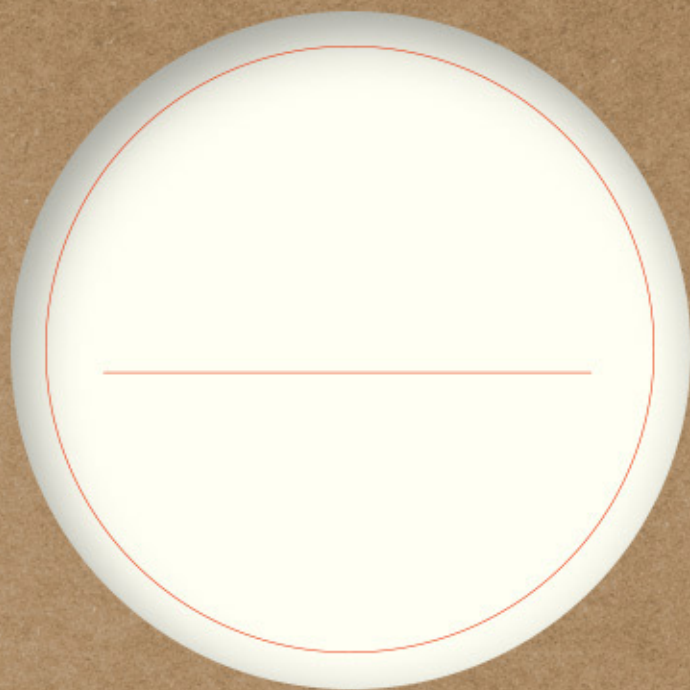




GEOLOGI FOR SAMFUNNET

SIDEN 1858



NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE
· NGU ·



Rapport nr.: 2017.019		ISSN: 0800-3416 (trykt) ISSN: 2387-3515 (online)		Gradering: Åpen	
Tittel: 3D-modellering og visualisering av Klevan skiferbrudd, Oppdal Sten A/S, Oppdal, Sør-Trøndelag.					
Forfatter: Espen Torgersen, Iain H.C. Henderson, Morgan Ganerød			Oppdragsgiver: Oppdal Sten A/S		
Fylke: Sør-Trøndelag			Kommune: Oppdal		
Kartblad (M=1:250.000) Røros			Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)		
Forekomstens navn og koordinater:			Sidetall: 21 Kartbilag:		Pris: 130
Feltarbeid utført: 15.09.2016		Rapportdato: 27.03.2017		Prosjektnr.: 371300	
				Ansvarlig: 	
Sammendrag: Denne rapporten dokumenterer en ny metode i Norge for å modellere og visualisere mineralforekomster, og bruker Oppdal stein som et av de første eksemplene. Metoden går ut på å lage en detaljert terrengmodell, med tilhørende rektifiserte bilder, og å integrere denne med geologiske data for å skape en helhetlig geoterrengmodell. I utgangspunktet lages terrengmodellen med fotogrammetri fra bilder tatt fra drone med GPS. Totalt ble det brukt 223 bilder over bruddet og den fotogrammetriske modellen ble laget i programvaren <i>Agisoft Photoscan Professional</i>. Programmet laget først en punktsky og deretter en wireframe-mesh som ble importert inn i programvaren <i>3D MOVE</i> for videre geologisk arbeid. To soner med høykvalitets skifer og/eller hellestein ble kartlagt grovt i felt og overført til <i>3D MOVE</i>. Basert på flere foliasjonsmålinger ble 3D-overflater av toppen og bunnen av de interessante natursteinssonene konstruert. Vi har laget produkter som kan være til nytte for kunden, deriblant en full-digital 3D-modell levert med <i>3D MOVE VIEWER</i> og høydekotekart med dybde til topp og bunn av de to natursteinssonene. Selv om den geologiske tolkningen i dette prosjektet er svært forenklet, illustrerer disse produktene nytteverdien ved denne typen 3D-modellering. Modellen kan forbedres og testes ved implementering av mer detaljert kartlegging og eksisterende borehullsdata. Dette arbeidet representerer en av de første gangene en droneydd høydemodell har blitt integrert med 3D geologiske data for å lage en detaljert og integrert høyde-geologisk modell og er på den måten enestående i Norge. Prosjektet er del-finansiert av Mineralklynge Norge					
Emneord: 3d		terrengmodell		fotogrammetri	
drone		Oppdal Sten AS		Klevan skiferbrudd	

INNHold

1. INNLEDNING	7
2. METODIKK.....	8
2.1 Utstyr	8
2.2 Fotogrammetriske prinsipper.....	9
2.3 Usikkerhet i modellen.....	12
3. RESULTATER	14
4. PRODUKTER FRA 3D-MODELLEN	17
4.1 Modell levert i 3D MOVE VIEWER	17
4.2 Dybdekart	17
5. KONKLUSJONER	20
6. ANBEFALNINGER FOR VIDERE ARBEID	21

FIGRuer

Figur 1: Drone brukt til å skaffe GPS rektifiserte bilder fra luften: DJI Phantom 4.....	8
Figur 2: Kontrollenhet til dronen med tilhørende Ipad	8
Figur 3: Prinsippet med oppbygging av 3D terrengmodell fra dronebilder.....	9
Figur 4: Automatisk flyruteplanlegging i ArcGIS.	10
Figur 5: Skjerm bilde fra Litchi applikasjonen	10
Figur 6: Oppbygging av terrengmodell med programvaren Agisoft Photoscan.	11
Figur 7: Skjerm bilde av ferdig terrengmodell i 3D MOVE.....	12
Figur 8: Oppsummering av arbeidsflyten ved NGU	12
Figur 9: Oversikt over Klevan skiferbrudd.	14
Figur 10: Feltbilder representative for god (A) og dårlig (B) natursteinskvalitet.....	15
Figur 11: Kartlagte avgrensninger av de to sonene med høy natursteinskvalitet.....	16
Figur 12: Bruddet sett i 3D MOVE fra sør med tolkede avgrensninger.	16
Figur 13: Utsnitt fra 3D MOVE VIEWER.....	17
Figur 14: Dybdekart til toppen av østre natursteinssone.....	18
Figur 15: Dybdekart til bunnen av østre natursteinssone.....	18
Figur 16: Dybdekart til toppen av vestre natursteinssone.....	19
Figur 17: Dybdekart til bunnen av vestre natursteinssone.....	19

TABELLER

Tabell 1: Målinger av skifrihetens orientering med koordinater i UTM 32N.....	15
---	----

1. INNLEDNING

Denne rapporten inngår i et nytt prosjekt på NGU som heter '*3D-modellering og visualisering av forekomster med 3D MOVE og UAV teknologi*'. Med UAV menes "*Unmanned Aerial Vehicle*", i dette tilfellet en drone. Dette er en ny metode i Norge for å modellere og visualisere mineralforekomster, og NGU bruker Klevan skiferbrudd til Oppdal Sten A/S på Oppdal som et av de første eksemplene. Metoden går ut på å lage en detaljert terrengmodell med tilhørende rektifiserte bilder for å lage en 3D-modell av topografien. Deretter integreres denne med geologiske data for å skape en helhetlig geologisk terrengmodell. I utgangspunktet lages terrengmodellen med fotogrammetri fra bilder tatt fra drone med GPS. Totalt ble det i dette prosjektet brukt 223 bilder over selve bruddet for å lage terrengmodellen. Den fotogrammetriske modellen ble laget i programvaren *Agisoft Photoscan Professional*, hvor først en punktsky og deretter en wireframe-mesh ble produsert. Denne modellen ble importert inn i programvaren *3D MOVE* for videre geologisk arbeid. Det laget 3D overflater av toppen og bunnen til de interessante natursteinslagene. Dette utgjør konstruksjonen av den kombinerte terreng-geologiske 3D-modellen for forekomsten. I tillegg har ulike nyttige 2D og 3D produkter blitt laget fra modellen. Volumberegning er gjort på de tre lagene innenfor et avgrensende område hvor det er informasjon fra borehull.

I tillegg er en 3D-modell levert til kunden som kan visualiseres med programvaren *3D MOVE VIEWER*. 2D produkter består av dybdeberegninger til toppen og bunnen av de forskjellige interessante natursteinslagene. Disse produktene bør bidra til en bedre forståelse av geologien i forekomsten direkte under bakken i bruddet og bør bidra signifikant til fremtidig drift av forekomsten.

Dette arbeidet er den første gang at en droneflydd høydemodell har blitt integrert med 3D geologiske data for å lage en detaljert og integrert høyde-geologisk modell, og er på den måten enestående i Norge. Prosjektet er del-finansiert av Mineralklynge Norge som et forprosjekt som ble avsluttet 31.12.16. Resultatene fra dette delprosjektet og de andre delprosjekter ble presentert for Mineralklynge Norge på sitt medlemsmøte 17-18 januar 2017.

2. METODIKK

Proessen med å komme fra bilder til en integrert topografisk-geologisk modell er ganske lang og mesteparten av utviklingsinnsatsen har gått til å etablere og dokumentere en systematisk arbeidsflyt. Denne prosessen skal kun oppsummeres her og vises visuelt i Figur 8.

2.1 Utstyr

Vi bruker DJI sin Phantom 4 drone (Figur 1) som er styrt fra en kontrollenhet med nettbrett og applikasjonen Litchi (Figur 2).



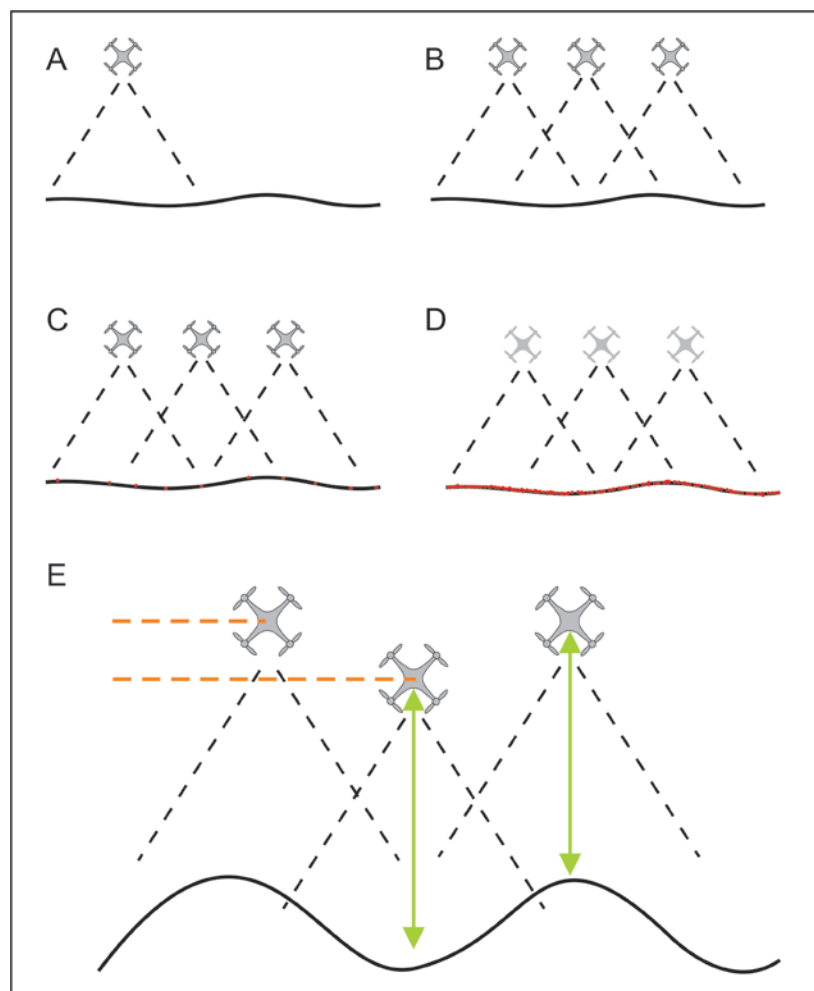
Figur 1: Drone brukt til å skaffe GPS rektifiserte bilder fra luften: DJI Phantom 4.



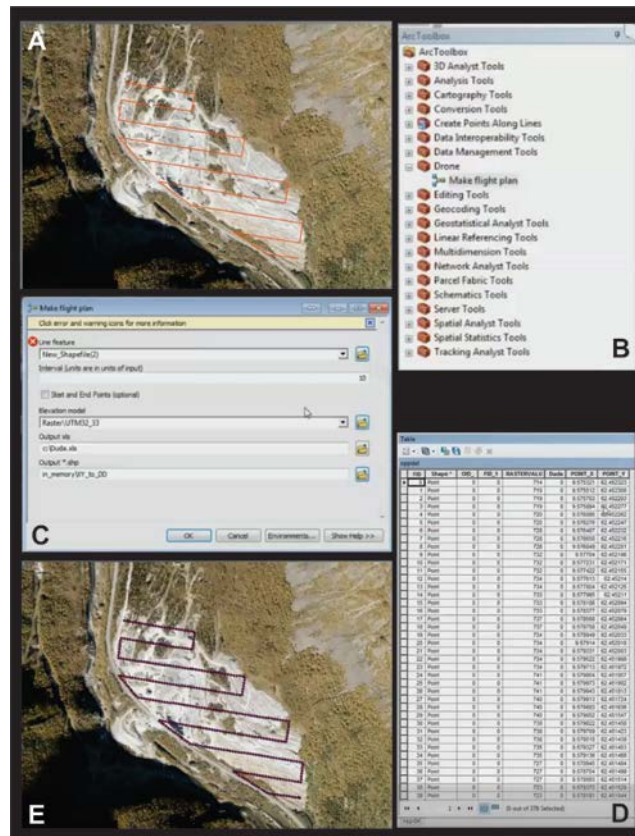
Figur 2: Kontrollenhet til dronen med tilhørende Ipad som brukes til å fjernstyre dronen fra Litchi applikasjonen.

2.2 Fotogrammetriske prinsipper

Prinsippet med å bygge 3D terrengmodeller fra bilder tatt fra drone er relativt enkel og godt dokumentert, og er brukt forskjellige steder i verden. 'Structure from motion' beskriver det som den avanserte programvaren må gjøre for å sammenligne bilder med minst 60 % overlapp og plukke ut identiske piksler (Figur 3). Det finnes mange ulike programvarer på markedet for å lage slike 3D-modeller, men vi har valgt *Agisoft Photoscan Professional*. Når dette gjøres på veldig mange punkter over en rekke med bilder, klarer programvaren å kalkulere både avstand til punktene fra hver enkelt kameraposisjon, men også avstand og retning til hvert eneste punkt. Ut i fra dette lages en punktsky (Figur 6a-d) som er grunnlaget for en 'mesh' (wireframe), og utgjør gjør basisen for terrengmodellen. Etterpå draperes bildene som er tatt fra drone på terrengmodellen. Minimum 60 % overlapp av bildene er kritisk for å lage en sammenhengende modell. I Norge, hvor vi har et veldig varierende terreng, er det en fordel med forhåndsprogrammerte XYZ punkter for å bevare nødvendige overlapp. Dette gjør vi med en egen skreddersydd verktøyskasse i ArcGIS (Figur 4), som lager en XYZ.csv-fil som overføres til Litchi-applikasjonen på Ipaden (Figur 5).



Figur 3: Prinsippet med oppbygging av 3D terrengmodell fra dronebilder.

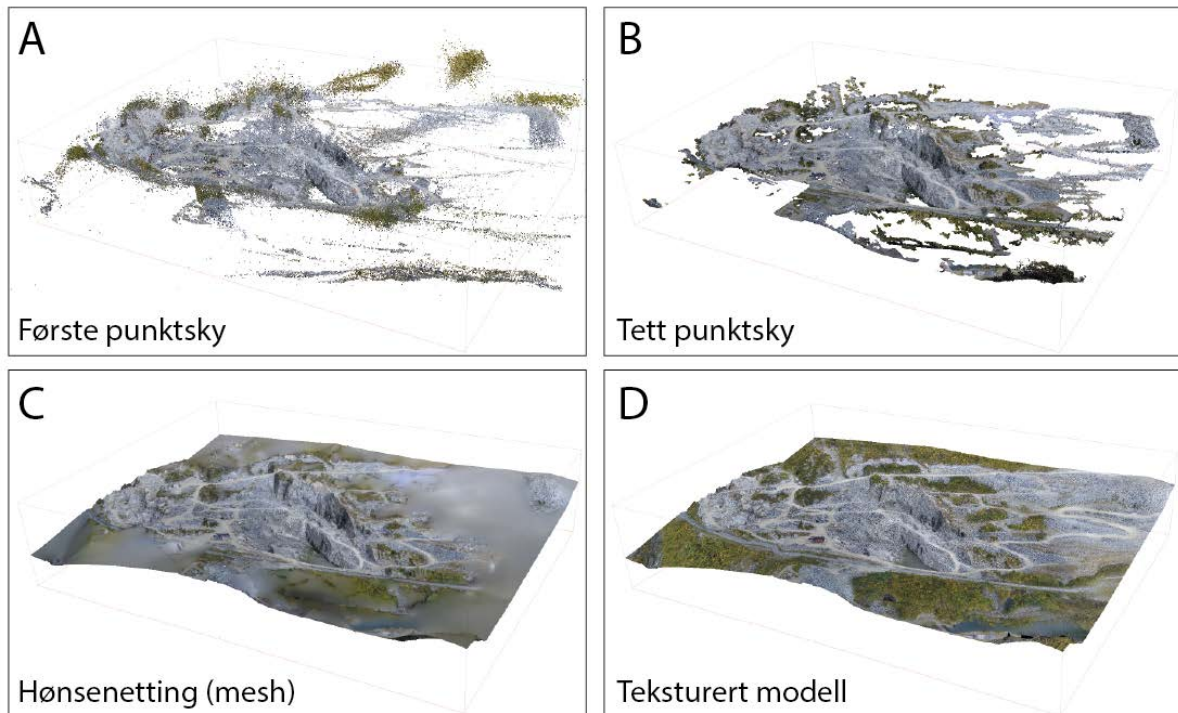


Figur 4: Automatisk flyruteplanlegging i ArcGIS. Dette produserer en .csv fil med XYZ punkter som lastes opp til dronen.



Figur 5: Skjerm bilde fra Litchi applikasjonen som automatisk styrer posisjonen til dronen i luften.

Figur 6a viser den første, lette punktskyen som *Agisoft Photoscan Professional* har brukt til å koordinat- og vinkelfeste de 223 bildene som er benyttet. Etter en innledende lettpunktsky beregner programvaren en tettere punktsky hvor bakken begynner å tydes (Figur 6b). Ut i fra denne punktsky lages en overflate (høydemodell) som vises i Figur 6c. Tilslutt blir de GPS-festete bildene drapert over høydemodellen, for å avslutte den konstruksjon av overflatemodellen (Figur 6d).



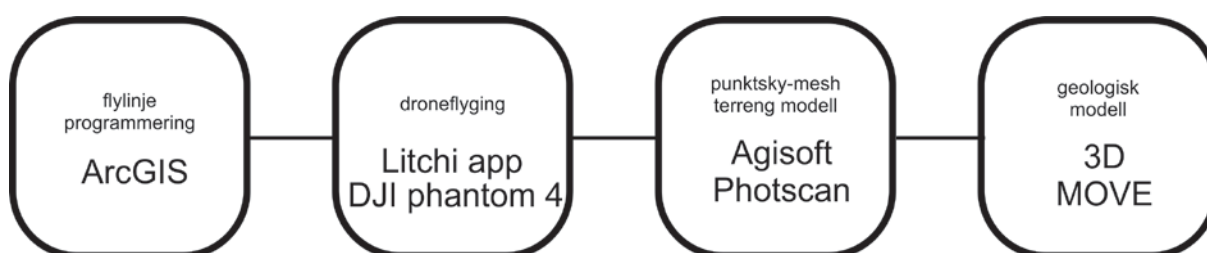
Figur 6: Oppbygging av terrengmodell med programvaren Agisoft Photoscan. A- Den første punktskyen antyder overflaten og representerer punktene som programmer har brukt til å koordinat- og vinkelfeste bildene. I første omgang på dette bildet er det 551 961 punkter. B- Tett punktsky. Punktene er så tette at det ser ut som en overflate. Her har datamaskinen beregnet i overkant av 62 millioner punkter. C- Terrengmodel laget ut i fra tettpunktskyen. Her er det 7 millioner overflater og 3,5 millioner vertekser. D- Ferdig høydemodell med bilder.



Figur 7: Skjerm bilde av ferdig terrengmodell i 3D MOVE klar for innlegging av geologiske data.

Terrengmodellen som er laget inn i *Agisoft Photoscan Professional* blir eksportert som .obj *Wavefront* filer, og disse er importerbar i 3D MOVE (Figur 7). Dette er en programvare designet for geologer og tillater geologisk modellering gjennom oppbygging av komplekse geologiske geometrier og innføring av 2D kart, profiler og borehull.

Figur 8 viser en kort oppsummering av arbeidsflyten utviklet for terreng-geologiske 3D-modeller ved NGU.



Figur 8: Oppsummering av arbeidsflyten ved NGU for å lage 3D topografisk-geologiske modeller fra bilder.

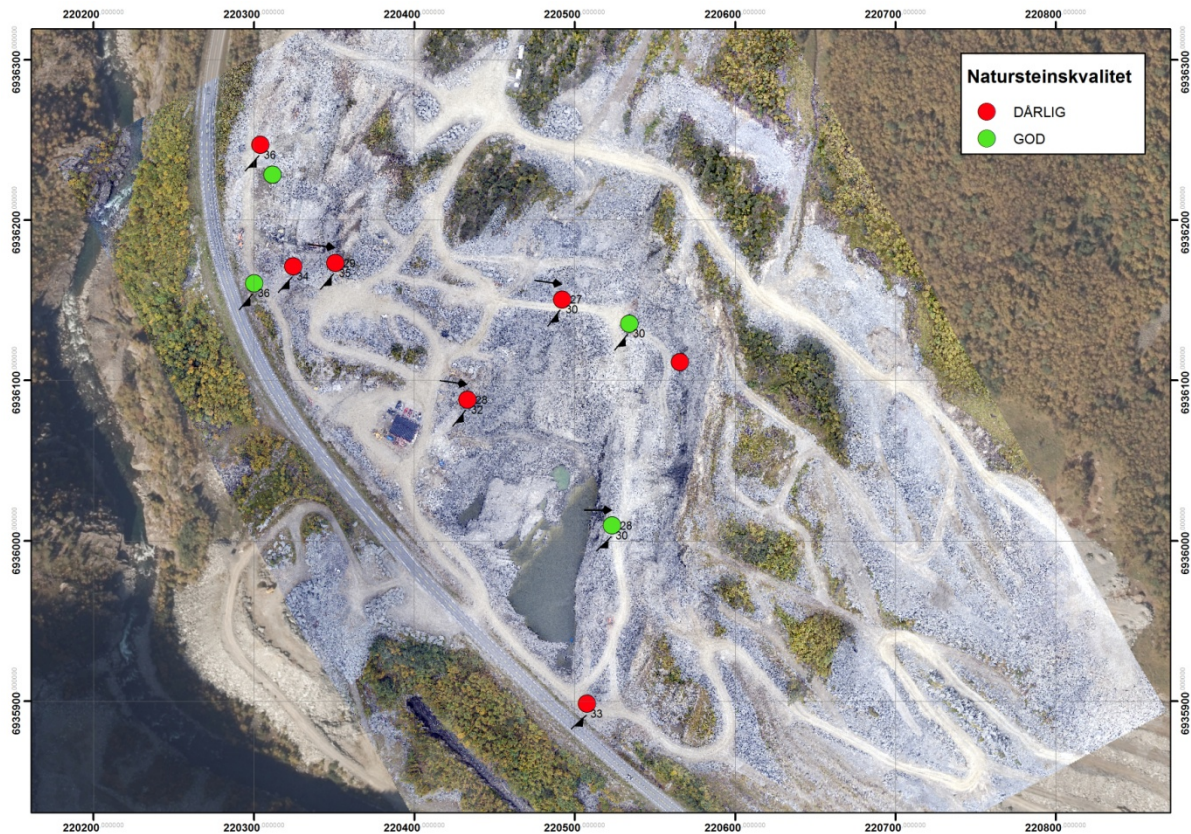
2.3 Usikkerhet i modellen

Det er flere usikkerheter i modellen som både geologer og brukere bør være klar over. Noen usikkerhetsmomenter er enkle å beregne og ta høyde for, mens andre er vanskeligere å kvantifisere. Konstruksjon av topografi fra drone er basert på data fra dronens GPS-enhet, som kartlegger XYZ i lengde- og breddegrader for hvert bilde som er tatt. Etter flere

testrunder vet vi at XY verdiene er meget presise og er reproduerbare ned til mindre enn 1 meter. Z-verdiene er vesentlig mindre pålitelige og vi ser at disse kan være opp til flere meter feil. Andre usikkerhetsmomenter i de geologiske data kan være vanskeligere å beregne. Informasjon fra kartleggingen på overflaten anses som sikker, mens tolkning av geologien nedover i dypet er mindre sikker og i denne studien kun støttet av strukturmålinger på overflaten. Derfor er den geologiske 3D-tolkningen beheftet med usikkerhet og bør betraktes som en grov indikasjon. Disse usikkerhetene er vanskelige å kvantifisere men må betraktes som en vanlig usikkerhet ved geologisk tolkningsarbeid.

3. RESULTATER

Klevan skiferbrudd til Oppdal Sten A/S på Oppdal har vært et av tre testområder for dette prosjektet. Det er flere grunner for å bruke nettopp dette bruddet som testområder, inkludert lett tilgjengelighet, overkommelig størrelse, relativt enkel geologi og et ønske fra Oppdal Sten A/S om å kunne øke kunnskap om geologien og forbedre driften.



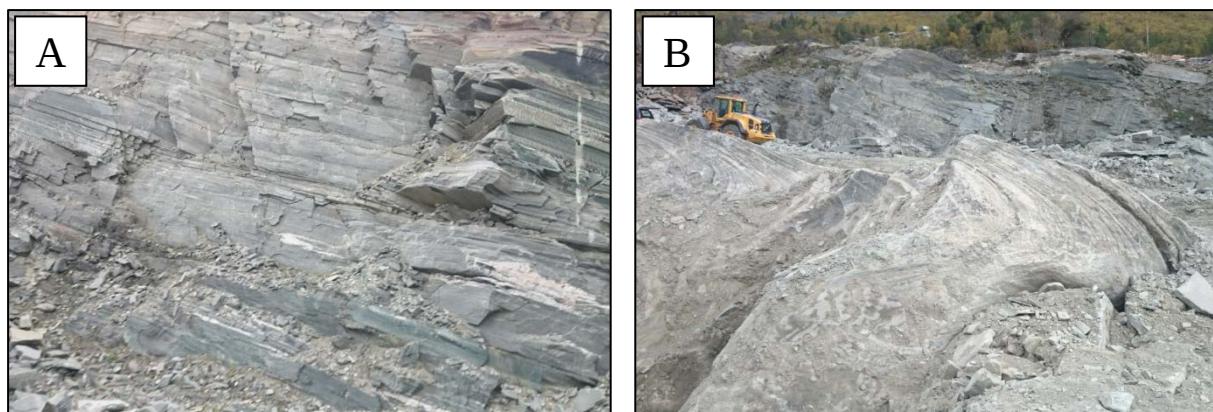
Figur 9: Oversikt over Klevan skiferbrudd. Sammensatt mosaikk av flybilder fra drone vises over Norge i Bilder. Observasjonspunkt og strukturmålinger gjort i bruddet er indikert. Koordinater i UTM 32N.

Figur 9 viser et sammensatt flybilde av bruddet som er ca. 500m lang, ca. 250m bredt og orientert NV–SØ. Bruddet består av sterkt foliert glimmer-rik sandstein som faller konsekvent med 30 grader mot ØSØ (Figur 10 og

Tabell 1). I bruddet er det identifisert to 25-90 m tykke soner hvor sandsteinen har fysiske egenskaper som gjør den til spesielt god naturstein. God natursteins kvalitet er i Klevan lettest gjenkjent ved at bergarten har en lys farge og er relativt kompetent. I motsetning består de dårlige sonene av mørk grå, båndet, sterkt foliert kvarts-feltspatskifer, lokalt med svært mye glimmerminerale. I de dårlige natursteinssonene er bergarten også lokalt sterk foldet, slik som vist i Figur 10B.

Avgrensningen av de to sonene (Figur 11 og 12) er tegnet basert på feltkartleggingen og innspill på stedet fra ansatt ved Oppdal Sten A/S. Avgrensningene er ekstrapolert nedover 200 m langs fallretningen (kan i teorien være mye lengre). Sonenes utbredelse under bakken er å regne som prognoser, tegnet kun basert på kjente forhold på overflaten. Disse sonene tar ikke hensyn til uforutsette geologiske endringer (for eksempel forkastninger eller laterale endringer

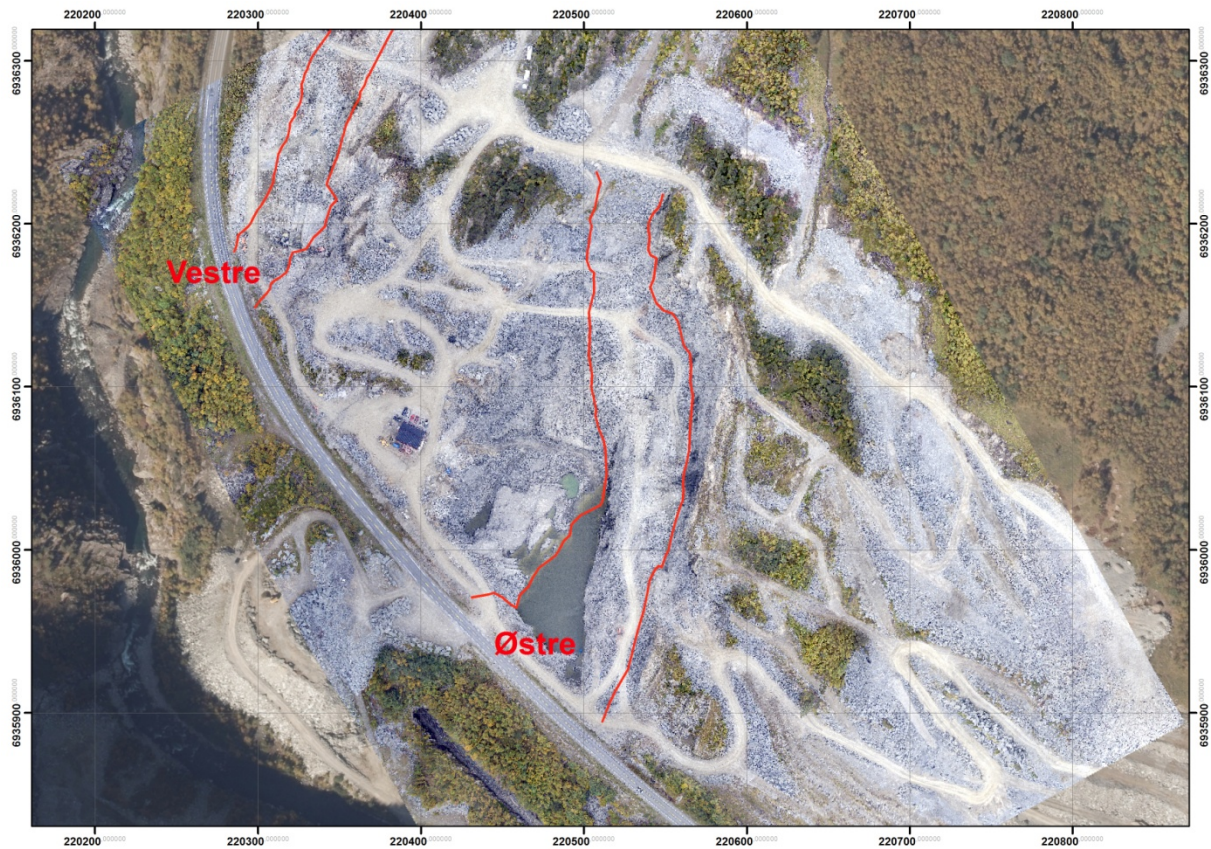
i bergartenes sammensetning). Den underjordiske utbredelsen kan best testes ved å implementere borekjernedata i 3D-modellen.



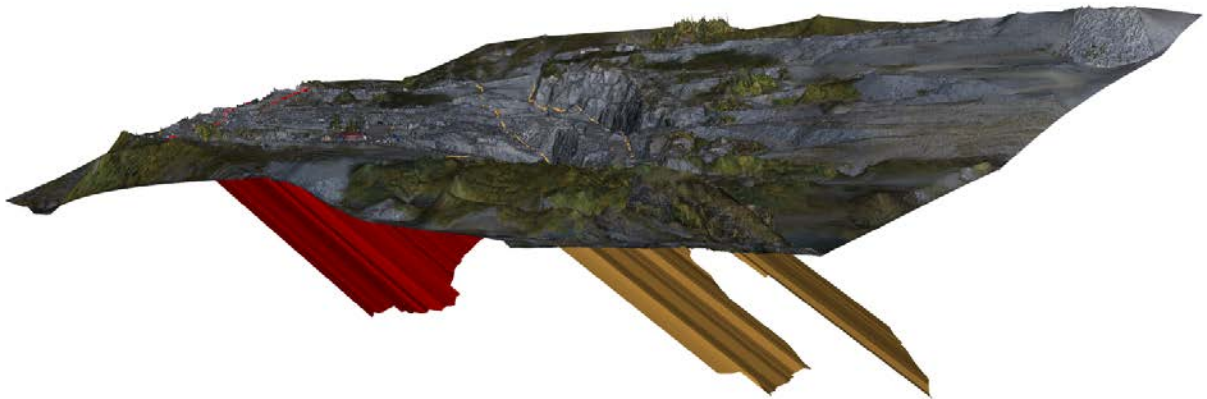
Figur 10: Feltbilder representative for god (A) og dårlig (B) natursteinskvalitet. A- er en mellomgrå glimmer-rik sandstein med planer skiffrighet. Innslag av kvarts-feldspatårer reduserer natursteinskvaliteten lokalt. B- Storskala tett folding av sandsteinen. Bildet er tatt like under (stratigrafisk) den vestlige natursteinssonen.

Tabell 1: Målinger av skiffrighetens orientering med koordinater i UTM 32N.

PunktID	Fallretning	Fall	X_UTM32	Y_UTM32
1	129	32	6924479.809	529809.254
2	127	30	6924547.4968	529862.1736
3	129	30	6924536.4206	529905.2477
4	130	35	6924556.9321	529719.4138
5	132	34	6924552.4196	529693.5693
6	130	36	6924539.7978	529670.2036
7	132	36	6924625.9806	529666.0089
8	138	33	6924298.1727	529900.8804
9	136	30	6924410.2876	529906.1962
Gjennomsnitt	131	33		



Figur 11: Kartlagte avgrensninger av de to sonene med høy natursteinskvalitet (vestre og østre).



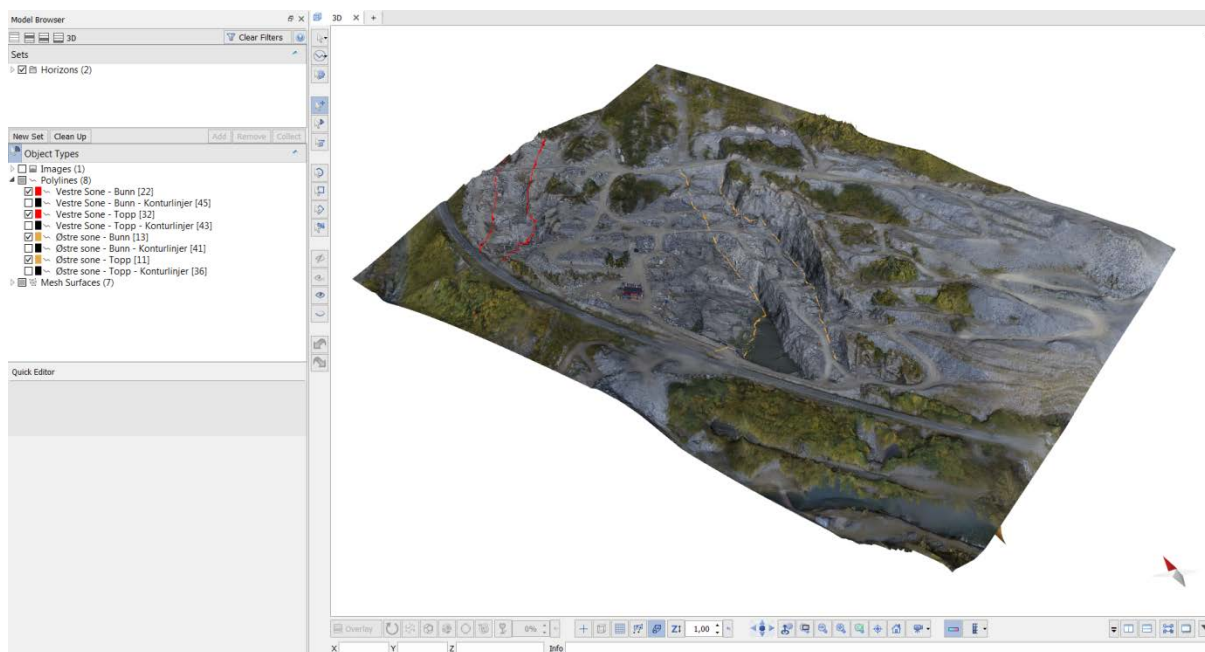
Figur 12: Bruddet sett i 3D MOVE fra sør med tolkede avgrensninger av de to høykvalitets natursteinssonene.

4. PRODUKTER FRA 3D-MODELLEN

Å lage en 3D-modell av bruddet basert på en integrering av det beste datagrunnlag og et ønske om kunnskapsutvikling kan både gi et faglig veldig bra resultat, og være til praktisk nytte for virksomheten. De to hovedproduktene fra denne rapporten (se under) er designet for å være til størst mulig nytte i det daglige arbeidet i steinbruddet.

4.1 Modell levert i 3D MOVE VIEWER

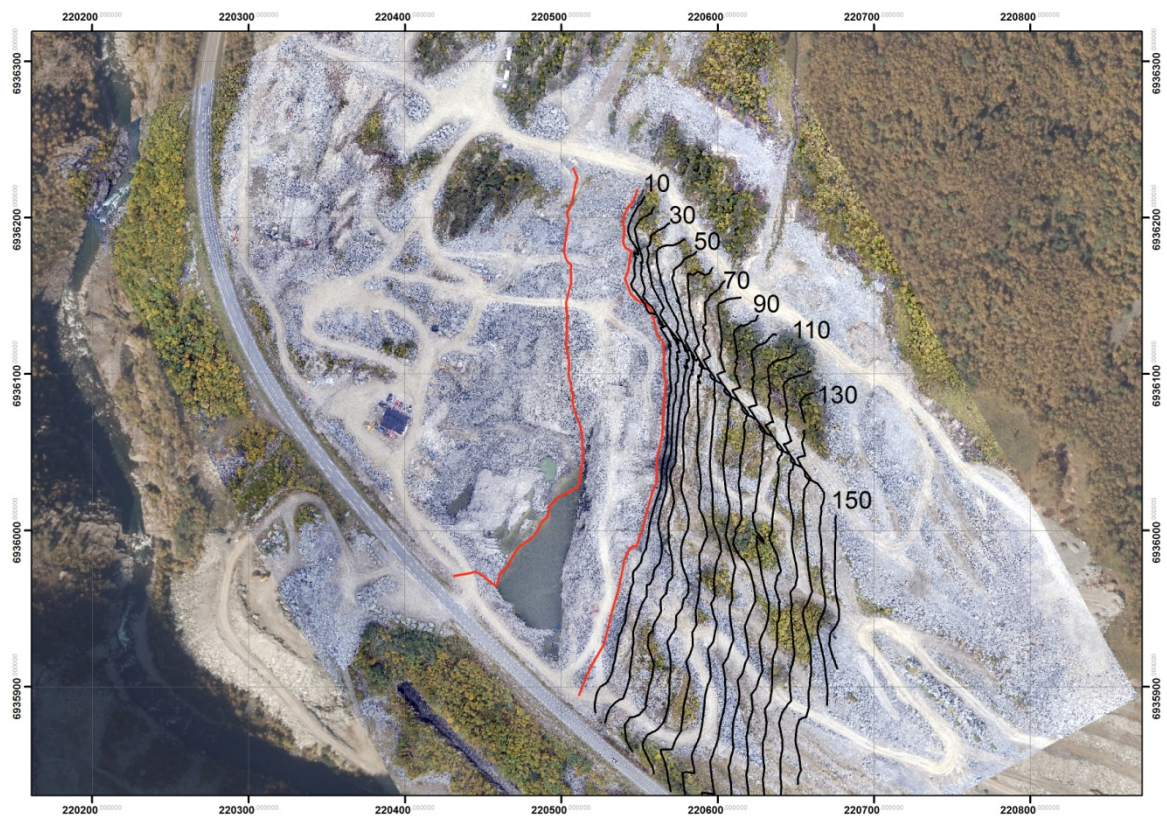
Modellen er produsert i 3D MOVE, som er en forholdsvis dyr 3D programvare produsert for geologer. Derimot har produsenten, Midland Valley, laget en forenklet tilleggsprogramvare som tillater åpning av 3D MOVE filer for visualisering, men ikke endring, av modellene. Det heter 3D MOVE VIEWER og vises i Figur 13. På NGUs ftp-server har vi lastet opp en .zip fil kopi av denne programvaren som kan lastes ned i tillegg til en kopi av 3D-modellen. Etter programfilen er installert kan kunden åpne 3d-modellen. Brukergrensenettet er forholdsvis intuitivt.



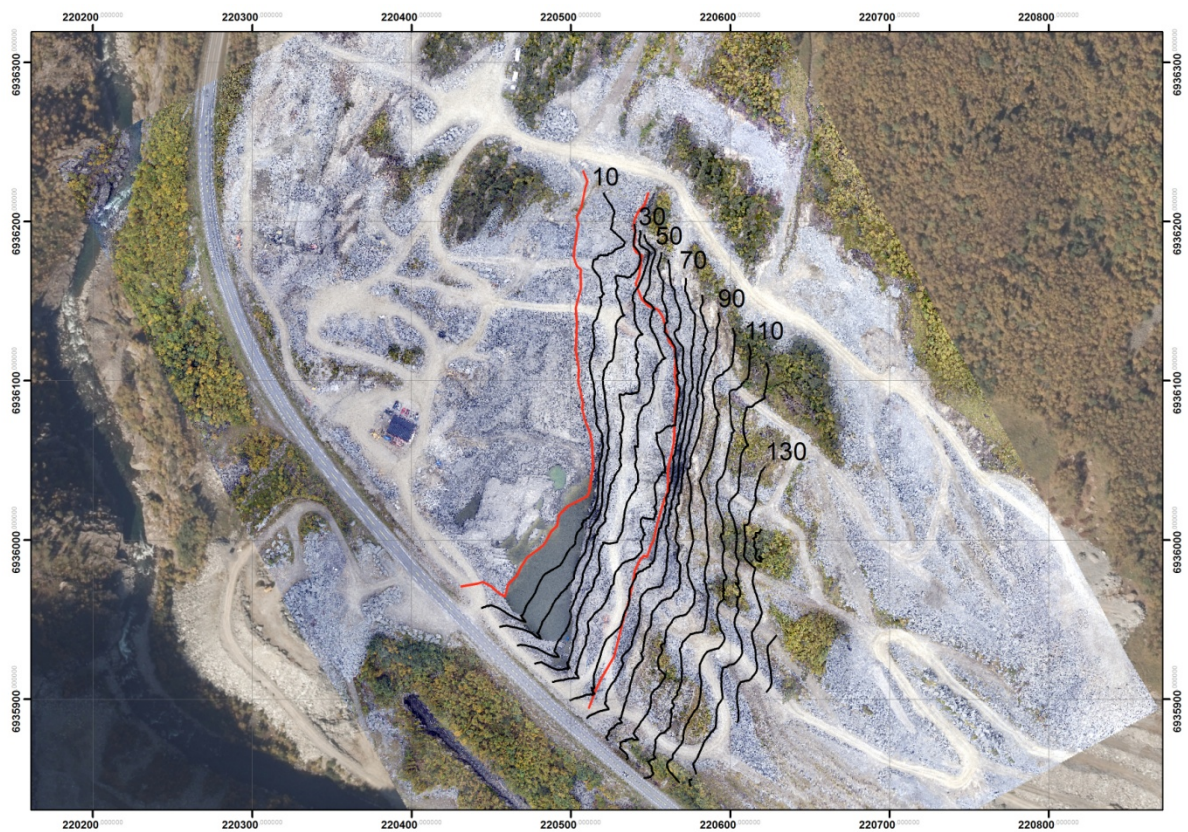
Figur 13: Utsnitt fra 3D MOVE VIEWER som er et tilleggsprogram fra 3D MOVE som tillater kunden å fremvise og visualisere 3D-modellen uten å måtte kjøpe dyre programvarer. Programvaren og 3D-modellfilen er levert til kunden på ftp-siden til NGU.

4.2 Dybdekart

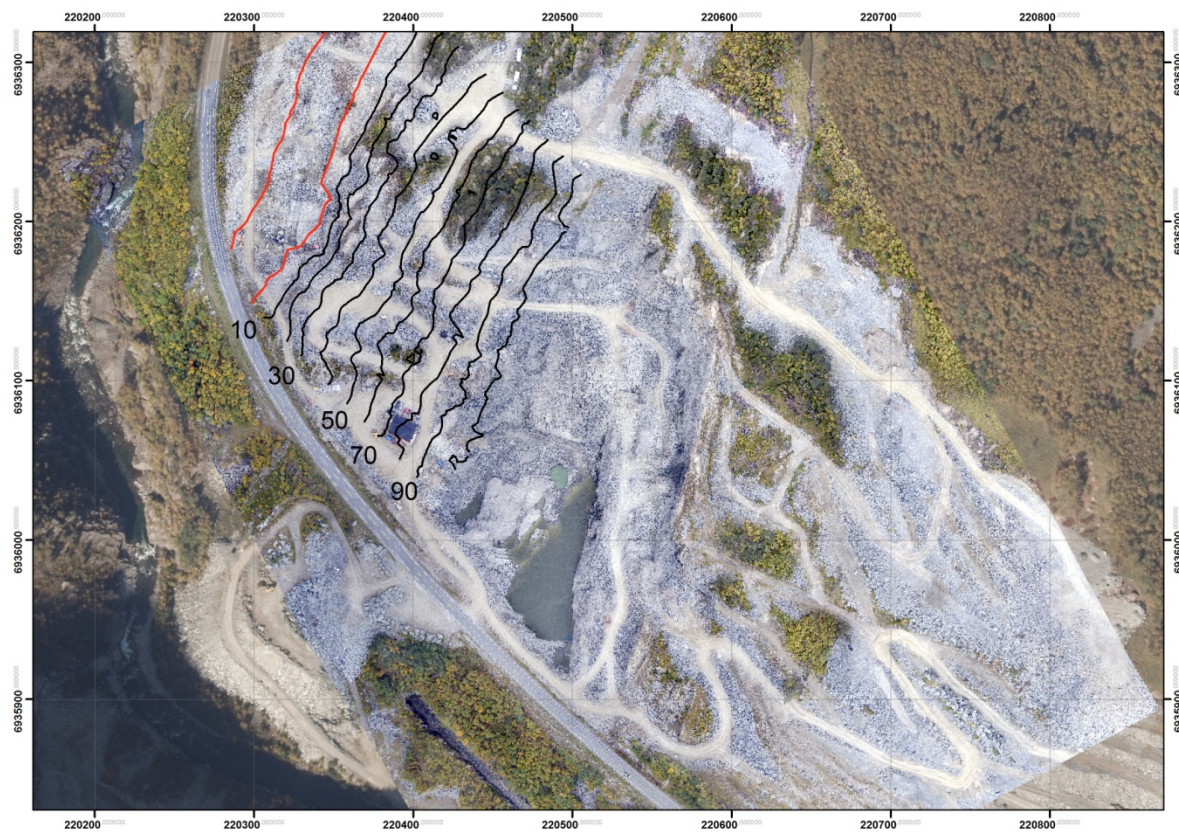
I tillegg til levering av den digitale 3D-modellen er det også laget såkalte dybdekart, som viser, i koter, dybden til toppen og bunnen av de to høykvalitetssonene. Disse kartene vises i 2D kart i Figur 14–17, og kan skrives ut på papir for enkel bruk i bruddet. Dybdene kan også visualiseres i 3D MOVE VIEWER.



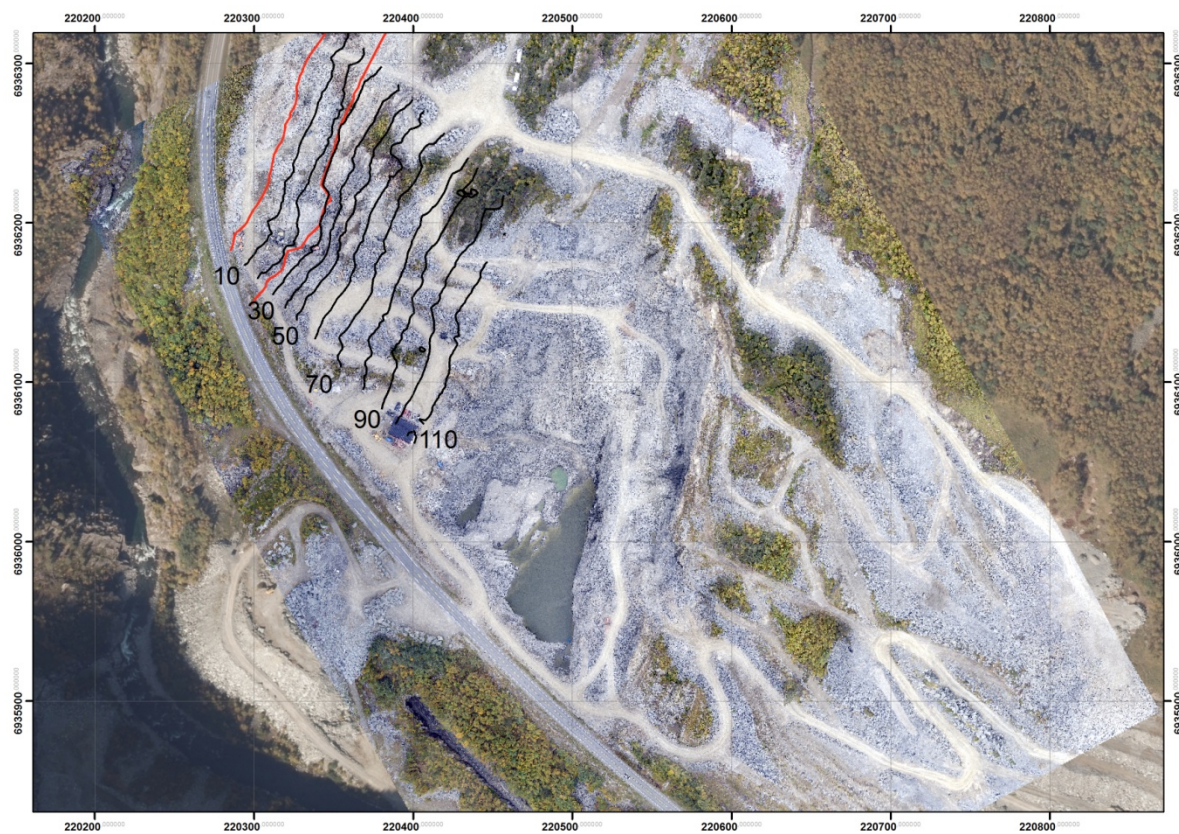
Figur 14: Dybdekart til toppen av østre natursteinssone. Tall i meter.



Figur 15: Dybdekart til bunnen av østre natursteinssone. Tall i meter.



Figur 16: Dybdekart til toppen av vestre natursteinssone. Tall i meter.



Figur 17: Dybdekart til bunnen av vestre natursteinssone. Tall i meter.

5. KONKLUSJONER

- Et utviklingsprosjekt har blitt satt i gang på NGU for å fremskaffe integrerte høyde/topografiske og geologiske modeller av undergrunn. Prosjektet er støttet økonomisk av Mineralklynge Norge, som et forprosjekt, og av Oppdal Sten A/S.
- Høydemodellen tar utgangspunkt i fotogrammetri med bilder tatt fra en semi-automatisk drone.
- Den fotogrammetriske modellen er basert på en punktsky laget inn i *Agisoft Photoscan Professional* programvare.
- De geologiske delene av modellen er laget inn i *3D MOVE* programvare.
- En integrert høyde-geologisk modell har blitt laget over Klevan skiferbrudd til Oppdal Sten A/S på Oppdal.
- Modellen består av den topografiske modellen med ortofoto laget fra drone, grov overflatekartlegging og en forenklet tolkning av sonene med høy natursteinskvalitet.
- Produktene fra den ferdige 3D-modellen er som følger:
 - Det leveres en digital kopi av modellen med visualiseringsprogramvaren til *3D MOVE* som heter *3D MOVE VIEWER*. Programmet tillater brukeren å se på modellen, men ikke å endre den.
 - Basert på grov overflatekartlegging og erfaring høstet fra ansatte ved bruddet har to soner med høy natursteinskvalitet blitt definert. En rekke foliasjonsmålinger viser at disse sonene faller konsekvent med 33 graders fall mot SØ (133°).
 - Ved bruk av foliasjonsmålingene er toppen og bunnen av de to sonene ekstrapolert ned i undergrunnen.
 - Vi har laget 'høydekotekart' til bunnen og toppen av de to sonene. Disse viser dybden (avstanden) fra overflaten til topografien per september 2016. Denne informasjonen er presentert som 2D kart som kan skrives ut på papir og brukes i bruddet.

Laste ned og bruke 3D-modellen:

- Last ned 3D Move Viewer fra <https://www.mve.com/software/moveviewer>, og installer programvaren
- Last ned 3D-modellen fra <ftp://ftp.ngu.no/pub/Torgersen/Oppdal/>, filnavnet er "Klevan-steinbrudd-sep-2016.move"
- Åpne filen i 3D Move Viewer, og bruk fanen til venstre for å slå på og av de ulike lagene.

6. ANBEFALNINGER FOR VIDERE ARBEID

Dette arbeid har bevisst vært avgrenset med hensyn til kompleksitet og omfang på 3D-modelleringen. Formålet har vært å påvise at arbeidsflyten fungerer slik at det kan produseres en modell som kan være nyttig for bedriften. Samtidig er modellen veldig forenklet i forhold til den geologiske kompleksiteten. Et videre arbeid bør bestå av en utvidet modellering som inkluderer detaljert kartlegging på overflaten og implementering av data fra eksisterende borehull, for å fremstille en mer realistisk og detaljert geologisk modell.



NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE
· NGU ·

Norges geologiske undersøkelse
Postboks 6315, Sluppen
7491 Trondheim, Norge

Besøksadresse
Leiv Eirikssons vei 39
7040 Trondheim

Telefon 73 90 40 00
E-post ngu@ngu.no
Nettside www.ngu.no