurdering av området, mens den andre fra 2019 omhandler sikring for steinsprang og isnedfall. Begge rapportene er utarbeidet for å finne ut av hvilke tiltak som kan bidra til å øke sikkerheten mot skred i området.

Innledningsvis gjennomgås antall registreringer av skred og nedfall mellom 1994 og 2017 (ref. Figur 3.10). Totalt er det registrert 69 hendelser, men antallet kan være avvikende fra virkeligheten av ulike grunner. En av disse grunnene kan være at skred har passert veien uten å legge igjen åpenbare rester, eller at hendelsen har skjedd utenfor veiene. Det er heller ikke regelmessige registreringer hvert år, noe som kan tyde på underrapportering, som igjen kan bidra til et lavere antall registrerte hendelser.



Figur 3.10: Registrerte skredhendelser
[Dahle og Humstad, 2018]

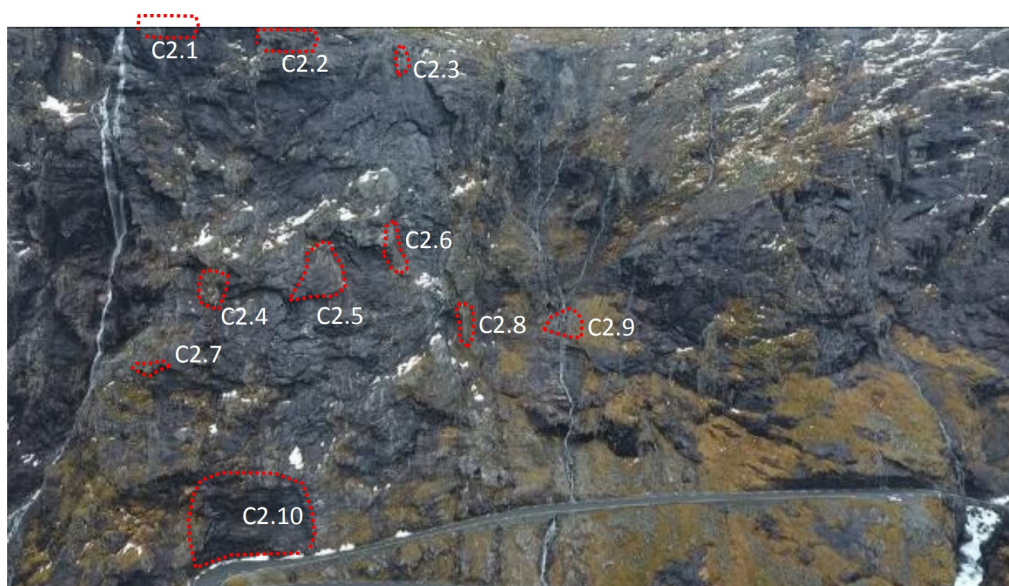
Rashendelser er registrert nokså jevnt fordelt over hele Trollstigen, men fjellsiden over Kjelstadlinjen har flest registreringer. Dersom det skulle gå et ras langs denne linjen, kan veien i teorien bli truffet opp til hele fem ganger. Med en gjennomsnittlig døgntrafikk på opp mot 2000 kjøretøy per døgn (i høysesongen 2018) kan et eventuelt skred ha stort skadeomfang.

Kjelstadlinjen

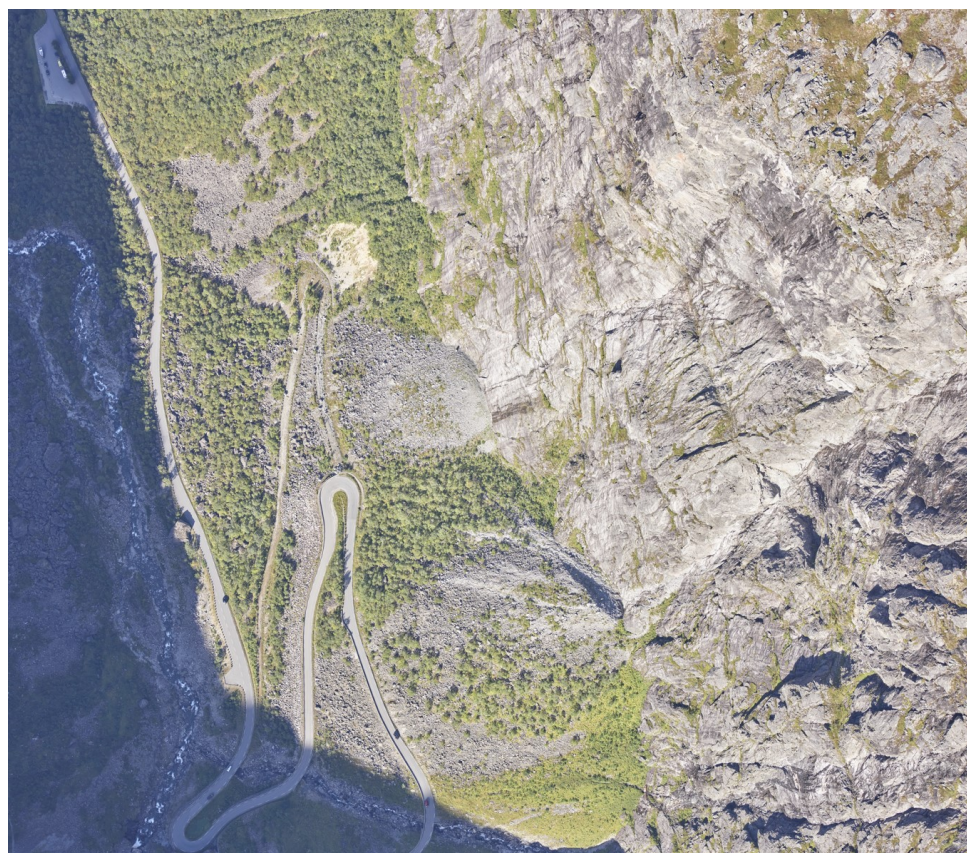
Dette fjellpartiet blir beskrevet som svært bratt med overheng. Det er også observert sprekkdannelse, og steinblokker som kun henger på friksjonen av sprekkene. Kjelstadlinjen er uten sikring og det registreres mange, men små nedfall herfra. Langs denne linjen er det også pekt ut ti spesifikke områder (Figur 3.11), som er antatt som ustabile masser.

Grustaksvingen

I 2003 gikk det et steinskred som gjorde store skader i Grustaksvingen, etterfulgt av flom. Dette resulterte i at veien ble endret, både på grunn av ødeleggelser, men også faren for gjentagende hendelser. Den nye veien går i dag gjennom en skredvifte, og har bratt terreng med overheng ovenfor denne igjen (Figur 3.12 for bilde tatt under datainnsamling, 2022). Fjellveggen over Grustaksvingen bærer preg av tidligere utløsningsområder, men har også synlige sprekkdannelse. Rapporten fra 2018 nevner også at flere overhengende områder har sprekkgeometri, noe som kan tilsi at steinsprang eller -skred kan forekomme [Dahle og Humstad, 2018 og Dahle og Humstad, 2019].



Figur 3.11: Antatte områder med ustabile steinblokker
[Dahle og Humstad, 2018]



Figur 3.12: Grustaksvingen med ny veisløyfe midt i bildet

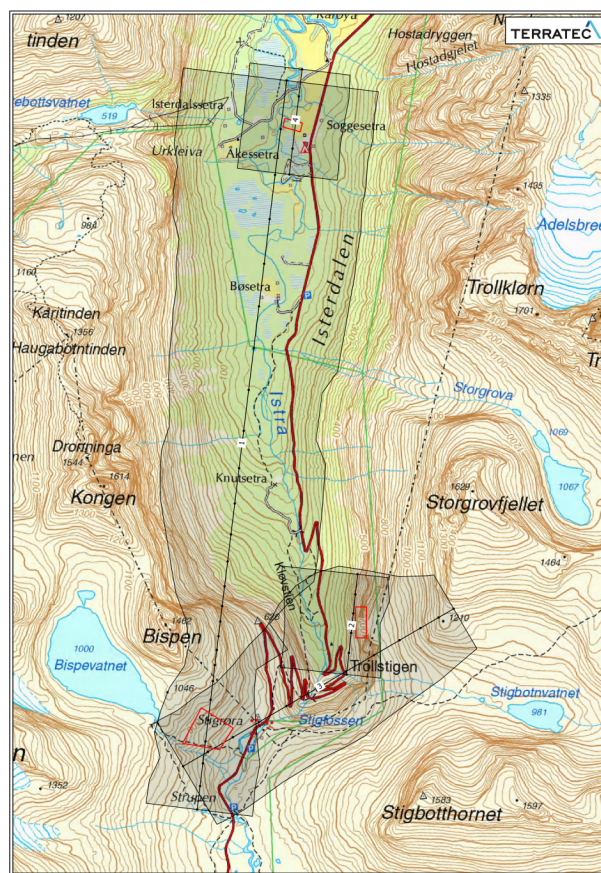
3.4 Plattformer og instrumenter

De ulike metodene for innsamling av data kommer med sine fordeler og ulemper i form av effektivitet, pålitelighet og teoretiske muligheter. Innsamlingsplattformene som diskuteres i undersøkelsen er av de som er mest brukt i markedet, der alle er i stand til å levere gode datasett, alt ettersom hva behovet er.

3.4.1 Fly

Fly som innsamlingsplattform er det som brukes i størst grad for flere ulike typer kartleggingsprosjekter, både nasjonalt og internasjonalt. Det er rom for å planlegge eksakte ruter som skal flys, for å dekke bestemte områder med ønsket punkttetthet.

Med fly er det skannet et større område over Trollstigen for å dekke allerede eksisterende data som er samlet inn ved hjelp av drone og helikopter. Data som er samlet inn med sensoren på flyet, brukes som hoveddatasettet vårt ved sammenligning med andre modeller. Det er på forhånd utarbeidet en flyplan (Figur 3.13) for å sikre oss optimal dekning på fjellvegger i områdene som skal analyseres.



Figur 3.13: Flyplan

Flylinjer er lagt inn med et offset mot bratte fjellvegger for å utnytte sensorens skannevinkel på best mulig måte. Flyplanen er lagt opp på en slik måte at den laveste punkttettheten er på omtrent $15 \text{ pkt}/\text{m}^2$, men vi kan ofte se punkttetthet opp mot $70 \text{ pkt}/\text{m}^2$ langs fjellene. Sammenlignet med data som brukes i NDH, er punkttettheten i tilsvarende områder planlagt til omkring $2 \text{ pkt}/\text{m}^2$.

Riegl VQ1560II-S

Sensoren som er installert på flyet er en industriledende sensor for laserskanning for luftbårne plattformer (Figur 3.14). Bildet er tatt under omvisning i Terratec sin hangar, mens Figur 3.15 er hentet fra databladet.



Figur 3.14: Installert system i fly
[Sahan, 2022]



Figur 3.15: Riegl VQ1560II-S
[Riegl, 2022a]

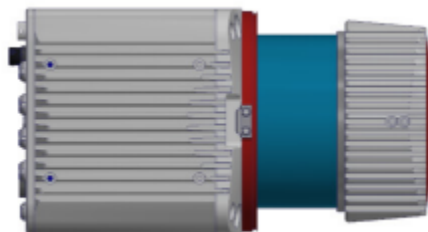
Sensoren er en dual channellaserskanner som har en roterende polygonmekanisme som produserer parallelle skannelinjer langs flyretningen. Skannerne er internt i lasersystemet orientert på en slik måte at de begge produserer parallelle skannelinjer som krysser hverandre [Riegl, 2022a].

3.4.2 Helikopter

Helikopter brukes i stor grad i kartleggingsprosjekter som krever mer mobilitet enn det et fly kan tilby. En sensor som er installert i et helikopter kan på mange måter bli sett på som en hybrid av drone og fly, da den blant annet integrerer dronens mobilitet og fleksibilitet med et flys stabilitet og generelle nøyaktighet.

Riegl VUX-1

Sensoren som ble benyttet under datainnsamlingen bruker også et roterende polygon som skanne-mekanisme (Figur 3.16). Dette vil igjen i teorien produsere parallelle skannelinjer langs flyretningen [Riegl, 2022b].



Figur 3.16: Riegl VUX-1UAV
[Riegl, 2022b]

3.4.3 Drone

Droner har i nyere tid blitt mer populært blant sivilbefolkningen, men også ved profesjonell bruk. Nylig er dronebruken også til tider blitt et problem, når dette skjer uautorisert. Norsk Sikkerhetsmyndighet (NSM) skrev blant annet at «den økte tilgangen på billige, velfungerende droner fører til spørsmål om droner kan bli brukt til ondsinnede handlinger» [TV 2, 2022]. Datainnsamling med droner er svært lettvinnt i forhold til andre metoder. Disse brukes ofte for mindre oppgaver, og er for eksempel svært populære blant bedrifter som inspiserer kraftledninger eller ved ønske om å overvåke egen dyrestand [Urke, 2021 og Johansen, 2019].

Datainnsamlingen med drone ble gjort i oktober 2021 av KVS Technologies. Vi bruker i denne sammenligningen denne dataen som et sekundært datasett og vil hovedsakelig sammenligne det med data fra fly.

Dronen som er brukt er produsert internt av KVS og er i etterkant blitt satt på en payload som består av både GNSS og INS sammen med laserskanneren (Figur 3.17). Payloaden som var brukt er av typen Inertial Labs RESEPI. Payloaden har en GNSS assisterende INS og består av laserskanneren, kamera og RTK-løsninger [Intertial Labs, 2022c]. Laserskanneren som ble brukt var Livox Avia (Figur 3.18)[Livox, 2022].



Figur 3.17: Intertial Labs RESEPI Payload
[Intertial Labs, 2022a]



Figur 3.18: Livox Avia LiDAR Sensor
[Intertial Labs, 2022b]

3.4.4 Fordeler og ulemper

Fly og helikopter er begge stabile innsamlingsplattformer som ikke påvirkes i stor grad av vær og klima under datafangst. Det er et pågående tema hvorvidt disse plattformene også er mer gunstig å bruke ved større datainnsamlingsprosjekter, da de lettere kan dekke et større område enn droneskanning. Dronen er mer mottakelig for ytre påvirkninger, eksempelvis sterk vind, kaldere klima og dekning i området. Dette kan i stor grad påvirke resultater man får ut av datasettene. På en annen side kan man få god nytte av den ved mindre kartlegginger, eller dersom det krever innsyn fra en vinkel som fly eller helikopter har vanskeligheter med å dekke. Forskning fra 2019 konkluderer også med at drone stadig er en foretrukket innsamlingsmetode på grunn av sine egenskaper til innmåling i bratt terreng [Liu mfl., 2019].

3.5 Spesifikasjoner

Data fra de ulike plattformene er ikke samlet inn samme år eller på samme årstid. Data fra fly og drone er relativt nære hverandre, da det er disse som hovedsakelig skal sammenlignes (Tabell 3.1).

Fly: Rådata fra fly er spesifikt skannet for oss av Terratec for å kunne sammenlignes opp mot dronedata som allerede var ferdig prosessert. Datainnsamlingen tok sted 11. september 2022 (Ca 11 måneder etter dronedata). Rådata fra fly har blitt prosessert av oss ved hjelp av ulike verktøy og programvarer. Dataen ble prosessert i LAS 1.4.

Helikopter: Rådata fra helikopter er samlet inn av Terratec i 2015 etter oppdrag fra Statens Vegvesen. Dataen ble på den tiden samlet inn med formål å støtte geologiske undersøkelser som ble gjort i området. Datasett er i LAS 1.2.

Drone: Rådata fra drone er samlet inn og prosessert i oktober 2021 av Terratec på vegne av Statens vegvesen, for å undersøke mulighetene rundt snøskreddeleksjon ved hjelp av droner. Datasett er i LAS 1.2.

Tabell 3.1: Plattformen og systemdetaljer

	Fly	Drone	Helikopter
Lasersensor	Riegl VQ1560II-S	Livox Avia	Riegl VUX-1
Skannemekanisme	Roterende polygon	Egendefinert ¹	Roterende polygon
Minimumsavstand [m]	100	1.0	1.5
Bølgelengde	NIR	NIR (905 nm)	NIR
Stråledivergens	0.17 mrad @ 1/e	0.14 mrad	0.35 mrad @ 1/e
Teoretisk nøyaktighet [cm]	2.0	3.0-5.0	1.0
GNSS/INS løsning	Applanix	Inertial Labs	Applanix

¹Egendefinert skanneteknologi: <https://www.livoxtech.com/avia/downloads>

3.6 Programvare

Gjennom undersøkelsen ble det brukt forskjellige programvarer som tilfredsstillende våre behov og krav for hva vi ønsker skal bli gjort med datasettene. De ulike programmene er brukt til alt fra å ferdigstille datasett til å analysere de.

3.6.1 Terrapos

Terrapos er hovedprogrammet som er brukt for å prosessere rå navigasjonsdata. Programmet er utviklet internt av Terratec og brukes for å integrere GNSS- og INS-løsninger fra mobile plattformer.

3.6.2 RiProcess

RiProcess er et program som er utviklet av Riegl og egner seg best for å integrere navigasjonsløsninger sammen med laserdata. Programmet er utviklet spesifikt for å passe med LiDAR-sensorer som er produsert av Riegl. Denne programvaren er brukt i vår oppgave for å prosessere navigasjon- og laserdata sammen for så å få ut standardiserte laserformater.

3.6.3 MicroStation og Terrasolid

MicroStation er en CAD-programvare med en større funksjonalitet enn kun punktsky-prosessering. Terrasolid fungerer som et tilleggsprogram og gjør alt av den faktiske prosesseringen. Kombinasjonen av disse to ble brukt til å prosessere og redigere punktskyen fra start til slutt.

3.6.4 CloudCompare

CloudCompare er en programvare som kan benyttes til å behandle og analysere 3D-punktskyer og triangulert mesh. Dette er et såkalt åpent kilde-program, noe som gjør at det befinner seg mye, og nyttig, informasjon om de ulike funksjonene og parameterne som er tilgjengelig. Som navnet tilsier, ble programmet i utgangspunktet laget for å sammenligne punktskyer eller triangulerte mesh. I ettertid er programmet utviklet til enda flere typer analyser, samt manipulering av punktskyer [CloudCompare, 2022]. CloudCompare benyttes i hovedsak av oss til å tilpasse punktskyene med hverandre, og for å danne meshmodeller.

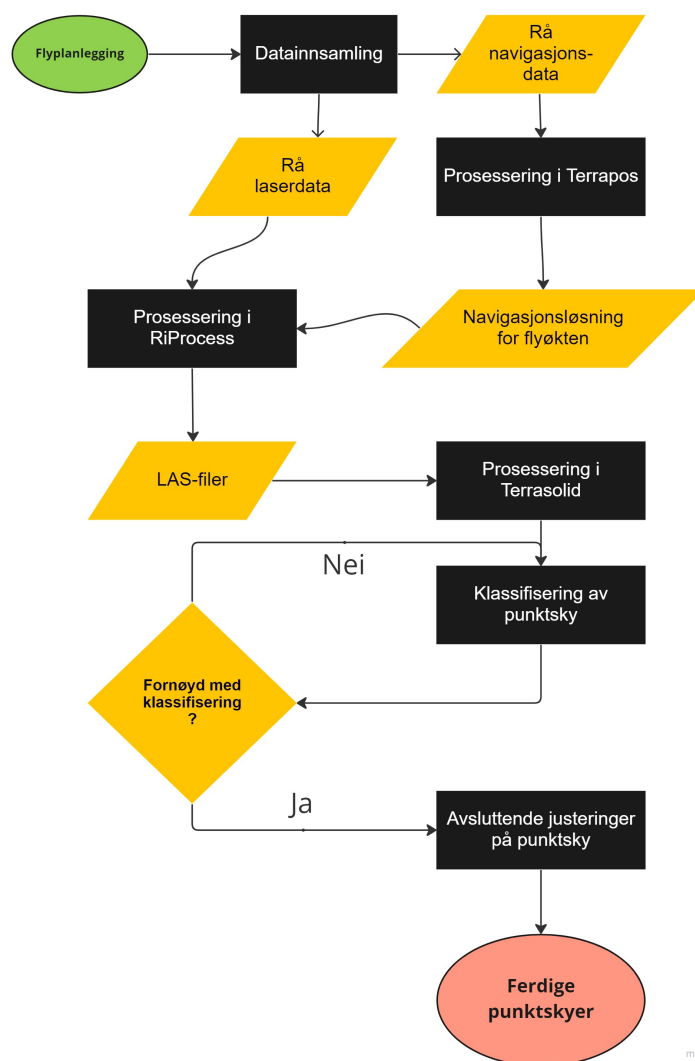
3.6.5 Quick Terrain Modeler (QTM)

Quick Terrain Modeler er en programvare fra Applied Imagery for 3D-punktskyer og terrengjusteringer. Programmet er i hovedsak tiltenkt LiDAR-data, men er allikevel kompatibel med andre 3D-datakilder. QTM gir muligheten til å se på store datasett, og raskt analysere data, før en eventuell eksport. Det er svært brukervennlig, og er tilsynelatende enkelt å navigere i [Applied Imagery, 2022]. QTM er i denne sammenligningen benyttet til blant annet å konstruere digitale overflate- og terrengmodeller, tverrsnittanalyser og volumberegninger.

Metode

4.1 Klargjøring av data

All rådata må gjennom en del steg før en sammenligningsprosess kan ta sted. Slik det er nevnt tidligere under delkapittelet om programvare, har det blitt brukt flere programmer under ulike steg i prosesseringsløypen vår. I denne undersøkelsen er det kun rådata fra fly det er arbeidet med under prosessering. Datasettene fra drone og helikopter var allerede ferdigstilt i forkant av oppgaven. Med dette i bakhodet har vi underveis gjort flere valg som vil hjelpe oss videre under sammenligning av de andre datasettene. Produksjonsløypen (Figur 4.1) er i stor grad inspirert av *Punktsky 1.0*-standarden, og vil derfor ligge til grunn for hvilke nøyaktigheter, attributter og klassenummerering det jobbes etter. Under hver prosess vil det bli forklart hvilke utfordringer som ble introdusert og hvordan vi håndterte disse.



Figur 4.1: Prosesseringsløype

4.1.1 Prosessering

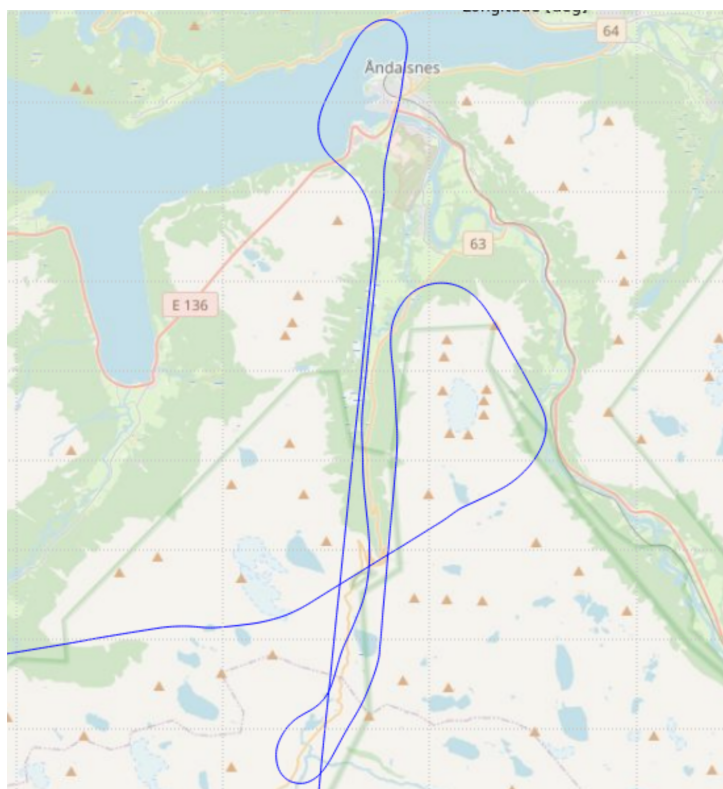
Prosesseringsløypen som har blitt brukt underveis i undersøkelsen, er bygd opp av mindre steg som til slutt resulterer i en punktsky. Datasettene er kontrollert for å forsikre oss om at dataen er pålitelig og inneholder minst mulig feil.

Navigasjonsløsning

Navigasjonsfiler som kommer direkte fra systemene i flyet må gjennom prosessering og kvalitetskontroll før det kan brukes videre med laserdata. Prosessering og rapportering av navigasjonsløsningen for vår flyplan ble gjort i Terrapos.

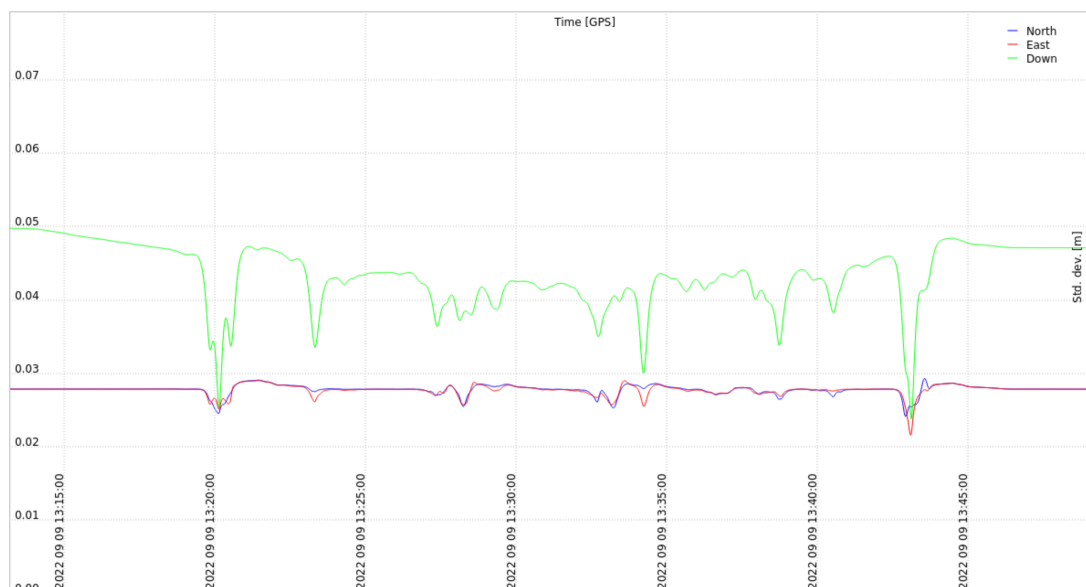
I denne prosessen integrerte vi observasjonene som ble tatt av både GNSS-mottakeren og treghetssensoren(INS) gjennom et Kalman-filter. Arbeidet i Terrapos er i stor grad automatisk. Oppgaven vår i dette steget var å kvalitetssjekke navigasjonsløsningen ved å bruke statistikken og figurer som ble produsert som grunnlag.

Kvalitetskontrollen av navigasjonsløsningen gikk ut på å se etter avvik i flere figurer som beskrev statistiske aspekter ved flyøkten (Figur 4.2). Dette var særlig viktig å dobbeltsjekke for vår del fordi vi tidligere har erfart mindre nøyaktige navigasjonsløsninger på grunn av krevende vær, klima og geografisk plassering.

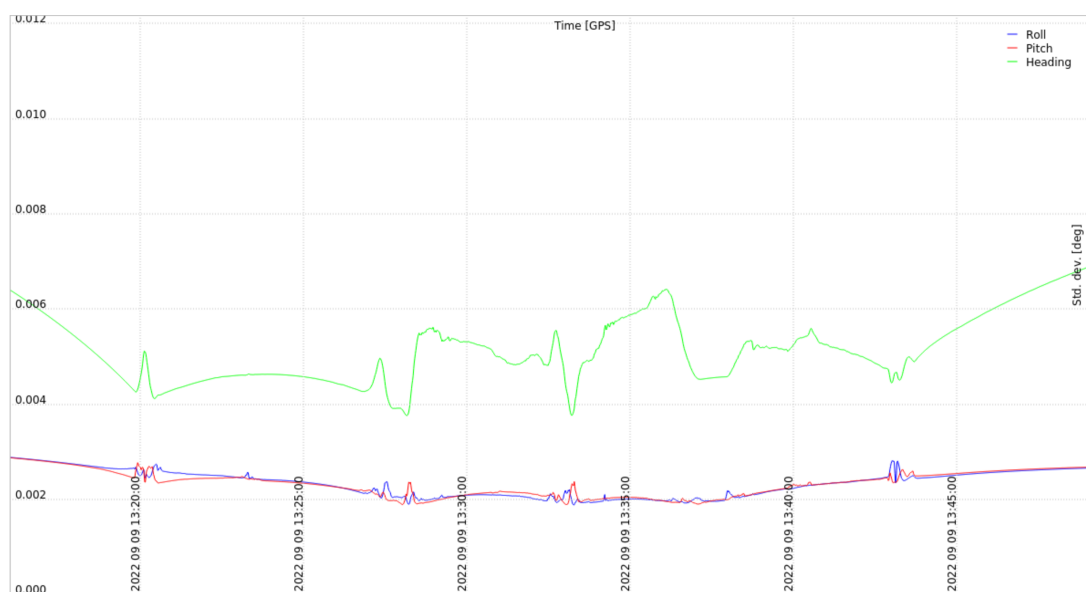


Figur 4.2: Flyets rute

Posisjons- og IMU standardavvik



(a) Posisjon



(b) Orientering

Figur 4.3: Standardavvik gitt med tid

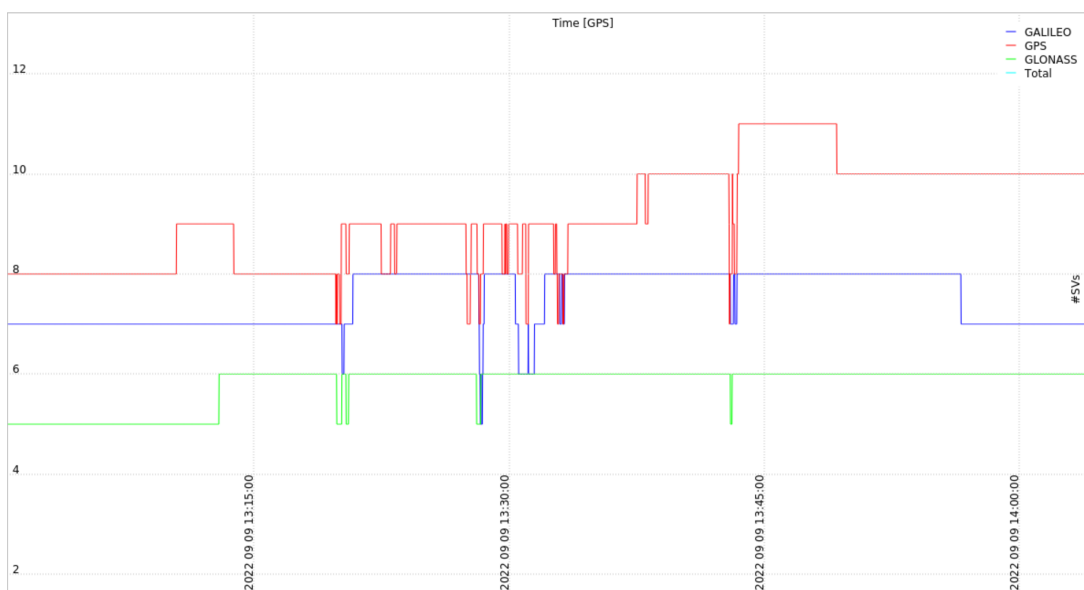
I datainnsamlingsperioden så det ikke ut til å være større avvik enn det som kan forventes til vanlig. Posisjonsstandardavviket (Figur 4.3a) holder seg relativt stabilt i grunnriss (2-3 cm) og i vertikalt (2.5-5 cm).

Data om standardavviket til flyets orientering (Figur 4.3b) endres under datainnsamlingen. Grafene visualiserer endring i roll (ϕ), pitch (ω) og yaw (κ) vinkler. Verdiene roll og pitch holder seg relativt konstant, mens yaw endrer seg i størst grad. Ingen av verdiene var stor nok til å representere betydelig avvik.

Sammenheng mellom DOP-verdier og antall satellitter



(a) HDOP, VDOP, PDOP

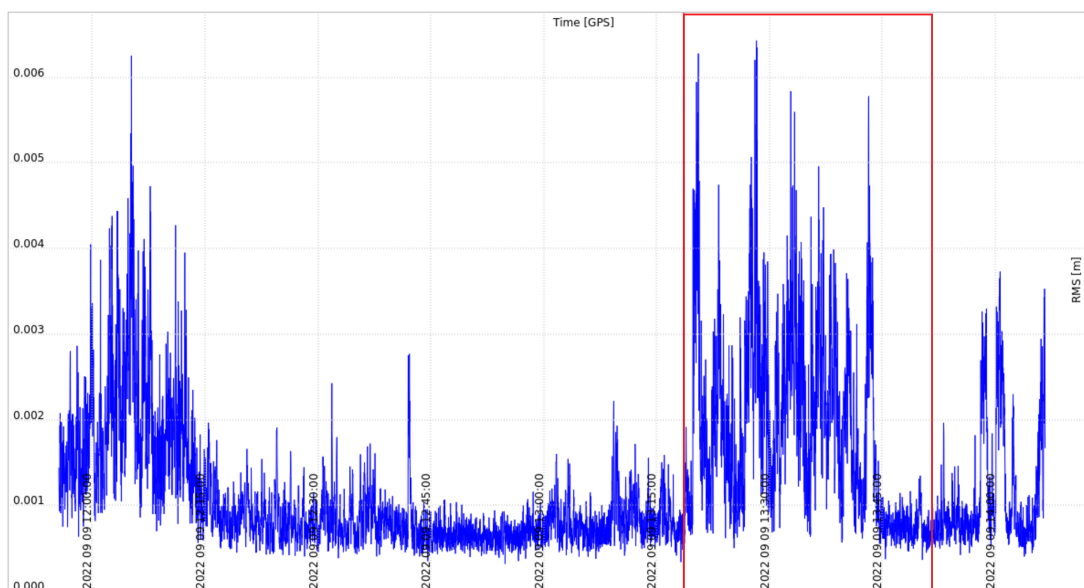


(b) Satellittdekning

Figur 4.4: DOP-verdier og satellittdekning gitt med tid

Antallet tilgjengelige satellitter påvirker DOP-verdiene (Figur 4.4). Den høyeste PDOP-verdien som ble observert i tidsintervallet var i overkant av 1, noe som indikerer at satellittspredningen under datainnsamling var god. Vi kan se sammenhengen mellom PDOP og antall satellitter ved å observere klare endringer i begge figurene. Der antall satellitter går ned, vil PDOP-verdien øke, og motsatt. Dette kan ha betydning for påliteligheten til GNSS-dataene, men i vårt tilfelle var resultatet tilfredsstillende.

Ionosfæriske avvik



Figur 4.5: Ionosfæriske effekter

Satellittsignalene beveger seg gjennom atmosfæren og kan iløpet av den perioden bli påvirket av de forskjellige lagene atmosfæren består av. En av de mest kjente feilkildene skyldes ionosfæren. I figuren ovenfor viser grafen endringer i ionosfæriske RMS. Her er det kun data på innsiden av det røde rektangelet i Figur 4.5 som er av interesse for oss. RMS-verdiene ligger generelt på ca. 3 mm, men har noen uregelmessige toppunkt på 5-6 mm. Disse verdiene anses ikke til å være store nok for å påvirke sluttresultatet i noen nevneverdig grad.

Etter å ha gjennomgått og vurdert de mest sentrale faktorene i en kvalitetskontroll, ble det også sett på tre ulike rapporter som ga et kort statistisk sammendrag av navigasjonsløsningen. Disse ble vurdert til å være tilstrekkelig gode for videre prosessering.

Avslutningsvis ble navigasjonsløsningen godkjent og eksportert ut til kompatible navigasjonsfiler (SBET-fil og .trj-filer) for videre bruk i senere steg¹. Under eksporten ble det også valgt en geodetisk transformasjon (WGS84) og UTM-sone 32. Filene som ble produsert brukte ellipsoidiske høyder basert på GRS80-ellipsoiden.

¹https://www5.kingcounty.gov/sdc/FGDCDocs/LIDAR_2016_SBET_faq.htm#:~:text=SBET%20means%20Smoothed%20Best%20Estimate,date%20of%20the%20aircraft%20sensor

Prosessering i RiProcess

Ved prosessering av laserdata blir eksporterte navigasjonsfiler fra forrige steg kombinert med rådata fra lasersensoren. Dette gjøres for å georeferere rådataen, men også for å produsere las-filer. Las-formatet er det mest brukte og mest kompatible punktskyformatet, og støttes av alle programmer som blir brukt i undersøkelsen. Denne prosessen ble gjort i programvaren til sensorprodusenten Riegl. Vi lastet inn SBET-filen fra navigasjonsprosesseringen sammen med rå laserfiler. Las-filer ble deretter eksportert ut i spesifiserte mapper.

Prosessering i Terrasolid

Majoriteten av prosessering og manipulering av punktskyen fra flyplattformen ble gjort i Terrasolid. Programmet er godt egnet for å gjennomføre fulle produksjonsløyper. Vi har av den grunn valgt dette programmet fordi vi skulle gjøre alle steg i prosesseringen selv.

Store deler av arbeidet på punktskyen ble gjort gjennom egendefinerte makroer i Terrasolid. En makro er et sett med funksjoner som gjennomføres trinnvis på punktskyen. Makro-filene er tekstfiler som er bygget opp på en slik måte at Terrasolid gjenkjenner ulike funksjoner og annen nødvendig informasjon for å utføre prosessene som er beskrevet i filen. Før innlesning av las-filer ble gjort, måtte vi klargjøre alt annet først. Dette innebar å lese inn områdeavgrensninger og flystriper. Flystripene ble brukt ved import av las-filer for å knytte dem opp mot hver enkelt flylinje basert på tidspunktet et punkt i punktskyen ble registrert. Ved import av las-filer måtte det velges riktig input-koordinater for filene (WGS84 longitude & latitude), samt velge hvordan flylinjer og begge laserskannerne skulle bli kategorisert i forhold til punktskyen.

Import av laserdata

Følgende innstillinger (Figur 4.6) er benyttet for importering av las-filer:

Import Points into Project

Format and coordinates

Format: LAS 1.4

Input projection: 4326 Browse...

4326 WGS84 longitude & latitude

Transform: None

Coordinates: E2927333 N393607 --> E430851 N6929749

Input times: GPS standard time 346765160

Storing points

Outside blocks: Ignore outside block

Block overlap: No overlap

Only every 10 th point

Only class 2 - Ground >>

Thin by order

Inside fence only

Delete empty blocks

Merge small blocks Min: 50 Max: 200 million

Autosave project after import

Flightline numbering

Line numbers: Deduce using time

Scanner numbering

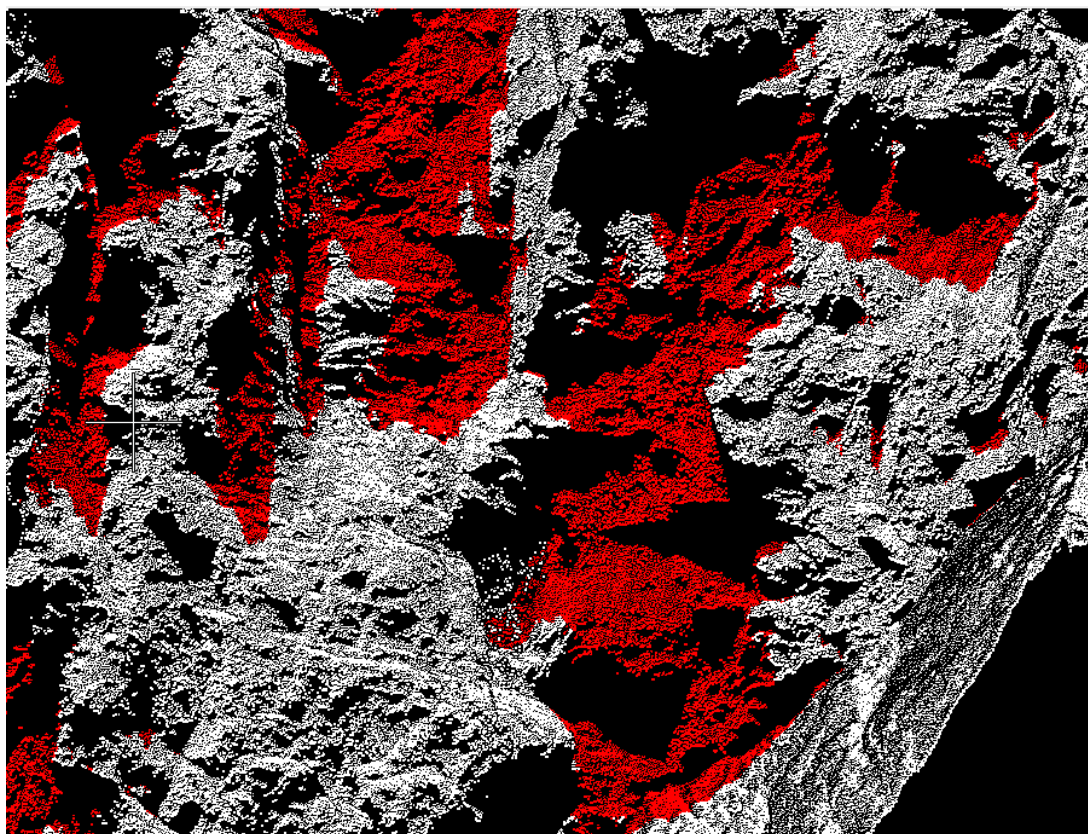
Scanner numbers: Last number in folder

OK TerraSlave >> Cancel

Figur 4.6: Import av las-filer

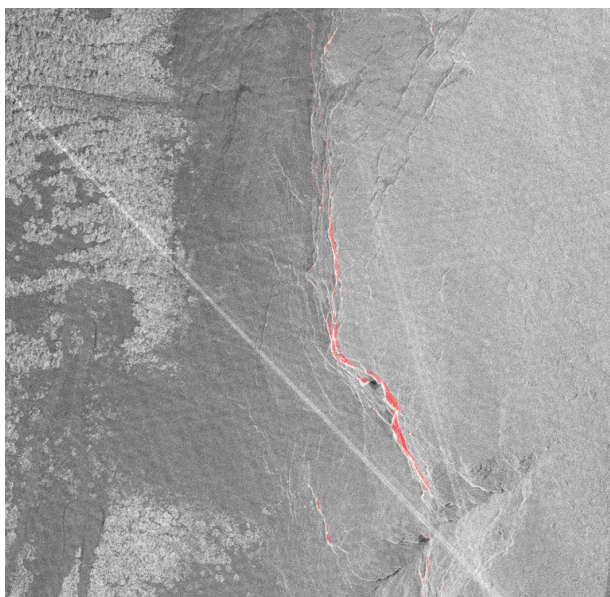
Initiell klassifisering og kontroll av punktsky

Det første hovedsteget i prosessen innebar å klassifisere hele området på et grovt nivå. Her ble det brukt en generell makro, som blant annet klassifiserte isolerte punkter på bakgrunn av en tidligere bakkeklassifisering med *classify ground* og *classify hard surface*. Mer om hvordan disse funksjonene fungerer er beskrevet i kapitlet om filtrering og klassifisering. Etter å ha kjørt makroen, bestod punktskyen av uklassifiserte punkter (Klasse 1 - hvit), lave støy punkter (Klasse 7 - gul) og høye støypunkter (Klasse 18 - rød). Den grove klassifiseringen vi gjorde i det første steget var langt i fra god nok, og introduserte mange støy punkter som vi manuelt måtte endre på. Flere punkter langs fjellvegger var blitt klassifisert som støy (rød). Grunnet dette ble det brukt mye tid på manuell reklassifisering av disse støypunktene over til uklassifisert igjen. For å gjøre det ble det brukt forskjellige verktøy i Terrasolid, deriblant et penslingsverktøy som reklassifiserer der musepekeren beveger seg. Dette verktøyet ble i størst grad brukt fordi vi hadde mer kontroll over hvilke punkter som ble reklassifisert. Flere andre verktøy klassifiserer større områder samtidig, noe som bidrar til mindre kontroll under reklassifiseringen.

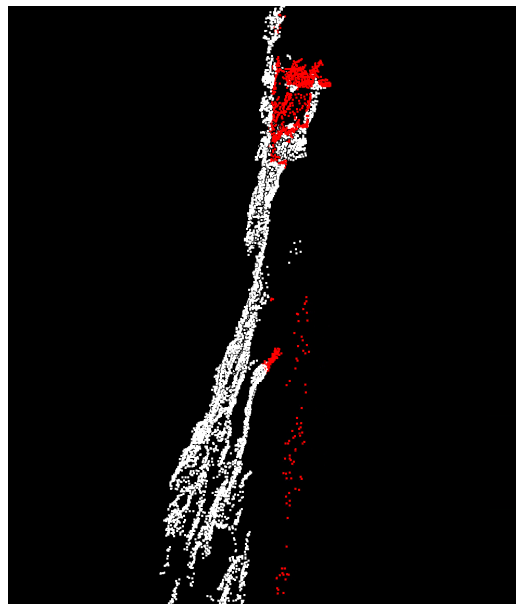


Figur 4.7: Illustrasjon av dårlig støyklassifisering

Store deler av fjellveggen i Område B har blitt feilklassifisert som støy (Figur 4.7). Dersom det ikke hadde blitt sjekket for slike feilklassifiseringer ville vi endt opp med å få store hull langs fjellvegger når klasse 18 etterhvert blir slettet fra datasettet.



Figur 4.8: Områder med klasse 18 - Høy støy

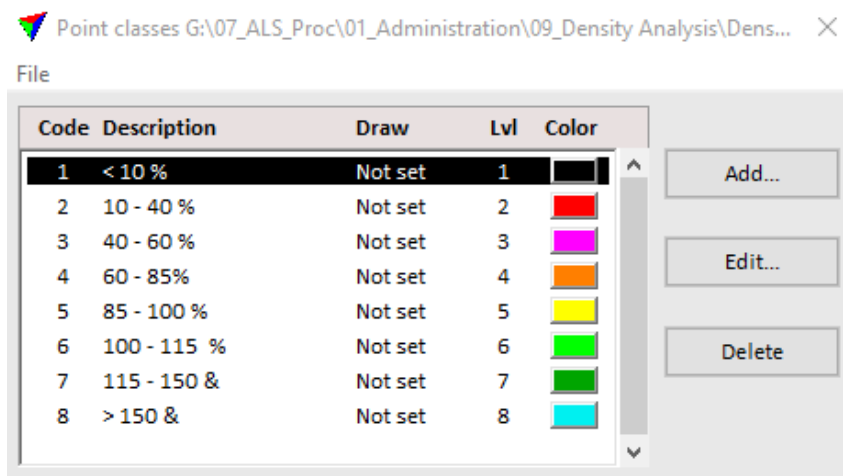


Figur 4.9: Punkter bak fjellvegg

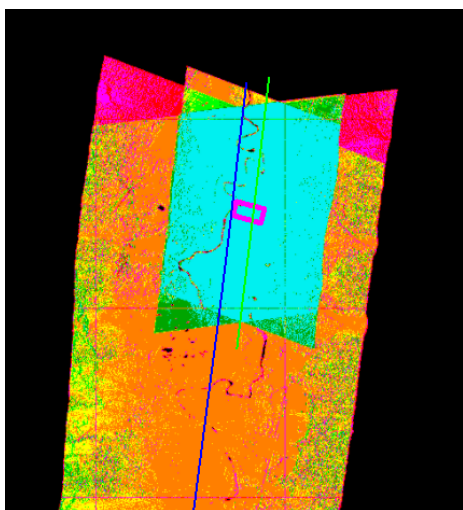
Ved klassifisering ble støypunktene markert som røde punkter (Figur 4.8 og 4.9), der majoriteten av støypunktene ble observert langs bratte fjellpartier. Dette ga oss en indikasjon om at det er i disse områdene hvor klassifiseringsmetodene har størst problemer. En stor andel punkter befant seg også bak fjellveggene, noe som kan komme av multipath på grunn av blanke overflater f.eks. vann. Flesteparten av punktene bak fjellveggen ble fjernet fra datasettet før prosessering fortsatte. Videre måtte vi finne ut av en løsning slik at fjellvegger ble klassifisert riktig i størst mulig grad.

Vi valgte også å modifisere makroen slik at den eksporterte ut et tetthetsplott av punktskyen (Figur 4.11 og 4.12). På denne måten kunne vi kvalitetssjekke dataen på et overordnet nivå. Tetthetsplottet ga oss nok informasjon til å avgjøre om det var noen mangler i datasettet, og om tettheten langs fjellvegger var tilstrekkelig. Plottene ble eksportert ut med en pikselstørrelse på fem meter og hvor fargene (Figur 4.10) baserte seg på en referansetetthet på $30 \text{ pkt}/\text{m}^2$.

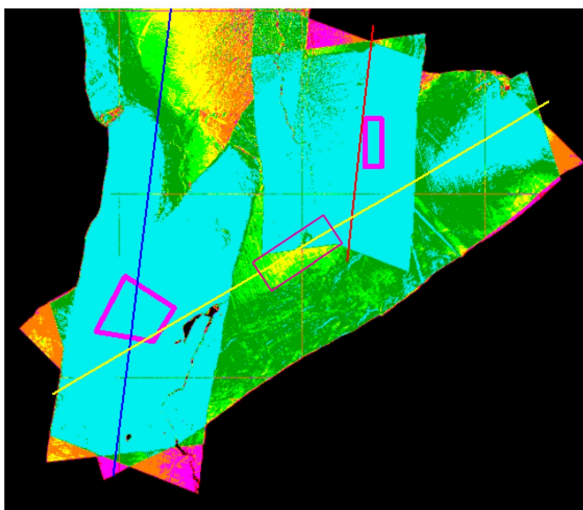
Tetthetsplott



Figur 4.10: Fargeforklaring



Figur 4.11: Område A

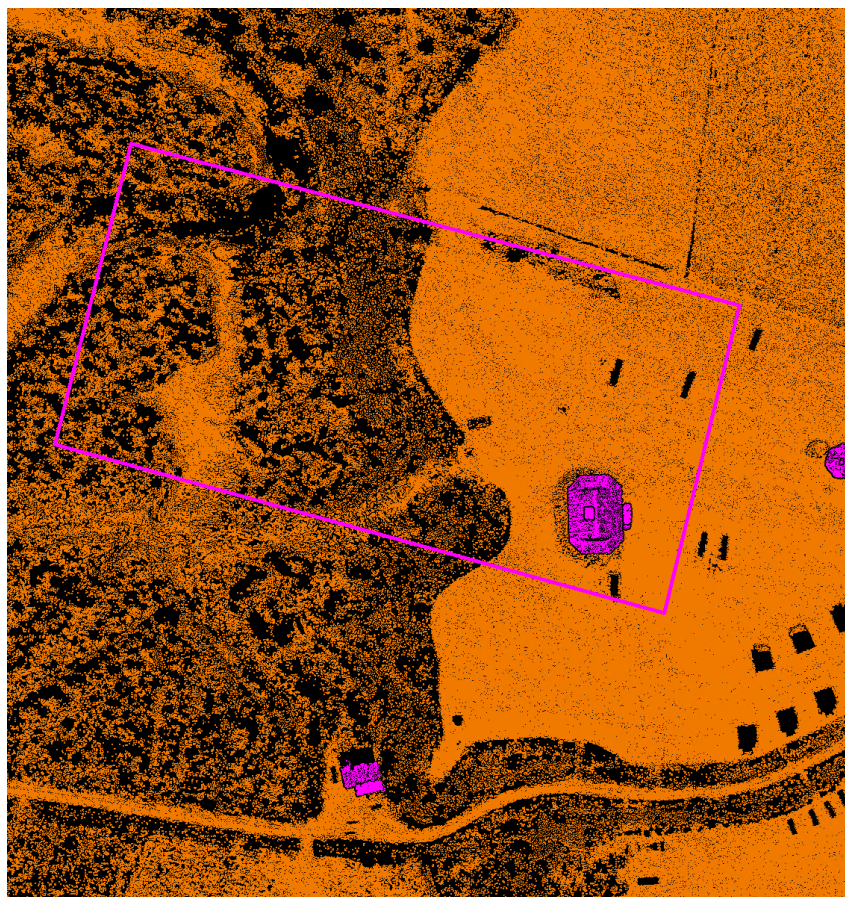


Figur 4.12: V til H: Område C, D og B

Områdene A, B og C hadde generelt sett veldig god punkttetthet, med verdier over $45 \text{ pkt}/\text{m}^2$ (150% av $30 \text{ pkt}/\text{m}^2$). Område D befinner seg i et mer utsatt område da områdeavgrensningen her er preget av gule og lysegrønne farger. Selvom tettheten her er lavere enn i de andre områdene, har vi fortsatt oppnådd omtrent $25 \text{ pkt}/\text{m}^2$, altså 85% av $30 \text{ pkt}/\text{m}^2$. Dette til tross for at området ikke ble tatt hensyn til i flyplanen.

Fortynning av punktsky og generell bakkeklassifisering

Det neste steget i prosessen var å klargjøre en fortynnet punktsky som inneholdt flest mulig bakkepunkter. Denne punktskyen skulle bli brukt videre til å søke etter “tielines”. Det var viktig å bruke en punktsky som inneholdt færre punkter i denne prosessen fordi prosesseringstiden ellers ville økt betraktelig dersom vi skulle finne tielines på en punktsky i full tetthet. Den fortynnede punktskyen bestod kun av bygnings- og bakkeklassen fordi det var dette vi ville bruke som referanseflater ved en stripeutjevning senere i prosessen. Vi ville få med så lite vann som mulig i klassene, og måtte derfor justere på noen høydeparametre som ble brukt til å klassifisere underveis. Til tross for dette er enkelte punkter langs elven også klassifisert som bakkepunkter.

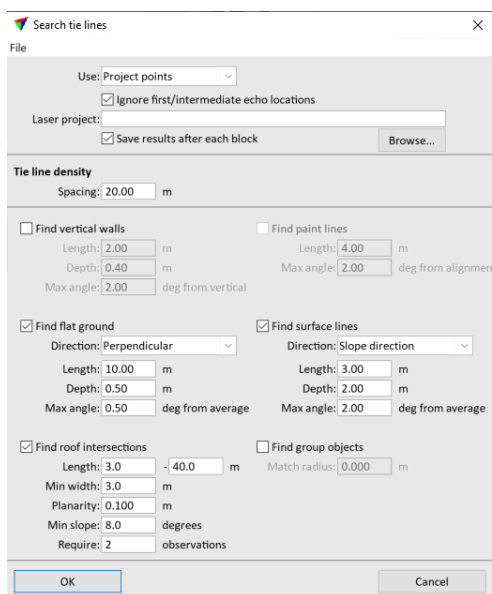


Figur 4.13: Fortynnet punktsky

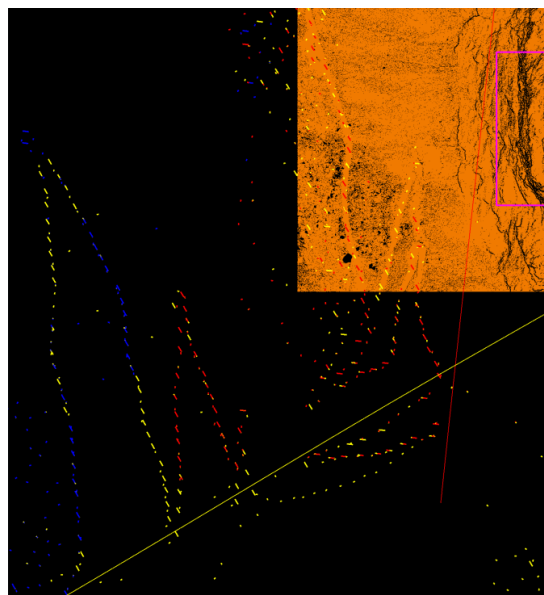
I Område A er kun bygningsklassen (magenta) og bakkeklassen (oransje) lagret (Figur 4.13). Den manglende tettheten av bakkepunkter på vestsiden av avgrensingsområdet skyldes tett vegetasjon og elver. Her vil vi naturligvis unngå å opprette tielines senere i prosessen.

Tielinesøk

Med en fortynnet punktsky som kun inneholdt relevante klasser, kunne det begynnes med å søke etter tielines. Tielines har som hovedoppgave å fortynne punktskyen ytterligere ved å si at hver tieline representerer en del av punktskyen. Hvor store eller bratte områder som blir representert avhenger av hvilke verdier som blir satt inn i søkeprosedyren. Etter mye testing innså vi at tieline-søket burde tilpasses til områder hvor det også var helning. På grunn av det krevende terrenget i Trollstigen opplevde vi mer representative tielines dersom vi gjorde søkeområdet per tieline kortere, og tillot større endringer i vinkelen. Innstillinger brukt i tielinesøket vises i Figur 4.14.



Figur 4.14: Innstillinger ved tielinesøk



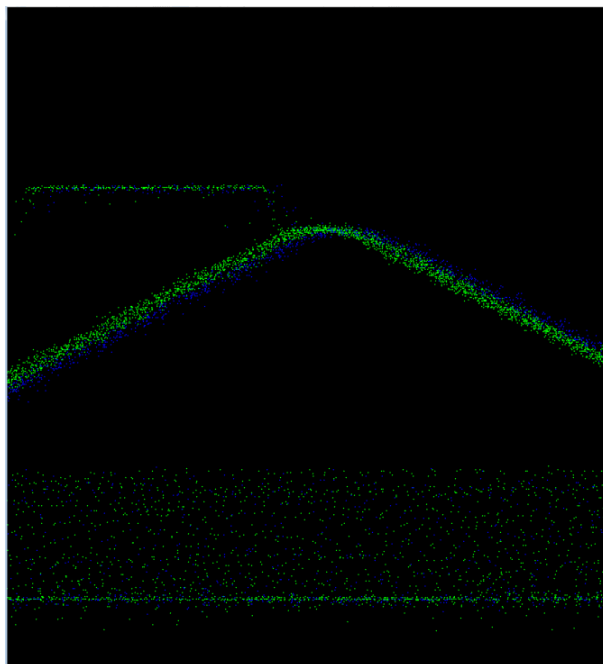
Figur 4.15: Resultat av tielinesøk

Majoriteten av tielines ble registrert langs bilveien (uavhengig av helningen), langs mønelinjer på hus og rette flater i terrenget. Noen tielines er også registrert i fjellområder (Figur 4.15).

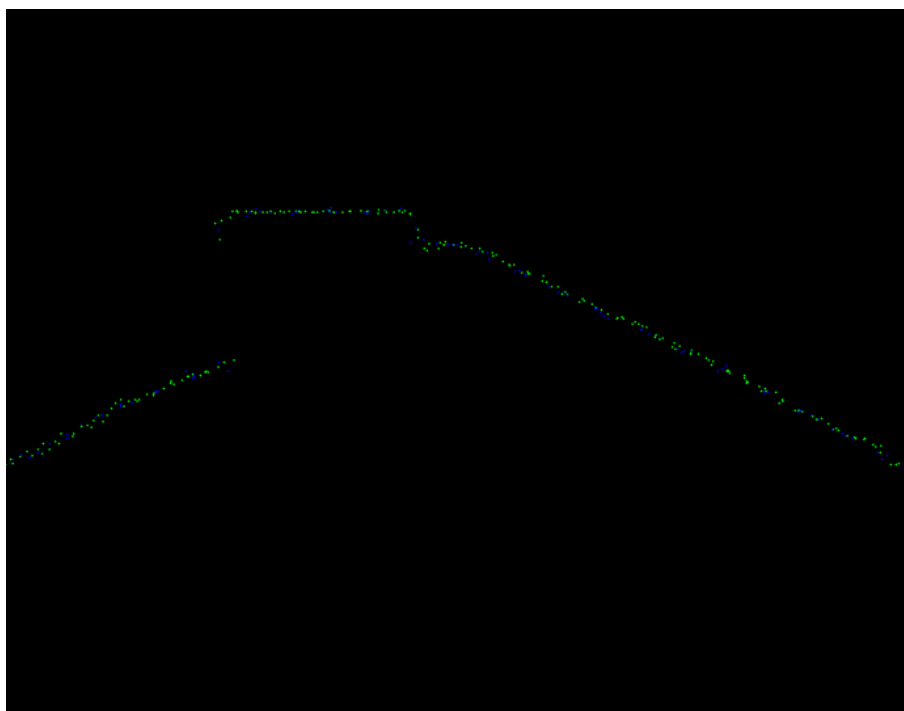
Estimering av korreksjoner

Med ferdigprosesserte tielines ble det gjort et søk etter rotasjons- og høydekorreksjoner (heading, roll, pitch og dZ). Estimerte verdier som ble kalkulert på bakgrunn av tielines vil fortelle oss noe om hvordan punktskyene per flystripe ligger i forhold til hverandre. Dette gir oss en indikasjon på hvor mye de eventuelt må forflyttes eller roteres for å få alle overlappende områder til å passe sammen.

Eksempelvis kan det tenkes et område som overlappes av to flystriper. Dersom man ser på et tverrsnitt av terrenget, vil punktene fra den ene flystripa ligge konsekvent litt over eller under den andre flystripa. Verdier det estimeres etter i denne prosessen vil redusere denne effekten dersom de påføres på det fulle datasettet.



Figur 4.16: Før korreksjoner



Figur 4.17: Etter korreksjoner

Før korreksjoner er det et tydelig skille mellom punktene fra de to flystripene (blå og grønn) (ref. Figur 4.16). Etter påføring av korreksjonene ligger punktene mye tettere på hverandre (Figur 4.17). Det samme fenomenet ble observert mellom skannere i samme flystripe, og ble også korrigert for i samme prosess.

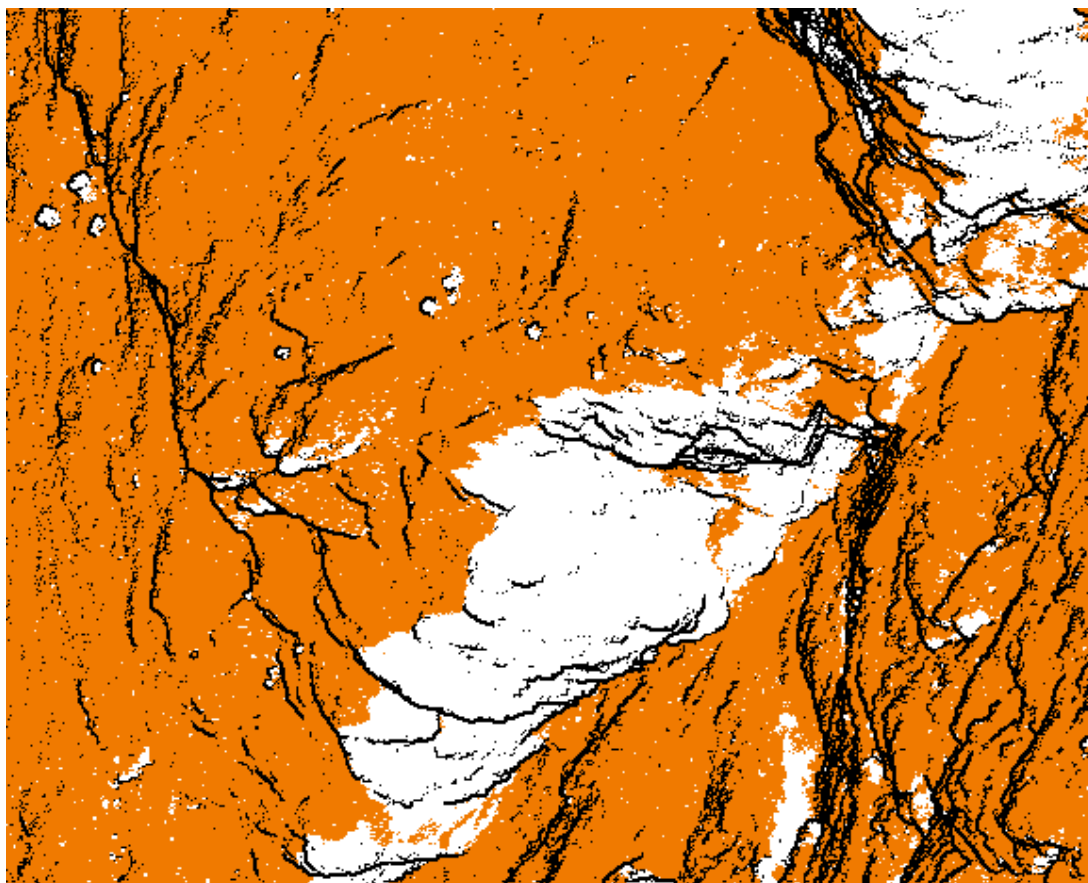
Endelig klassifisering av punktsky

Med gode korreksjoner for rotasjon og høyde ble punktskyen så homogen som mulig. Klassifiseringsmakroen vi arbeidet med bestod av flere klassifiseringssteg, og skulle ideelt sett klare å klassifisere alt av bakke, uavhengig av om det var på fjellvegger eller ikke. Vi startet med å prøve en makro med standardverdier gitt til oss av Terratec, men resultatet var ikke godt nok til vårt formål. Standardverdier brukt hos Terratec er veldig generaliserte og egner seg best ved vanlig terreng. For å tilpasse klassifiseringen til vårt terreng ble det gjort endringer av flere parametre i *classify ground* og *classify hard surface* funksjonene. Blant annet ble det testet ut ulike verdier for iteration angle, terrain angle og max terrain slope. Vi merket klare forbedringer, men ikke gode nok til at vi ville begynne og manuelt klassifisere det som gjenstod. Vi ønsket å finne en metode for klassifisering som gjorde mest mulig selv. For å oppnå det beste resultatet fra makroen, bestemte vi oss for å kjøre flere klassifiseringsmakroer. På denne måten kunne vi tilpasse verdier i makroen for hele punktskyen, men også for spesifikke fjellvegger i området.

Denne prosessen bestod av fem steg:

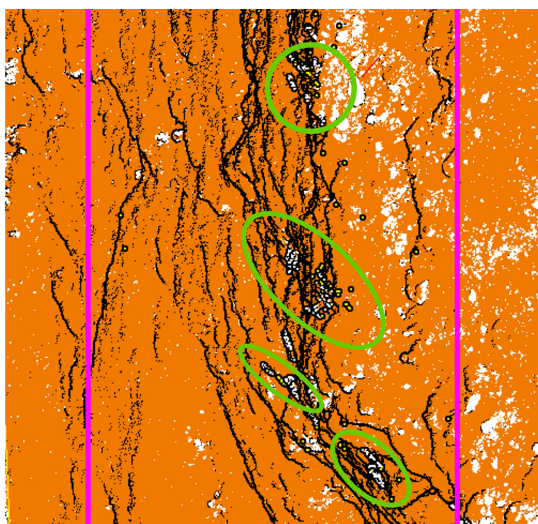
1. Klassifisere hele punktskyen med tilpassede verdier slik at klassifiseringen håndterte en del bratt terreng.
2. Lage egne polygoner rundt fjellvegger som er av interesse. For eksempel Område B og D.
3. Kjøre mer spesifiserte klassifiseringsmakroer inni polygonene. Disse makroene inneholdt egne rutiner for å rotere alt innenfor polygonet med ca. 70 grader slik at Terrasolid nå tolket fjellveggen som et tilnærmet horisontalt bakkeplan. Hvilken retning veggen ble rotert var avhengig av orienteringen til fjellveggen i punktskyen. En fjellvegg vendt mot vest ble for eksempel rotert om X-aksen med klokken. Verdiene brukt i disse makroene ble også endret på slik at de tok høyde for mye mer endring i terrain angle, iteration angle, iteration distance ol. Avslutningsvis ble fjellveggene rotert tilbake til utgangspunktet.
4. Punkter innenfor polygoner fra datasettet i steg 1 ble klippet ut.
5. Importerte punkter i polygoner fra datasettet i steg 3.

Til tross for flere tilpassede fremgangsmåter under klassifiseringen, måtte vi også finjustere den endelige klassifiseringen manuelt. Det var nå betraktelig mye mindre feilklassifiserte punkter, men vi måtte likevel se nærmere på punktskyen og bruke penselverktøyet. Den manuelle reklasifiseringen innebar å flytte feilklassifiserte punkter fra klasse 1 og 7 til klasse 2 og omvendt.

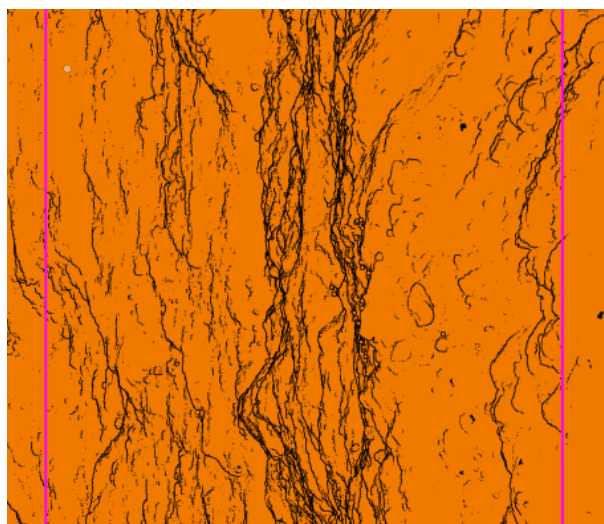


Figur 4.18: Uklassifiserte fjellpartier

Etter en detaljert klassifiseringsmakro var store uklassifiserte fjellpartier fortsatt synlige (Figur 4.18). Mye av det som er uklassifisert er faktisk fjellvegg og inneholder mange detaljer. Dersom dette ikke ble klassifisert tilbake som bakke, ville det påvirke alle modeller som er produsert senere i form av hull eller interpolerte verdier i datasettene. Det var naturligvis lettere å reklassifisere de største områdene, men vi måtte også ta med mindre flekker av uklassifiserte punkter. Dette bidro til mye ekstra arbeid før datasettet kunne klargjøres.



Figur 4.19: Støy langs fjellvegger



Figur 4.20: Klassifisering etter editering

Noe støy var fortsatt tilstede i punktskyen (Figur 4.19). Dette var godt synlig i de samme utsatte områdene som tidligere. Vi prøvde å klassifisere det meste av dette bort, slik at vi satt igjen med en tilfredsstillende punktsky (Figur 4.20).

Geoidejustering

Avslutningsvis i redigeringsprosessen av punktskyen ble det gjort både geoide- og kontrollpunktjusteringer. Geoidejusteringen ble gjort basert på data fra en høydereferansemodell (HREF2018B) utgitt av Kartverket¹.

Kontroll av høydenøyaktighet

Kontroll av høydenøyaktigheten til punktskyen ble gjort ved å sammenligne datasettet med hjulspordata² som er samlet inn av Terratec i 2017 og 2020. Ved å sammenligne datasettene med hverandre, kunne vi si noe om det gjennomsnittlige avviket dZ i datasettet vårt etter alle korreksjoner.

-----Data-----	--Min--	--Max--	--Med--	--IQR--	--Mean-	--Std--	-IQR/s-	----n-
Overall:	-2.710	0.190	0.010	0.050	0.017	0.054	0.925	35635
North-East quadrant:	-0.630	0.160	0.020	0.040	0.023	0.033	1.228	9000
South-East quadrant:	-0.490	0.160	0.030	0.060	0.031	0.040	1.515	10399
South-West quadrant:	-2.710	0.190	0.000	0.030	-0.008	0.073	0.412	11445
North-West quadrant:	-0.330	0.150	0.020	0.060	0.031	0.039	1.536	4791
Removed 2110 records with $ dz - \text{median}(dz) > 0.0750$								
390 (1.1%) in the North-East quadrant:								
1023 (2.9%) in the South-East quadrant:								
132 (0.4%) in the South-West quadrant:								
565 (1.6%) in the North-West quadrant:								
-----Data-----	--Min--	--Max--	--Med--	--IQR--	--Mean-	--Std--	-IQR/s-	----n-
Overall:	-0.060	0.080	0.010	0.040	0.013	0.030	1.328	33525
North-East quadrant:	-0.060	0.080	0.020	0.040	0.020	0.026	1.525	8610
South-East quadrant:	-0.060	0.080	0.020	0.050	0.024	0.031	1.605	9376
South-West quadrant:	-0.060	0.080	0.000	0.030	-0.005	0.023	1.291	11313
North-West quadrant:	-0.060	0.080	0.020	0.050	0.022	0.031	1.637	4226

Figur 4.21: Utsnitt fra rapport

Rapporten om høydenøyaktighet (Figur 4.21) spesifiserer avvik mellom datasettene i fire kvadranter, samt gjennomsnittlige avvik. Det gjennomsnittlige standardavviket i dZ ble beregnet til 3 cm, og justeringen som måtte til for å korrigere datasettet mot hjulsporene var 10 cm. Verdiene ble vurdert i henhold til Punktsky 1.0-standarden for *Luftbåren Topografisk LiDAR*.

¹<https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/hoeydereferansemodell-nn2000/71a73064-59a5-4f03-a0b8-fa5c649c3fc9>

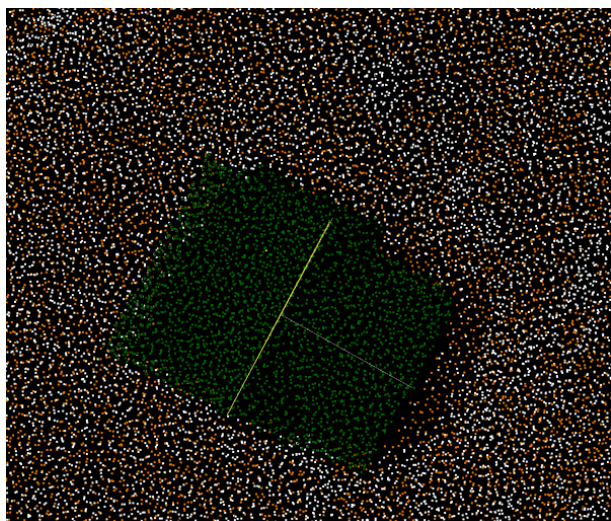
²Hjulspor er en alternativ måte å samle inn kontrollpunkter på ved hjelp av bil.

Kontroll av grunnrissnøyaktighet

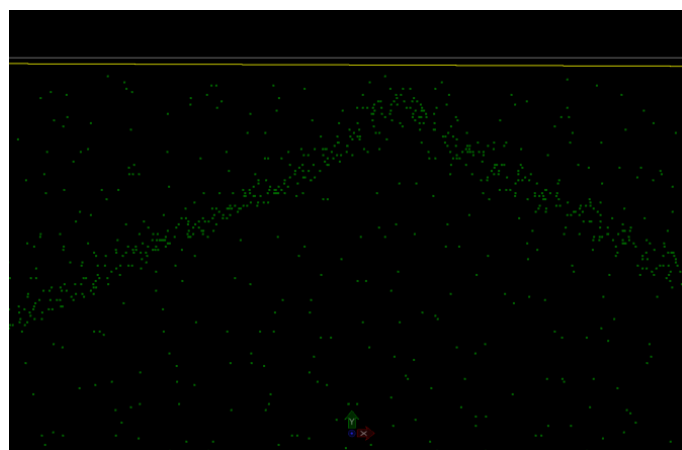
Kontrollen av nøyaktighet i grunnriss ble gjort ved å sammenligne punktskyen opp mot FKB-data fra tidligere år. FKB-dataene bestod av bygningsvektorer, blant annet mønelinjer og takkanter. Avstanden mellom punktskyen og disse vektorene ble målt med et måleverktøy i Terrasolid (Tabell 4.1).

Tabell 4.1: Kontroll av grunnrissnøyaktighet

Type objekt	Avvik dN [m]	Avvik dE [m]	Avvik dZ [m]	Avvik grunnriss [m]
Mønelinje	0.05	0.02	0.01	0.05
Mønelinje	0.01	0.09	0.02	0.09
Mønelinje	0.02	0.04	0.21	0.04
Mønelinje	0.05	0.05	0.01	0.07



Figur 4.22: Mønelinje fra toppen



Figur 4.23: FKB-vektor og punktskyvektor

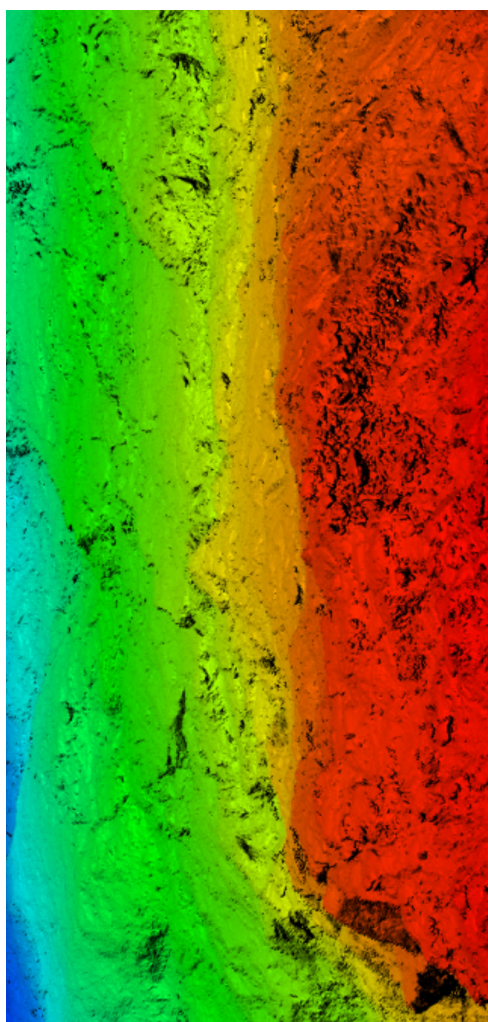
FKB-vektorer ble sett sammen med punktskyene for å kunne beregne absolutt nøyaktighet (Figur 4.22). Det gule linjestykket (nederst) representerer mønelinja på vårt datasett, mens det hvite linjestykket (øverst) er FKB-vektoren (Figur 4.23). Avstanden mellom disse to linjene ble målt for å få ut forskjeller i koordinater i XY-retning. Det er begrenset med brukbare vektorer i området da det ikke befinner seg mange bygninger der. Den gjennomsnittlige nøyaktigheten i grunnriss ble beregnet til 6 cm basert på fire kontrollvektorer.

Verdiene for nøyaktighet som det ble konkludert med er innenfor gitte krav i Punktsky 1.0-standarden.

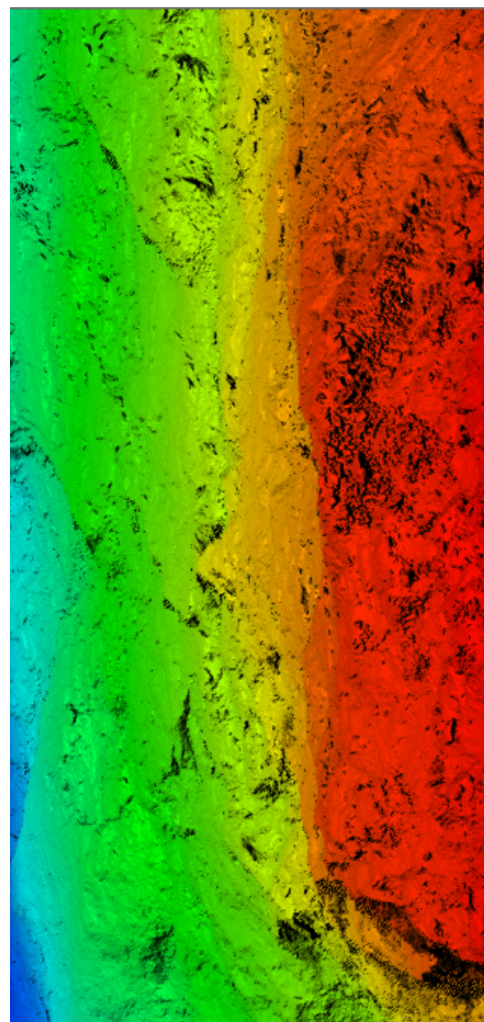
Eksport av DTM/DOM i Terrasolid

På bakgrunn punktskyen som var ferdig klassifisert og redigert, ble det eksportert ut digitale terreng- og overflatemodeller. Det ble eksportert ut en overflatemodell av hele datafangstområdet. Det ble også eksportert ut terrengmodeller for hvert avgrensingsområde (A-D). Flere verdier for oppløsning ble testet ut, før det ble bestemt og bruke 20 cm rutenett. Terrengmodellene ble produsert kun basert på bakkeklassen, men overflatemodellen brukte klassene uklassifisert (1), bakke (2), vegetasjon (3-5) og bygning (6).

Underveis i eksporten hadde vi mulighet til å bestemme hvilken algoritme som skulle brukes for å velge høydeverdi piksler på 20cm. Vi prøvde ut alle mulighetene, som vil si høyeste punkt (Figur 4.24), laveste punkt (Figur 4.25), gjennomsnittlig høyde på punkter, det mest sentrale punktet og en triangulert høyde verdi som baserer seg på TIN-modeller innenfor pikselen. Ved å bruke flere av de digitale terrengmodellene sammen kan man for eksempel trekke DTM-“laveste punkt” fra DTM-“høyeste punkt” for å få en enkel visualisering av brattheten.



Figur 4.24: DTM basert på høyeste bakkepunkt



Figur 4.25: DTM basert på laveste bakkepunkt

Små forskjeller i terrengmodellene over kan observeres i form av hvilken høydeverdi som blir valgt innenfor et 0,2 meter grid.

4.2 Produksjon av modeller

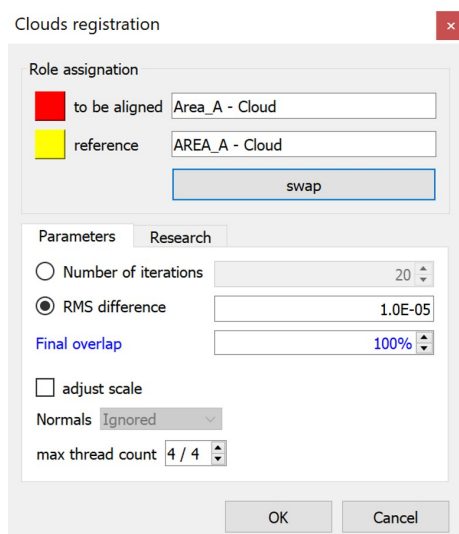
For å kunne gjøre sammenligninger av datasettene, ble det produsert to ulike type modeller for å få punktskyen omgjort til flater. I vårt tilfelle falt valget på digital terrengmodell og 3D-mesh. Dette for å kunne teste både 2.5D- og 3D-modeller til de ulike analysene.

4.2.1 Punktskyjustering - CloudCompare

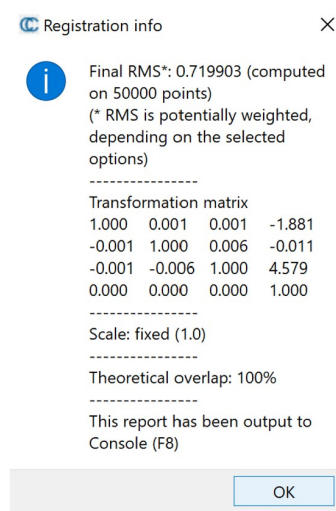
Etter ferdigstilling av punktskyer, ønsket vi å forsikre oss om at punktskyene fra de ulike plattformene passet så godt som mulig i forhold til hverandre. Det var ikke en selvfølge at punktskyene ville bli plassert korrekt, da flere av datasettene var samlet inn uavhengig av hverandre og med ulike justeringer og kontrollpunkter.

Da punktskyen fra drone ble sammenlignet med den fra fly, så vi at enkelte områder hadde store avvik. Dette er avvik som hadde gjort volumberegninger og andre analyser mer eller mindre umulig. Et av eksemplene på dette ser vi i Område A. Her kunne det se ut som at dronedatasettet lå diagonalt i forhold til flydatasettet. Ved nærmere undersøkelse av de andre datasettene, så vi at vridninger også kunne observeres i disse. Det ble derfor besluttet å benytte CloudCompare sin funksjon kalt “Fine Registration (ICP)”. Dette er en funksjon som automatisk tilpasser to punktskyer til hverandre, gitt at det er samme objekt eller form som skal tilpasses. Dette er en ypperlig funksjon i vårt tilfelle, ettersom områdene våre har flere respektive datasett som ikke innehar en god nok relativ nøyaktighet. Ved bruk av denne funksjonen velges hvilken punktsky som skal være referansen, og hvilken som skal tilpasses. I alle tilfeller hvor vi har benyttet denne funksjonen, er drone eller helikopter justert mot flydata. Dette valget ble gjort fordi data fra fly var uniform for hele området og hang sammen, i motsetning til de flere, mindre områdene innsamlet med drone og helikopter.

Ved bruk av ICP-funksjonen kunne ulike parametre bestemmes (Figur 4.26). I vårt tilfellet lot vi verdiene for RMS difference og Final overlap stå som “default”-verdier, henholdsvis $1 \cdot 10^{-5}$ og 100%. Etter en kort automatisk prosessering fra CloudCompare sin side, fikk vi ut en korrigert punktsky og Registration Info.



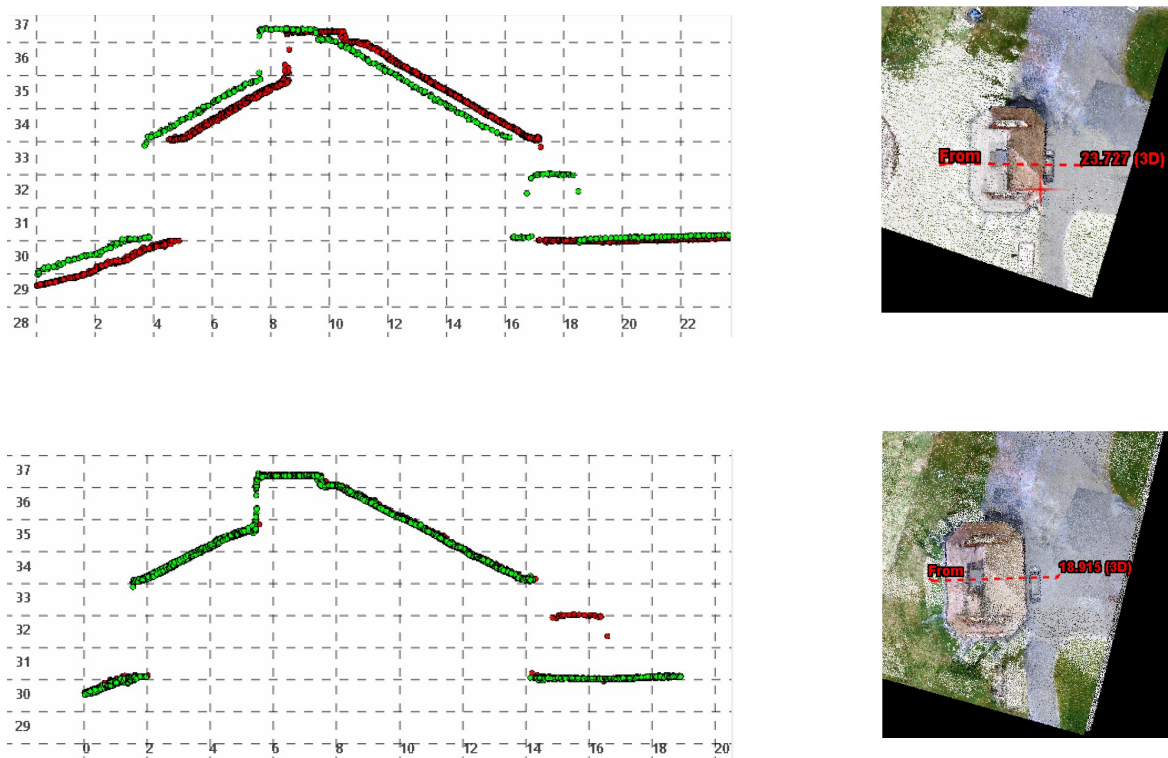
Figur 4.26: Parametre i *Fine Registration (ICP)*



Figur 4.27: Resultat etter *Fine Registration (ICP)*

I Registraion Info (Figur 4.27) gis en oversikt over hvilken transformasjon som er gjort, og RMS-verdien for justeringen. Av alle punktskyjusteringene som ble gjort, var 0,71 (Område A) den laveste RMS-verdien, og 1,25 (Område C) den høyeste. Ettersom RMS-verdien tilsier hvor godt modellene stemmer overens, kan vi anta at dronedata fra Område A ble best tilpasset flydataen. Dette kan trolig komme av at det er flere detaljer som kan kjønes igjen av algoritmen, som ulike type bakke, bygninger og vegetasjon. Ettersom dronedataen fra Område C ble innsamlet når det lå snø på bakken, og flydataen ble innsamlet uten snø, kan det stemme godt at justeringen og bakkepunktene ikke vil sammenfalle fullstendig. Modellen ligger dermed muligens mer korrekt enn verdien antyder.

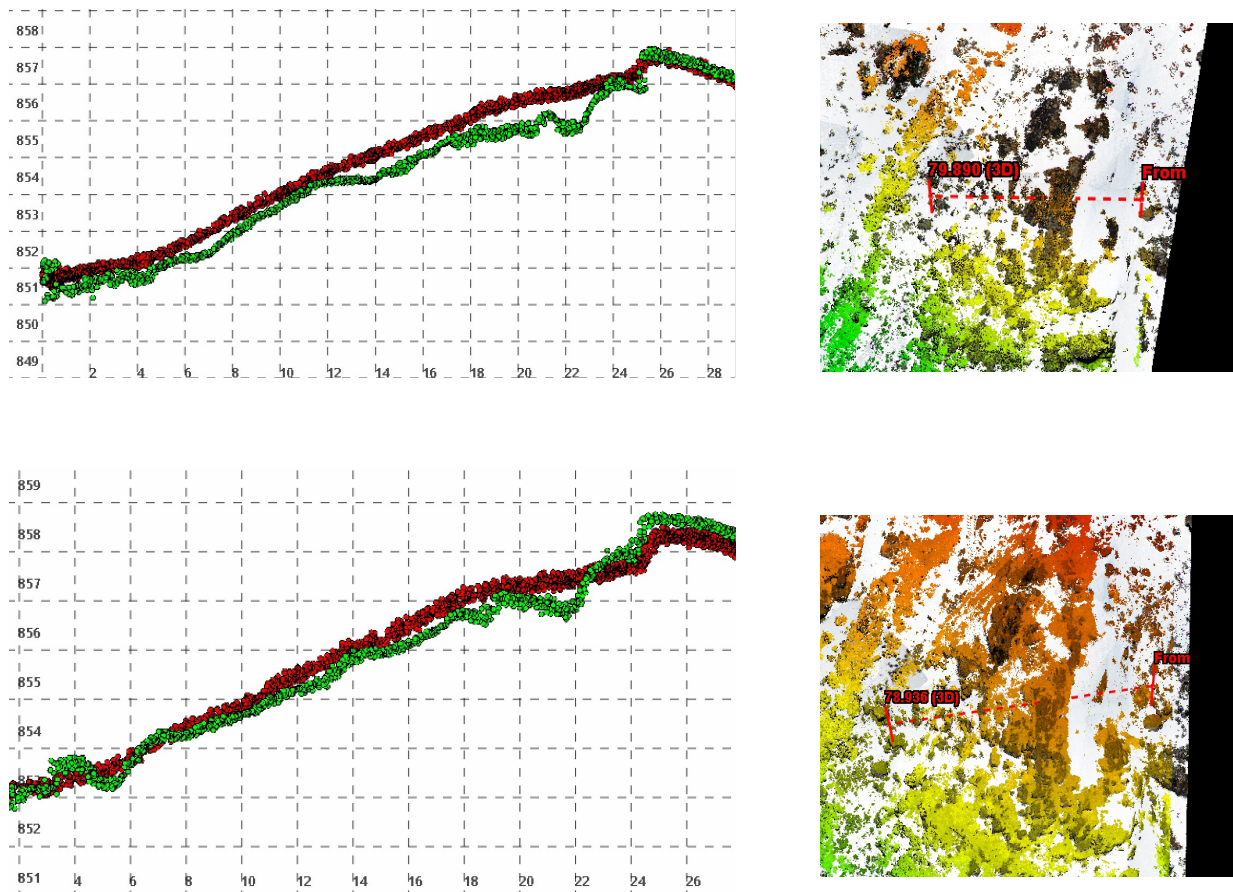
Resultat etter punktskyjustering



Figur 4.28: Resultat av punktskyjustering, Område A

For å sammenligne datasettene etter justering i CloudCompare, ble Quick Terrain Modeler benyttet. Tverrsnittene viser punktskyene henholdsvis før og etter justering, mens bildene til høyre viser hvor de respektive tverrsnittene er tatt (ref. Figur 4.28). I begge tilfellene representerer de røde punktene dronedata, mens de grønne er fra fly. I bildene til høyre er punktene fra dronedata farget med RGB-verdier, mens punktene fra flydata er hvite.

Før justeringen kommer det tydelig frem at det foreligger en forskyvning mellom de to punktskyene. På tverrsnittsbildet observeres det også hovedsakelig flydata, gitt det større området med hvite punkter. Etter justeringen er datasettene vesentlig bedre justert i forhold til hverandre, noe som også kommer frem i tverrsnittsbildet. Her er det ikke lenger en overvekt med flydata, men en jevnere fordeling.



Figur 4.29: Resultat av punktskyjustering, Område C

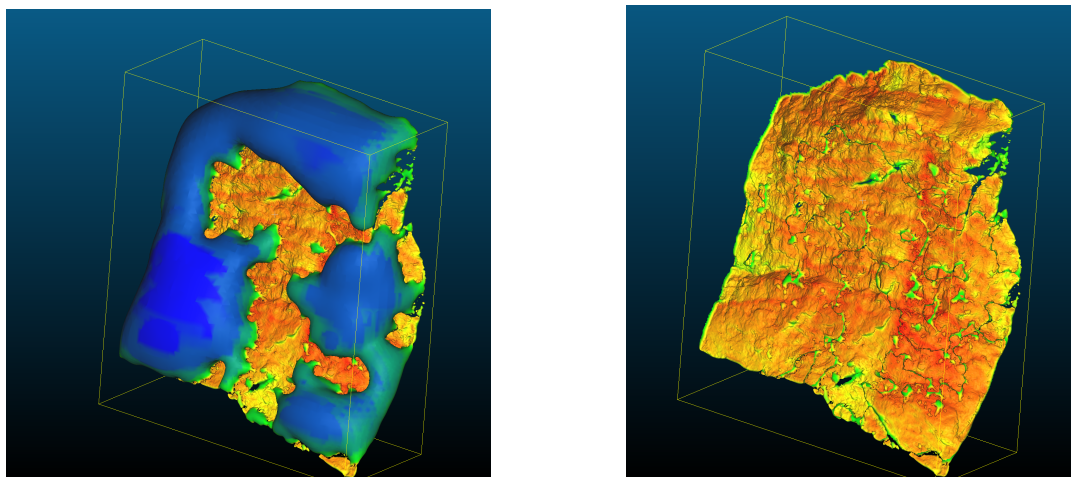
For Område C er den samme analysen gjort som for Område A. Også her er de røde punktene dronedata, mens de grønne er fra fly. Forskjellen mellom Område A og C er i hovedsak at terrenget i Område C har en jevn helling på rundt 45 grader. Det lå også et lag snø i terrenget når dronedata ble samlet inn, noe som gjør at terrenget ser noe ulikt ut ved analyser.

I tverrsnittene (Figur 4.29) sees det at terrenget ikke følger hverandre, noe som trolig hadde vært tilfellet dersom det ikke lå snø i ett av datasettene. På grunn av snøen kan punktene fra droneinnsamlingen observeres over terrenget som er innsamlet fra fly, og med mindre terrengdetaljer. Ved forhøyninger i terrenget, kan det se ut som at punktskyene ligger fint i forhold til hverandre før justeringen. Etter justeringen er punktskyen fra drone senket mot terrenget generert av flydata. I forhøyningene, hvor punktskyene tidligere samstemte godt, er terrenget nå også senket. Dette kan komme av at algoritmen ønsker å tilpasse terrenget med snø, til terrenget uten snø. Det kan da medføre at snøoverflaten justeres for langt ned i områder med bart terreng. Punktskyjusteringen i CloudCompare kan dermed gi en uheldig effekt, noe som vil bli tatt i betraktning ved videre sammenligning.

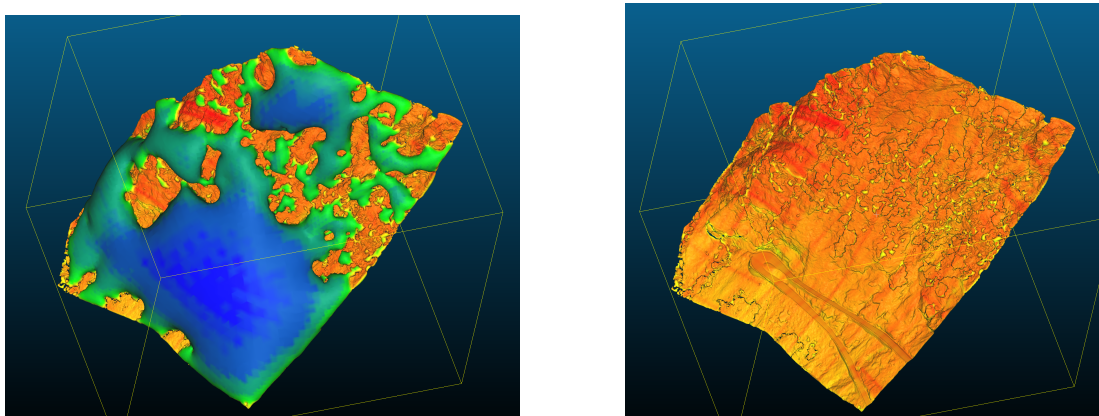
4.2.2 3D-Meshmodell - CloudCompare

I tillegg til at det ble produsert flere ulike type DTMer, ønsket vi også å ha meshmodeller tilgjengelig. Dette er for å kunne teste sammenligninger med flere modeller. På denne måten kan vi undersøke om digitale terrengmodeller eller meshmodeller egner seg best til analyse av bratte fjellområder. For å gjennomføre produksjon av meshmodellene ble CloudCompare sin funksjon kalt *Poisson Surface Reconstruction* benyttet. Denne funksjonen genererer en triangulær mesh ved hjelp av en algoritme, og det gis mulighet for å sette enkelte parametre under prosessen. En av parameterne som det ble gjort ulike forsøk med var “Octree depth”. Her vil høye verdier gi finere trianguleringer, altså mer detaljer, samt at produksjonstiden vil øke eksponensielt. I vårt tilfelle var det verdien ‘10’ som ga best resultat. Når modellen var klar kunne visualiseringen endres på ved å filtrere bort deler av modellen, basert på dens punkttetthet.

I modellene til venstre (ref. Figur 4.30 og Figur 4.31) ble det ikke filtrert for noen verdier (SF-verdier), som resulterer i at områder med veldig lav punkttetthet også blir visualisert. Støypunkter plassert med en avstand fra veggen kan dermed bli med i modellen. Utklippene til høyre viser områder hvor punkttetthetstærskelen er justert høyere, men det kan observeres mindre hull i veggen. Dette er områder hvor det mangler data, istedenfor å bruke interpolerte verdier. I videre sammenligning ville disse kommet frem som hull i modellene, og analyser mot mer fullstendige datasett ville blitt vanskelig. Prosessen for 3D-meshmodeller ble gjort for alle punktskyene.



Figur 4.30: Testing av SF-verdier - Område B

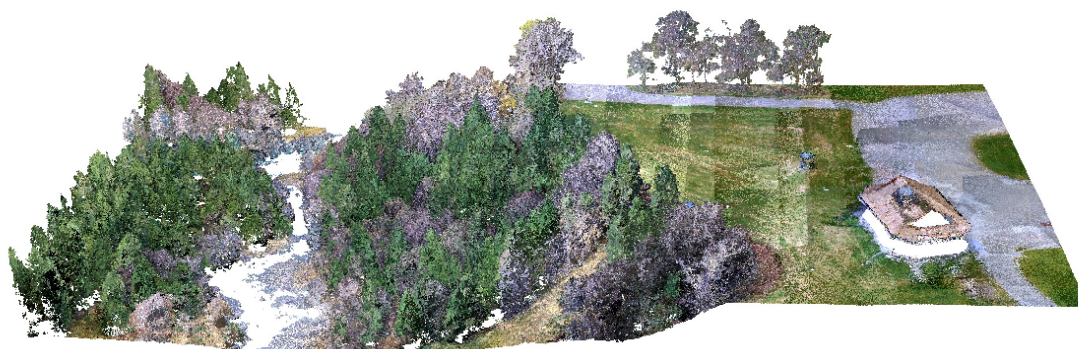


Figur 4.31: Testing av SF-verdier - Område C

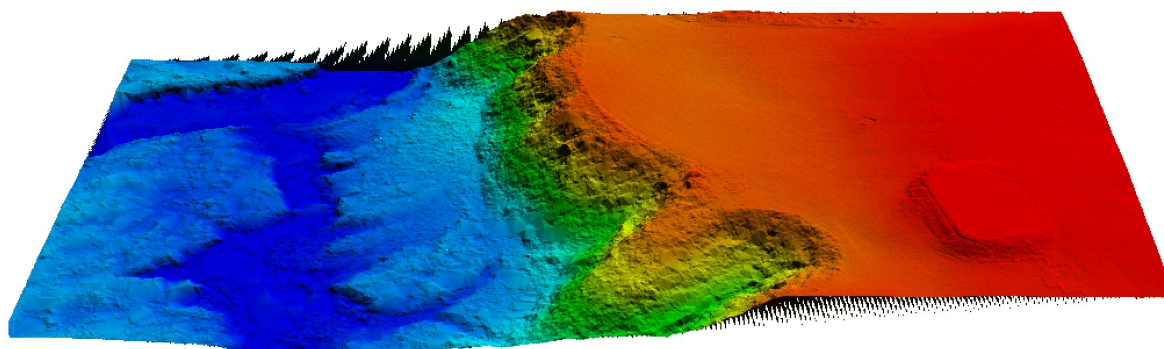
4.2.3 Digital Terrengmodell - QTM

Til tross for at det ble produsert DTMer i Terrasolid med ulike algoritmer, ønsket vi allikevel å generere dem i QTM også. Dette ble gjort fordi QTM bruker andre algoritmer, og kan dermed gi ulik resultat. I QTM ble det konstruert et såkalt QTT-format av laserfiler som gir en rutenetts-overflate (gridded surface). Ved import kan det velges forskjellige innstillinger, men ved selve produksjonen av DTMer i vårt tilfellet, ble kun klassifiseringsinnstillingene endret. Ettersom en DTM består av bakkepunkter, ble kun disse type punktene valgt ut for generering av overflaten. I QTM ble 20 cm valgt som størrelse på rutenettet, og algoritmen benytter seg av den høyeste høydeverdien (*Max Z*) i hver rute.

Punktskyen (Figur 4.32) kan omgjøres til en rutenettsoverflate av bakkeklassen, og resulterer i en terrengmodell (Figur 4.33).



Figur 4.32: Utsnitt av punktsky fra drone, Område A

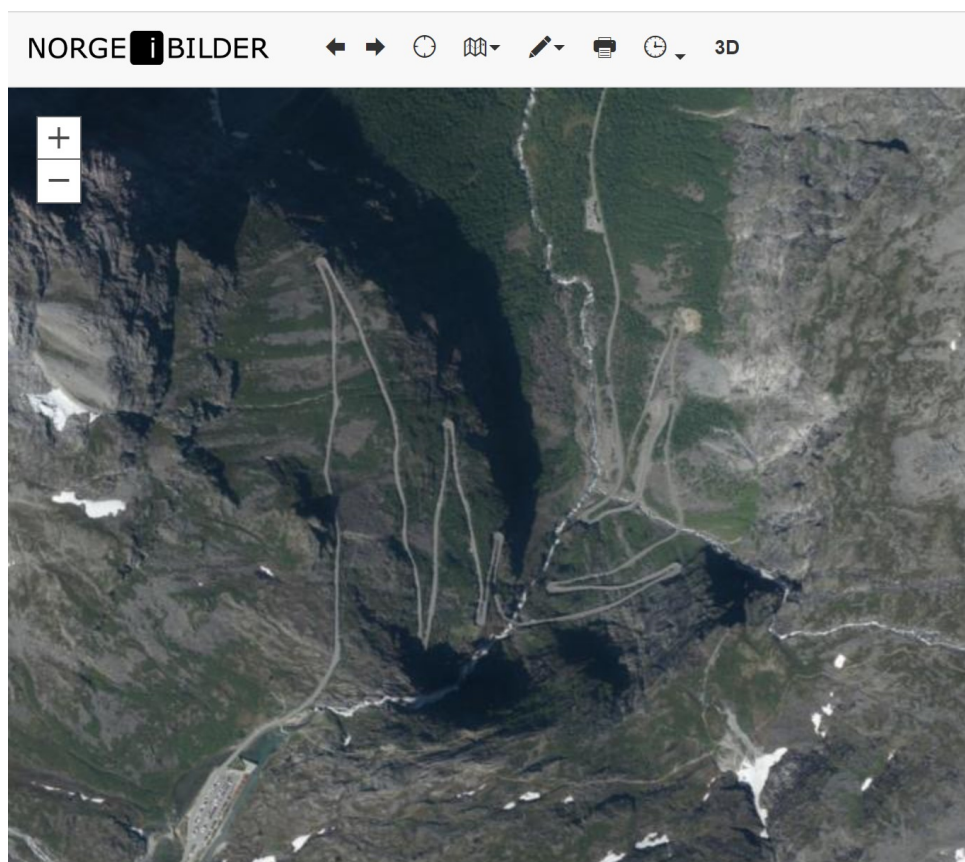


Figur 4.33: Utsnitt av DTM laget fra dronepunktsky, Område A

4.3 Ortofoto

Ved oppstart av undersøkelsen ønsket vi å produsere egne ortofoto tatt under flygningen denne høsten (2022). Slike bilder kunne potensielt ha bidratt til en bedre ras- og skredvurdering ettersom det hadde gjort det mulig å se faktiske endringer eller utløsningsområder i fjellveggene. Ortofoto kunne gitt punktskyene RGB-verdier, som tidligere har vist seg å være nyttig i skredanalyser [Choi, Shin-Kyu, 2020]. Bildene som ble tatt under flygningen er tatt i nadir, noe som da utelukker skråbilder. I vårt tilfelle hvor det skal undersøkes og analyseres i brattere fjellområder, vil nadir ikke gi god nok dekning i fjellveggene. Bildene er heller ikke tatt under de optimale forhold, da det kunne vært planlagt bedre i forhold til skygger fra skyer og daler i området. På grunn av både manglende skråfoto og ikke-optimale forhold, ville tiden som hadde inngått i produksjonsløypen ikke blitt gjenspeilet godt i sammenligningen. Dette er en tidkrevende prosess, som trolig ikke ville gitt et bedre resultat, noe som gjorde at det ble besluttet å ikke benytte egenproduserte ortofoto som en del av undersøkelsen.

I forbindelse med produksjon av en digital overflatemodell, ble det anvendt ortofoto for drapering av punktsky. Ortofoto til slik bruk ligger tilgjengelig for bestilling på nettjenesten norgebilder.no. Her kan ulike fly- og satellittbilder bestilles fra ulike årstall, og med ulik oppløsning. Ortofotoet som er benyttet ved drapering av den digitale overflatemodellen er hentet ut fra kartlaget “Møre 2018”, og viser flyfoto over Trollstigen (Figur 4.34). Til tross for at det er nyere kartlag tilgjengelig, var ikke disse optimale for våre områder med tanke på skygge fra enkelte av dalsidene. Kartlaget “Møre 2018” er benyttet for å drapere punktskyen ved produksjon av den digitale overflatemodellen som er vist i neste kapittel.



Figur 4.34: Utklipp fra norgebilder.no
[Norge i bilder, 2018]

Resultat

Etter prosessering av all rådata og klargjøring av alle modeller fra tre ulike plattformer skal disse nå sammenlignes med hverandre. Datasettene som skal analyseres er punktsky, DTM og 3D-mesh som har blitt ferdigstilt i løpet av undersøkelsen. De digitale terrengmodellene som ble brukt i sammenligningen er alle produsert i QTM med samme oppløsning og algoritme (*Max Z*). Det er produsert en modell per innsamlingsplattform per sammenligningsområde. Dvs. én punktsky, DTM og 3D-mesh for fly, drone eller helikopter i alle områder som skal sammenlignes (Område B, C og D). I Område B og C vil det bli gjort en sammenligning mellom fly og drone, mens det i Område D vil bli sammenlignet datasett fra fly med tilsvarende datasett fra helikopter. Hver av modellene i de ulike områdene vil bli vurdert etter egnethetskriterier som presenteres før sammenligningen. Det er delt opp slik for å holde det så oversiktlig som mulig.

5.1 Oversiktskart

Laserdata samlet inn fra fly dekker et mye større område enn det som faktisk blir brukt. I prosesseringsløypen ble hele punktskyen prosessert sammen. Det ble laget en digital overflatemodell av hele innsamlingsområdet, med uthevede polygoner for områdene som skal sammenlignes (Figur 5.1). Modellen ble i dette tilfellet drapert med ortofoto.



Figur 5.1: Digital overflatemodell drapert med ortofoto

5.2 utfordringer med volumberegninger

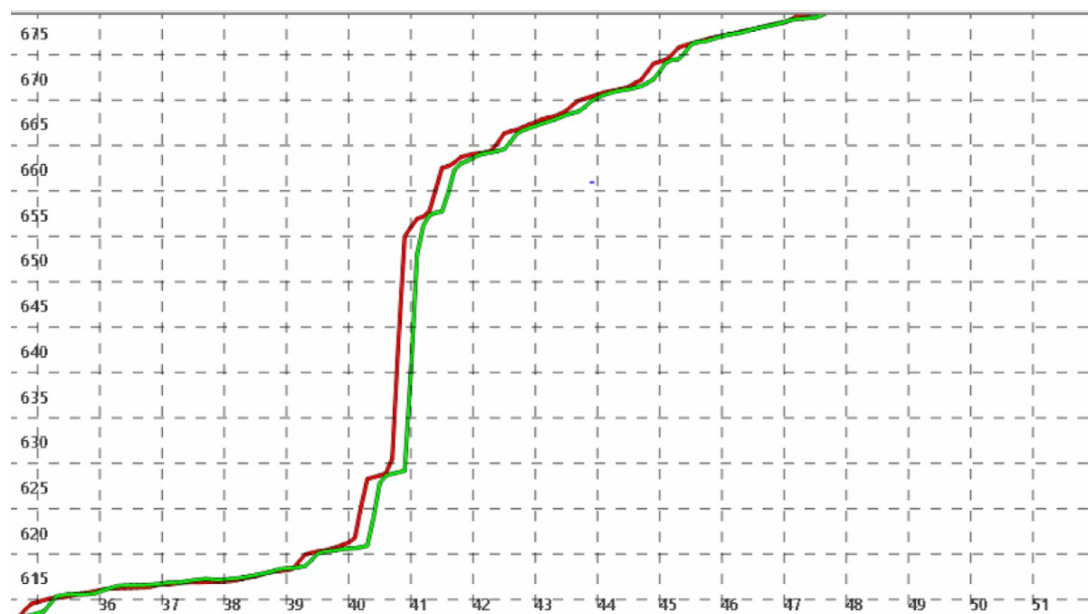
Da vi startet med analyser av datasettene, hadde vi et ønske om å beregne volumdifferansen mellom de ulike modellene. Dette var ønskelig fordi vi trolig kunne knytte volumendringer direkte til rashendelser som steinsprang- eller skred. I første omgang ble DTMer fra fly og drone i Område B valgt for volumberegning. Dette ble gjennomført i QTM:

Tabell 5.1: Volumberegninger

TYPE	FORKLARING	VOLUM
Volum av 1 under 2	Totalt volum fra drone-DTM som ligger under fly-DTM	$2789,5m^3$
Volum av 1 over 2	Totalt volum fra drone-DTM som ligger over fly-DTM	$15109,0m^3$
Unsigned delta volum	Absoluttverdi for volumendring	$12328,4m^3$
Signed delta volum	Nettoverdi for volumendring	$17889,5m^3$

Volum 1: drone-DTM (2021), Volum 2: fly-DTM (2022).

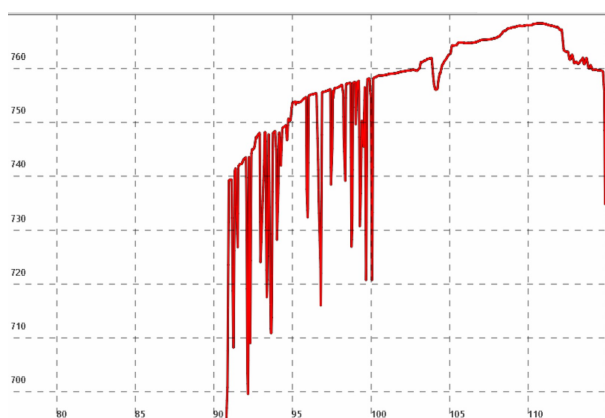
I følge disse volumberegningene skal store masser ha forflyttet seg, og kunne i enkelte tilfeller også vært kategorisert som steinskrud (Tabell 5.1). Med såpass store volumdifferanser måtte vi gjøre nærmere undersøkelser, for å se om skredhendelser kunne observeres, eller om det kunne skyldes andre faktorer. Gjennom denne beregningen ble det oppdaget at datasettene hadde svakheter, selv om resultatet etter punktskyjusteringen i CloudCompare så ut til å sammenfalle bra. Det ble dermed oppdaget avvik som ville påvirke volumberegningene vesentlig ved gjennomføring av tverrsnittsanalyser for å se etter eventuelle rashendelser.



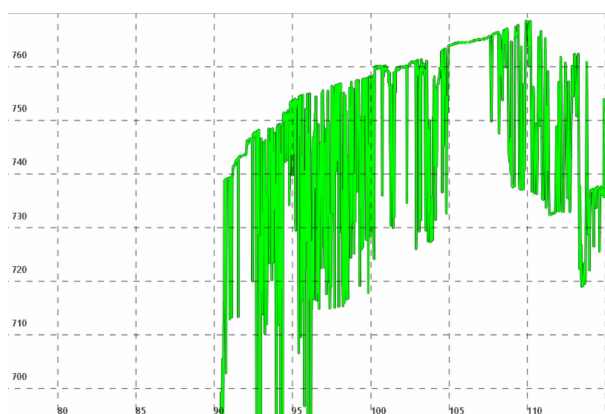
Figur 5.2: Tverrsnitt: DTMer benyttet til volumberegning

Tverrsnittet er en sammenligning mellom DTMer fra fly og drone, henholdsvis grønn og rød profil (ref. Figur 5.2). Selv om terrenget klart kan gjenkjennes i begge tilfeller, er det også tydelig at disse ikke ligger helt korrekt i forhold til hverandre. Til tross for ulike justeringer som er gjort underveis, både under prosessering og klargjøring, samstemmer ikke datasettene godt nok for å kunne gjennomføre volumberegninger. Dersom slike beregninger hadde blitt gjort på disse datasettene, ville resultatet vært svært misvisende. Volumdifferansen ville heller gitt et mål på det totale volumet som befant seg mellom de to profilene, i stedet for faktiske eventuelle forskjeller i terrenget.

Ved nærmere sammenligning av DTMer som var tenkt til volumberegning, ble det observert flere ujevnheter i de ulike modellene. Både modellen basert på fly- og dronedata (hhv. Figur 5.3 og 5.4), inneholdt flere “spikes”, eller tagger. Etersom disse verken oppstår samme steder eller er like lange, vil volumberegningen ta dette i betraktning. Dette vil igjen føre til at beregningene vil være av forskjellene mellom taggene, og ikke faktiske endringer i terrenget.



Figur 5.3: Tagger i DTM av flydata
- Område B



Figur 5.4: Tagger i DTM av dronedata
- Område B

Både dårlig punktskyjustering og tagger gjør at volumberegningene vil gi et urealistisk mål på volumendringer. På grunnlag av dette, valgte vi å se bort fra volumberegninger, og heller gjøre manuelle sammenligninger ved hjelp av tverrsnitt. Selv om alle eksemplene over er hentet fra Område B, ble det kontrollert underveis at forholdene var like for de resterende områdene.

5.3 Egnethet

Sammenligningen av datasett og innsamlingsplattformer ble utført ved å ta utgangspunkt i kriterier som ble bestemt av oss. Kriteriene som er satt, er de vi mener bør vurderes for å kunne gi uttrykk for hvor godt en modell eger seg til å identifisere endringer i bratte områder. Nedenfor vil det gjennomgås hvilke kriterier vi legger i begrepet egnethet, og hva de vil bli vurdert etter. Resultatene fra egnethetsanalysen vil avslutningsvis oppsummeres i en tabell, hvor kriteriene vil vurderes etter en skala.

Dekning

Med dekning menes det i hvor stor grad datasettet dekker kritiske områder som er av interesse. For å bli evaluert til svært god må majoriteten av datasettet være dekket av faktiske data. Svært dårlig dekning vil dermed bety at datasettet har mange hull, eller interpolerte verdier. Dette kriteriet vil være relevant for alle datasett.

Punkttetthet

Her refereres det til punkttettheten på flaten som skal analyseres. I punktskyen er det noe vanskeligere å få nøyaktige tall på tettheten fordi verktøyene som brukes regner ut punkttettheten sett ovenfra. Punkttettheten vil da fremstå som mye høyere enn det den er fordi mange punkter ligger under hverandre innenfor én kvadratmeter. For å bli evaluert til svært god må punkttettheten være jevn og høy nok slik at overflaten representeres tilstrekkelig, selv på mindre objekter. Ved svært dårlig punkttetthet vil overflaten være vanskelig å gjenkjenne. Dette kriteriet vil kun være relevant i punktskyer og 3D-mesh.

Objektgjenkjenning

Objektgjenkjenning referer til evnen modellene har til å representere objekter på flatene. Eksempler på objekter i dette tilfellet kan være steinblokker, overheng og sprekker. For å få evalueringen svært god må det lett kunne gjenkjennes både store og små objekter uten vanskeligheter. Ved svært dårlig objektgjenkjenning vil man kun klare å se tendenser til de aller største objektene. Dette kriteriet vil være relevant for alle modeller.

Detaljer

Med detaljer menes det hvor god modellen er til å representere mindre former i fjellveggen. Dette er i stor grad knyttet til punkttettheten og dekningen på fjellveggen. Svært gode detaljer vil blant annet innebære identifisering av fjellets tekstur og andre mindre detaljer som fremkommer i modellene. Svært dårlig detaljnivå vil fremstå mer glattet ut. Dette kriteriet vil være relevant for alle modeller.

5.4 Område B

Område B er den bratteste fjellveggen som analyseres i denne sammenligningen. Terrenget har flere heng og steinblokker, og disse partiene vil være vesentlig å undersøke. Det er lite til ingen vegetasjon i området. Veggen befinner seg direkte over Grustaksvingen på fylkesvei 63.

5.4.1 Punktsky

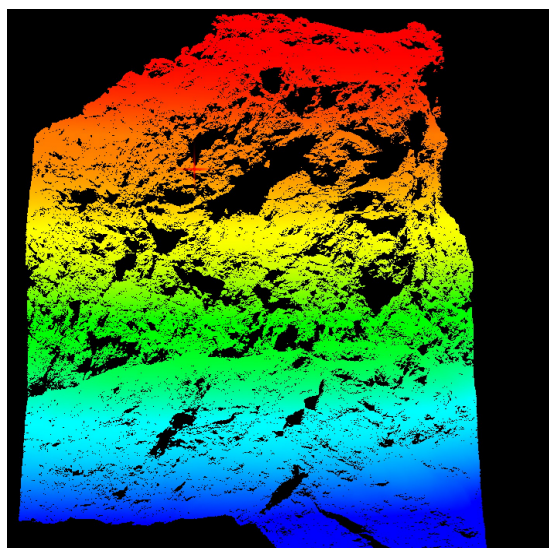
Dekning

Fly

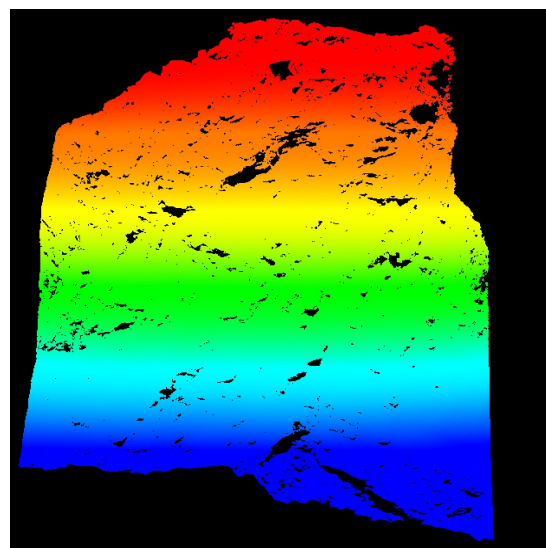
Innledningsvis ble dekningsgraden til punktskyen generert av flydata, vurdert. Til tross for flere bratte heng, har den overraskende god dekning (Figur 5.5a). Det observeres hovedsakelig hull i punktskyen under de største fjellhengene. Dekningen kunne vært forbedret dersom klassifisering hadde vært fullstendig korrekt, men i vårt tilfelle vil det være muligheter for at bakkepunkter har forsvunnet. Dette kan skyldes den automatiske klassifiseringen av bakkepunkt, men også mangelfull manuell klassifisering fra vår side. Det er verdt å nevne at flyplanen ble lagt for å unngå mangelfull dekning så godt det lot seg gjøre. Det vil likevel være naturlig at det oppstår enkelte hull i de bratteste partiene, ettersom flyet samler inn data ovenfra. Vi har valgt å kategorisere dekningsgraden til punktsky fra fly i Område B til *nøytral* på grunn av enkelte større hull, men ellers god dekning.

Drone

Videre undersøkes dekningsgraden til punktskyen, generert av dronedata (Figur 5.5b). Innledningsvis er det viktig å nevne at dette er innsamlet data som er utdelt ferdig prosessert. Dette betyr at vi ikke har hatt muligheten til å påvirke flyruten eller justeringer og klassifiseringer. Selv om dette kan bidra til dårligere resultat, har punktskyen innsamlet med drone vesentlig bedre dekning. Det er færre hull under hengene, og generelt bedre dekning i fjellveggen. Ved videre undersøkelser av punktskyen, observerer vi enkelte hull som trolig kunne vært unngått ved en annen flyplanlegging som tok hensyn til overheng. Vi kategoriserer punktskyen fra drone som *god*, på grunnlag av at det er både mindre og færre hull, og generelt god dekning på fjellveggen.



(a) Fly



(b) Drone

Figur 5.5: Område B - Punktskyer

Punkttetthet

Når det kommer til vurderingen av punkttetthet ville den vanligvis blitt beregnet automatisk av de ulike programvarene som benyttes. Beregningene baserer seg stort sett på tettheter i grunnriss, og vil derfor skape problemer når vi er interessert i punkttetthet langs Z-aksen. Vi har dermed løst dette ved å bruke punkttettheten i grunnriss og heller sammenligne disse mot hverandre fordi det fortsatt vil gi en indikasjon over forholdet mellom plattformene. I tabellen nedenfor er det notert spesifikasjoner for areal og antall punkter for begge plattformer og utregnet punkttetthet.

Tabell 5.2: Område B - Punkttetthet i punktskyer

OMRÅDE B	Bakkepunkter [pkt]	Areal [m^2]	Punkttetthet [pkt/ m^2]
Fly	2 231 166	24 167	92,3
Drone	34 330 645		1420,6

Beregningene (Tabell 5.2) viste at dronedatasettet har over 15 ganger så høy punkttetthet som datasettet fra fly. Det kan dermed tenkes at denne forskjellen vil kunne gjenkjennes i videre sammenligninger. Ut i fra punkttettheten som er beregnet over, vurderer vi punkttettheten fra flydatasettet til *nøytral*. Dette begrunner vi med at det til tider er ønskelig med høyere punkttetthet, for bedre detaljer i fjellveggen. Når det kommer til punkttettheten fra dronedatasettet, vurderer vi den til *svært god* fordi den har høyere punkttetthet enn nødvendig i vårt tilfelle.

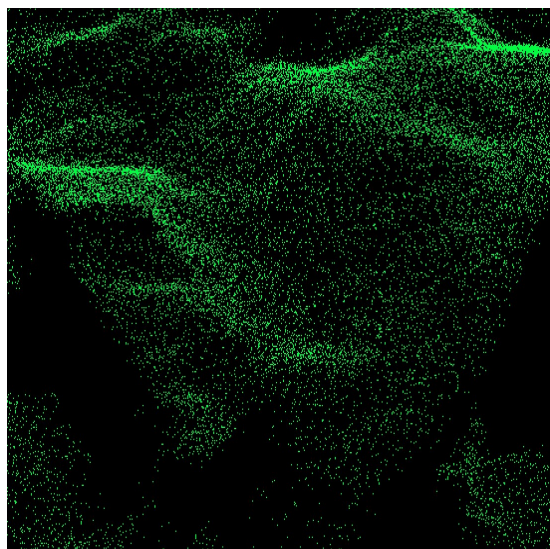
Objektgjenkjenning

Fly

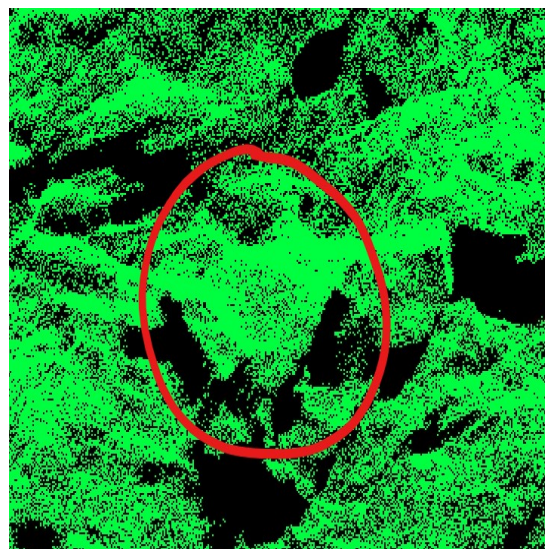
I punktskyen basert på flydata kan vi observere steinblokker av middels til stor størrelse. Det er også mulig å observere større konturer i fjellet (Figur 5.6a). Ved navigering i punktskyen kan det i enkelte områder observeres spesifikke steinblokker av en viss størrelse, noe som gjør at vi velger å kategorisere flydatasettet til *nøytral* når det kommer til objektgjenkjenning.

Drone

Objektet som ble sett på i punktskyen fra flydata, ble også observert i dronedatasettet (Figur 5.6b). På grunn av den høye punkttettheten, var objektet noe vanskeligere å identifisere fra avstand. Ved hjelp av å zoome i punktskyen ble objektet tydeligere, da det skilte seg mer ut fra resterende punkter. Det ble generelt lettere å observere objekter i punktskyen ved å zoome inn. Utklippene nedenfor rettferdiggjør ikke hvordan modellene fremstår i 3D, da det er lettere å gjenkjenne objekter ved å rotere på punktskyen. Punktskyen fra drone ansees å være *god*, begrunnet med at den visualiserer flere mindre objekter enn flydatasettet.



(a) Fly



(b) Drone

Figur 5.6: Område B - Objektgjenkjenning i punkttskyer

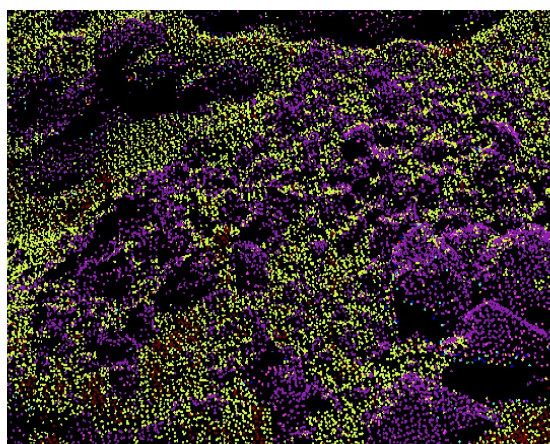
Detaljer

Fly

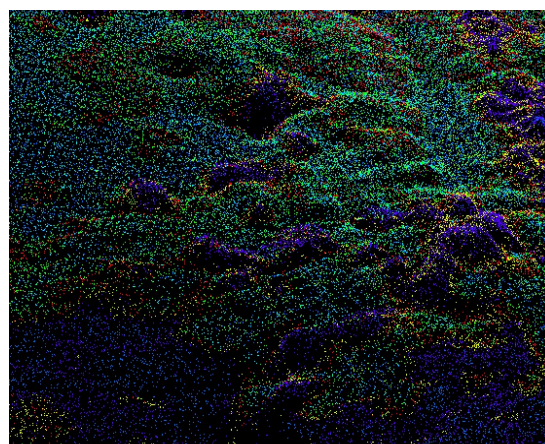
Punkttskyen basert på flydata visualiserer detaljer i form av steiner på toppen av fjellkanten i Område B (Figur 5.7a). Det mangler fortsatt en del punkter på steinene som observeres, men den generelle formen kan fortsatt gjenkjennes. På bakgrunn av dette kategoriserer vi detaljene i punkttskyen av flydata som *god*.

Drone

Når det kommer til detaljene som kan sees i dronepunkttskyen (Figur 5.7b), er det lettere å se hvordan terrenget beveger seg, samt hvor steinene befinner seg. Det er færre hull å observere, noe som gjør at detaljene kommer bedre frem. Dette gjør det også mulig å detektere endringer eller forflytninger av steiner og større masser. Vi vurderer dermed detaljene i denne punkttskyen som *svært god*.



(a) Fly



(b) Drone

Figur 5.7: Område B - Detaljer i punkttskyer

5.4.2 Digital Terrengmodell

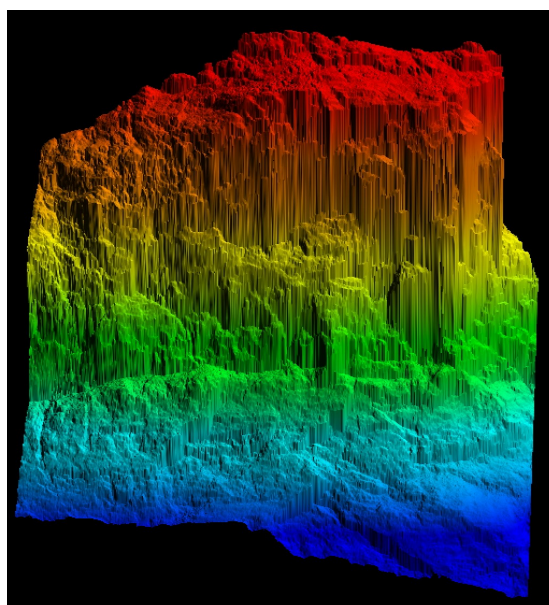
Dekning

Fly

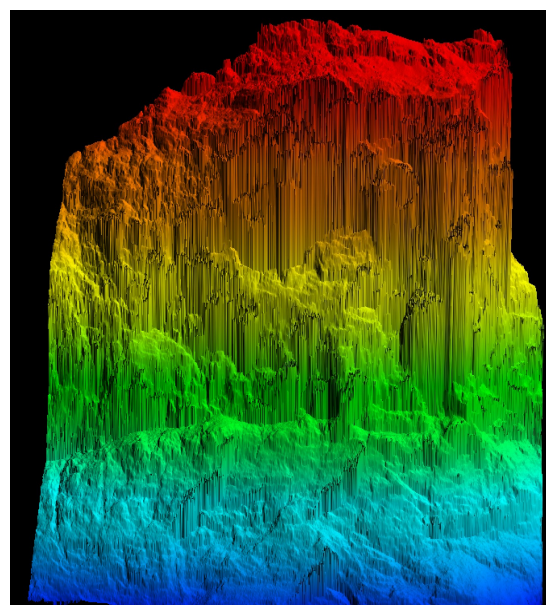
DTMene som er produsert baserer seg på punktskyene, og vil derfor til tider være preget av interpolerte områder hvor det tidligere ble observert hull. Dette kan gjenkjennes som “spikes” eller tagger i modellene. Modellen fra flydata ser ut til å ha færre områder som er preget av spikes (Figur 5.8a). Det kan også observeres mye grove detaljer nedover fjellveggen på venstre side. På toppen og bunnen av fjellveggen er det også god dekning, hvor man kan se mer av terrenget. I selve fjellveggen er det mindre tydelig terreng, og det er preget av interpolerte verdier. Ettersom det er fjellveggen vi er interessert i, er det her vi ønsker god dekning. DTMen fra flydata er ikke helt tilstrekkelig i dette tilfelle, noe som gjør at den kategoriseres til *nøytral*.

Drone

I modellen basert på dronedata er det flere spikes og interpolerte verdier enn det er i modellen basert på fly. Det er mindre områder hvor detaljer langs fjellveggen kan observeres, og det er generelt flere spikes i de bratteste partiene (Figur 5.8b). Det er ellers god dekning på toppen og bunnen av Område B på lik linje med DTMen fra flydata, men på enkelte utstikkende områder i fjellveggen vil det være færre detaljer. Dette kan trolig være et resultat av store mengder bakkepunkter. Den digitale terrengmodellen basert på dronedata vurderes til *nøytral*, til tross for manglene den har i forhold til DTMen fra flydata.



(a) Fly



(b) Drone

Figur 5.8: Område B - Digitale terrengmodeller

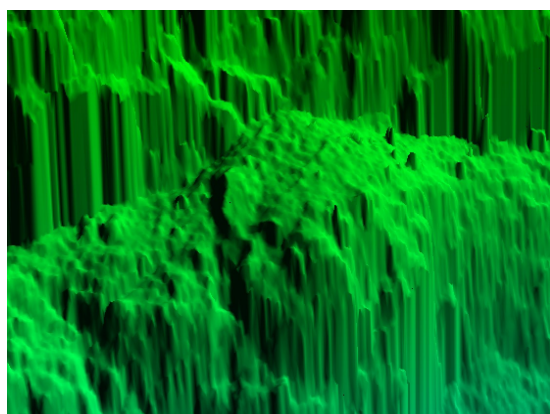
Objektgjenkjenning

Fly

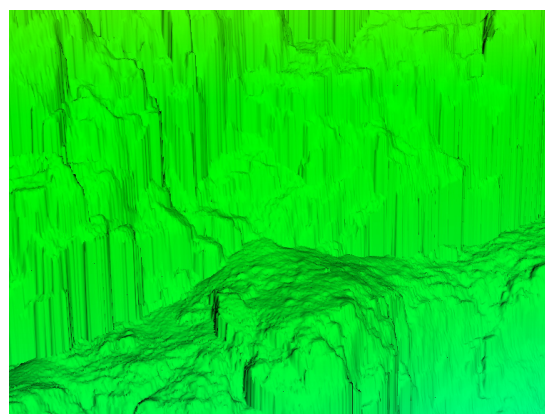
Ved nærmere inspeksjon av en fjellhulle, er det mulig å detektere større oppstikkende objekter. På flattere områder i DTMen vil det være lettere å gjenkjenne objekter, slik som på fjellhyllen under. Brattere områder er visualisert som utdradde verdier som også kan observeres i utklippet, både over og under fjellhyllen (Figur 5.9a). På grunn av at vi kun kan observere generelle former av objekter, klassifiserer vi den digitale terrengmodellens egenskap til objektgjenkjenning til *dårlig*.

Drone

DTMen fra dronedata inneholder mer konturer og former langs fjellhyllen, men har uheldigvis også spiker både over og under denne (Figur 5.9b). Av den grunn kategoriseres denne til *nøytral* på bakgrunn av at den er mer detaljert enn DTM fra flydata. Den er fortsatt dårligere ved gjenkjenning av objekter enn det punktskyen var. Ved denne vurderingen er det også viktig å huske på at DTMen fra dronedata kun er foretrukket i de områdene det faktisk er detaljer.



(a) Fly



(b) Drone

Figur 5.9: Område B - Objektgjenkjenning i terrengmodeller

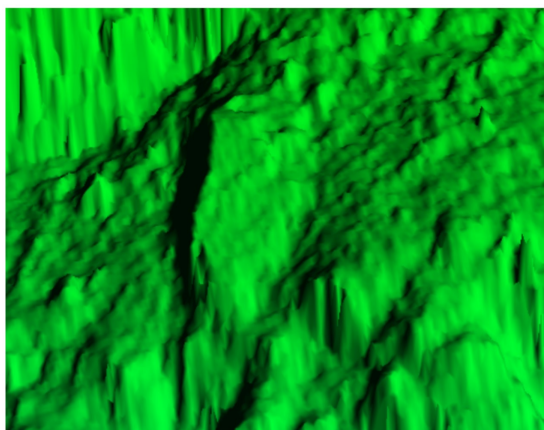
Detaljer

Fly

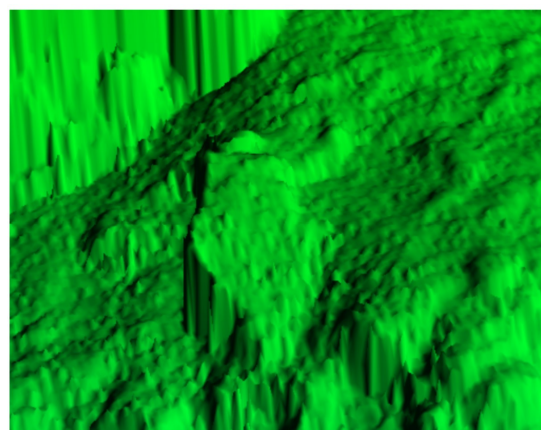
DTMen fra flydata viser tendenser til noen oppstikkende objekter av ulik størrelse, men mye av det ser veldig glatt ut (ref. Figur 5.10a). Formen på terrenget er fortsatt gjenkjennbar, men ikke i stor nok grad til å se små endringer. Grunnet dette er det blitt bestemt å kategorisere detaljgraden til DTM fra fly som *dårlig*.

Drone

Når vi undersøker samme objekt i DTMen fra dronedata er objektene lettere å legge merke til, og noe mer detaljert. Konturene i terrenget er også gjenkjennelig til en viss grad (Figur 5.10b). Detaljene i den digitale terrengmodellen basert på data fra drone vurderes derfor til *nøytral*. Det er rom for forbedring i form av tydeligere detaljer på objektene, men fortsatt bedre enn detaljene som observeres i DTMen fra flydata.



(a) Fly



(b) Drone

Figur 5.10: Område B - Detaljer i terrengmodeller

5.4.3 3D-mesh

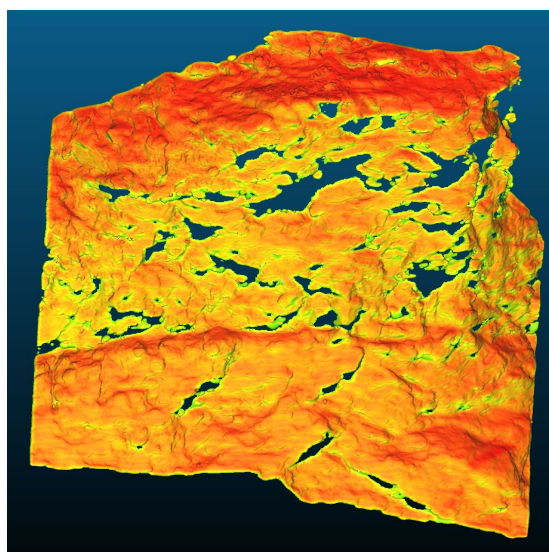
Dekning

Fly

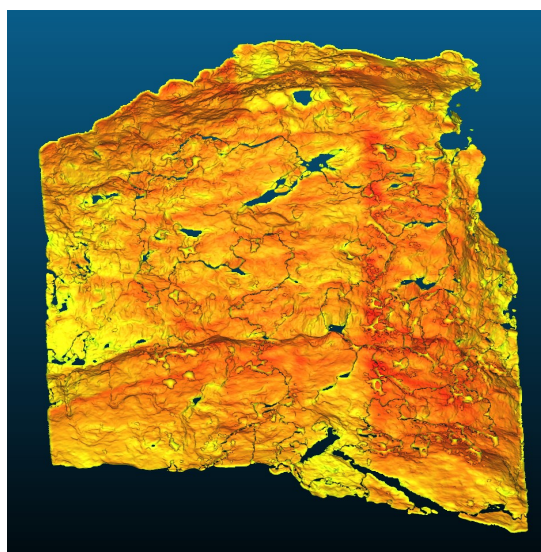
I utklippet (Figur 5.11a) kommer det godt frem hvordan hull fra flydataen blir representert i meshmodellen. I områder hvor det ikke er manglende data, gir meshmodellen en god representasjon av fjellveggen. Om en ser bort i fra hullene som kommer fra punktskyen, er det bra dekning i områdene rundt. Dette gjør at at vi vurderer dekningsgraden til meshmodellen basert på flydata som *god*.

Drone

Ettersom det generelt var færre hull i punktskyen fra dronedata, vil dette gjenspeiles i meshmodellen som baserer seg på de samme punktene (ref. Figur 5.11b). Modellen har god tetthet, og få hull, noe som gjør at denne meshmodellen vurderes som *svært god*.



(a) Fly



(b) Drone

Figur 5.11: Område B - Meshmodeller

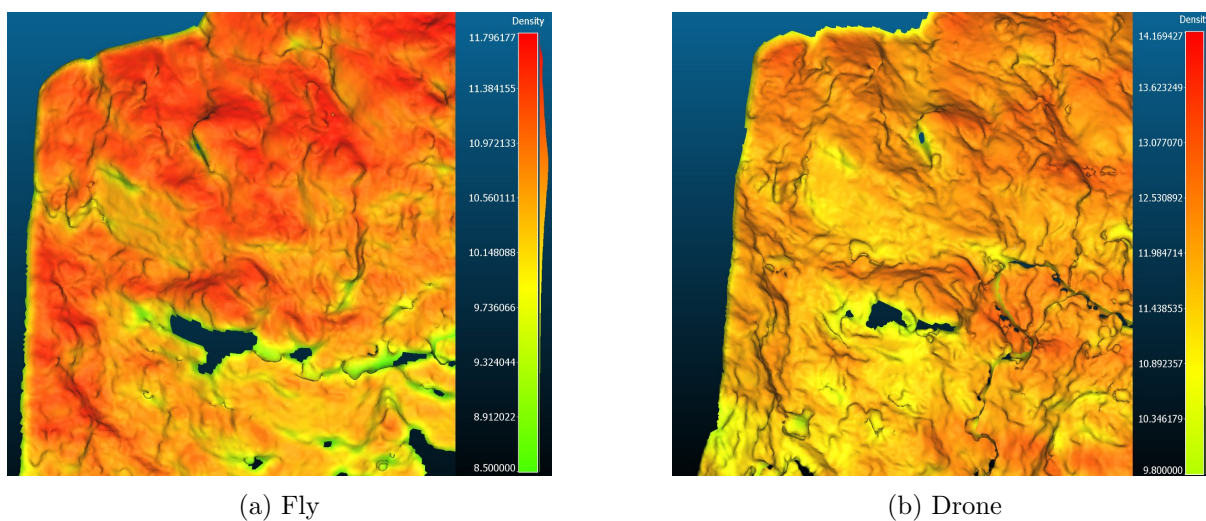
Punkttetthet

Fly

Figuren nedenfor viser hvordan punkttettheten langs fjellveggen endrer seg. På meshmodellen fra flydata ligger majoriteten av punkttettheten i underkant av $11 \text{ pkt}/\text{m}^2$, og har en maksimal punkttetthet på $11,8 \text{ pkt}/\text{m}^2$ (Figur 5.12a). På bakgrunn av sammenligning med meshmodellen basert på drone, kategoriserer vi punkttettheten i modellen basert på flydata som *god*.

Drone

Ettersom det generelt er flere punkter fra dronedata vil også meshmodellen ha en høyere tetthet. Majoriteten av punkttettheten er rundt $12,5 \text{ pkt}/\text{m}^2$, og med en maksimal punkttetthet på $14,17 \text{ pkt}/\text{m}^2$ (Figur 5.12b). Størsteparten av punkttettheten observert i dronemeshen er dermed over den maksimale punkttettheten som kan sees ved mesh fra flydata. Modellen basert på dronedata vil derfor få vurderingen *svært god* når det kommer til punkttetthet.



Figur 5.12: Område B - Objektgjenkjenning og punkttetthet i meshmodeller

Objektgjenkjenning

Vurderingen for objektgjenkjenning er gjort med tilpassede verdier valgt ut i fra hva vi mener representerer hvert datasett best. Det kan derfor vurderes om den justerbare SF-verdien for punkttettheten kunne vært tilpasset de ulike objektene ved gjenkjenning. For å avgrense et stort antall utfall med ulike verdier, er det satt en begrensning med en bestemt verdi per meshmodell. Dette er den verdien vi selv mener representerer modellen på best mulig vis.

Fly

Objektgjenkjenningen i meshmodellene er generelt bedre enn i DTMen og punktskyen. I modellen fra flydata kan fasongen på større objekter observeres. Modellen (ref. Figur 5.12a) visualiserer også formen på noen mindre steinblokker. Generelt ser meshen jevn og fin ut, og kategoriseres til *god* for objektgjenkjenning da den egner seg bedre til dette enn punktsky og DTM av samme område.

Drone

Meshmodellen fra dronedata klarer å visualisere mindre objekter og konturer langs fjellveggen, noe modellen fra flydata ikke kunne (Figur 5.12b). Dette på bekostning av at modellen også inneholder noe mer støy i form av interpolerte flater. Støyflatene er ikke store nok til at det går utover muligheten til å identifisere objekter på fjellveggen. Objektgjenkjenningen her vil derfor bli kategorisert som *svært god*.

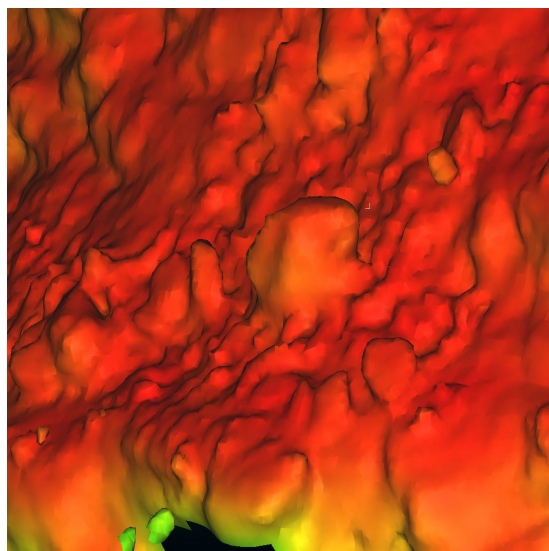
Detaljer

Fly

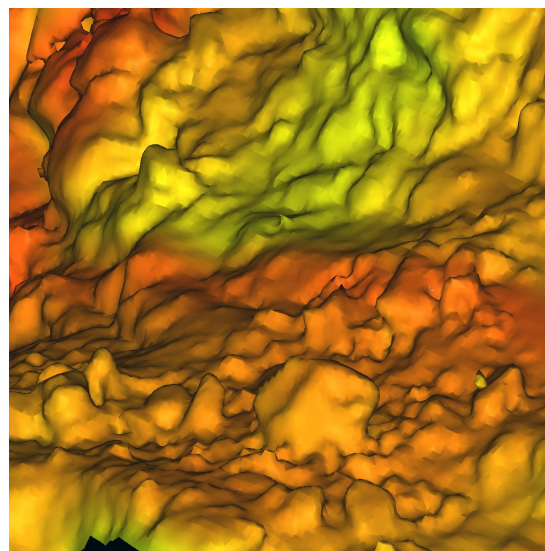
Når det sees nærmere på meshmodellen sees det steiner og det er mulig å gjenkjenne enkelte objekter i terrenget (Figur 5.13a). Til tross for dette er det ikke mulig å se mindre detaljer ved hjelp av denne modellen. Dette gjør at modellene som baserer seg på flydata kategoriseres som *nøytral* ved vurdering av deteksjon av detaljer.

Drone

Ved sammenligning av samme område i meshmodellen basert på dronedata, kan det også observeres større objekter (Figur 5.13b). Også i denne modellen faller muligheten bort til å detektere mindre objekter og eventuelle sprekker i fjellet. Samlet sett vurderes også meshmodellen basert på dronedata til *nøytral*.



(a) Fly



(b) Drone

Figur 5.13: Område B - Detaljer i meshmodeller

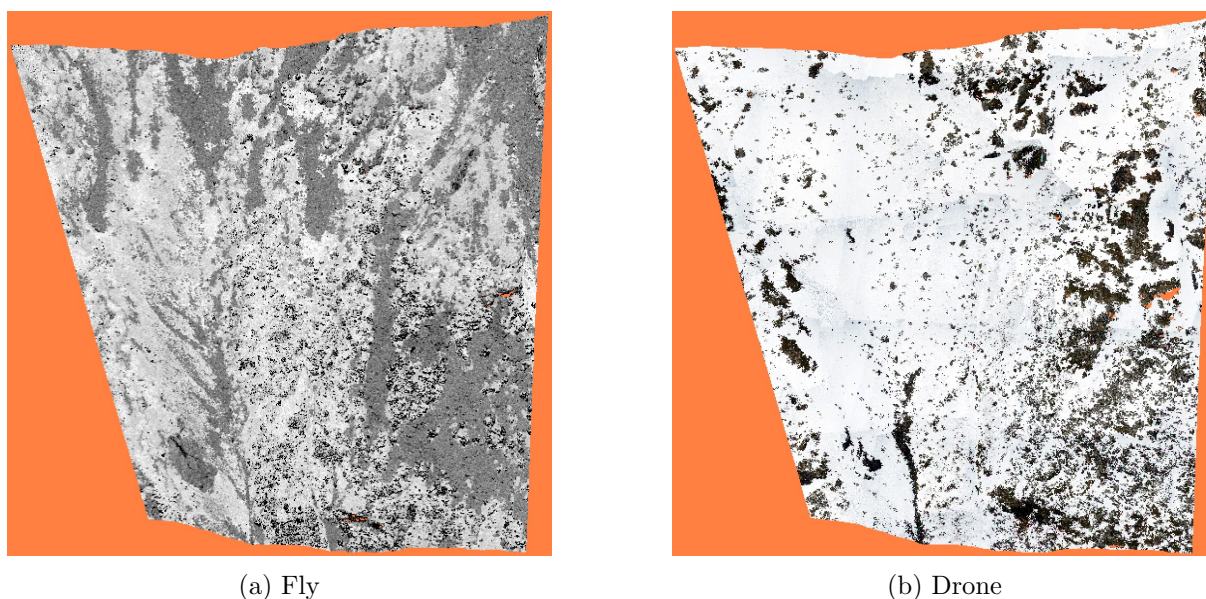
5.5 Område C

Område C er plassert høyest i dalen av alle områdene, noe som i vårt tilfelle betyr at dette er det eneste området som er preget av snø. Ettersom flydataen ble samlet inn tidligere på året enn dronedata, vil det kun observeres snø i sistnevnte datasett. Område C er ikke regnet som et bratt fjellområde i vårt tilfelle, så analysene som etterfølger vil være mer til støtte når det kommer til vurdering av de ulike modelltypene. Dette området har en jevn helling og få heng. I terrenget kan det observeres steinblokker og fjellknauser, og lite til ingen vegetasjon.

5.5.1 Punktsky

Dekning

I tilfellet ved datainnsamling over Område C, vil det være høyere dekningsgrad enn tidligere observert for Område B. Dette kommer av at det vesentlig færre heng i området, noe som igjen resulterer i svært få hull i datasettene. De mørkere områdene som kan observeres i punktskyen fra drone skyldes hovedsakelig RGB-fargeverdier, noe som gjør at bakgrunnen er valgt til en annen farge. Ved nærmere undersøkelser er det svært få av disse mørke områdene som er faktiske hull. Dekningsgraden til punktskyen fra både fly- og dronedata (hhv. Figur 5.14a og b) vurderes som *svært gode*.



Figur 5.14: Område C - Punktskyer

Punkttetthet

Areal og antall punkter er registrert fra både drone- og flydatasett (Tabell 5.3). Punkttettheten i dette området vil være mer representativt i forhold til andre områder på grunn av den lavere helningsvinkelen i terrenget. Punkttetthetens forholdstall er fortsatt av samme størrelsesorden som observert tidligere. På grunn av den gode dekningsgraden i hele området vil det ikke være noen grunn til å tro at punkttettheten fra noen av datasettene er for dårlig. Av den grunn er det bestemt å gi punktskyen fra begge innsamlingsplattformene en *svært god* vurdering.

Tabell 5.3: Område C - Punkttetthet i punktskyer

OMRÅDE C	Bakkepunkter [pkt]	Areal [m^2]	Punkttetthet [pkt/ m^2]
Fly	1 863 098	86 350	21,6
Drone	16 783 650		194,4

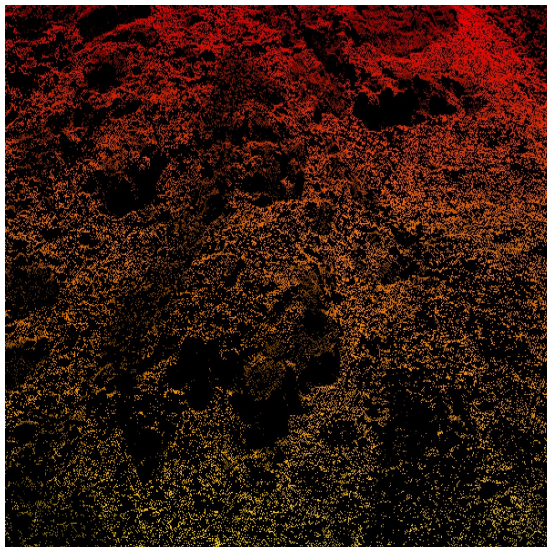
Objektgjenkjenning

Fly

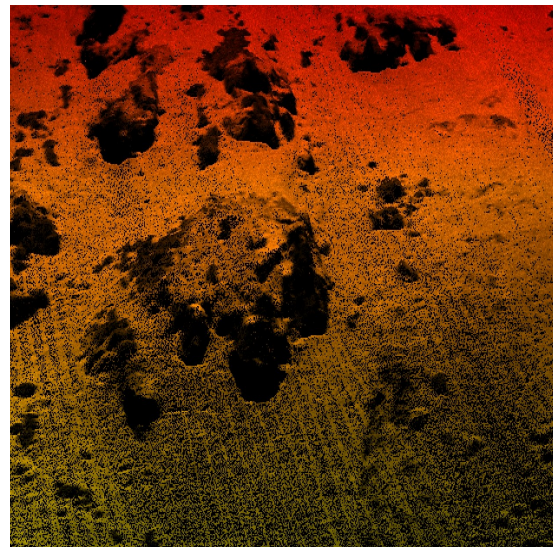
Flydatasettet som inneholder et mindre antall punkter enn dronedatasettet, vil naturligvis være noe tynnere. Dette kommer frem når det sees nærmere på objekter som befinner seg i terrenget. Ettersom punktene her er jevnere fordelt enn i Område B, vil det også være lettere å identifisere oppstikkende objekter. Punktskyen baserer seg på flydata hvor det kan sees konturer av en fjellknaus med omkringliggende, mindre steiner (Figur 5.15a). Disse er tilsynelatende enkelt å finne frem til i datasettet, og objektgjenkjenningen med punktsky fra flydata vurderes dermed som *god*.

Drone

Dronedatasettet har flere antall bakkepunkter som gjør det enkelt å se hvordan konturene i terrenget endrer seg. På grunn av snøen som befant seg i området ved datainnsamlingen, er området rundt fjellknausen, som det sees her, mye glattere (ref. Figur 5.15b). Dette gjør at knausen blir lettere å gjenkjenne enn dersom det ikke var snø der. Det skal også nevnes at dersom snødekket var vesentlig dypere, ville det vært mye vanskeligere å gjenkjenne slike objekter. I områder hvor det var mindre snø som for eksempel på toppen av fjellknausen, kan mindre steiner også gjenkjennes. På grunn av dronedataens egenskap til objektgjenkjenning, kategoriseres den som *svært god*.



(a) Fly



(b) Drone

Figur 5.15: Område C - Objektgjenkjenning i punktskyer

Detaljer

På grunn av forskjellen snø utgjør i datasettene, ble det funnet fram til et større objekt som var observerbart i begge punkttskyene. Mengden detaljer som kan identifiseres i dette område vil være vurderingsgrunnlaget når datasettene blir rangert.

Fly

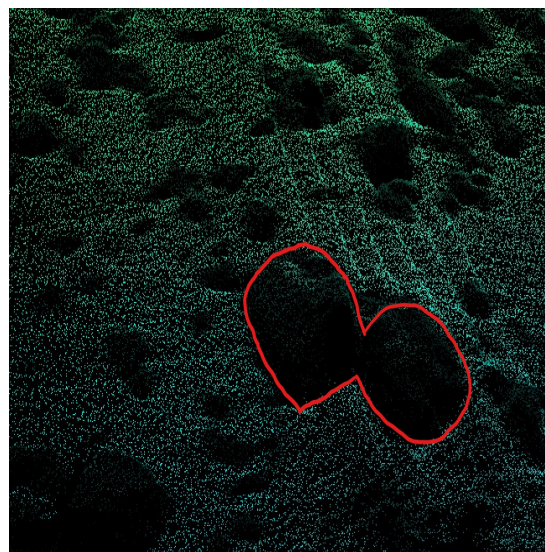
Flere mindre steinknauser kan observeres (Figur 5.16a), men det er noe vanskelig å se objektene i sin helhet fordi det ikke er nok punkter til å identifisere objektenes omriss. Ved rotering av punkttskyen blir det lettere å se detaljer, fordi man kan få et mer overordnet bilde av terrenget. På grunn av mangelen på punkter ved mindre steiner vil detaljgraden til punkttskyen fra fly bli vurdert til *nøytral*.

Drone

Punkttskyen samlet inn fra drone har nesten ti ganger mer punkter per kvadratmeter, noe som naturligvis gjenspeiles i detaljgraden til modellen. Punkttskyen består dog av mye snø, og vil i sin helhet virke mye jevnere enn punkttskyen fra fly. Det er lettere å identifisere samme steinknaus i denne punkttskyen på grunn av sitt omriss (ref. Figur 5.16b). Til tross for dette er det fortsatt vanskelig å finne detaljer på steinen og terrenget rundt. Punkttskyen fra drone vurderes som *god* på grunn av sin egenskap til å gjenkjenne mindre objekter i større grad enn punkttskyen fra fly.



(a) Fly



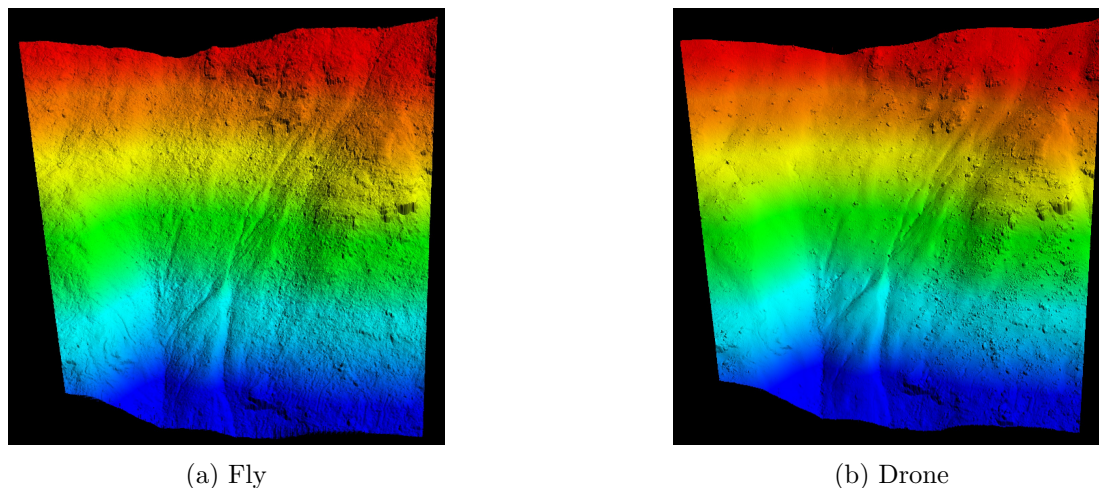
(b) Drone

Figur 5.16: Område C - Detaljer i punktskyer

5.5.2 Digital Terrengmodell

Dekning

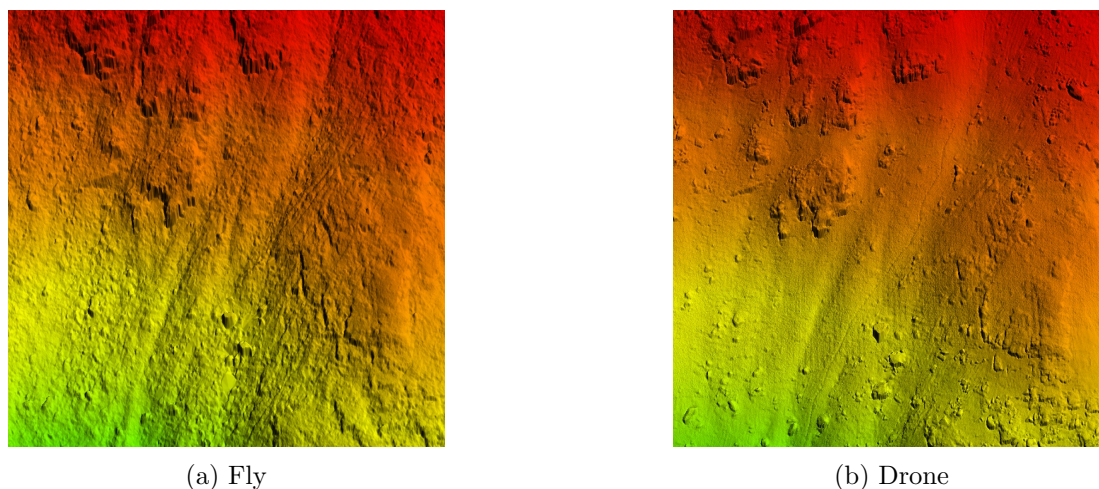
De digitale terrengmodellene for Område C baserer seg på bakkepunktene som tidligere ble observert i punkttskyvurderingen. Ettersom datasettene i Område C mer eller mindre er uten manglende data eller hull, blir dette godt gjenspeilet i modellene vist under. Det er ingen hull, og få interpolerte verdier eller spikes. Område C er som tidligere nevnt uten større, bratte heng, og innsamlingsmetoder som fly og drone vil få en svært bra dekning. Dette er grunnen til at terrengmodellene fra både fly- og dronedata (hhv. Figur 5.17a og 5.17b), vurderes som *svært gode*.



Figur 5.17: Område C - Digitale terrengmodeller

Objektgjenkjenning

I begge terrengmodellene er det mulig å observere oppstikkende objekter som steiner, knauser og konturer (Figur 5.18). Siden vi i vårt tilfelle ikke er ute etter å vurdere hvilke værforhold som er best, men hvilket resultat som gir best objektgjenkjenning, vil det ikke tas hensyn til at DTMen fra dronedata har en glattere utforming. I begge utklippene under kan fjellknauser og steiner i terrenget lett kjennes igjen. De digitale terrengmodellene blir begge vurdert som *svært gode* på grunn av sine egenskaper til å enkelt gjenkjenne objekter.



Figur 5.18: Område C - Objektgjenkjenning i terrengmodeller

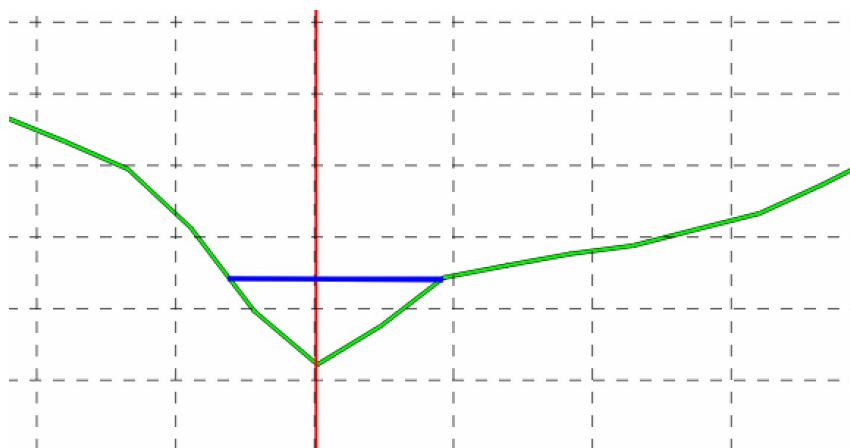
Detaljer

Fly

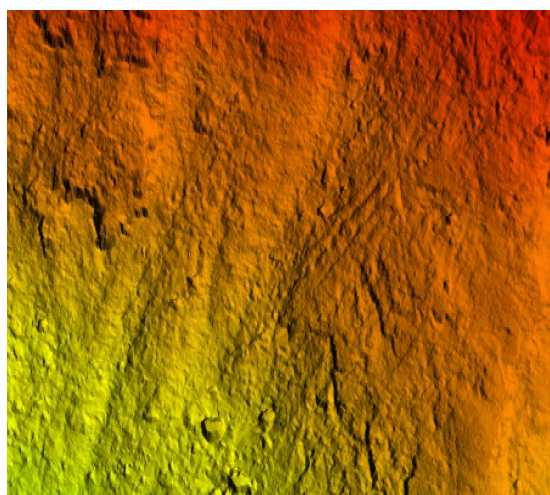
DTMen fra flydata fremstår som veldig detaljert, da man enkelt kan se ulike partier langs fjellskråningen. I tillegg til dette kan terrengets form og ujevnheter også observeres (Figur 5.20a). Småsteiner skiller seg nokså enkelt ut fra omkringliggende terreng. Det eneste som er verdt å merke er “spikes” som befinner seg langs med oppstikkende fjellknauser. I sin helhet vil detaljgraden til DTMen fra flydata bli vurdert til *svært god*.

Drone

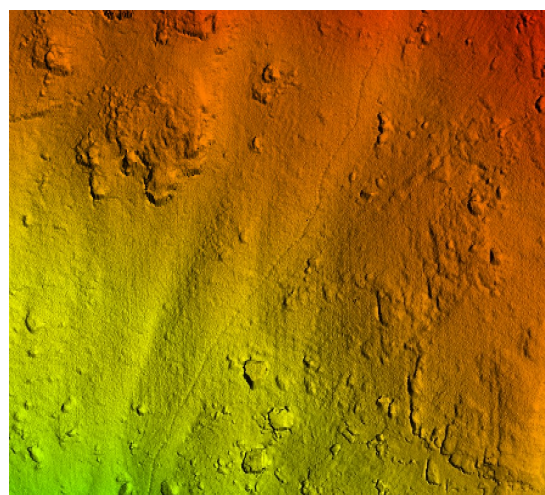
Til tross for snødekket over området i denne modellen, kan det observeres detaljer på de største fjellknausene som stikker over snølaget. Det kan også observeres et tynnere spor som beveger seg på tvers i terrenget (Figur 5.20b). Ved å se på sporet i tverrsnitt, kunne det måles til omtrent 15 cm (Figur 5.19). Dette kan vise antydninger til fotspor eller snø som har trillet ned langs fjellskråningen. På bakgrunn av dette blir også detaljgraden til DTMen fra dronedata vurdert til *svært god*.



Figur 5.19: Område C - Tverrsnitt i terrengmodeller



(a) Fly



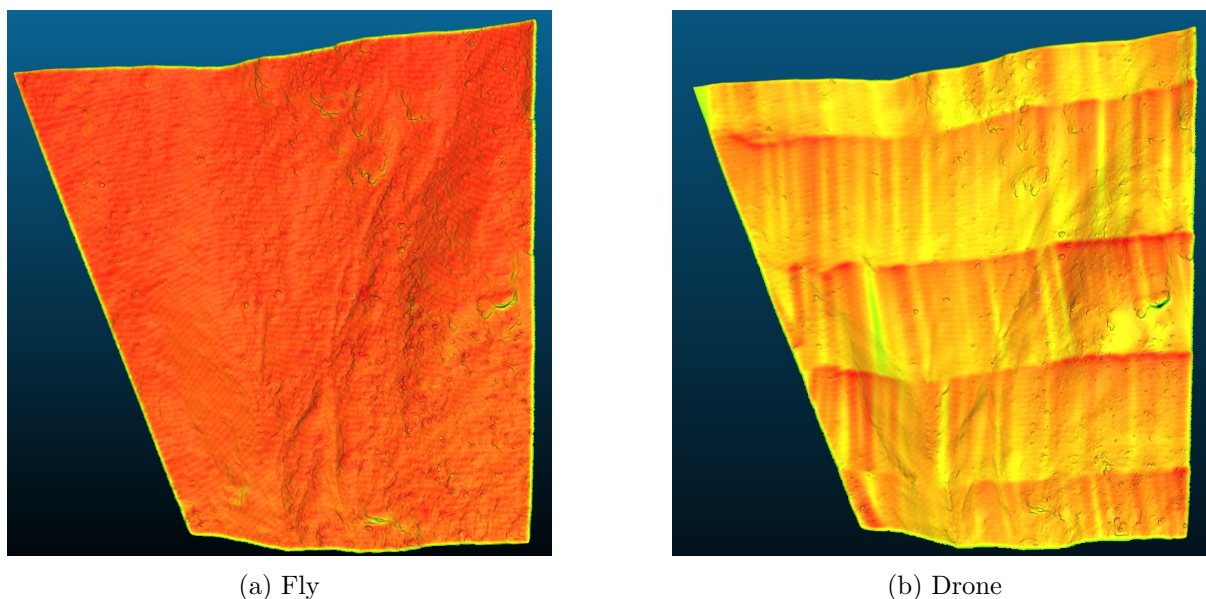
(b) Drone

Figur 5.20: Område C - Detaljer i terrengmodeller

5.5.3 3D-mesh

Dekning

Ettersom dekningsgraden er vurdert som svært god på alle modeller for Område C, vil det også være naturlig at 3D-meshmodellen havner i samme kategori. Punktene som er benyttet i både DTMen og 3D-meshen baserer seg på punktskyen. Punktskyens tette overflate med svært få hull vil naturligvis også da resultere i en tett overflate ved 3D-meshproduksjon. Det observeres ikke noe tydelig støy, og det er flater ved mindre heng (ref. Figur 5.21). Dekningsgraden til 3D-meshmodellene i tilfellene av fly- og dronedata karakteriseres derfor også som *svært gode*.



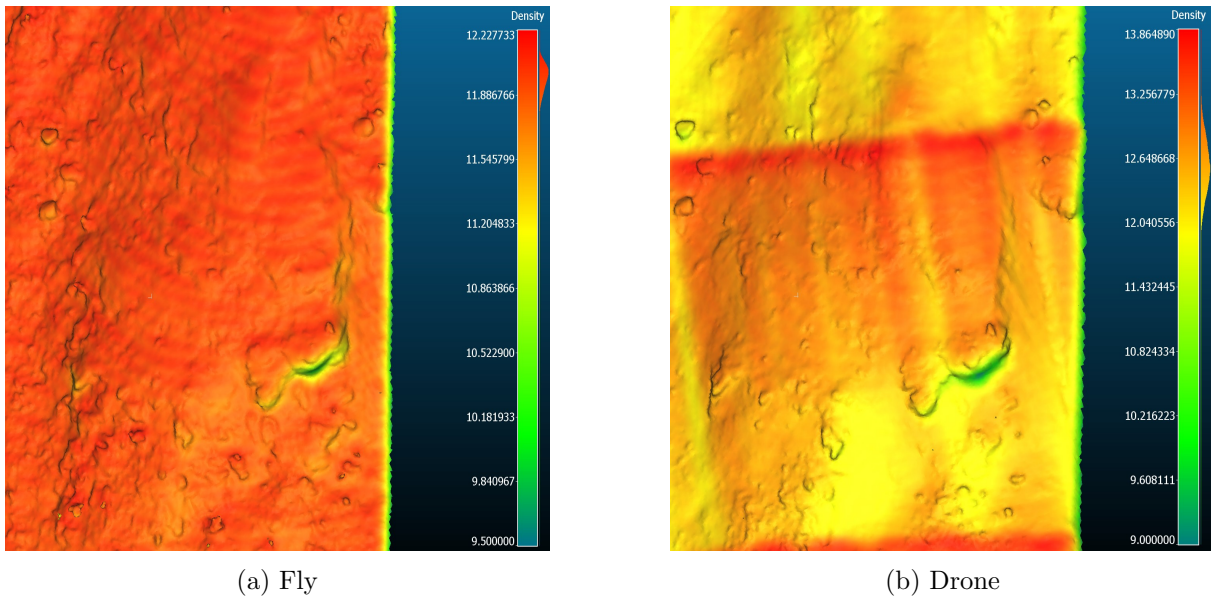
Figur 5.21: Område C - Meshmodeller

Punkttetthet

Majoriteten av modellene består av områder med tilnærmet lik tetthet. I meshmodellen fra flydata har den største delen av modellen en tetthet på omtrent $12,0 \text{ pkt}/\text{m}^2$ og maks tetthet på $12,2 \text{ pkt}/\text{m}^2$. I meshmodellen fra dronedata ligger tettheten stort sett på omtrent $12,6 \text{ pkt}/\text{m}^2$, og med en maks tetthet på $13,9 \text{ pkt}/\text{m}^2$. Selv om majoriteten av punkttettheten til dronedata er over den maksimale tettheten som kan observeres i flydataen, fremstår begge modellene som *gode*.

Objektgjenkjenning

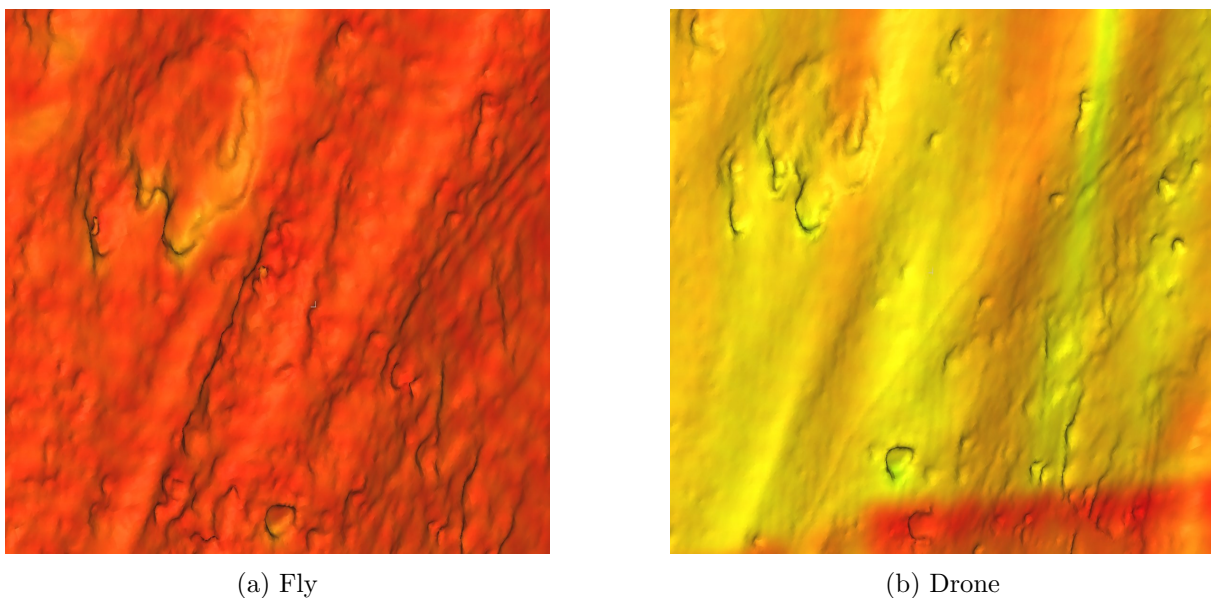
Med det svært jevne grunnlaget fra punktskyene og generelt høy punkttetthet, gir begge modellene mulighet for objektgjenkjenning. Det er enkelt å identifisere steiner, heng og konturer i terrenget. Det kan ved første øyekast se ut til at 3D-meshmodellen generert fra flydata gir en mer detaljert overflate (Figur 5.22). Dette kommer som nevnt tidligere, av snødekke ved dronedata-innsamling. I dette tilfellet vil ikke modellen basert på dronedata trekkes ned på grunn av sin glattere overflate, da den har potensialet til å vise objekter i områder hvor det ikke befinner seg snø. Objektgjenkjenningsevnen til begge 3D-meshmodellene vil dermed klassifiseres som *svært gode*.



Figur 5.22: Område C - Objektgjenkjenning i meshmodeller

Detaljer

Modeller fremstilt fra fly- og dronedata for Område C er så langt vurdert likt ved sammenligning. Ved undersøkelse av detaljer i de ulike modellene, vil dette også bli tilfellet. Begge modellene fremstiller tydelige konturer i terrenget, samt mindre steiner og fjellknauser (Figur 5.23). På grunn av at 3D-meshmodellene er noe glattere i forhold til DTMenne, er det vanskeligere å dekkere mindre detaljer, som for eksempel sporet som er nevnt tidligere. Modellene får derfor ikke den høyeste vurderingen i dette tilfellet, men settes likevel som *god*.



Figur 5.23: Område C - Detaljer i meshmodeller

5.6 Område D

5.6.1 Punktsky

Dekning

Fly

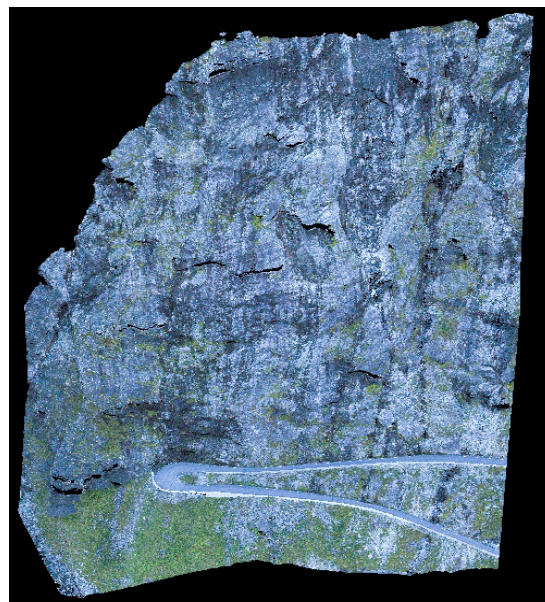
Innledningsvis for Område D er punktskyen som er grunnlaget for kommende modeller, vurdert. Det er god dekning i fjellveggen, men det må tas i betraktning at denne er delvis manuelt klassifisert. Dette muliggjør feilklassifisering, selv om det er et bedre resultat enn hva en automatisk klassifisering trolig ville gitt. På bakgrunn av dekningen som sees i punktskyen vurderes datasettet til *god* dekningsgrad (ref. Figur 5.24a). Det mangler noe data under hengene, som gjør at punktskyen i dette tilfellet ikke oppnår den beste mulige vurderingen.

Helikopter

Punktskyen fra helikopterdata dekker fjellveggen i stor grad (Figur 5.24b). Det er minimalt med områder hvor det er lite eller ingen dekning. Selv under enkelte av hengene kan det observeres punkter, noe som gjør at dekningsgraden til punktskyen innsamlet med helikopter kategoriseres som *svært god*.



(a) Fly



(b) Helikopter

Figur 5.24: Område D - Punktskyer

Punkttetthet

Til tross for relativt god dekning i begge datasett, er punkttettheten noe lavere i punktskyen fra fly (ref. Tabell 5.4). Forholdstallet for punkttetthet mellom innsamlingsplattformene er omtrent det samme som vi regnet oss frem til i de andre områdene (ca 10-15 ganger høyere tetthet). Den lavere punkttettheten i flydatasettet vil merkes i hvor godt datasettet egner seg til å se detaljer. I denne sammenheng er det også viktig å huske på at punktskyen fra fly ikke er overlappende i hele området. Dette kommer av at Område D opprinnelig ikke var planlagt som et undersøkelsesområde, og ble dermed ikke tatt høyde for i flyplanen. Allikevel kateogriseres punktskyene fra fly- og helikopterdata som *svært gode*.

Tabell 5.4: Område D - Punkttetthet i punktskyer

OMRÅDE D	Bakkepunkter [pkt]	Areal [m^2]	Punkttetthet [pkt/ m^2]
Fly	877 932	46 157	19,0
Helikopter	13 908 023		301,3

Objektgjenkjenning

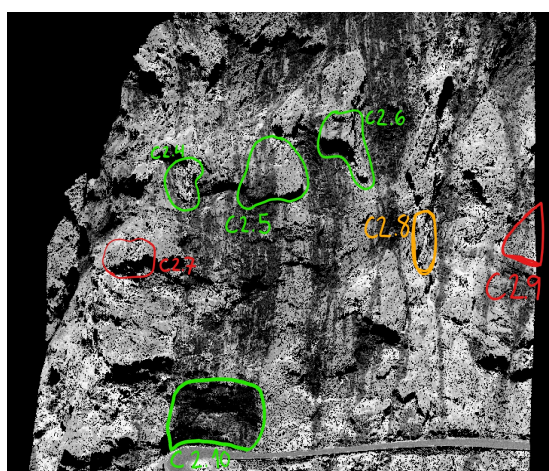
I tidligere vurderinger av objektgjenkjenning er det valgt egne objekter av oss i modellene. I Område D er det allerede pekt ut enkelte partier som vegvesenet mener kan stå i fare for å rase ut. I vårt utklipp av laserdata er syv av disse partiene synlig, og vil derfor være objektgjenkjenningsskriteriet for Område D. Disse partiene er merket i utklippene fra de ulike modellene for å synliggjøre hvor de er plassert i fjellveggen, og om de er mulig å gjenkjenne i det hele tatt.

Fly

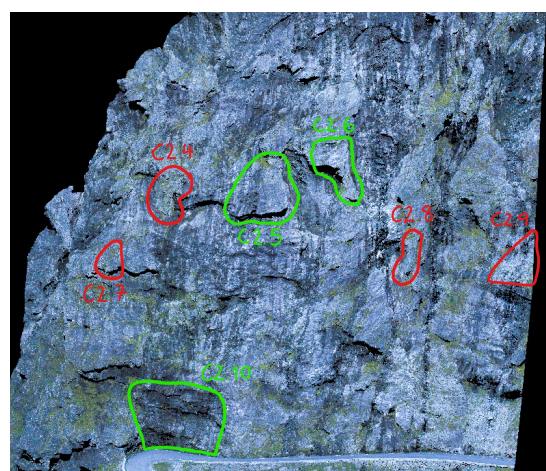
I punktskyen av flydata kan partiene i fjellveggen kjennes igjen nokså enkelt (Figur 5.25a). Områdene markert i rødt var vanskeligere å gjenkjenne, selv etter direkte sammenligning med bilder fra vegvesenets rapport. Dette kan komme av at kontrastene i punktskyen ikke kom godt nok frem. Oransje markeringen viser områder som var lettere å finne igjen, men krevde fortsatt noe leting. De resterende, grønne markeringene viser objekter i fjellveggen som lett kunne kjennes igjen ved første øyekast. Punktskyen som baserer seg på flydata karakteriseres derfor som *god*.

Helikopter

Helikopterdatasettet har fordelen av at den inneholder RGB-verdier i punktskyen. Dette kan gjøre det noe lettere å navigere seg i punktskyen og identifisere objekter, som nevnt i delkapittel 4.3. Vi merket fort at den høye punkttettheten til datasettet ikke nødvendigvis var en fordel når det kom til å identifisere fjellpartier. Datasettet egnet seg godt til å finne de største steinblokkene som var av interesse, samtidig som mindre objekter var vanskeligere å gjenkjenne. Dette kommer av at de mindre objektene blander seg med terrenget rundt. På bakgrunn av noe vanskeligheter med objektgjenkjenning, vurderes punktskyen fra helikopterdata som *nøytral* (ref. Figur 5.25b).



(a) Fly



(b) Helikopter

Figur 5.25: Område D - Objektgjenkjenning i punktskyer

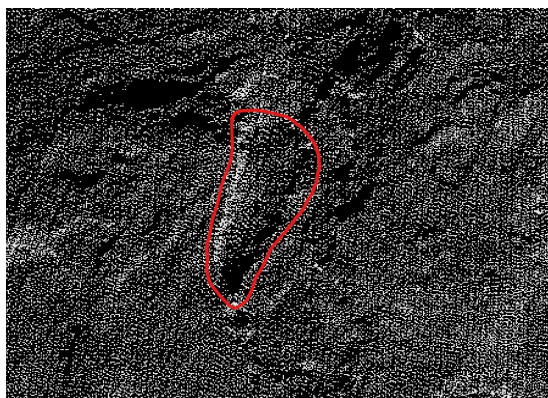
Detaljer

Fly

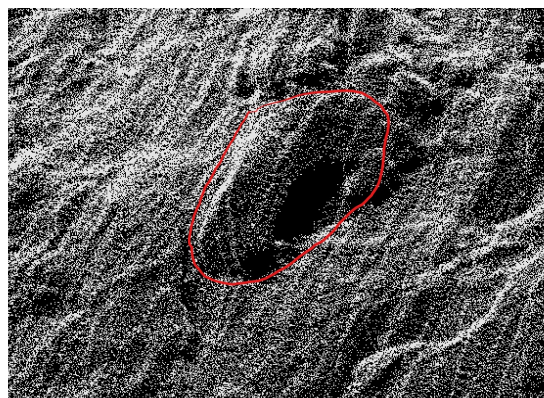
Ved nærmere undersøkelser i punktskyen, så vi at flydataen gjorde det mulig å detektere objekter uten for store problemer. Steinblokk C2.8 var enkel å finne igjen, og konturene kom tydelig frem (Figur 5.26a). Etterhvert som alle de markerte områdene i bildene over ble nærmere undersøkt, oppdaget vi også at det var mulig å detektere en større sprekkdannelse i C2.6. Denne var noe vanskeligere å se i flydata uten å vite at den var der på forhånd. Punktskyen basert på flydata vurderes som *nøytral* når det kommer til detaljer.

Helikopter

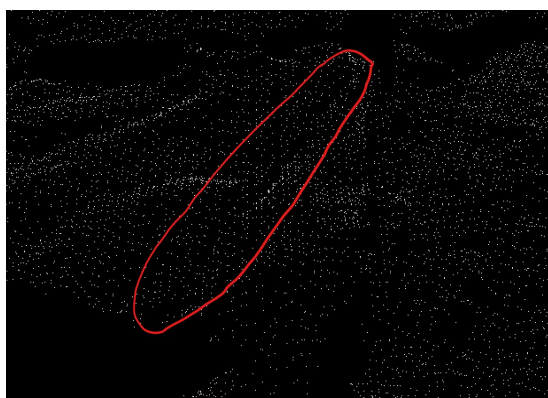
Undersøkelse av den samme steinblokken (C2.8) ble gjort med punktskyen fra helikopter. Her kom den høye punkttettheten til nytte fordi punktene spredde seg mer ut desto nærmere vi zoomet inn på steinblokken. Konturene på objektet og nærliggende terreng er mer detaljert, men på bekostning av at punktene flyter mer sammen når de observeres lenger unna. Også i denne modellen ble alle markerte områder i bildene over undersøkt nærmere. Ettersom vi nå var klar over sprekken i C2.6 ble denne ekstra undersøkt. Denne var lettere å detektere i helikopterdataen, da konturene var tydeligere (ref. Figur 5.26d). På grunnlag av gode muligheter til å gjenkjenne mindre detaljer i punktskyen, kategoriseres denne egenskapen som *svært god* når det kommer til helikopterdata.



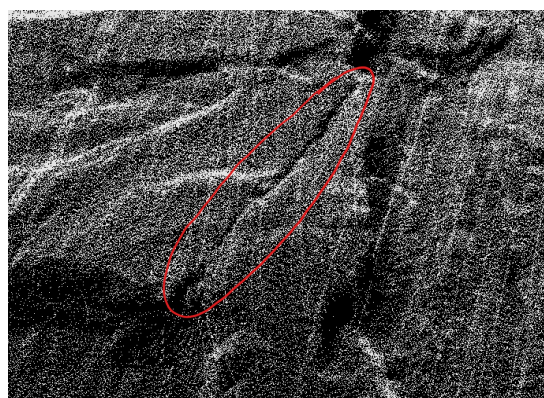
(a) Fly, detaljer



(b) Drone, detaljer



(c) Fly, sprekkdannelse



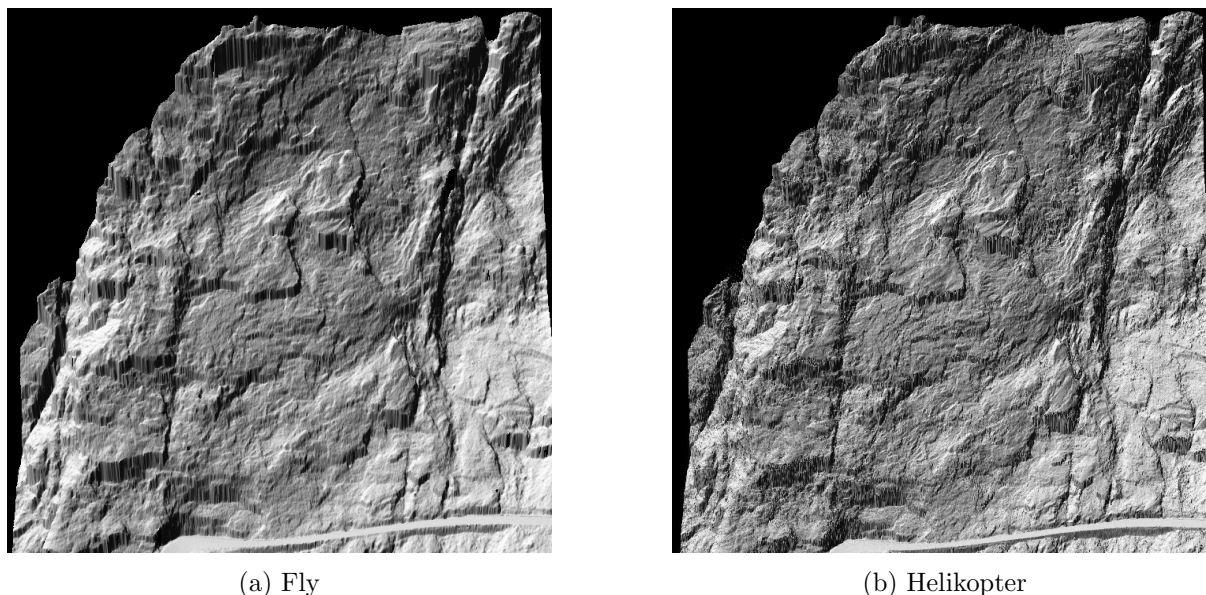
(d) Drone, sprekkdannelse

Figur 5.26: Område D - Detaljer og sprekkdannelse i punktskyer

5.6.2 Digital Terrengmodell

Dekning

I både fly- og helikopter DTMene var det bra dekning, selv om det var bratte områder (Figur 5.27). I de bratteste hengene finnes det enkelte spikes, men disse modellene er vesentlig mindre preget av dette enn i Område B. Ettersom det er god dekning i begge de digitale terrengmodellene kategoriseres de likt. På bakgrunn av enkelte spikes, men ellers bra dekning vurderes begge modellene som *gode*.



Figur 5.27: Område D - Digitale terrengmodeller

Objektgjenkjenning

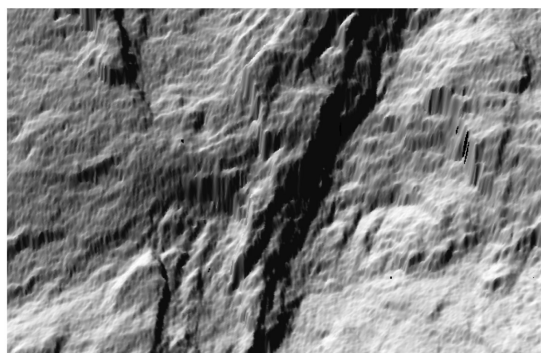
På likt vis som i vurderingen av objektgjenkjenningen for punkttsky, vil det også her sees nærmere på utvalgte områder hentet fra vegvesenets rapport.

Fly

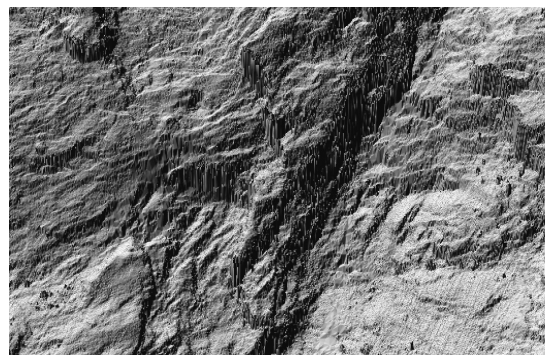
Den digitale terrengmodellen basert på flydata vil se glattere ut på bakgrunn av færre punkter. Dette gjør muligheten for objektgjenkjenning noe vanskeligere. På bildet under er det tatt et utklipp av området rundt C2.8. Her er det mulig å gjenkjenne selve steinblokken, men med noe leting i modellen (Figur 5.28a). Steinblokken fremstår som glattere og mer i ett med terrenget, enn modellen basert på helikopterdata. DTMen basert på flydata vurderes derfor som *nøytral*, da det til tider kan være vanskelig å detektere objekter.

Helikopter

I DTMen fra helikopterdata er det noe lettere å identifisere samme steinblokk - C2.8 (Figur 5.28b). Både formen og konturer rundt steinblokken er mer gjenkjennerbar enn i DTMen fra flydata. Ved hjelp av konturene, er det lettere å se hvor steinblokken kommer ut av fjellveggen, og den fremstår mindre glattet. Modellens egenskap til objektgjenkjenning basert på helikopterdata settes som *god* i dette tilfellet.



(a) Fly



(b) Helikopter

Figur 5.28: Område D - Objektgjenkjenning i terrengmodeller

Detaljer

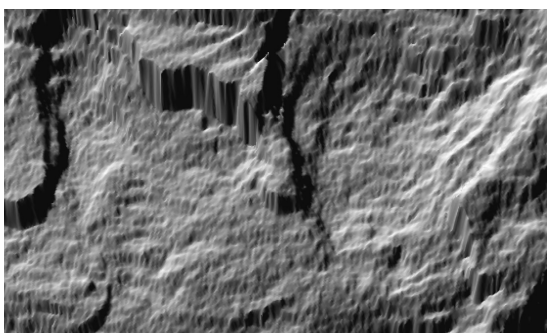
Ved vurdering av mengden detaljer som kan observeres i de to DTMe vil det bli sett på den samme steinblokken (C2.6) som det ble gjort vurdering av i punktskyen. På grunn av observasjonen av en sprekke på denne steinblokken, ble det gjort en nærmere undersøkelse i DTM modellene også.

Fly

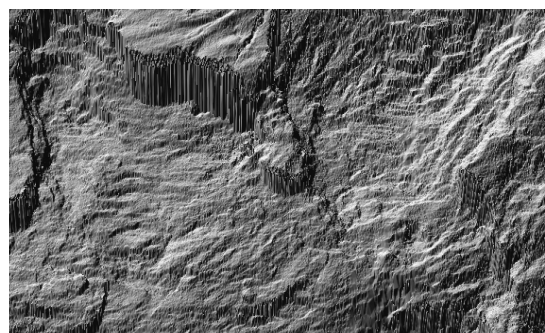
På samme måte som punkttettheten av datasettet påvirker DTMe egnethet til objektgjenkjenning, gjenspeiles dette også i hvorvidt DTMe fra flydata kan identifisere mindre detaljer. Modellen er veldig glattet ut i store deler av fjellveggen, men man kan fortsatt se formen på hele C2.6 og andre ujevnheter i terrenget rundt (Figur 5.29a). Sprekken i steinblokken det refereres til, er vanskelig å detektere ved å se modellen i 3D. Kun ved bruk av tverrsnitt-verktøyet blir det tydelig at det er større forskjeller mellom modellene. På grunn av dette, og ellers lite detaljer i fjellveggen, karakteriseres terrengmodellen basert på flydata som *nøytral*.

Helikopter

I tilfellet med terrengmodell basert på helikopterdata, vil det være mulig å få frem en større andel detaljer. Dette kommer av en større punkttetthet i datasettet, og synliggjør lettere konturer i terrenget og berget. Etter analyser av punktskyen vet vi at det befinner seg en fjellsprekk i steinblokken kalt C2.6. Denne kan lett gjenkjennes i DTMe, og er nokså tydelig markert i blokken (ref. Figur 5.29b). Ettersom det er mye detaljer i terrengmodellen basert på helikopterdata, settes vurderingen av denne modellen til *svært god*.



(a) Fly



(b) Helikopter

Figur 5.29: Område D - Detaljer i terrengmodeller



Figur 5.30: Tverrsnitt i terrengmodeller gjennom C2.6

Ved nærmere undersøkelse tas det tverrsnitt av sprekken i C2.6 (Figur 5.30). Her må det tas i betraktning at høydeverdiene kan være noe ulike på grunn av justeringen som er gjort for å øke den relative nøyaktigheten mellom datasettene. Det er også tidligere tatt hensyn til forskyvninger i hele modellen, noe som også kunne vært vurdert her. Til tross for forskyvninger mellom modellene, forklarer ikke dette forskjellen mellom DTMen der sprekken befinner seg. Ved nærmere undersøkelse kommer det ikke tydelig frem av terrengmodellen fra helikopter (grønn) at det er noe form for sprekk i nærheten av nedsenkingen som kan observeres i DTMen fra fly (rød). Ettersom nedsenkingen i flydatasettet kan måles til omkring 1,20 meter i bredden, og 1 meter i høyden, vil dette trolig være for vesentlige forskjeller for at det kan skyldes triangulering eller spikes. Det kan derfor vurderes om dette er en steinblokk som er på vei ut fra fjellsiden, på bakgrunn av den observerte sprekken som tilsynelatende har vokst mellom datainnsamlingene (2015-2022). Dette kan ikke bekreftes ved videre analyser, men heller ved fysiske undersøkelser av området. Selv om dette tilsynelatende er en spennende oppdagelse, må det også huskes på at det kan være støy eller et resultat av multipathing. Dersom det har vært vann i sprekken ved datainnsamling fra fly, kan dette tilsynelatende ha blitt støypunkter. I løpet av prosesseringen har vi gjennomført manuelle klassifiseringer, og det er dermed en mulighet for at punktene som ble målt her er fjernet. Eventuelle punkter målt på vann, vil vanligvis observeres på baksiden av fjellveggen. Dette er et område vi har foretatt manuelle klassifiseringer, noe som gjør at eventuelle punkter ikke lenger vil finne seg i bakkepunktclassen, og dermed ikke i DTMen heller. Da vil vi også få et resultat med feilrepresentert terreng.

5.6.3 3D-mesh

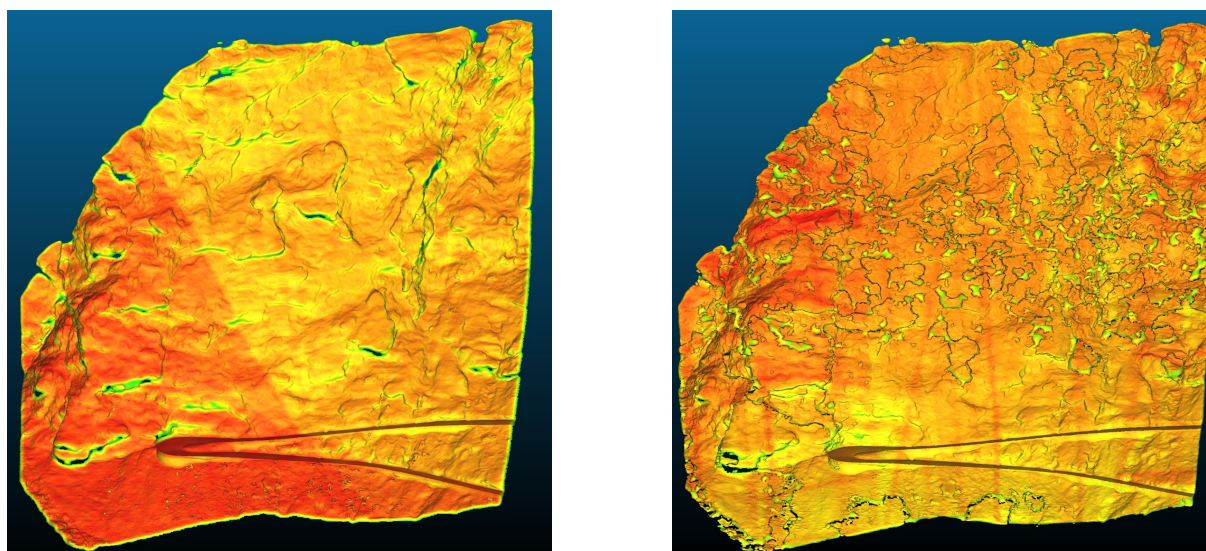
Dekning

Fly

Meshen fra flydata har god dekning over fjellveggen med mindre hull i datasettet. Det er kun i heng hvor punktskyen ikke hadde noen data, det også er mangelfull dekning i 3D-modellen. Den skarpe fargeforskjellen kommer av overlappende flystriper, som igjen resulterer i høyere punkttetthet farget i rødt (Figur 5.31a). Grunnet den gode dekningen i de mest kritiske områdene langs fjellveggen, vil denne modellens dekningsgrad bli vurdert til *svært god*.

Helikopter

I meshmodellen fra helikopterdata er det tilsynelatende flere støyflater over hele veggen (Figur 5.31b). Dette skyldes filtreringsverdier (SF-verdier) som er satt for å visualisere modellen på best mulig måte. Til tross for dette, har også denne meshen like god dekning som ovennevnte modell, og vil derfor også bli vurdert til *svært god* dekningsgrad.



(a) Fly

(b) Helikopter

Figur 5.31: Område D - Meshmodeller

Punkttetthet

Fly

Figurenes farge sier noe om hvordan punkttettheten langs fjellveggen varierer. I datasettet basert på fly, ligger størsteparten av punkttettheten på rundt $10,7 \text{ pkt}/\text{m}^2$, og med en maksimal tetthet på $11,61 \text{ pkt}/\text{m}^2$. Punkttettheten til meshmodellen basert på flydata vurderes som *god*, på bakgrunn av sammenligning med modellen fra helikopterdata.

Helikopter

Helikopterdataen som meshmodellen baserer seg på har i utgangspunktet en høyere punkttetthet enn flydataen. Dette vil derfor gjenspeiles i meshmodellen, der den største andelen av punkttettheten er rundt $12,65 \text{ pkt}/\text{m}^2$. Maksimalt har denne modellen en punkttetthet på $14,16 \text{ pkt}/\text{m}^2$. Ved å sammenligne disse tallene med punkttettheten i meshmodellen fra flydata, ser vi at den maksimale punkttettheten i flydataen er lavere enn majoriteten av punkttettheten i helikopterdataen. Dette gjør at meshmodellen fra helikopter sin punkttetthet vurderes som *svært god*.

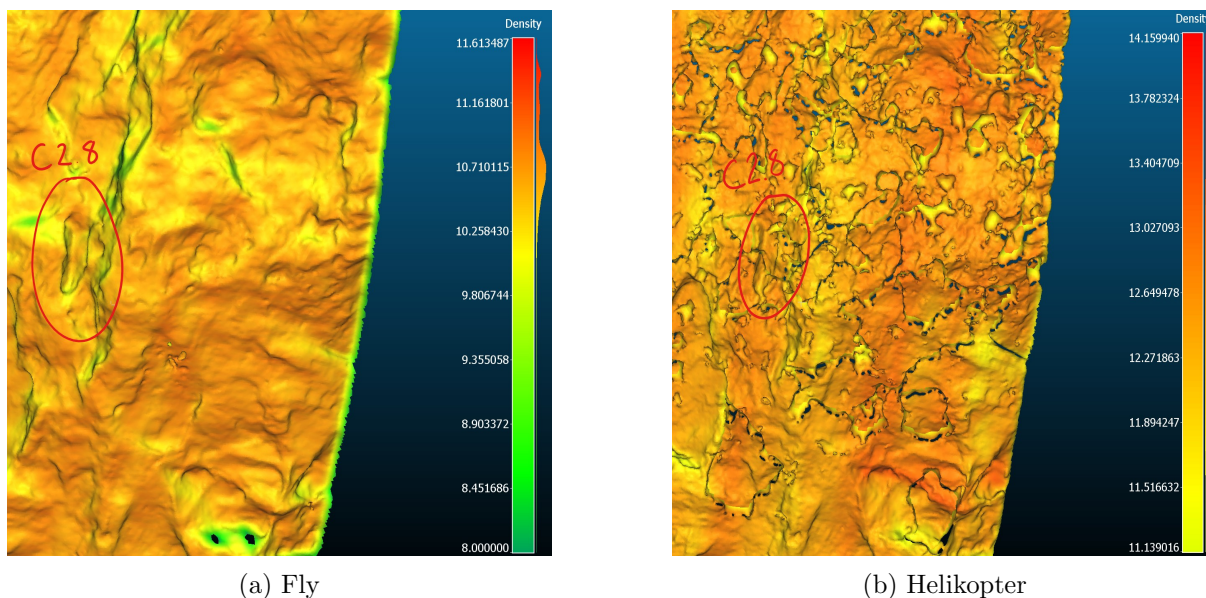
Objektgjenkjenning

Fly

Ved undersøkelse av objektgjenkjenning tidligere er det blitt sett på steinblokk C2.8. I meshmodellen fra flydata ser terrenget relativt jevnt ut, noe som får utstikkende objekter til å skille seg ut fra lokale endringer i terrenget (Figur 5.32a). Alle steinblokkene fra vegvesenets rapport kan observeres uten store vanskeligheter. Grunnet dette har vi valgt å kategorisere objektgjenkjenningen til meshmodell fra flydata som *svært god*.

Helikopter

Som nevnt tidligere er meshmodellen fra helikopterdata mer preget av flater som kan virke som støy. Dette kan skyldes mengden punkter som algoritmen prøver å ta i betraktning ved generering av 3D-modellen. Støyflatene som er tilstede ødelegger for innsynet på enkelte objekter og gjør det derfor vanskelig å identifisere selv de største steinblokkene på fjellveggen (ref. Figur 5.32b). På grunn av dette vil denne meshmodellens egnethet til objektgjenkjenning blir kategorisert som *dårlig*.



Figur 5.32: Område D - Objektgjenkjenning i meshmodeller

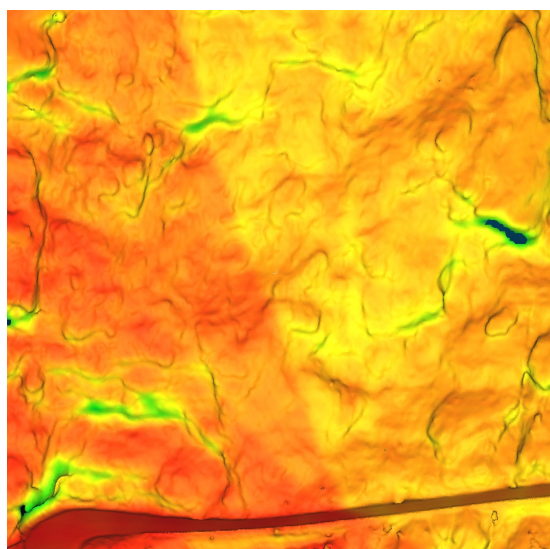
Detaljer

Fly

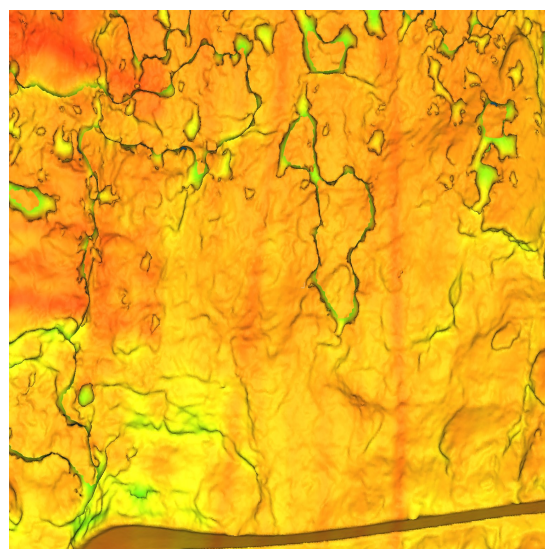
Når det skal sees på detaljer i meshmodellen generert av flydata kan det ved hjelp av å bevege modellen lettere observeres detaljer. Det er god nok punkttetthet til å få med detaljer, uten at det blir støyflater, noe som gjør at denne modellen kategoriseres som *god*. Det kan sees mindre steinblokker og konturer i terrenget (Figur 5.33a).

Helikopter

Den høye punkttettheten fra helikopterskanningen kommer til nytte når det blir sett på detaljer i meshmodellen. Her kan det blant annet observeres berglag over hele fjellveggen i god detalj. Ved å zoome lenger inn i meshmodellen ble det også lettere å finne steinblokker fordi støyflatene ikke påvirket modellen i like stor grad. Meshen basert på helikopterdata kategoriseres som *nøytral* fordi man kan finne enkelte objekter uten problemer. Samtidig er det til tider vanskelig å identifisere objekter andre steder grunnet det som fremstår som rot i modellen (ref. Figur 5.33b).



(a) Fly



(b) Helikopter

Figur 5.33: Område D - Detaljer i meshmodeller

5.7 Egnethetstabell

Egnethetstabellen er en samlet oversikt over vurderingene som er gjort i sammenligningen (Tabell 5.6). Modellene og plattformene som er benyttet for de ulike områdene er fargelagt ut fra kategoriseringen som er gjort for hvert vurderingskriterie (Tabell 5.5).

Tabell 5.5: Fargeskala

Svært dårlig	Dårlig	Nøytral	God	Svært god	Ikke aktuelt

Tabell 5.6: Egnethetstabell

	Område B			Område C			Område D			
	Punktsky	DTM	Mesh	Punktsky	DTM	Mesh	Punktsky	DTM	Mesh	
Dekning										Fly
										Drone
										Helikopter
Punkttetthet										Fly
										Drone
										Helikopter
Objektgjenkjenning										Fly
										Drone
										Helikopter
Detaljer										Fly
										Drone
										Helikopter

5.8 Resultat

I denne delen vil vi samle tankene våre etter sammenligningsprosessen, der datatyper og innsamlingsplattformer vil drøftes. En oppsummering av resultatene fremstilles ved å dele opp sammendragene basert på modeller og plattformer. I hvert sammendrag vil det gjøres rede for hva vi generelt synes om modellene og plattformene på bakgrunn av funnene i sammenligningen. Avslutningsvis vil det gjennomgås hvilke mulige feilkilder som kan ha påvirket resultatene våre.

5.8.1 Plattformer

Fly

Samlet sett er fly den plattformen som gjennomsnittlig vurderes dårligst etter våre valgte kriterier. Med dette tatt i betraktning er det fortsatt jevnt mellom alle innsamlingsplattformene hvis vi ser på egnethetstabellen isolert. Det er verdt å legge merke til at fly er den eneste plattformen som har modeller i alle områdene. Plattformen ble derfor best representert ved sammenligningen.

Modeller produsert av flydata er generelt de som har størst problemer under fjellheng, og andre utstikkende objekter fra fjellveggen. Vi har likevel opplevd overraskende god dekning fordi det spesifikt ble lagt opp for dette i flyplanen. På grunn av plattformens begrensninger samles data inn fra en betraktelig større høyde enn resterende plattformer. Resultatet av dette blir en tynnere punktsky som inneholder noe mindre detaljer. Til tross for dette viser det seg at objektgjenkjenning ved hjelp av flydata er mer eller mindre tilsvarende god som samtlige plattformer. På grunn av sin forventede nøyaktighet på ~ 6 cm i grunnriss, og ~ 8 cm i høyde, vil det ikke sikkert kunne observeres endringer i terrenget som er mindre enn dette. Modellene fra flydata bidrar til å visualisere objektene på en mer helhetlig måte fra avstand, noe som trolig skyldes den lavere punkttettheten. Til sammenligning kan det refereres til offentlig NDH-data som inneholder enda lavere punkttetthet enn hva vi har benyttet oss av. I tilsvarende fjellområder genereres det terrenget basert på punktskyer med $2 \text{ pkt}/\text{m}^2$. Med denne tetthet kan det stilles spørsmål rundt hvorvidt det bør tilrettelegges for datainnsamling med høyere punkttetthet og bedre innsyn i fjellvegger, slik at datasettene kan ha flere bruksområder.

Grunnet plattformens effektivitet kan det påpekes at fly er en tilstrekkelig god plattform til å dekke større områder, og få en rask oversikt over fjellpartier. Disse dataene kan deretter blir brukt til å få et godt nok overblikk til å detektere store til mellomstore endringer i fjellområder.

Drone

Ved gjennomsnittlig vurdering av modeller basert på dronedata, kommer plattformen best ut. Dette er et forventet resultat ut i fra tidligere studier, men resterende plattformer presterer likevel jevnere enn antatt [Liu mfl., 2019]. Data fra drone er ikke tilgjengelig i Område D, noe som gjør at den gjennomsnittlige vurderingen påvirkes positivt i forhold til de andre plattformene. Drone er også en av to plattformer som er benyttet i Område C, hvor det er et mindre bratt terreng, som igjen bidrar til å trekke snittet opp.

Under produksjon av ulike modeller, er dronedatasettene vesentlig tyngre å prosessere på grunn av sin høye punkttetthet. Denne tettheten bidrar i stor grad til godt detaljerte modeller med god dekning, men er i enkelte tilfeller for tett for å hente ut oversiktlige flater. Vi mener denne plattformen vil egne seg best i isolerte tilfeller hvor spesifikke områder eller objekter skal undersøkes. Dette baserer vi på at det er en tidskrevende innsamlingsprosess, som ikke egnes til større områder. Ideelt sett kan dronedatainnsamling kombineres i etterkant av større målekampanjer fra fly dersom det detekteres endringer i terrenget.

Helikopter

Plattformen er på mange måter en hybrid mellom drone og fly. Den har mye av fleksibiliteten som dronen har, men også evnen til å dekke større områder på en mer effektiv måte. Dette er den eneste plattformen som kun er brukt i ett område, og den gjennomsnittlige vurderingen vil derfor kun være basert på Område D. Av den grunn er dette den plattformen som er dårligst representert i sammenligningen. Helikopter er også en plattform vi opplever at generelt er underrepresentert i forbindelse med rashendelser, noe som igjen gir oss et minimalt sammenligningsgrunnlag.

Ut i fra data som er undersøkt, består modellene av punkttetthet som er sammenlignbar med den fra drone. Det er generelt god dekning i alle modellene som er produsert med helikopterdata. Grunnet dette klarer modellene også å få frem detaljer hvor flydata har større vanskeligheter. Til tross for god dekning og høy detaljgrad, opplevde vi problematikk rundt objektsgjenkjenningen fordi modellene ofte fremstår som rotete.

5.8.2 Modeller

Punktsky

Punktskyene har hatt en varierende punkttetthet alt ettersom hvilken plattform det er brukt. Dette gjør at alle punktskyenes gjennomsnittlige vurdering vil være påvirket av plattformtypene. Generelt har punktskyene god dekning, men med et gjennomgående problem med visualisering der det mangler data. Det blir derfor ofte vanskeligere å se for seg utformingen i terrenget i disse områdene. Der hvor det er dekning vil det være lettere å gjenkjenne objekter og mindre detaljer.

Dette er en datatype som best fremstilles ved interaksjon. Dette kan være i form av navigasjon i punktskyen eller justering av punktstørrelse. Ved å endre perspektiv i et tredimensjonalt rom, er det lettere å se hvordan objekter faktisk ligger i forhold til hverandre. Det skal også påpekes at punktskyer er de mest fleksible modellene i form av å benytte dens attributter som lagret i .las-filene. Dette kan være til fordel for å representere punktskyen ved hjelp av blant annet intensitet, skannevinkler, ekko og lignende.

Digital terrengmodell

De digitale terrengmodellene som er produsert er den datatypen som kommer gjennomsnittlig dårligst ut etter egnethetsvurderingen vår. Ettersom at modellene baserer seg på data fra punktskyene, vil de direkte påvirkes når det mangler data. På grunn av dette hender det at det interpoleres verdier under heng i disse modellene, samt at det oppstår spikes. Dette kommer også av at størrelsen på rutenettet modellen baserer seg på forenkler vertikale flater for mye, noe som resulterer i at detaljer forsvinner i de bratteste områdene. Av den grunn var ikke DTMeNe våre like godt egnet til analyse fra et visuelt perspektiv. Tidligere forskning har foreslått bruk av digitale terrengmodeller for analyse av skredfarer, men ut i fra våre funn vil dette ikke være den best egnede modellen til dette formålet [Jaboyedoff mfl., 2012]. Ved å introdusere volumberegninger som et sammenligningsgrunnlag kunne vi unngå å benytte det visuelle perspektivet, men dette lot seg ikke gjøre på grunn av forskyvninger i modellene fra de ulike plattformene. På bakgrunn av terrengmodellenes dårlige egenskap til å gjenkjenne mindre endringer i vertikalt terreng, er dette datatypen som vurderes til minst egnet for vårt formål.

3D-Meshmodell

De tredimensjonale meshmodellene genereres også med punktskyene som grunnlag. Dette betyr at det kan være enkelte hull i modellene. Mesh er likevel modelltypen som gjennomsnittlig vurderes som best etter vår egnethetsvurdering. Meshmodellene tillater justering av visualisert punkttetthet, noe som forenkler muligheten til å detektere objekter og se etter endringer. Til tider vil for høy punkttetthet i punktskyen resultere i en uoversiktlig meshmodell. For å oppnå et optimalt resultat ble de beste parametrene brukt ved generering og visualisering av modellen. Det skal også nevnes at 3D-mesher kan være krevende å prosessere, særlig om punkttettheten i input-datasettet er høy. Generelt egner meshmodellen seg godt til å se konturer og utstikkende objekter. Den klarer også å få frem sprekkdannelse og mindre objekter i større grad enn de andre modelltypene når det kommer til vertikalt terreng. På bakgrunn av sine egenskaper, regner vi meshmodellene som den med størst potensial til å detektere endringer i terrenget.

5.8.3 Feilkilder

Det har tidligere vært nevnt problematikk rundt klassifisering av punktskyer, og hvordan dette direkte kan påvirke modellene. Ved prosessering av modellene kan det også være en mulighet for at parametre som er valgt ikke er ideelle for en god framstilling. I et forsøk på å tilpasse modellene i forhold til hverandre, har det også oppstått vanskeligheter med å oppnå et tilfredsstillende resultat. Dette har igjen gjort at automatiserte sammenligningsprosedyrer som volumberegninger, ikke har gitt ønsket utfall.

Ettersom alle modellene baserer på punktskyene, vil de også inneholde eventuelle følgefeil fra prosesseringen. Dette medfører videre til at feilene også kan påvirke hvordan modellene er blitt vurdert i sammenligningen. Den gjennomsnittlige vurderingen som er foretatt av plattformene kan også gi et feilaktig bilde av hvor godt de faktisk presterer. Dette kommer av at det ikke er data fra alle plattformene i samtlige områder. Det endelige resultatet vil også kunne påvirkes av at Område C ikke er et bratt fjellområde. Området er til tross for dette med i vurderingen, og bidrar dermed med å trekke den gjennomsnittlige vurderingen opp. Dette ser vi spesielt for droneplattformen. Det kan også stilles spørsmål til hvorvidt sammenligningsprosedyren og valgte egnethetskriterier får frem de viktigste forskjellene mellom datatyper og plattformer.

Konklusjon

Gjennom denne undersøkelsen var det prosessert data som ble innsamlet gjennom luftbåren laserskanning, og ulike modelltyper generert. Ved hjelp av en avsluttende sammenligning har vi kommet frem til at det i vårt tilfelle er data fra droneplattformen som egner seg best til å detektere endringer i terrenget. Denne vurderingen er gjort på bakgrunn av egnethetskriteriene og nøye sammenligninger. Kriteriene vi mente burde tilfredsstilles for at plattformene eller modellene ble definert som egnet var dekning, punkttetthet, muligheten til objektgjenkjenning og detaljgrad. Til tross for at drone kommer best ut basert på disse, ønsker vi likevel å fremheve fly som en velegnet innsamlingsplattform over bratt terreng. Dens potensial til å dekke større områder med bratte fjellpartier, kan komme til god nytte i mange bruksområder dersom det legges opp til det i flyplanen. Data samlet inn med helikopter rangeres generelt et sted mellom drone og fly. Helikopter er en mer fleksibel plattform enn fly, samtidig som den mangler egenkapene for å komme like tett på terrenget som drone. Ved vanskeligere og mer avsidesliggende områder, vil helikopter muligens kunne overta flere av dronens bruksområder.

Datotypen som har vist seg å være best egnet ut i fra våre kriterier er meshmodellen. Flexibiliteten modellen har, gir oss muligheten til en enkel og effektiv representasjon av terrenget. Dette kommer hovedsakelig av at den klarer å generere gode flater, selv der det er noe mangel på data. Den kan også i stor grad benyttes til å visualisere detaljer langs de bratteste partiene, der de andre modellene ofte har større vanskeligheter. For at det skal være mulig å identifisere endringer i datasettet, må forflytningen være større enn de minste observerbare objektene og den absolutte nøyaktigheten oppnådd i datasettet. Dette kriteriet gjelder forsåvidt også for de resterende modellene.

Underveis i undersøkelsen møtte vi på flere utfordringer som krevde spesielle tiltak og hensyn. Prosesseringen av flydata ble gjort i Terrasolid, og valg av programvarer og prosesseringsløyper ble dermed en påvirkningsfaktor for hvordan resultatet ble. Klassifisering av fjellvegger endte opp med å være svært tidskrevende selv om områdeavgrensningene var relativt små. Dersom samme prosess skal kunne gjøres på større prosjekter, må prosessen optimaliseres ved å forbedre automatiske gjenkjennings- og klassifiseringsrutiner.

Ettersom data fra fly var det eneste datasettet som ble prosessert av oss, oppstod det komplikasjoner ved direkte sammenligning av modellene fra andre plattformer fordi de ikke overlappet fullstendig. Dette ekskluderte muligheten for flere automatiske analyseverktøy, som for eksempel volumberegninger og differansemodeller. I stedet for ble det gjort manuelle sammenligninger, blant annet i form av manuelle tverrsnitt. Dette kunne trolig vært unngått ved bruk av en uniform prosesseringsløype for alle datasettene.

Avslutningsvis vil vi påpeke at det underveis av analyser og sammenligninger ikke er detektert noen faktiske rashendelser. Som eneste unntak kan det spekuleres hvorvidt sprekkdannelsen identifisert i steinblokk C2.6 har utvidet seg mellom innsamlingsintervallet 2015 til 2022. Det skal også nevnes at områdene vi ser på akkumulert har et stort areal, spesielt med tanke på at de må manuelt undersøkes. På bakgrunn av vanskelighetene rundt automatiske analyseverktøy, vil det derfor være avgjørende at manuelle undersøkelser er foretatt direkte over skredhendelser for at de skal detekteres.

6.1 Ved fremtidig arbeid

Representasjon av plattformer

Ved videre undersøkelser vil det vært naturlig å ha fullt overlappende data over alle avgrensingsområder fra samtlige plattformer. Dette for å få den beste representasjonen av plattformens egenskaper i ulikt terreng.

Prosessering

I tilfeller hvor en større mengde data skulle vært prosessert som gjort i undersøkelsen, vil det også være ønskelig med en mer automatisert metode for å detektere fjellvegger i datasett. Da ville man unngått og manuelt rotere fjellvegger ved hjelp av polygon, og klassifiseringen ville forhåpentligvis ikke vært like tidkrevende som i vårt tilfelle. Det ville også vært avgjørende at den nye prosedyren gjorde en bedre jobb når det kom til å klassifisere det som faktisk er fjellvegg. Dersom dette er oppnåelig vil det kunne bidra til en kortere prosesseringstid. Ved bruk av ulike programmeringsspråk, er det også mulighet for å evaluere hvorvidt en slik metode vil egne seg til å klassifisere krevende terreng.

Metoder

Under videre arbeid vil bruk av LiDAR sammenlignes mot ortofoto og inSAR for å se de relative forskjellene mellom dem. Et annet aspekt er å benytte NDH-data til samme formål, for å se om denne, tross sin lavere punkttetthet, kunne gi en pekepinn på hvor det hadde skjedd større endringer i terrenget.

Kriterier

For å danne det beste helhetlige inntrykket av de ulike plattformene, ville det også vært interessant å ta flere kriterier i betraktning. Gjerne i form av miljøavtrykk, kostnad og tidsbruk.

Litteraturliste

- Applied Imagery. (2022). *Quick terrain modeler*. Hentet 10. november 2022, fra <https://appliedimagery.com/>. (Se s. 31)
- Bratteng, P.-K. (2019, 26. november). (+) *Ny rekord på Trollstigen* [Åndalsnes Avis]. Hentet 28. september 2022, fra <https://www.andalsnes-avis.no/nyheter/i/vOA2bp/ny-rekord-pa-trollstigen>. (Se s. 19)
- Choi, Shin-Kyu. (2020). Advanced data collection and analysis methods using UAV-LiDAR/optical/multi-spectral data for landslide analysis. Hentet 6. oktober 2022, fra <http://library.kaist.ac.kr/search/detail/view.do?bibCtrlNo=956371&flag=dissertation> (se s. 10, 54)
- CloudCompare. (2022). *CloudCompare - Open Source project*. Hentet 10. november 2022, fra <http://www.cloudcompare.org/>. (Se s. 31)
- Dahle & Humstad. (2018, 5. september). *Skred - Naturfarevurdering av Trollstigen* (40143-GEOL-R1). Statens Vegvesen. (Se s. 2, 19, 20, 25, 26).
- Dahle & Humstad. (2019, 20. desember). *Skred - Sikring mot steinsprang og isnedfall på fv. 63 Trollstigevgen* (40143-GEOL-R2). Statens Vegvesen. (Se s. 25).
- Fjord Norway. (2022). *Trollstigen*. Hentet 28. september 2022, fra <https://www.fjordnorway.com/no/destinasjoner/trollstigen>. (Se s. 19)
- Geonorge. (2022, 17. januar). *Produktspesifikasjon: Punktsky 1.0*. Hentet 10. november 2022, fra <https://sosi.geonorge.no/produktspesifikasjoner/Punktsky/1.0/#trueappendix-a-punktsky-klasseinndeling>. (Se s. 17)
- Hellem-Hansen, V. L. (2021, 23. mai). *Stor stein traff bil på veg ned fra Trollstigen: – Det var litt skummelt* [NRK] [Section: dk]. Hentet 4. oktober 2022, fra <https://www.nrk.no/mr/fikk-stor-stein-i-panseret-pa-veg-ned-fra-trollstigen--det-var-litt-skummelt-1.15506653>. (Se s. 19)
- Huising, E. J., & Gomes Pereira, L. M. (1998). Errors and accuracy estimates of laser data acquired by various laser scanning systems for topographic applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 53(5), 245–253. [https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(98\)00013-6](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(98)00013-6) (se s. 8)
- Høydedata. (2022). *DTM/DOM*. Hentet 10. november 2022, fra <https://hoydedata.no/LaserInnsyn2/>. (Se s. 18)
- Inertial Labs. (2022c). *The remote sensing payload instrument - RESEPI* [Inertial labs]. Hentet 3. november 2022, fra <https://inertialabs.com/products/the-remote-sensing-payload-instrument-resepi/>. (Se s. 29)

- Jaboyedoff, M., Oppikofer, T., Abellán, A., Derron, M.-H., Loye, A., Metzger, R., & Pedrazzini, A. (2012). Use of LIDAR in landslide investigations: A review. *Natural Hazards*, 61(1), 5–28. <https://doi.org/10.1007/s11069-010-9634-2> (se s. 2, 85)
- Johansen, S. A. (2019, 18. juni). *Droner kan redde sau fra rovdyr* [NRK] [Section: dk]. Hentet 3. november 2022, fra <https://www.nrk.no/innlandet/sauebonde-bruker-drone-for-a-redde-sau-fra-rovdyr-1.14592101>. (Se s. 29)
- Kartverket. (2022a, 6. august). *Datafangst i krise* [Kartverket.no]. Hentet 6. oktober 2022, fra <https://kartverket.no/geodataarbeid/geovekst/datafangst-i-krise/>. (Se s. 23)
- Kartverket. (2022b, 16. august). *Høydedata og dybdedata* [Kartverket.no]. Hentet 10. november 2022, fra <https://kartverket.no/api-og-data/terrengdata>. (Se s. 17)
- Korsnes, M. K. (2022, 2. juni). *Arbeidsfolk som skulle reparere Trollstigen måtte evakuere etter nytt ras* [NRK]. Hentet 4. oktober 2022, fra <https://www.nrk.no/mr/arbeidsfolk-som-skulle-reparere-trollstigen-matte-evakuere-etter-nytt-ras-1.15988340>. (Se s. 19)
- Liu, C., Liu, X., Peng, X., Wang, E., & Wang, S. (2019). Application of 3D-DDA integrated with unmanned aerial vehicle–laser scanner (UAV-LS) photogrammetry for stability analysis of a blocky rock mass slope. *Landslides*, 16, 1–17. <https://doi.org/10.1007/s10346-019-01196-6> (se s. 29, 84)
- Livox. (2022). *Specs - Avia LiDAR sensor - Livox*. Hentet 7. november 2022, fra <https://www.livoxtech.com/avia/specs>. (Se s. 29)
- Maalen-Johansen, I. (2019, 19. april). *Laserskanning, Power Point (GMLM102, Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet)*. <https://nmbu.instructure.com/courses/3692/files/folder/litteratur?preview=642431>. (Se s. 6)
- Maalen-Johansen, I. (2020, 26. oktober). *Laserskanning frå fly, Power Point (GMFO205, Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet)*. <https://nmbu.instructure.com/courses/5545/pages/forelesningsnotater-og-videoer-2020>. (Se s. 8, 9)
- NGI. (2022). *Steinskred og fjellskred* [Norges Geotekniske Institutt (NGI)]. Hentet 6. oktober 2022, fra <https://www.ngi.no/Tjenester/Fagekspertise/Steinskred-og-fjellskred>. (Se s. 22, 23)
- NGU. (2015, 29. april). *Detaljert scanning av Mannen* [Norges Geologiske Undersøkelse (NGU)]. Hentet 6. oktober 2022, fra <https://www.ngu.no/en/node/2583>. (Se s. 24)
- NGU. (2021, 10. mai). *Steinsprang og steinskred* [Norges Geologiske Undersøkelse (NGU)]. Hentet 6. oktober 2022, fra <https://www.ngu.no/emne/steinsprang-og-steinskred-0>. (Se s. 22, 23)
- NVE. (2015 mai). *Nasjonal beredskapsplan for fjellskred* (ISBN: 9788241010910). NVE. http://publikasjoner.nve.no/rapport/2015/rapport2015_44.pdf. (Se s. 2)

- NVE. (2021, 16. juni). *Steinsprang og steinskred - NVE* [Steinsprang og steinskred]. Hentet 6. oktober 2022, fra <https://www.nve.no/naturfare/laer-om-naturfare/om-skred/steinsprang-og-steinskred/>. (Se s. 22)
- NVE. (2022a). *NVE Temakart*. Hentet 4. oktober 2022, fra <https://temakart.nve.no/>. (Se s. 20)
- NVE. (2022c). *Skredregistrering*. Hentet 9. november 2022, fra <https://www.skredregistrering.no/#Forsiden>. (Se s. 2)
- Politiet. (2022). *Fjellskred* [Politiet]. Hentet 9. november 2022, fra <https://www.politiet.no/rad/beredskap/fjellskred/>. (Se s. 2)
- Regjeringen. (2021, 29. september). *Årsakene til kvikkleireskredet i Gjerdrum 2020*. Hentet 9. november 2022, fra <https://www.regjeringen.no/contentassets/3dad8f7fad94608861163fa524023c0/no/pdfs/arsakene-til-kvikkleireskredet-i-gjerdrum-2020.pdf>. (Se s. 24)
- Reite, T. (2018, 25. april). *Krevjande brøyting av Trollstigen* [NRK]. Hentet 28. september 2022, fra <https://www.nrk.no/mr/krevjande-broyting-av-trollstigen-1.14022833>. (Se s. 19)
- Riegl. (2022a, 26. januar). *RIEGL VQ-1560ii-s datasheet*. Hentet 31. oktober 2022, fra http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegldownloads/RIEGL_VQ-1560II-S_Datasheet_2022-01-26.pdf. (Se s. 28)
- Riegl. (2022b, 26. januar). *RIEGL VUX-1 datasheet*. Hentet 31. oktober 2022, fra http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegldownloads/RIEGL_VUX-1UAV-22_Datasheet_2022-09-14.pdf. (Se s. 28)
- Statens Vegvesen. (2022). *GEOSFAIR* [Statens vegvesen]. Hentet 26. september 2022, fra <https://www.vegvesen.no/fag/fokusomrader/forskning-innovasjon-og-utvikling/pagaende-programmer-og-prosjekter/geosfair/>. (Se s. 2)
- Terrasolid. (2022a, 13. september). *a. Ground Classification* [TerraScan User Guide]. Hentet 27. oktober 2022, fra <https://terrasolid.com/guides/tscan/crground.html>. (Se s. 10)
- Terrasolid. (2022e, 13. september). *e. Hard surface Classification* [TerraScan User Guide]. Hentet 27. oktober 2022, fra <https://terrasolid.com/guides/tscan/crhardsurface.html>. (Se s. 12)
- Terrasolid. (2022g, 13. september). *g. Buildings Classification* [TerraScan User Guide]. Hentet 30. oktober 2022, fra <https://terrasolid.com/guides/tscan/crbuildings.html>. (Se s. 13)
- Terrasolid. (2022i, 13. september). *i. Low points Classification* [TerraScan User Guide]. Hentet 30. oktober 2022, fra <https://terrasolid.com/guides/tscan/crlowpoints.html>. (Se s. 14)
- Terrasolid. (2022m, 13. september). *m. Isolated points Classification* [TerraScan User Guide]. Hentet 30. oktober 2022, fra <https://terrasolid.com/guides/tscan/crisolatedpoints.html>. (Se s. 15)
- Terrasolid. (2022o, 13. september). *o. HFG Classification* [TerraScan User Guide]. Hentet 30. oktober 2022, fra <https://terrasolid.com/guides/tscan/crbyheightfromground.html>. (Se s. 15)

- Terrasolid. (2022q, 13. september). *q. Absolute Elevation Classification* [TerraScan User Guide]. Hentet 30. oktober 2022, fra <https://terrasolid.com/guides/tscan/crbyabsoluteelevation.html>. (Se s. 16)
- Terratec AS. (2022b). *Bilbåren laserskanning* [Terratec AS]. Hentet 31. oktober 2022, fra <https://terratec.no/tjenester/bilbaaren-laserskanning/>. (Se s. 4)
- Terratec AS. (2022c). *Klassifisert punktsky* [Terratec AS]. Hentet 10. november 2022, fra <https://terratec.no/tjenester/kartleggingstjenester/klassifisert-punktsky/>. (Se s. 17)
- Terratec AS. (2022d). *Laserskanning* [Terratec AS]. Hentet 31. oktober 2022, fra <https://terratec.no/tjenester/landmaaling/laserskanning/>. (Se s. 4)
- Terratec AS. (2022e). *Laserskanning av bygg* [Terratec AS]. Hentet 31. oktober 2022, fra <https://terratec.no/tjenester/laserskanning-av-bygg/>. (Se s. 4)
- TV 2, T. 2. (2022, 3. november). *Tidoblet antall droneoppdrag for politiet - ikke satt inn tiltak* [TV 2]. Hentet 3. november 2022, fra <https://www.tv2.no/nyheter/innenriks/tidoblet-antall-droneoppdrag-for-politiet-ikke-satt-inn-tiltak/15215291/>. (Se s. 29)
- Urke, E. H. (2021, 16. september). *Droneselskap fra Sandnes får storkontrakt – skal inspisere amerikanske kraftlinjer* [Tu.no]. Hentet 3. november 2022, fra <https://www.tu.no/artikler/droneselskap-fra-sandnes-fikk-storkontrakt-skal-inspisere-amerikanske-kraftlinjer/513455>. (Se s. 29)
- Vosselman & Maas. (2010b). *Airborne and Terrestrial Laser Scanning, Kapittel 1: Laser Scanning Technology*. Whittles Publishing. (Se s. 3, 5, 7).
- Vosselman & Maas. (2010c). *Airborne and Terrestrial Laser Scanning, Kapittel 3: Registration and Calibration*. Whittles Publishing. (Se s. 5, 8).
- Aarsten, D. (2021a, 13. oktober). *a. Forelesning 5, Power Point* [GMBB300, Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet]. <https://nmbu.instructure.com/courses/7159/files/folder/Forelesninger/Forelesning%205?preview=1387547>. (Se s. 3)
- Aarsten, D. (2021b, 14. september). *b. Forelesning 2, Power Point* [GMFO320, Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet]. https://nmbu.instructure.com/courses/7163/files/folder/Forelesninger/Forelesning_2?preview=1355593. (Se s. 3)
- Aarsten, D. (2021c, 5. april). *c. 3D data- og filformater, Power Point* [GMFO310, Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet]. https://nmbu.instructure.com/courses/7748/files/folder/Forelesningsnotater_2021?preview=1459463. (Se s. 17)

Figurreferanser

Emilie L. Marifjæren. (2021, 16. november). *GMFO320, Øving 3 [Upublisert øvingsoppgave innlevert i GMFO320]. Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet.* (Se s. 24).

Google Earth. (2022). *Utklipp av Trollstigen.* Hentet 11. oktober 2022, fra https://earth.google.com/web/search/Trollstigen,+%c3%85ndalsnes/@62.4680442,7.67004268,231.63178505a,5942.11494534d,35y,-1.56649047h,34.04522061t,0r/data=CoIBGlgSUGolMHg0NjE0MGU3MmJm7391U4QBE_JM7391U4wBIRW-X9mF1EQCHTt6um25lQwA. (Se s. 21)

Harald Duklæt. (2022). *Byahalla Natursti.* Hentet 11. oktober 2022, fra https://v1.steinkjerkunnskapsportal.no/byahalla/index.php?art_id=842. (Se s. 23)

Inertial Labs. (2022a). *Inertial Labs Payload.* (Se s. 29).

Inertial Labs. (2022b). *Livox Avia.* (Se s. 29).

Jørn-Arne Tomasgard. (2016, 9. mars). *Flodbølga som knuste bygda.* Hentet 10. oktober 2022, fra <https://www.bt.no/btmagasinet/i/4vEzq/flodboelgja-som-knuste-bygda>. (Se s. 23)

Kåre Strande. (2020, 6. juni). *(+) – Hadde steinspranget blitt utløst på et annet tidspunkt, kunne det ha fått fatale konsekvenser.* Hentet 5. oktober 2022, fra <https://www.avisavaldres.no/5-54-474170>. (Se s. 22)

Norge i bilder. (2018). *Norge i bilder, Møre 2018.* Hentet 7. november 2022, fra <https://norgeibilder.no/>. (Se s. 54)

NVE. (2022b). *NVE Temakart.* Hentet 4. oktober 2022, fra <https://temakart.nve.no/>. (Se s. 20)

Sahan, M. (2022). *Installert sensor L505.* (Se s. 28).

Steinar Fresvik. (2022, 19. juli). *Startar opninga av riksveg 13 i Hardanger — Statens vegvesen.* Hentet 5. oktober 2022, fra <https://kommunikasjon.ntb.no/pressemelding/startar-opninga-av-riksveg-13-i-hardanger?publisherId=17847490&releaseId=17937830>. (Se s. 22)

Steinar Myhr. (2020, 6. august). *Trollstigveien.* Hentet 28. september 2022, fra <https://snl.no/Trollstigveien>. (Se s. 19)

Terrasolid. (2022b, 13. september). *b. Ground Classification Parameters.* Hentet 30. oktober 2022, fra <https://terrasolid.com/guides/tscan/images/ground.jpg>. (Se s. 11)

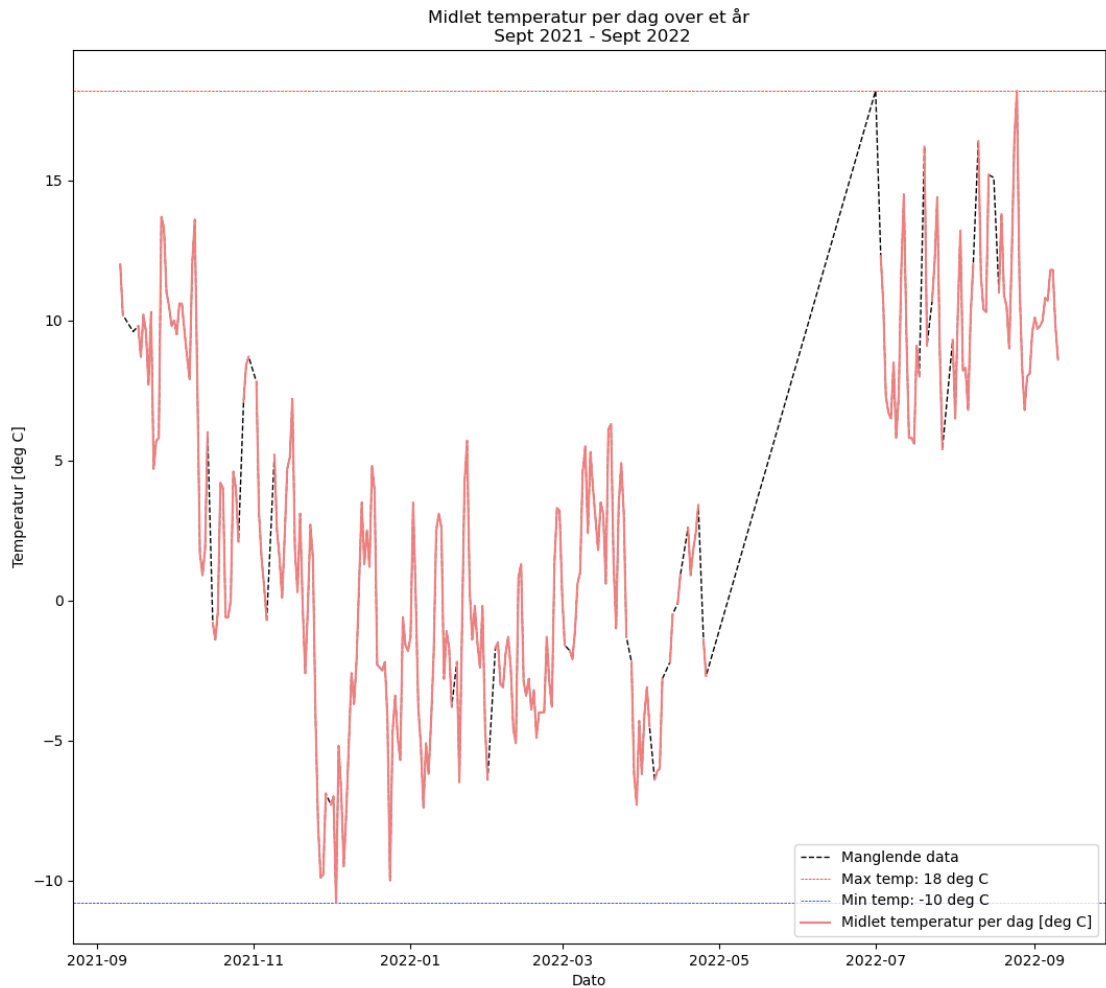
Terrasolid. (2022c, 13. september). *c. Ground Classification Angle.* Hentet 30. oktober 2022, fra https://terrasolid.com/guides/tscan/images/ground_angle.jpg. (Se s. 11)

Terrasolid. (2022d, 13. september). *d. Ground Classification Distance.* Hentet 30. oktober 2022, fra https://terrasolid.com/guides/tscan/images/ground_distance.jpg. (Se s. 11)

-
- Terrasolid. (2022f, 13. september). *f. Hard surface Classification Parameters*. Hentet 30. oktober 2022, fra <https://terrasolid.com/guides/tscan/images/hardsurface.jpg>. (Se s. 12)
- Terrasolid. (2022h, 13. september). *h. Buildings classification Parameters*. Hentet 30. oktober 2022, fra <https://terrasolid.com/guides/tscan/images/buildings.jpg>. (Se s. 13)
- Terrasolid. (2022j, 13. september). *j. Low points Parameters*. Hentet 30. oktober 2022, fra <https://terrasolid.com/guides/tscan/images/lowpoints.jpg>. (Se s. 14)
- Terrasolid. (2022k, 13. september). *k. Low points Single*. Hentet 30. oktober 2022, fra https://terrasolid.com/guides/tscan/images/lowpoints_single.jpg. (Se s. 14)
- Terrasolid. (2022l, 13. september). *l. Low points Group*. Hentet 30. oktober 2022, fra https://terrasolid.com/guides/tscan/images/lowpoints_group.jpg. (Se s. 14)
- Terrasolid. (2022n, 13. september). *n. Isolated points Parameters*. Hentet 30. oktober 2022, fra <https://terrasolid.com/guides/tscan/images/isolatedpoints.jpg>. (Se s. 15)
- Terrasolid. (2022p, 13. september). *p. HFG Classification Parameters*. Hentet 30. oktober 2022, fra <https://terrasolid.com/guides/tscan/images/byheightfromground.jpg>. (Se s. 15)
- Terrasolid. (2022r, 13. september). *r. Absolute Elevation Classification Parameters*. Hentet 30. oktober 2022, fra <https://terrasolid.com/guides/tscan/images/byabsoluteelevation.jpg>. (Se s. 16)
- Terratec AS. (2022a). Hentet 7. november 2022, fra <https://terratec.no/>. (Se s. 4)
- Vosselman & Maas. (2010a). *Airborne and Terrestrial Laser Scanning*. (Se s. 5–7).

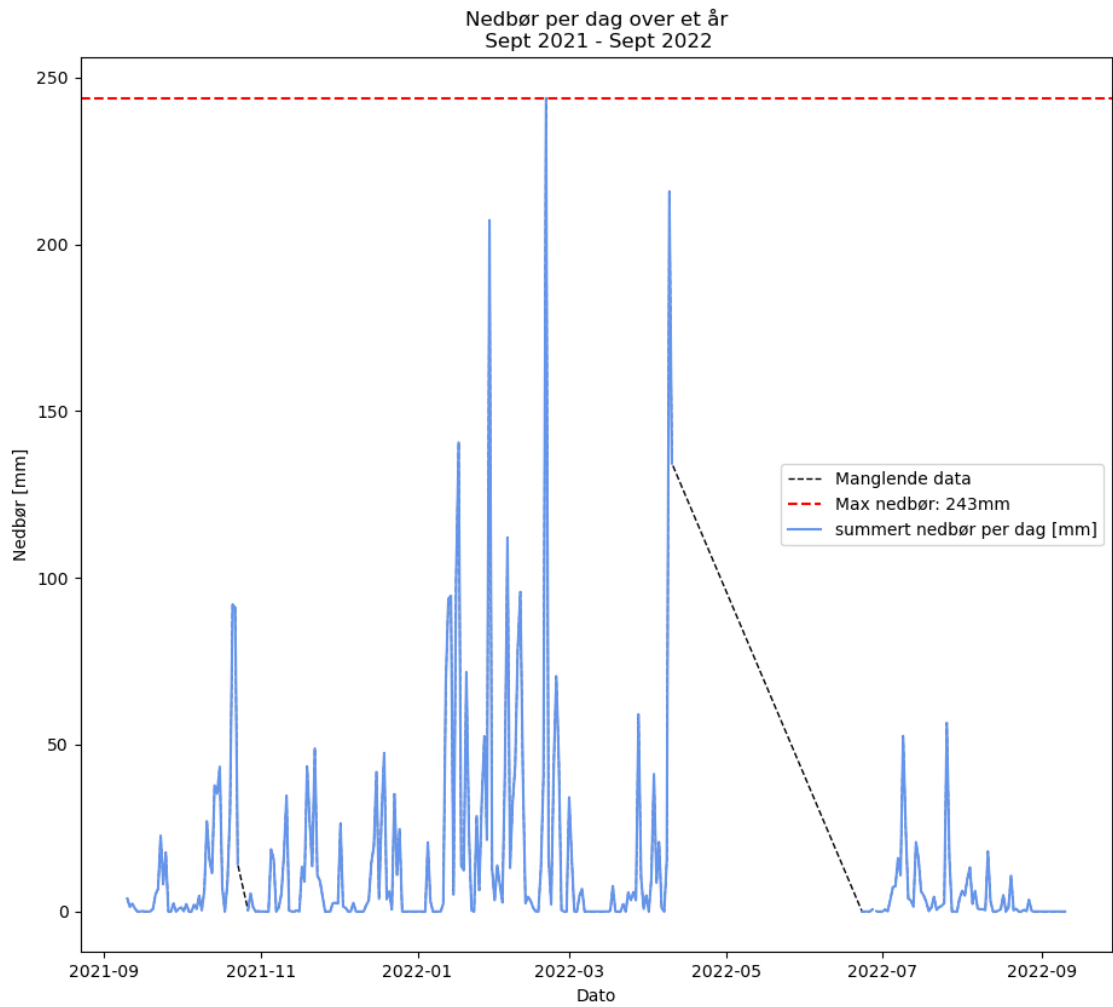
Vedlegg

Vedlegg 1



Figur 6.1: Midlet temperatur per dag over ett år (Sept 2021 - Sept 2022)
Figuren er produsert med eget pythonscript vha. Frost API.¹

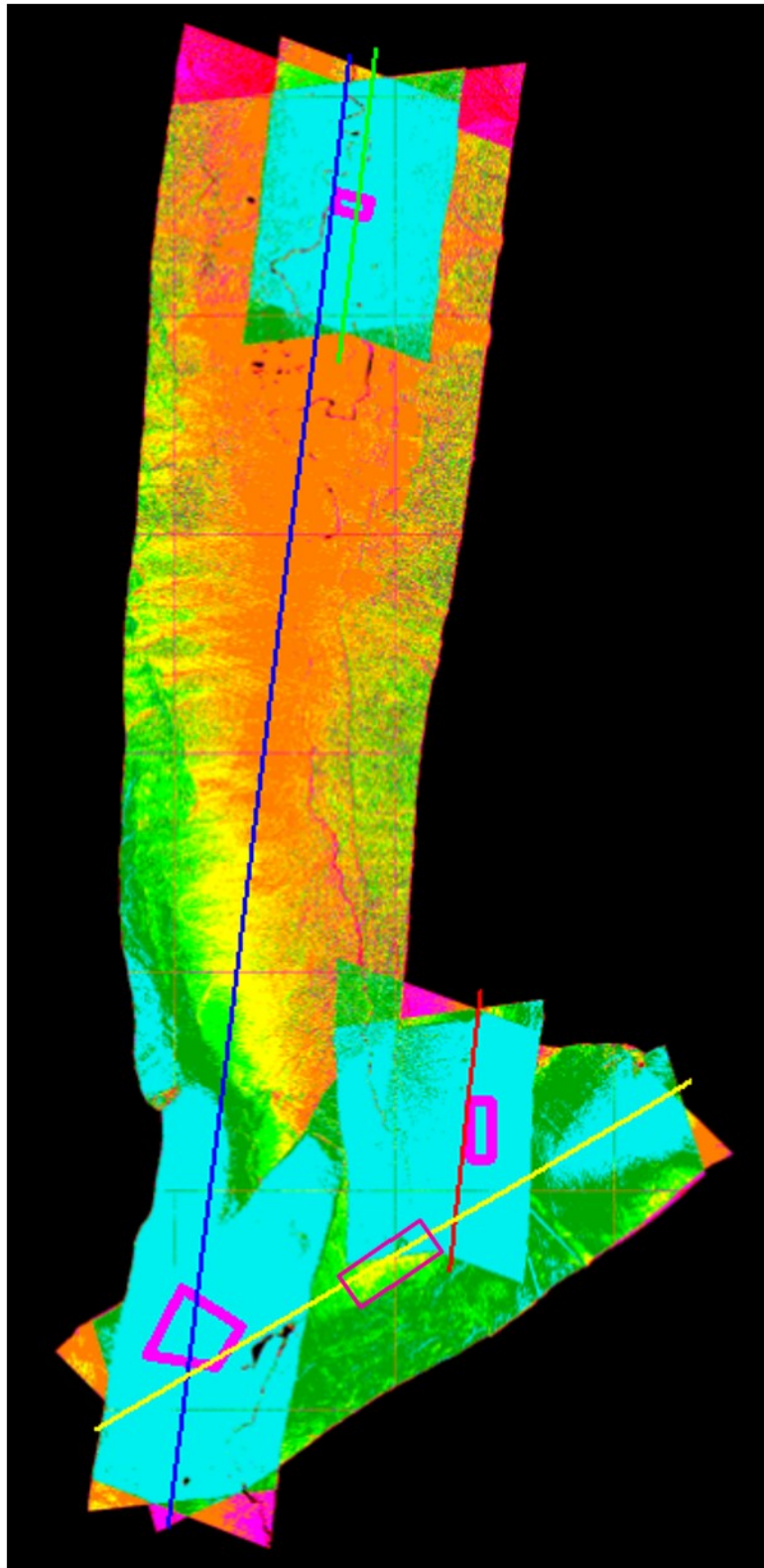
Vedlegg 2



Figur 6.2: Nedbør per dag over ett år (Sept 2021 - Sept 2022)
Figuren er produsert med eget pythonscript vha. Frost API.¹

¹Frost API gir gratis tilgang til Meteorologisk Institutt sine arkiver for vær- og klimadata

Vedlegg 3



Figur 6.3: Tetthetsplot for laserdata fra fly med områdeavgrensningene

5.2. Luftbåren Topografisk LiDAR

Klassisk luftbåren LiDAR.

Krav til datafangst, prosessering og leveranse er utfyllende beskrevet i PaBG.

Tabell 2. Luftbåren Topografisk LiDAR

Kategorier		Høy	Middels	Minimum	Egendefinert
Kategori ID		Psky_1_ALS_A	Psky_1_ALS_B	Psky_1_ALS_C	Psky_1_ALS_E
Vertikal Nøyaktighet	Standardavvik (1 sigma)	0,03	0,04	0,04	Egendefinert
Vertikal Nøyaktighet	Systematisk	0,05	0,10	0,10	Egendefinert
Horisontal Nøyaktighet	Standardavvik (1 sigma)	0,05	0,10	0,20	Egendefinert
Horisontal Nøyaktighet	Systematisk	0,15	0,30	0,30	Egendefinert
Maksimum Punktavstand		0,32	0,45	0,70	Egendefinert
Maksimum Fotavtrykk	(1/e2)	0,20	0,50	2,00	Egendefinert
Maksimum Skannevinkel	pluss / minus	20	20	20	Egendefinert
Obligatoriske Klasser		1+2+7+17+21	1+2+7+17+21	1+2+7+17+21	1+7
NHM Oppdateres		Ja	Ja	Ja	Nei

14. Appendix A: Punktsky Klasseinndeling

Alle punkt, uavhengig sensortype og kategori, skal klassifiseres i henhold til følgende skjema som baserer seg på [LAS Specification 1.4 - R15](#). Benyttes andre klasser enn de som er omhandlet i tabellen skal disse legges mellom 64 og 256.

Tabell 9. ASPRS Standard Punktklasser

Klasse	ASPRS Beskrivelse	Beskrivelse	
0	Created, never classified	Aldri Klassifisert	Skal ikke leveres.
1	Unclassified	Uklassifisert	Alle punkt som ikke er aktivt klassifisert.
2	Ground	Terreng	Punkt på bakke. Hvis ikke klasse 9 (vann) er benyttet skal alle punkt på vannoverflate til bakkeklasse. Faste store steiner skal klassifiseres til bakke. Løse steiner og steiner som er løsmasser etter ras klassifiseres til klasse 1 (uklassifisert).
3	Low Vegetation	Lav Vegetasjon	Punkt på lav vegetasjon (Definerende høyde må spesifiseres per prosjekt).
4	Medium Vegetation	Middels Vegetasjon	Punkt på middels vegetasjon (Definerende høyde må spesifiseres per prosjekt).
5	High Vegetation	Høy Vegetasjon	Punkt på høy vegetasjon (Definerende høyde må spesifiseres per prosjekt).
6	Building	Bygning	Punkt på bygningskropp.
7	Low Point (Noise)	Støy	Støypunkt forårsaket av skyer, fugler, "multipath". Klassen omfatter unormalt høye og lave punkt (spikere).
8	Model Key-Point (mass point)		Skal ikke leveres.
41	Watersurface Bathy	Vannoverflate	Punkter på vannoverflate. Vannflater større enn 100m ² og elver bredere enn 3m skal registreres (FKB-C)
10	Rail	Jernbane	Punkt på jernbanespor.
11	Road Surface	Vegbane	Punkt innenfor vegbane.
12	Overlap Points	Overlappunkt	Skal ikke leveres.
13	Wire Guard	Ledning - Beskyttelse	Jordingslinje (Fargelegges #D7191C, ref figur).
14	Wire Conductor	Ledning	Luftledning (Fargelegges #FDAE61, ref figur).

Klasse	ASPRS Beskrivelse	Beskrivelse	
15	Transmission Tower	Mast	Mast (Fargelegges #ABD9E9, ref figur).
16	Wire-Structure	Ledning - Kobling (isolasjon)	Skal ikke leveres.
17	Bridge-Deck	Brodekke	Minstemål for klassifisering er 10 m ² . Alle punkter på selve brodekket skal klassifiseres til bro (Klasse 17). Alle andre punkter på bro skal klassifiseres til uklassifisert (1) eller korrekt klasse i eventuell opsjon.
18	High Noise	Støy Høy	Skal ikke leveres.
19	Overhead Structure		Markør Luftspenn (Fargelegges #2C7BB6).
20	Ignored Ground		Skal ikke leveres.
21	Snow	Snø	Punkter innenfor snøflater større enn 1000m ² skal klassifiseres til 'Snø'.
22	Temporal Exclusion	Temporalt Utelukket	I overlappen mellom to flater med tidsbestemt nivåforskjell kan klasse 22 benyttes til å isolere det ene nivået. Eksempel på tidsbestemt endring er snøsmelting og forskjellig vannstand.
23	Reserved		
24	Reserved		
25	Reserved		
26	Reserved		
27	Reserved		
28	Reserved		
29	Reserved		
30	Reserved		
31	Reserved		
32-39	Reserved		
40	Seafloor Bathy	Havbunn	Punkt som faller på sjøbunn eller elvebunn.
41	Watersurface Bathy	Vannoverflate	Punkter på vannoverflate.
42	Watersurface Derived	Vannoverflate Generert	Genererte punkt på vannoverflate som er benyttet i beregning av refraksjon.
43	Object - Submerged	Marin Vegetasjon	Må defineres per prosjekt.



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway