




GEOLOGI FOR SAMFUNNET

SIDEN 1858



**NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE**
· NGU ·



Rapport nr.: 2016.045		ISSN: 0800-3416 (trykt) ISSN: 2387-3515 (online)		Gradering: Åpen	
Tittel: 3D-modellering og visualisering av Norwegian Rose A/S marmorbruddet, Fauske, Nordland.					
Forfatter: Iain H.C. Henderson, Morgan Ganerød & Tom Heldal			Oppdragsgiver: Norwegian Rose		
Fylke: Nordland			Kommune: Fauske		
Kartblad (M=1:250.000) Sulitjelma			Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)		
Forekomstens navn og koordinater:			Sidetall: 31		Pris: 126
			Kartbilag:		
Feltarbeid utført: 11.07.2016		Rapportdato: 10.01.2017		Prosjektnr.: 371300	Ansvarlig: 
Sammendrag: <p>Denne rapporten dokumenterer en ny metode i Norge for å modellere og visualisere mineralforekomster, og bruker Fauske Marmorbrudd til Norwegian Rose A/S 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 365 bilder over bruddet og den fotogrammetriske modellen ble laget i programvaren <i>Agisoft Photoscan Professional</i>, hvor først en punktsky og deretter en wireframe-mesh ble produsert. Denne modellen ble importert inni programvaren <i>3D MOVE</i> for videre geologisk arbeid. 25 borehull ble brukt, med tilhørende geologisk informasjon til å bestemme formen av de forskjellige bergartslagene i dybden. 11 NNØ-SSV profiler ble laget parallelt med borehullsretningen, hvor 2D tolkninger ble gjort av kontakter mellom hovedbergartstypene. Ut i fra disse 11 profilene ble det laget 3D overflater av toppen og bunnen av de interessante bergartslagene, som utgjør konstruksjonen av den kombinerte terreng-geologiske 3D-modellen for forekomsten. Vi har laget mange produkter som kan være til nytte for kunden: Full digital 3D-modell levert med 3D MOVE VIEWER, volumberegninger på de tre volumer, høydekotekart med dybde til alle overflater og høydekotekart med tykkelse av de forskjellige volumer. Disse produktene bør bidra til en bedre forståelse av geologien i forekomsten direkte under bakken i marmorbruddet.</p> <p>Dette arbeidet representerer første gang 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</p>					
Emneord: 3d		terrengmodell		fotogrammetri	
drone		Norwegian Rose AS			

INNHold

1. INNLEDNING	5
2. METODIKK.....	6
2.1 Utstyr	6
2.2 Fotogrammetriske prinsipper.....	7
2.3 Usikkerhet i modellen.....	10
3. RESULTATER	11
4. PRODUKTER FRA 3D-modellen	15
4.1 Modell levert i 3D MOVE VIEWER	15
4.2 Volumer.....	15
4.2.1 Dolomitt	17
4.2.2 Grå/hvit marmor.....	18
4.2.3 Konglomerat-sandstein.....	19
4.3 Dybdekart	19
4.3.1 Dybdekart bunn dolomitt	19
4.3.2 Dybdekart topp dolomitt-bunn grå/hvit marmor.....	21
4.3.3 Tykkelse dolomitt.....	22
4.3.4 Dybdekart topp grå/hvit marmor-bunn konglomerat	22
4.3.5 Tykkelse grå/hvit marmor	24
4.3.6 Dybdekart topp konglomerat.....	25
4.3.7 Tykkelse konglomerat	27
5. KONKLUSJONER	29
6. ANBEFALNINGER FOR VIDERE ARBEID	31

FIGURER

Figur 1: Drone brukt til å skaffe GPS rektifiserte bilder fra luften: DJI Phantom 4.....	6
Figur 2: Kontrollenhet til dronen	6
Figur 3: Prinsippet med oppbygging av 3D terrengmodell fra dronebilder.....	7
Figur 4: Automatisk flyruteplanlegging i ArcGIS.	8
Figur 5: Bilde fra Litchi applikasjonen som styrer dronen automatisk.....	8
Figur 6: Oppbygging av terrengmodell med Agisoft Photoscan programvaren.....	9
Figur 7: Bilder av ferdig terrengmodell i 3D MOVE.....	9
Figur 8: Oppsummering av arbeidsflyten.....	10
Figur 9: Utsnitt fra Norge i bilder som viser bruddet med sone 25 borehull	11
Figur 10: Bruddet sett i 3D MOVE programvaren sett fra SØ med tilhørende borehull.....	12
Figur 11: Profilene som er laget i 3D MOVE for å kunne tolke 2D bergartskontakter.....	13
Figur 12: Eksempel på bergartskontakt bestemmelse fra profil 6 i 3D MOVE.....	13
Figur 13: Bilde fra 3D MOVE som viser de 3D-modellerte bergartskontakter.....	14
Figur 14: Utsnitt fra 3D MOVE VIEWER.....	15
Figur 15: Bilde som viser bruddet i Norge i Bilder og omrisset av borehullsdekningen.....	16
Figur 16: Bilde fra 3D MOVE som viser volumer.....	16
Figur 17: Bilde fra 3D MOVE som viser volumer laget for dolomitt laget.....	17
Figur 18: Bilde fra 3D MOVE som viser volumer laget for grå/hvit marmor laget.....	18
Figur 19: Bilde fra 3D MOVE som viser volumer laget for konglomerat-sandstein laget.....	19
Figur 20: Dybdekart til bunn dolomitt i 3D.....	20
Figur 21: Dybdekart til bunn dolomitt i kartform.....	20
Figur 22: Dybdekart topp dolomitt-bunn grå/hvit marmor i 3D.....	21
Figur 23: Dybdekart til topp dolomitt-bunn grå/hvit marmor i kartform.....	22
Figur 24: Dybdekart topp grå/hvit marmor-bunn konglomerat i 3D	23
Figur 25: Dybdekart topp grå/hvit marmor-bunn konglomerat i kartform	23
Figur 26: Tykkelse grå/hvit marmor i 3D.....	24
Figur 27: Tykkelse grå/hvit marmor i kartform	25
Figur 28: Dybdekart topp konglomerat.....	26
Figur 29: Dybdekart til topp konglomerat i kartform.....	26
Figur 30: Tykkelse konglomerat i 3D.....	27
Figur 31: Tykkelse konglomerat i kartform.....	28

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 marmorbruddet til Norwegian Rose A/S på Fauske som et av de første eksemplene. Metoden går ut på å lage en detaljert terrengmodell, med tilhørende rektifiserte bilder, slik at en 3D-modell av topografien kan lages, og deretter integreres 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 365 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. 25 borehull ble brukt, med tilhørende bergartsinformasjon til å bestemme formen på de forskjellige bergartslagene i dybden. 11 NNØ-SSV profiler ble laget parallelt med borehullretning, hvor 2D tolkninger ble gjort av kontakter mellom hovedbergartstypene. Ut fra disse 11 profilene ble 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 avgrensede område hvor det er informasjon fra borehull. Dolomitt gir et volum på $2,75\text{Mm}^3$ som tilsvarer ca. 7,4Mt. Den grå/hvit marmor har et volum på $2,3\text{Mm}^3$, som tilsvarer 6,3Mt, og konglomerat-sandsteinslaget øverst gir et volum på $0,56\text{Mm}^3$, som utgjør ca. 1,5Mt.

I tillegg er en 3D-modell levert til kunden som kan visualiseres med programvaren *3D MOVE VIEWER*. 2D produkter består av dydeberegninger 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 dronelflydd 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 avsluttes 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 for å komme fra bilder til en integrert topografisk-geologisk modell er ganske lang og mesteparten av utviklingsinnsatsen har gått til å definere 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).



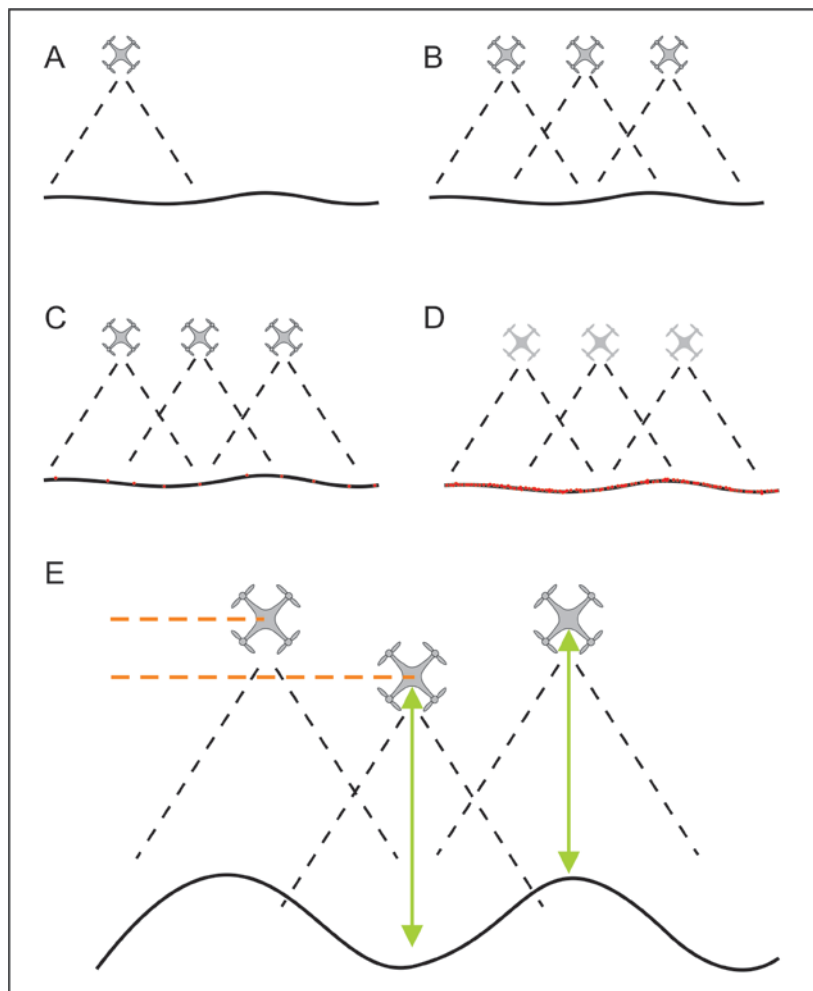
Figur 1: Drone brukt til å skaffe GPS rektifiserte bilder fra luften: DJI Phantom 4.



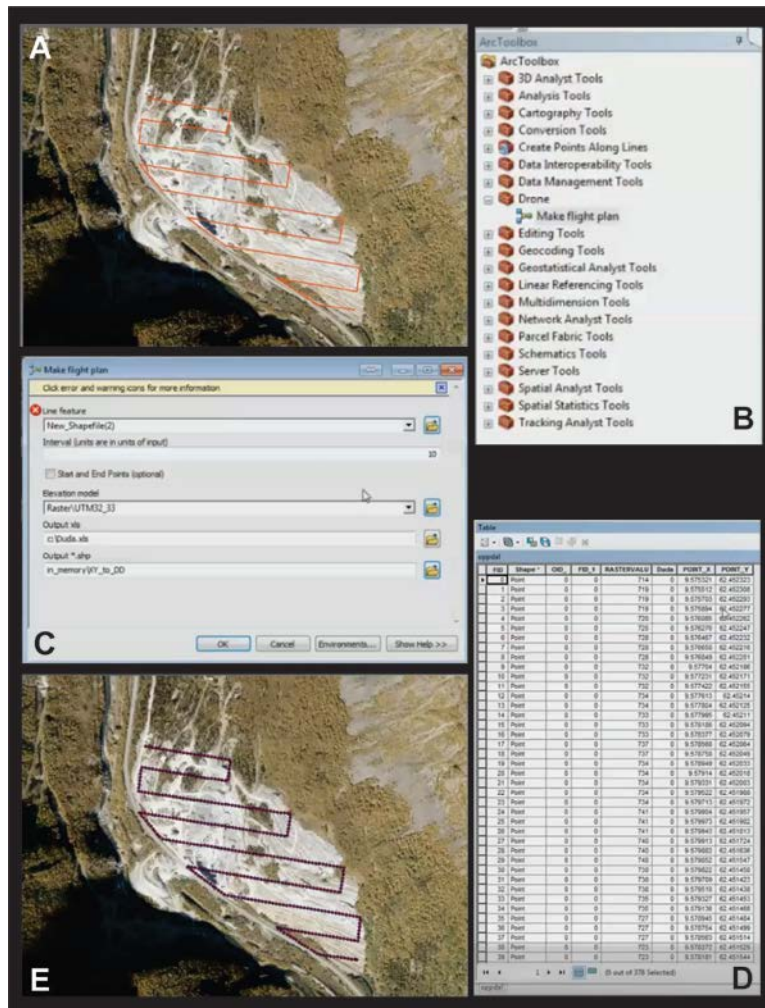
Figur 2: Kontrollenhet til dronen med tilhørende Ipad som brukes til å fjerne styre dronen fra Litchi applikasjonen.

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 mye programvarer i 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.



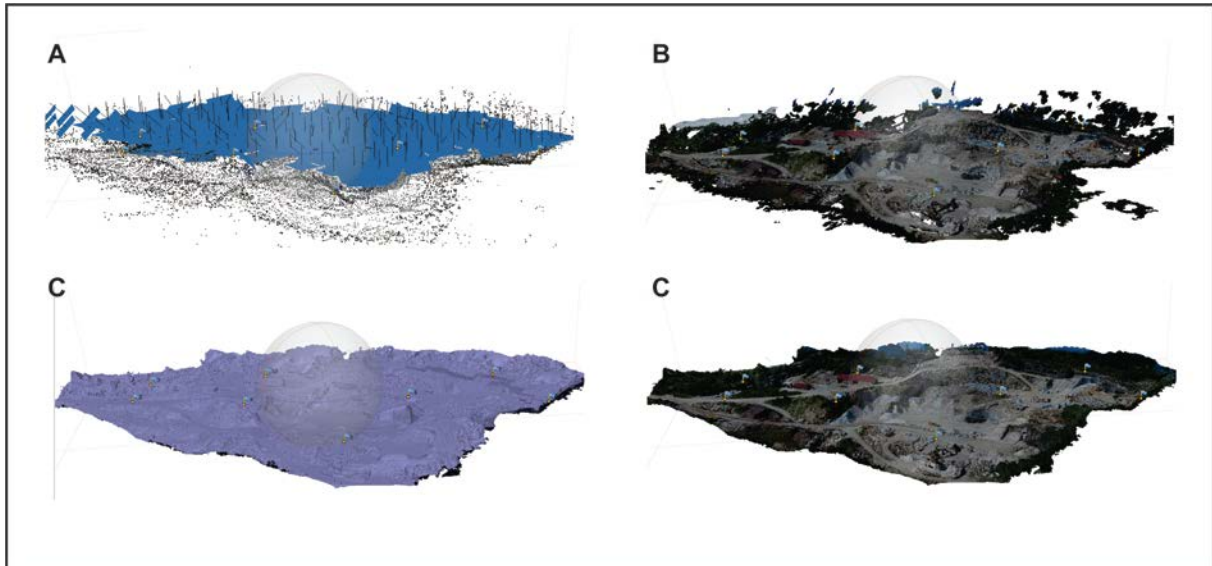
Figur 4: Automatisk flyruteplanlegging i ArcGIS. Dette produserer en.csv fil med XYZ punkter som lastes opp til dronen.

The image shows the Litchi application interface. The main map displays a mission plan for a drone over a quarry, with a circular flight path and numbered waypoints. The settings panel on the right shows the following parameters:

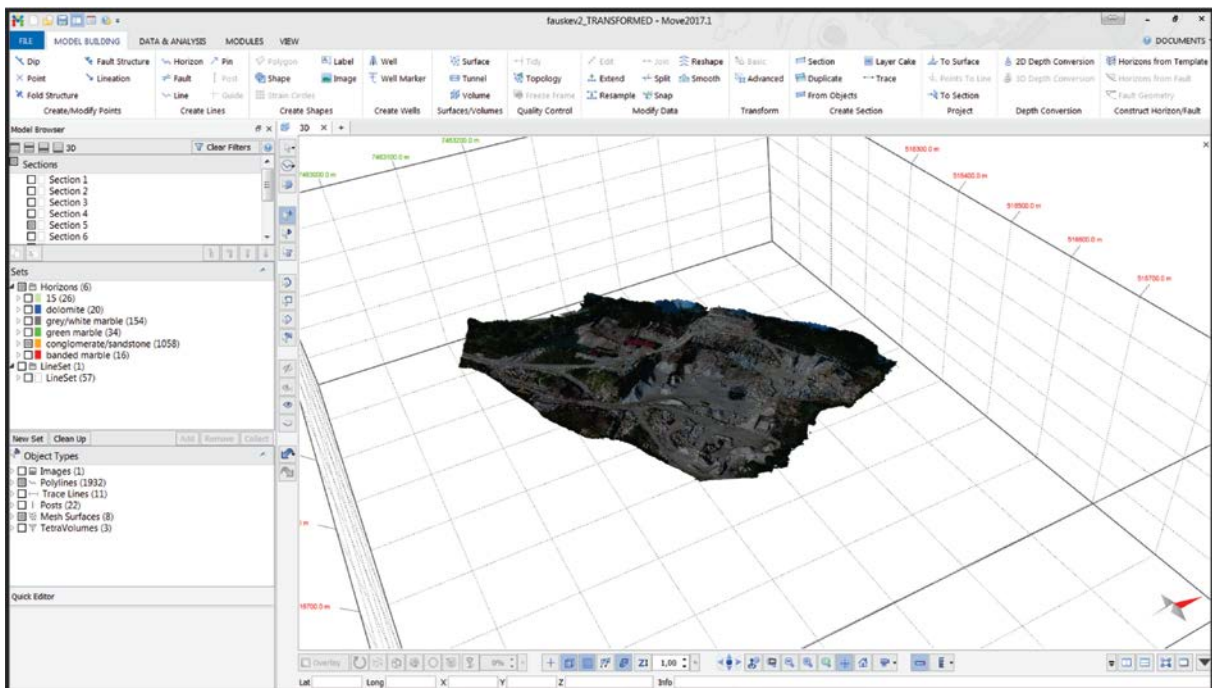
- Latitude: 67.2856597780742
- Longitude: 15.36889234977222
- Altitude: 30m
- Ground Elevation: 87m (ft below first waypoint)
- Speed: Cruising
- Curve Size: 0m
- Heading: 314°
- POI: None
- Gimbal Pitch: Disabled
- Actions: 2 (Tilt Camera, Take Photo)

Figur 5: Bilde fra Litchi applikasjonen som styrer dronen automatisk i luften over marmorbruddet.

Figur 6 viser de 365 bilder lastet inn i *Agisoft Photoscan Professional* programvaren for å begynne å lage punktskymodellen. Figur 6a viser den første punktskyen, også kalt en lettpunktsky. De GPS-festete bildene er fremstilt med blå firkanter. 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).



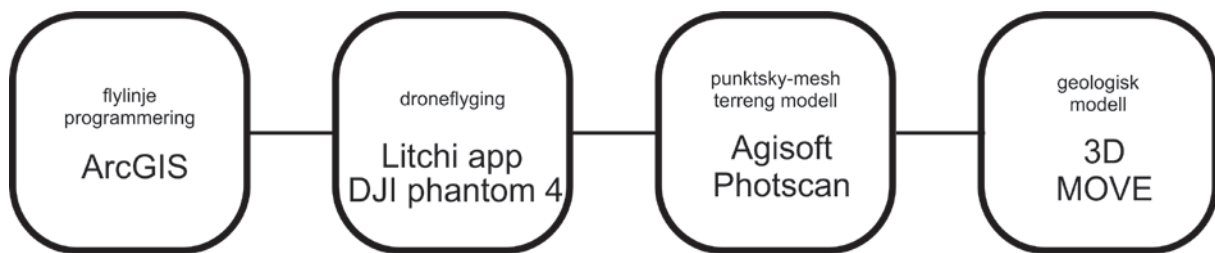
Figur 6: Oppbygging av terrengmodell med programvaren Agisoft Photoscan. A- Bilder lastet inn i programvaren vises som blå firkanter. Det lette punktskyen antyder overflaten. I første omgang på dette bildet er det 75 000 punkter. B- Tett punktsky. Punktene er så tette at det ser ut som en overflate. Her har datamaskinen beregnet i overkant av 95 millioner punkter. C- Terrengmodell laget ut i fra tett punktskyen. Her er det 19 millioner overflater. D. Ferdig høydemodell med bilder.



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

Terrengmodellen som er laget inn i *Agisoft Photoscan Professional* ble eksportert til .obj *Wavefront* filer som er importerbar i 3D MOVE. Figur 7 viser et utsnitt fra 3D MOVE. 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 topografiske-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 reproduserbare 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 borehullene og kartleggingen på overflaten anses som sikker, mens tolkning av geologien mellom 2D-profilene, basert på borehullsdata, er mindre sikker. Derfor er også 3D-tolkningen mellom de geologiske profilene beheftet med usikkerhet. Disse usikkerhetene er vanskeligere å kvantifisere men må betraktes som en vanlig usikkerhet ved geologisk tolkningsarbeid.

3. RESULTATER

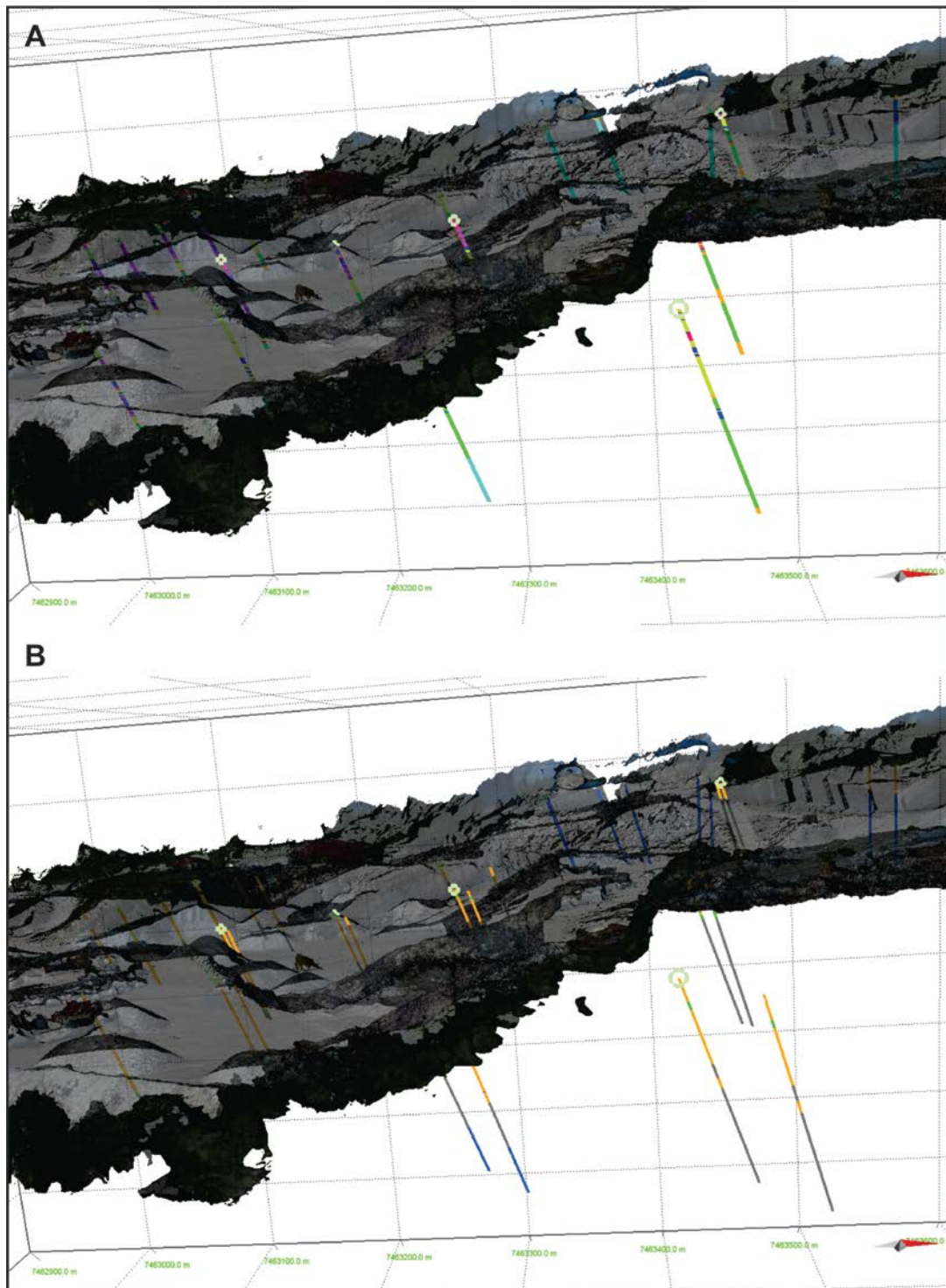
Marmorbruddet til Norwegian Rose A/S på Fauske har vært en av tre testområder for dette prosjektet. Det er flere grunner for å bruke nettopp dette bruddet som testområder, inkludert lett tilgjengelighet, overkommelig størrelse, relativt enkel geologi, lett tilgjengelig geologisk informasjon i form av borehull, og et ønske fra Norwegian Rose AS å kunne øke kunnskap om geologien og forbedre driften.



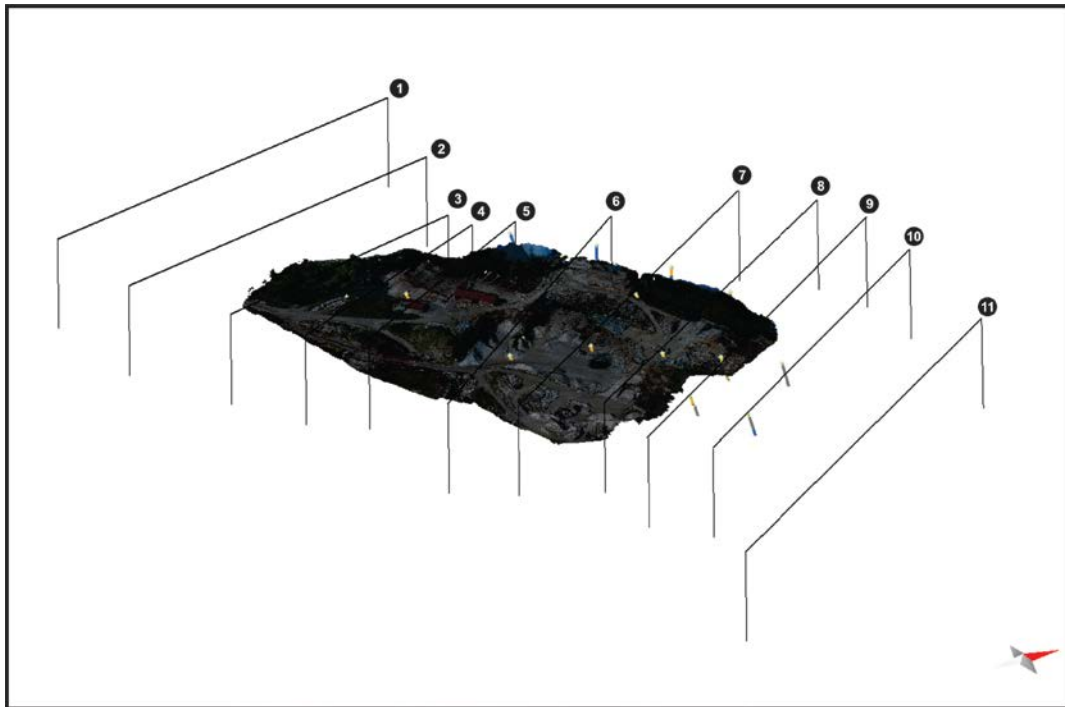
Figur 9: Utsnitt fra Norge i bilder som viser bruddet med 25 borehull som faller mot sør.

Figur 9 viser et flybilde av bruddet som er ca. 400m lang, ca. 200m bredt og orientert ØNØ-VSV. De forskjellige bergartslagene er relativt flatliggende og varierer i fall fra 10 grader til maks 40 grader og faller mot SØ. 25 borehull ble utført på 90-tallet. Disse har nesten alle samme fall og retning: 70 graders fall mot ca. 320 graders himmelretning. 3 av borehullene lengst mot nord (10, 12 og 13) er vertikale hull. De 25 borehullene utgjør en total borehullslengde på ca. 620m.

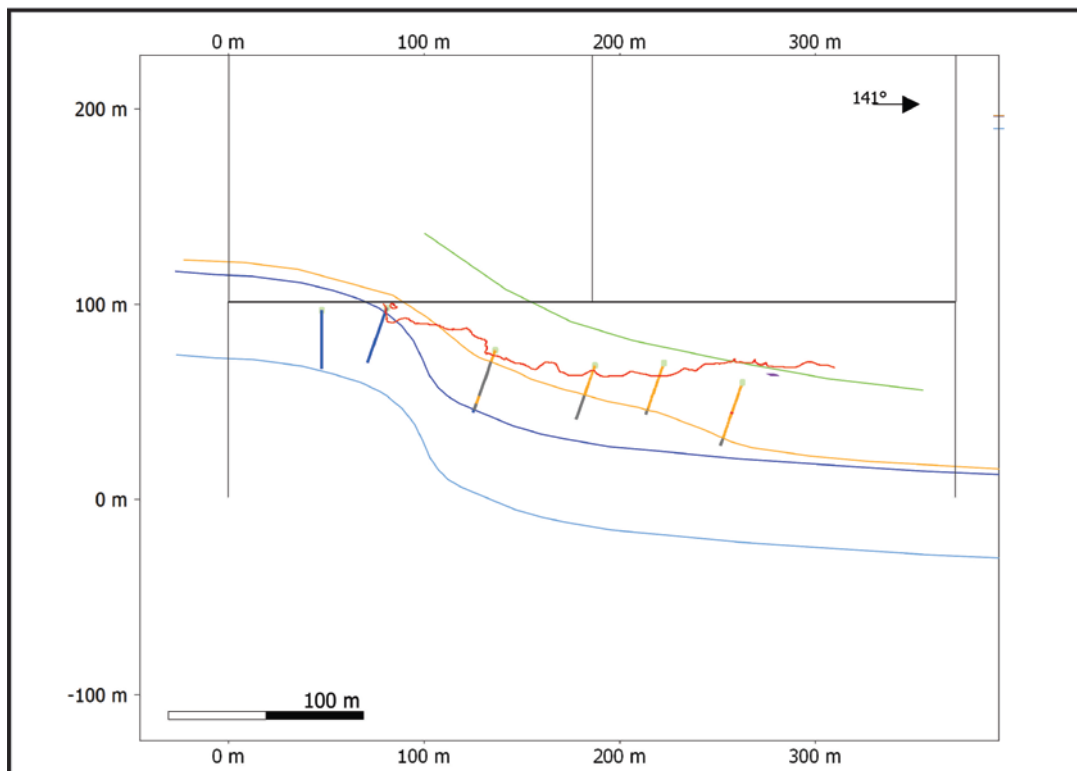
Borehullene ble logget av en geolog på 90-tallet og 9 forskjellige bergartstyper ble identifisert. For denne 3D tolkningen måtte bergartstypene forenkles ned til 4 bergartsenheter; dolomitt, grå/hvit marmor, konglomerat-sandstein og båndmarmor.



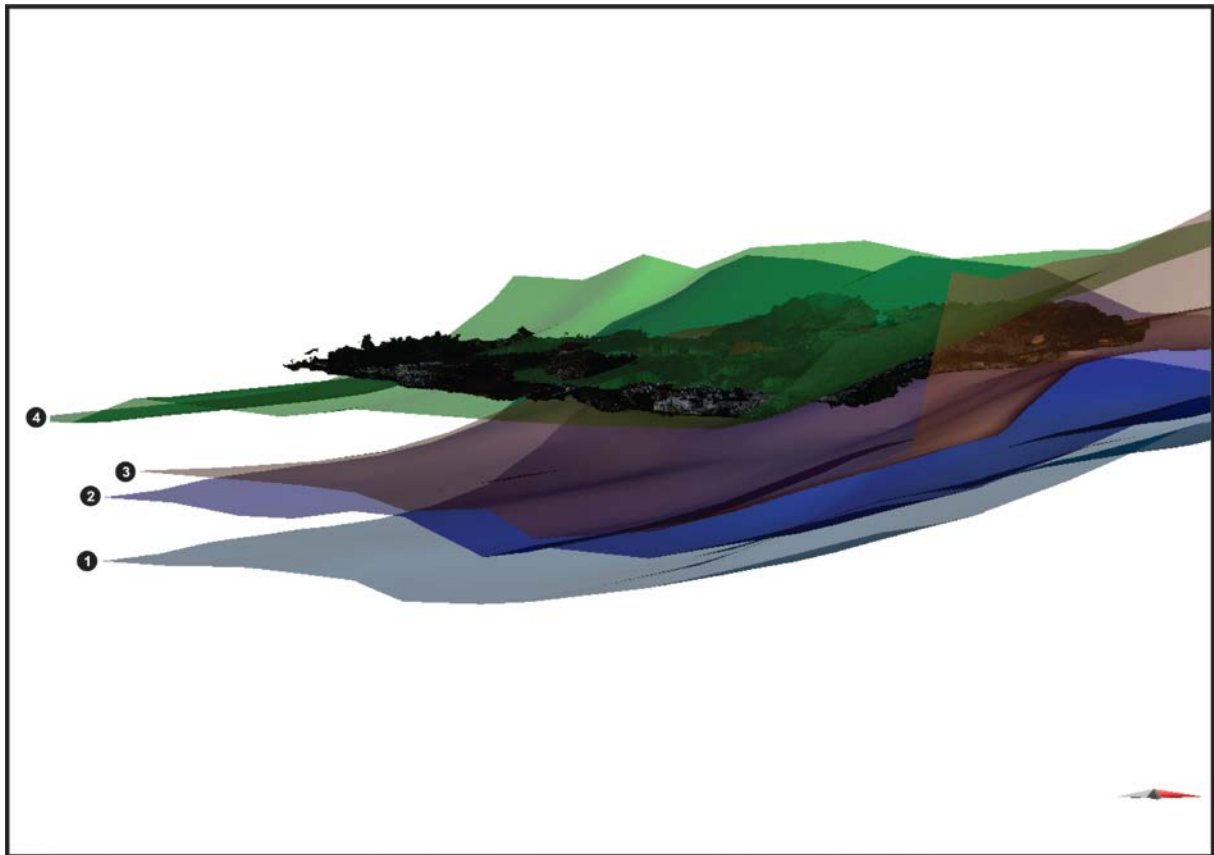
Figur 10: Bruddet sett i 3D MOVE fra SØ med tilhørende borehull. A Bergartsdata innlagt med kartlagt bergartstype. Det er total 9 forskjellige bergartstyper i bruddet. B. Forenklet bergartsinndeling med kun 4 enheter som er basis for 3D-modellering i 3D MOVE: Blå-dolomitt, grå-grå/hvit marmor, oransje-konglomerat/sandstein, rød-båndet marmor.



Figur 11: Profilene som er laget i 3D MOVE for å kunne tolke 2D bergartskontakter. Totalt er det 11 profiler som ligger parallelt med fallretningen av borehullene.



Figur 12: Eksempel på bestemmelse av bergartskontakt fra profil 6 i 3D MOVE basert på den forenklet inndeling av bergartstypene. Topografisk modellen bestemt fra drone er den røde linjen. Borehullene er vist med de forskjellige bergartene is forskjellige farger. Bergartskontakter er tolket ut i fra borehullene. Bunnen av dolomitten (dypeste observasjon) er lys blå. Toppen av dolomitten og bunnen av grå/hvit marmor er mørk blå. Toppen av grå/hvit marmor og bunnen av konglomerat-sandstein er oransje og toppen av konglomerat-sandstein er grønn.



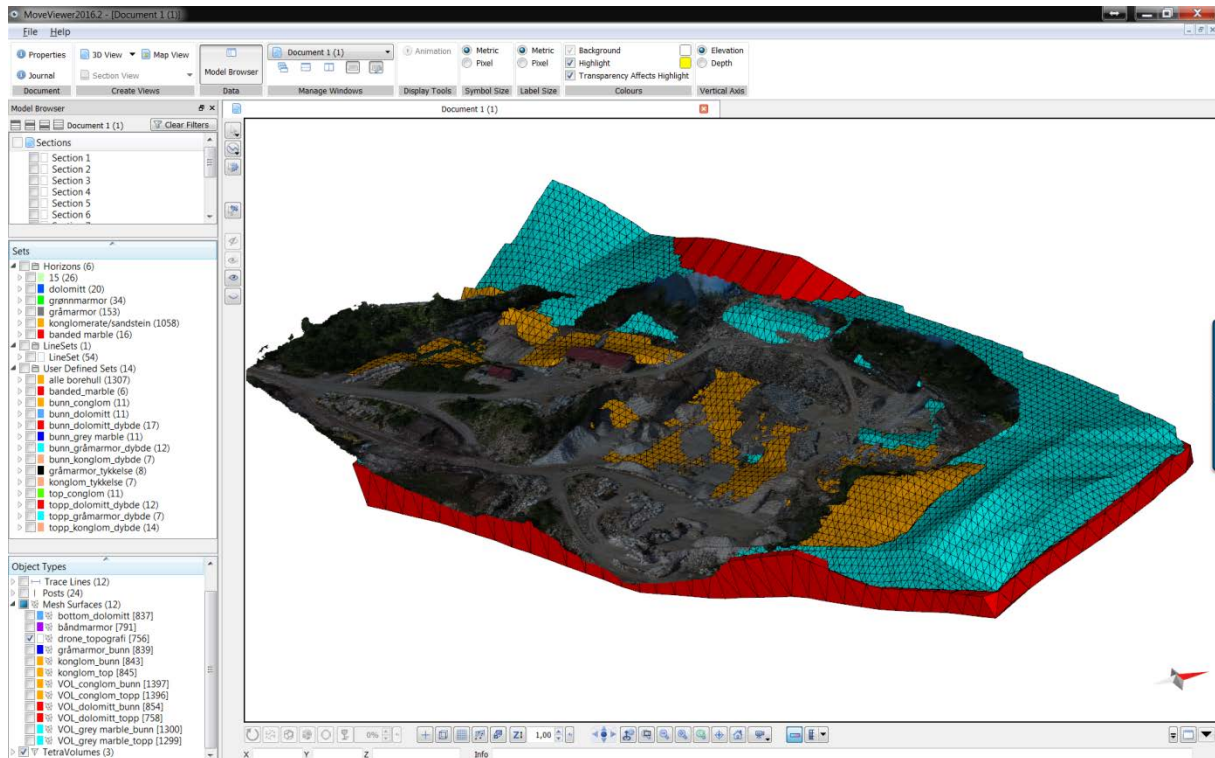
Figur 13: Bilde fra 3D MOVE som viser de 3D-modellerte bergartskontaktene. 1- Bunnen av dolomitten. 2- Toppen av dolomitten-bunnen av grå/hvit marmor. 3- Toppen av grå/hvit marmor-bunnen av konglomerat-sandstein. 4- Toppen av konglomerat-sandstein.

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 gi et faglig veldig bra resultat. Derimot er resultat kun akseptabel hvis det er en praktisk nytte for virksomheten. Derfor er det viktig å lage produkter som er egnet for bruk i det daglige arbeidet i bedriften.

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 14. 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.



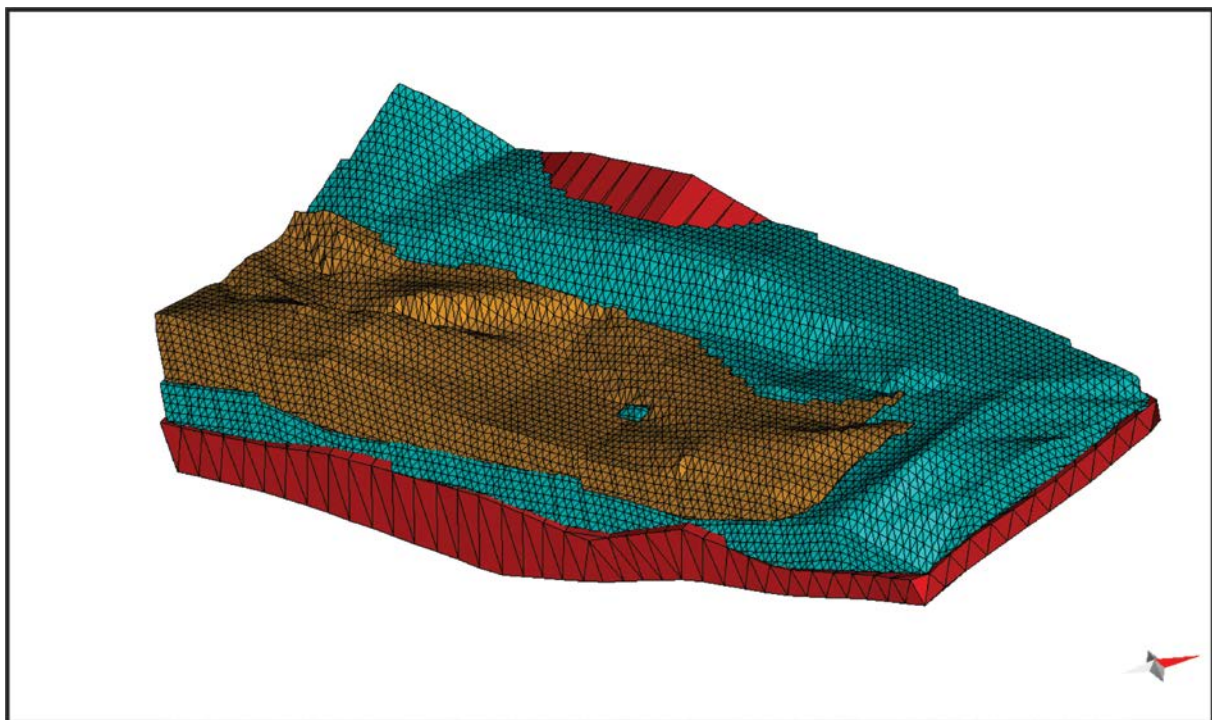
Figur 14: Utsnitt fra 3D MOVE VIEWER som er et tilleggsprogram fra 3D MOVE som tillater kunden å fremvise og visualisere 3D-modellen uten å måtte kjøpe dyre programvarer. Programvaren og 3D-modellfilen er levert til kunden på ftp siden til NGU.

4.2 Volumer

Ut i fra arbeidet som er gjort med å lage 3D-modellen, er det mulig å lage et omriss rundt området hvor vi med størst sikkerhet vet at de tolkede overflatene eksisterer. Dette omrisset vises i Figur 15. Ut i fra dette omrisset er det mulig å avgrense volumer av de 3 forskjellige bergartlagene av interesse; dolomitt, grå/hvit marmor og konglomerat-sandstein. Disse volumene vises i Figur 16.



Figur 15: Bilde som viser bruddet i Norge i Bilder og omrisset av borehullsdekningen. Det lager grunnlaget for å beregne volumer i de utvalgte bergartstyper.

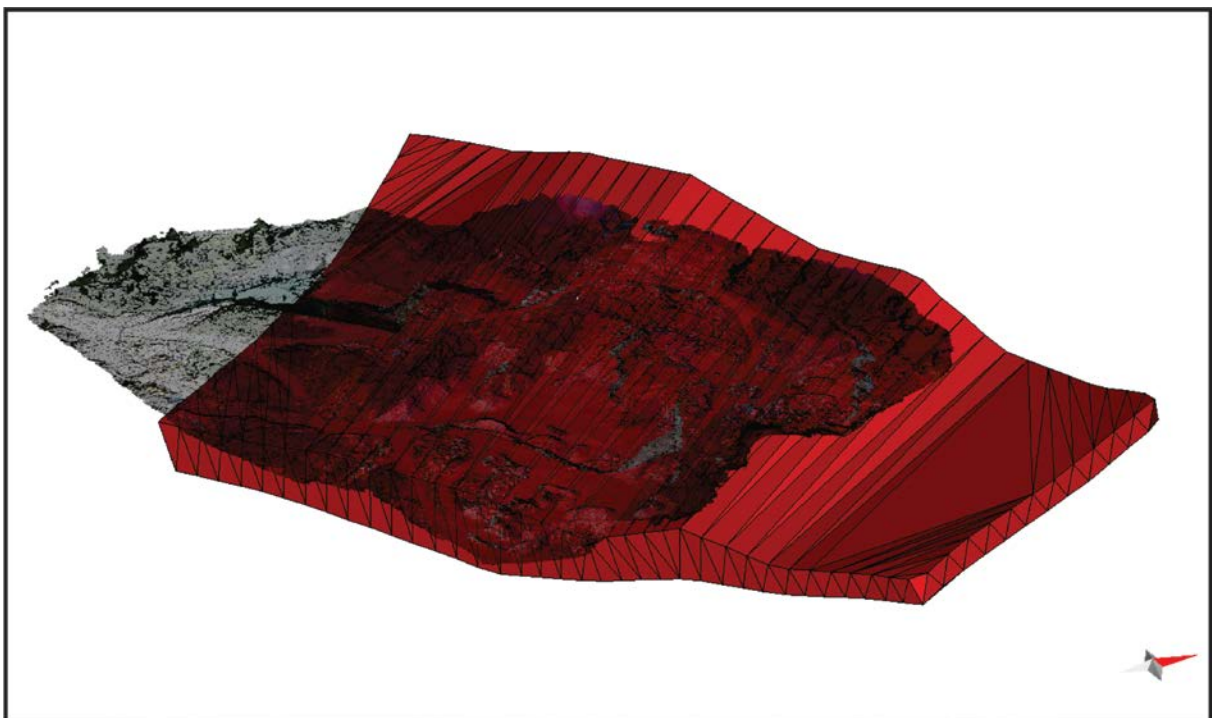


Figur 16: Bilde fra 3D MOVE som viser volumer laget basert på omrisset forklart i Figur 15 og de modellerte bergartskontaktene. Dolomitten er rød, grå/hvit marmor er blå og konglomerat-sandstein er oransje.

4.2.1 Dolomitt

Figur 17 viser volum som er laget ut i fra den modellerte bunnen og toppen av dolomitten, samt omrisset vist i Figur 15 og dronetopografien. I alle borehullene er dolomitten den stratigrafisk dypeste bergartstypen. Det er ikke mulig å si hvor dyp dolomitten er under bakken; det finnes riktignok et nytt borehull i dolomitt nes til 100 meter. Siden dette kun representer ett punkt har vi valgt å se bort fra dette foreløpig. Den dypeste observasjon av dolomitten er i borehull 18 som er ca. 40m under kontakten med den overliggende grå/hvit marmor. Derfor har vi valgt vi å sette en minimum tykkelse på dolomitten på ca. 40m, og lagt en kunstig overflate som er en tolkning av denne minimumsdybden.

Programvaren 3D MOVE gjør en volumberegning som gir en minimum volum på ca. 2,75 millioner m³. På en beregnet tetthet av bergartstypen på 2,7g/cm³ utgjør dette en minimum tonnasje på ca. 7,4 millioner tonn.

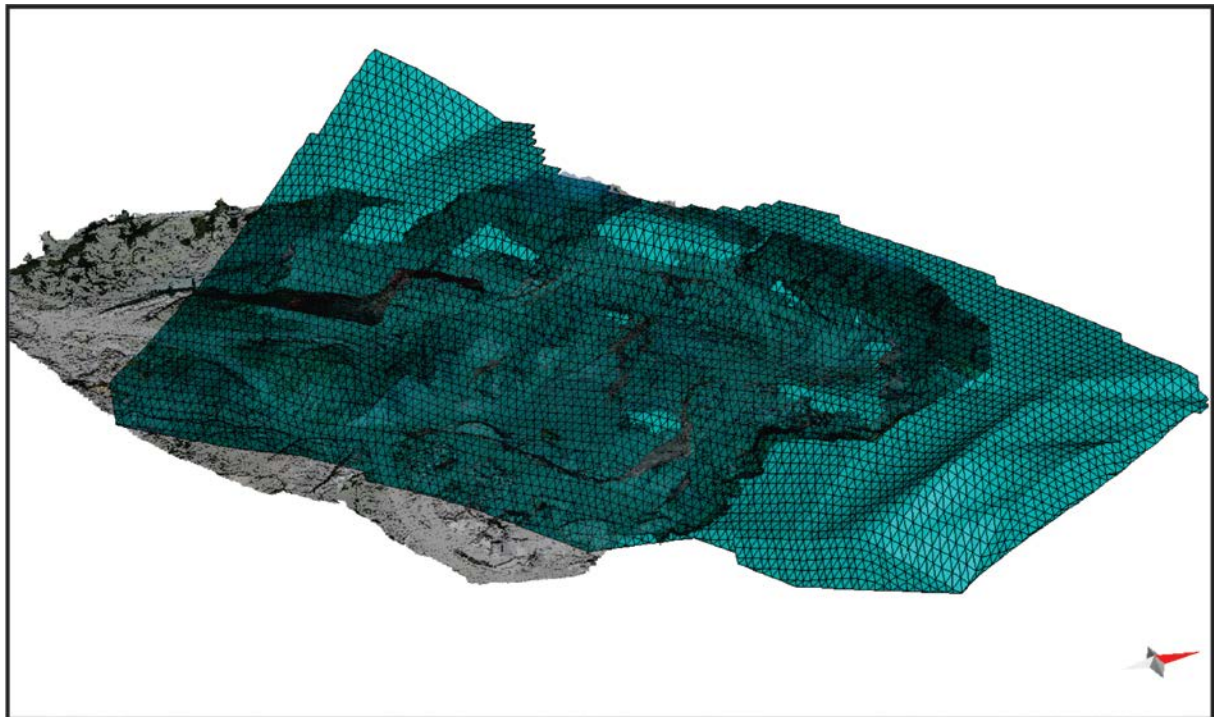


Figur 17: Bilde fra 3D MOVE som viser volumer laget for dolomitt laget.

4.2.2 Grå/hvit marmor

Figur 18 viser volum som er laget ut i fra den modellerte toppen av dolomitten (bunnen av grå/hvit marmor), toppen av grå/hvit marmor og omrisset vist i Figur 15, samt med dronetopografien.

Dette gir et volum på ca. 2,34 millioner m³. Med en beregnet tetthet for bergartstypen på 2,7g/cm³ gir dette en tonnasje på ca. 6,3 millioner tonn. Volumet er litt mindre enn det som ble estimert for den underliggende dolomitten.

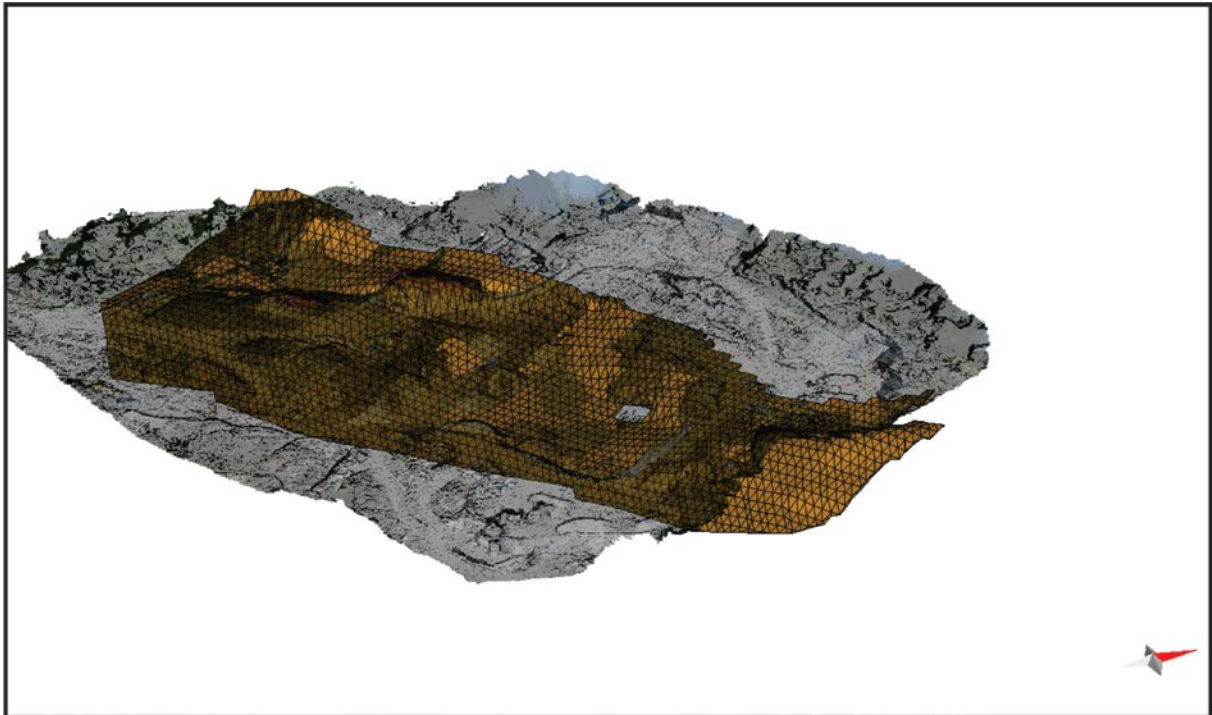


Figur 18: Bilde fra 3D MOVE som viser volumer laget for grå/hvit marmor laget.

4.2.3 Konglomerat-sandstein

Figur 19 viser volumet som er laget for konglomerat-sandsteinslaget ut i fra to overflater; toppen av grå/hvit marmor (bunnen av konglomerat-sandstein), og toppen av konglomerat-sandstein. Figuren viser også omrisset vist i Figur 15 og dronetopografien.

Dette gir et volum på ca. 0,56 millioner m³. Ved en beregnet tetthet av bergartstypen på 2,7g/cm³ gir dette en tonnasje på ca. 1,5 millioner tonn. Volumet er mindre enn både underliggende dolomitt og de grå/hvit marmor.



Figur 19: Bilde fra 3D MOVE som viser volumer laget for konglomerat-sandstein laget.

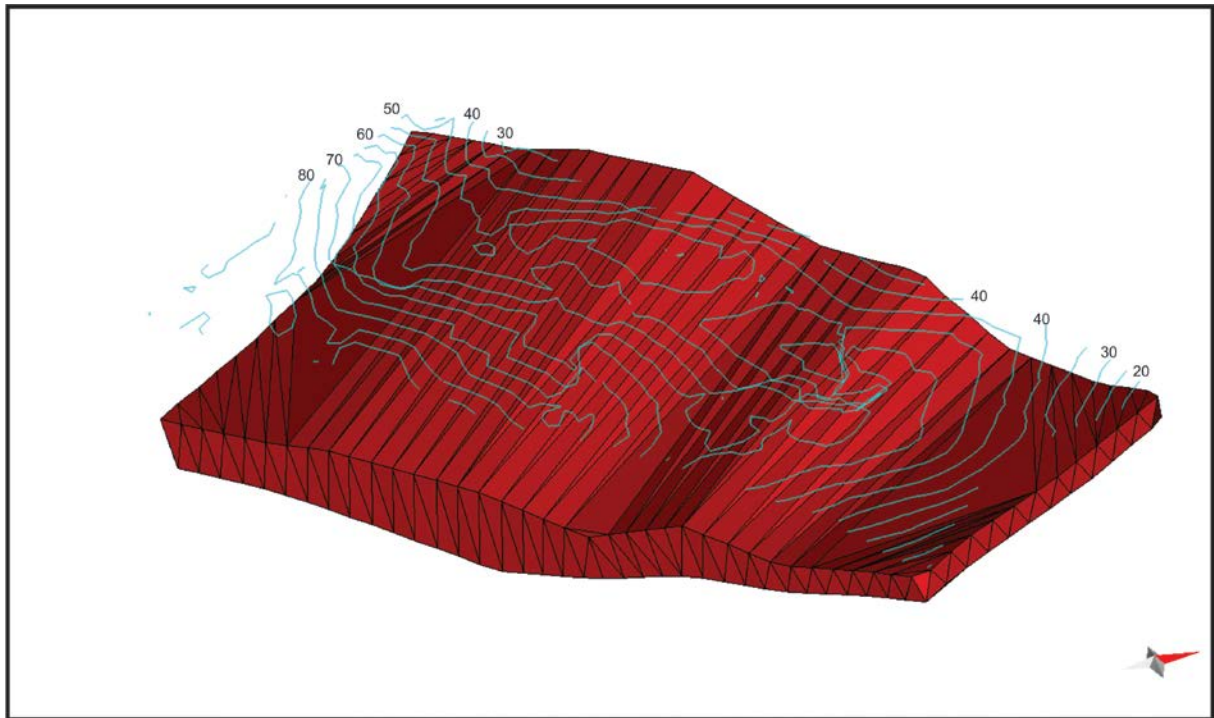
4.3 Dybdekart

I tillegg til levering av den digitale 3D-modellen og volumer, kan flere andre produkter leveres som er nyttig for daglig drift og fremtidig planlegging. 'Dybdekart' består av koter som viser den romlige variasjonen i dybde til lagflater eller tykkelse av interessante lag. Disse kartene kan vises både i 3D og eksporteres til 2D kart som kan skrives ut på papir.

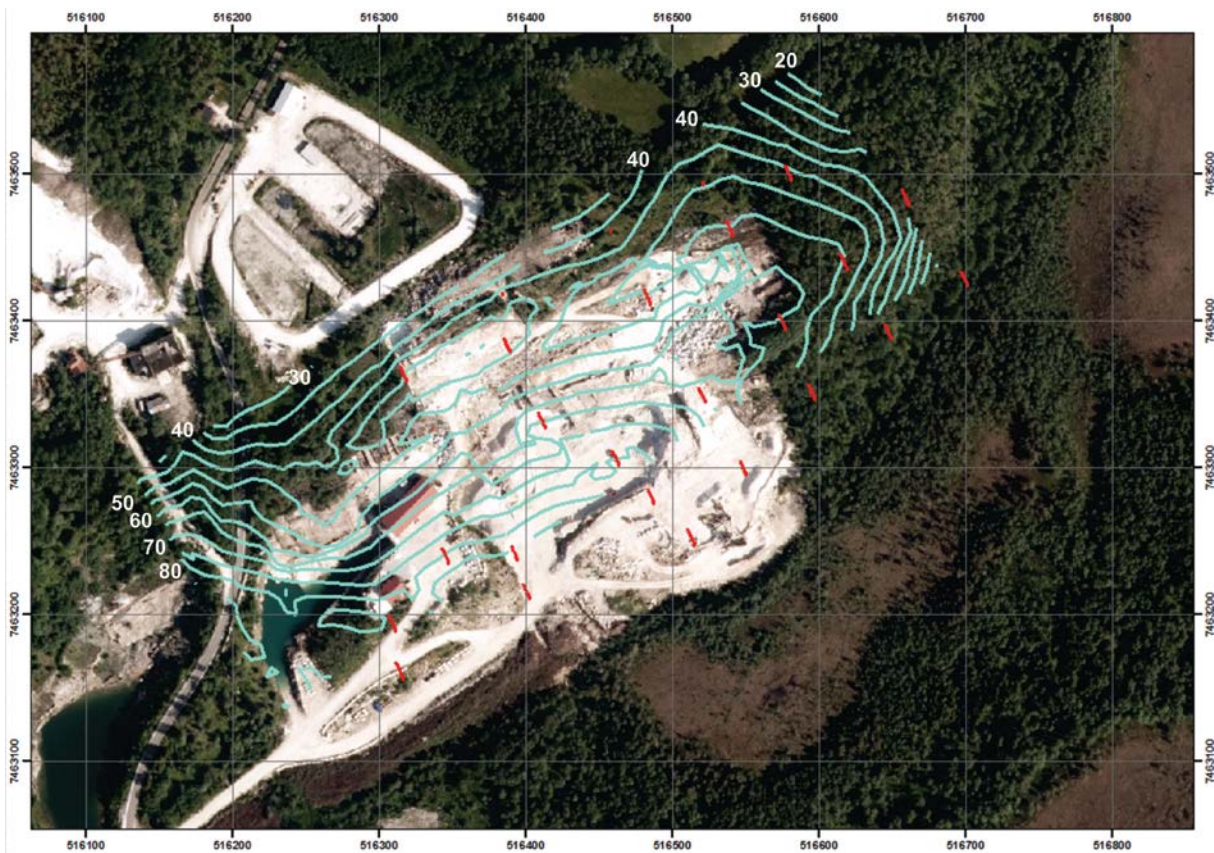
4.3.1 Dybdekart bunn dolomitt

Figur 20 viser volumet fastsatt for dolomittlaget. Høydekotene som ligger over det røde volumet ligger på topografien (som er tatt bort for å forenkle bildet). Disse høydekotene reflekterer dybden til bunnen av dolomittlaget og viser at bunnen til dolomitten ikke mer enn 20m under topografien i den østlige delen av område . Bunnen til dolomittlaget faller mot den sørvestlige delen, hvor maksimum dybde er ca. 80m.

Figur 21 viser det samme høydekotene i kartform med borehullene. Dette kartet kan skrives ut og brukes på stedet i bruddet til å visualisere høyden til den geologiske overflaten av interesse.



Figur 20: Dybdekart til bunn dolomitt i 3D. Tall i meter.



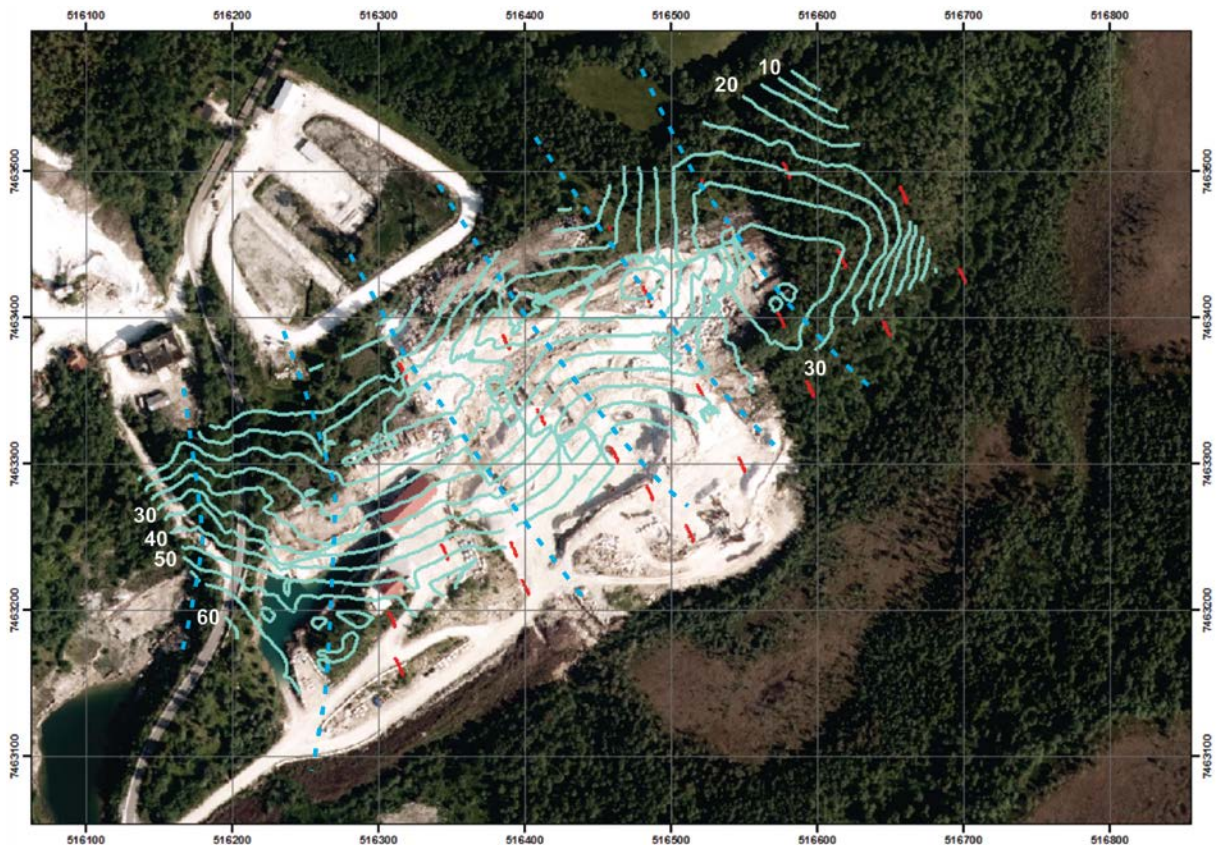
Figur 21: Dybdekart til bunn dolomitt i kartform. Tall i meter.

4.3.2 Dybdekart topp dolomitt-bunn grå/hvit marmor

Figur 22 viser det samme dolomittvolumet med høydekoter til toppen av dolomittlaget . Høydekotene viser en liknende geometri som bunnen av laget. I den østlige delen av området er toppen til dolomitten ikke mer enn noen få meter under topografien. Toppen av dolomittlaget faller mot den sørvestlige delen av området hvor maksimum dybde er ca. 50m. Både høydekoten for bunnen og toppen av dolomitt viser en krumning av dolomittlaget slik at den er foldet rundt åpne folder med N-S akser, bølgelenge på opp til 100m og amplitude opp til ca. 20m. Aksen til disse foldene vises i Figur 23, som også viser de samme høydekotene i kartform sammen med borehullene. Dette kartet kan skrives ut og brukes på stedet i bruddet til å visualisere høyden til den geologiske overflaten av interesse.



Figur 22: Dybdekart topp dolomitt-bunn grå/hvit marmor i 3D. Tall i meter.



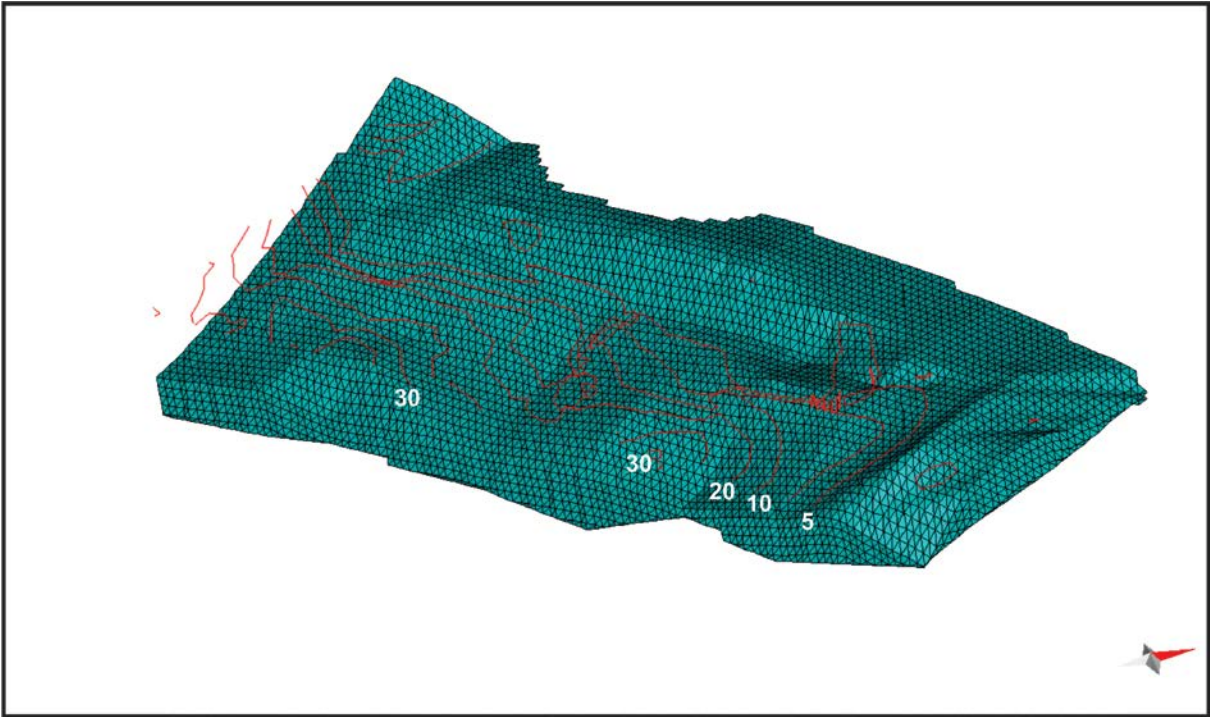
Figur 23: Dybdekart til topp dolomitt-bunn grå/hvit marmor i kartform. Aksene til foldene i overflatene er vist som blå linjer. Tall i meter.

4.3.3 Tykkelse dolomitt

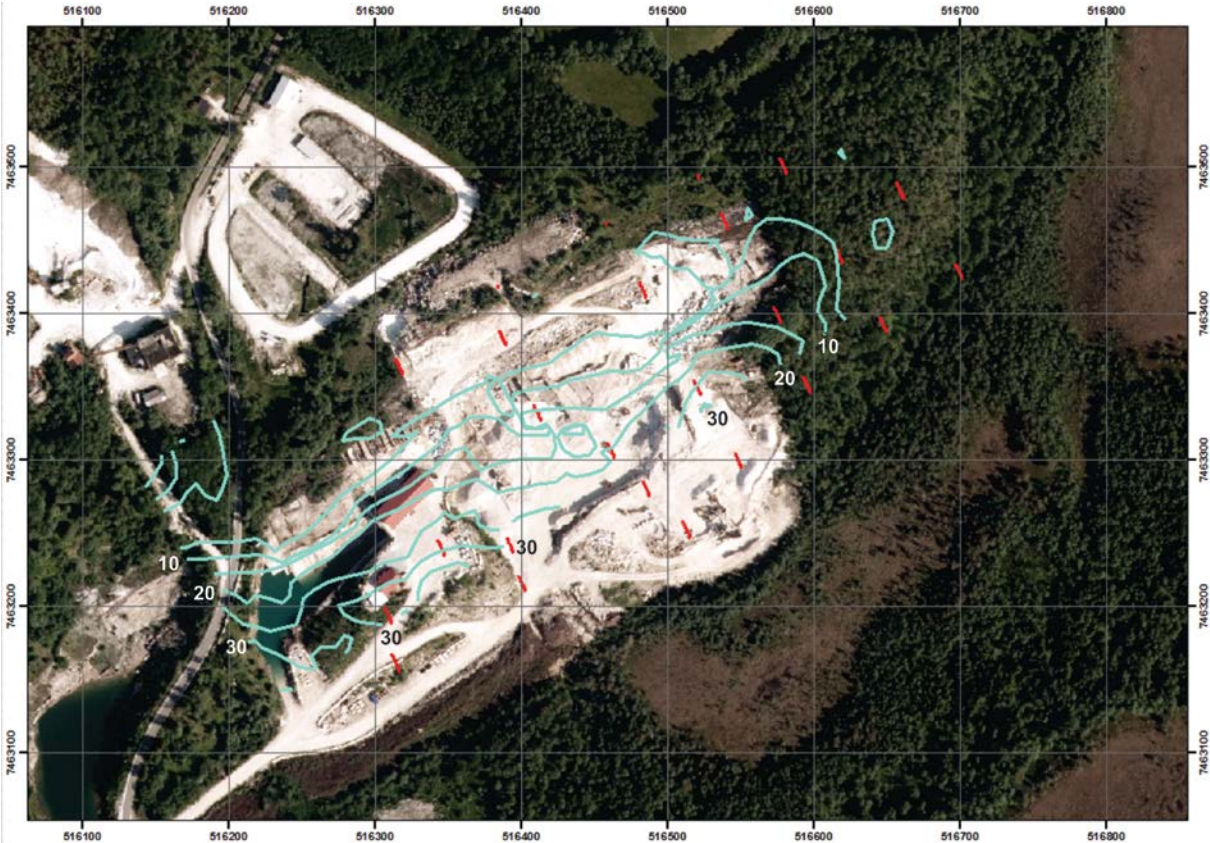
Siden ingen av borehullene treffer bunnen av dolomitten, som er forklart i avsnitt 4.2.1, laget vi en kunstig bunn-overflate som tilsvarer den dypeste observasjon av dolomittlaget i borehull 18. Dette gir en minimum tykkelse av dolomitten på ca. 40m. Dette betyr at dolomittlaget har en noenlunde jevn beregnet tykkelse på mellom 30 og 40m. Derfor, er det ikke mulig å lage tykkelseshøydekontorer på dette volumet slik det er gjort med de to andre volumene nedenfor (avsnitt 4.3.5 og 4.3.7).

4.3.4 Dybdekart topp grå/hvit marmor-bunn konglomerat

Figur 24 viser volumet til den midterste grå/hvit marmoren (blå) med høydekontorer (røde linjer) til bunnen av dette volumet. I den østlige delen av området er toppen til grå/hvit marmor i nærheten av overflaten og ikke mer enn noen få meter tykt. Toppen av det grå/hvit marmorlaget faller mot sør og er dypest i den sørvestlige delen av forekomsten hvor den er ca. 30m under bakken. Figur 25 viser høydekontorene for dybden til toppen av dette laget, og kan skrives ut og brukes i bruddet til å visualisere høyden til den geologiske overflaten av interesse.



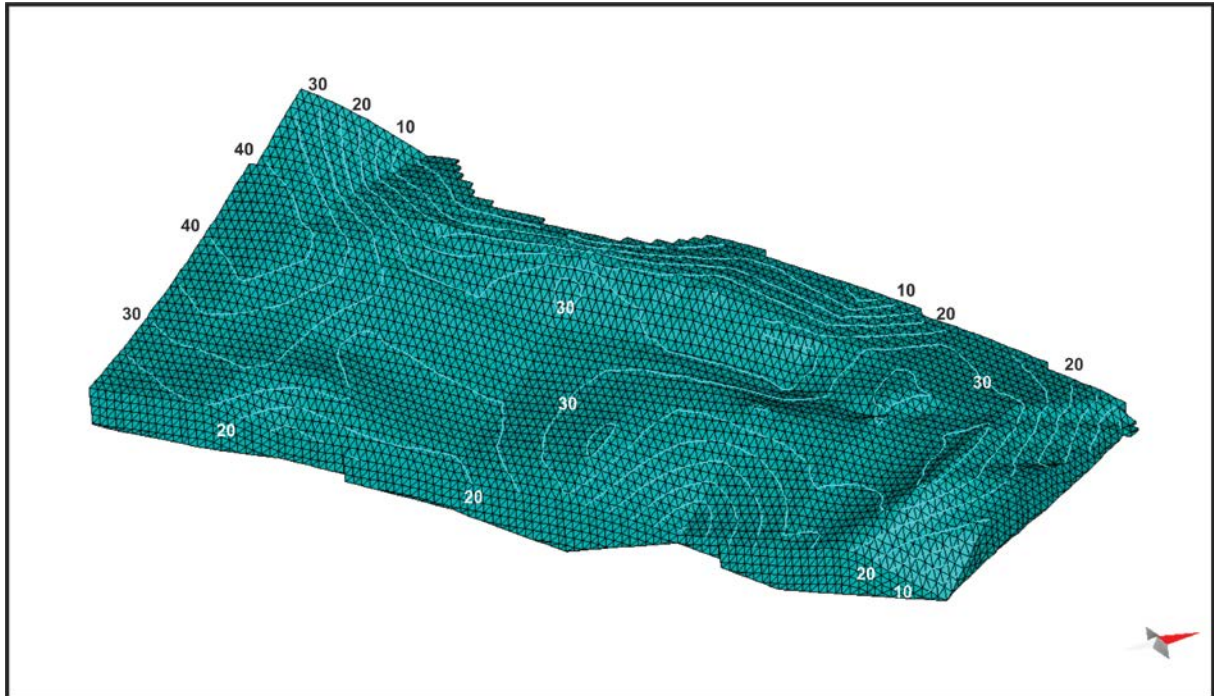
Figur 24: Dybdekart topp grå/hvit marmor-bunn konglomerat i 3D. Tall i meter.



Figur 25: Dybdekart topp grå/hvit marmor-bunn konglomerat i kartform. Tall i meter.

4.3.5 Tykkelse grå/hvit marmor

Figur 26 viser høydekoter for tykkelsen på det grå/hvite marmorlaget. Høydekotene viser at det er tynnere i øst og nord (hvor det er i nærheten av bakken) og når en gjennomsnittlig tykkelse på ca. 30m og er aller tykkere i vest (40m).



Figur 26: Tykkelse (m) grå/hvit marmor i 3D.

Figur 27 viser de samme høydekoter for grå/hvite marmor volum, men i kart form. Borehullene vises i tillegg. Dette kartet kan skrives ut og brukes på stedet i bruddet til å visualisere høyden til den geologiske overflaten av interesse.

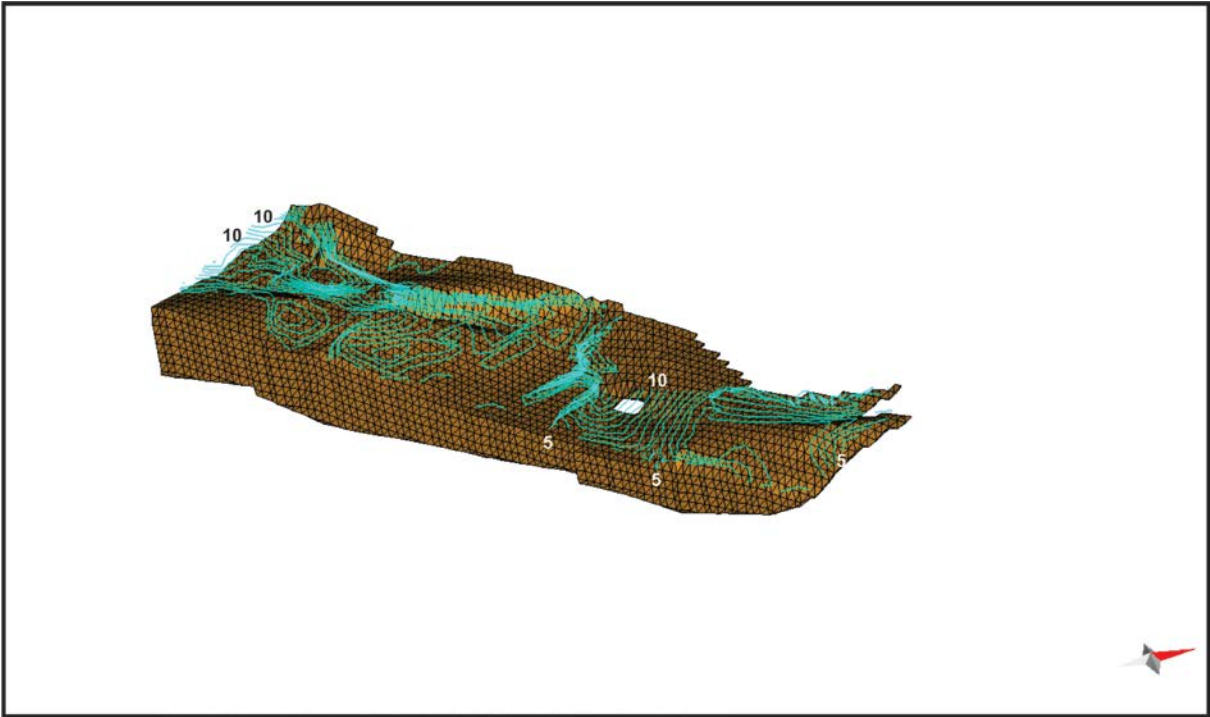


Figur 27: Tykkelse (m) grå/hvit marmor i kartform

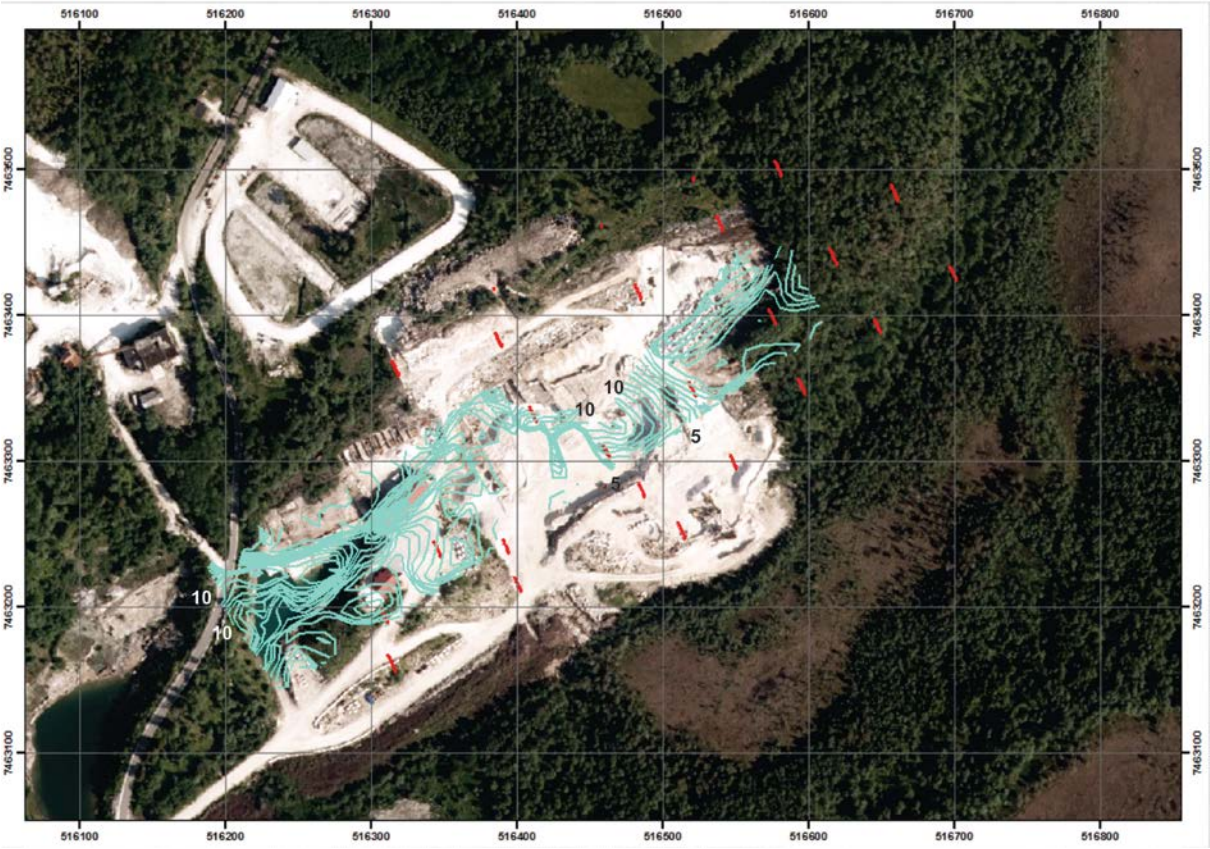
4.3.6 Dybdekart topp konglomerat

Det tredje og øverste volumet er konglomerat-sandsteinslaget. Dette er det minste volumet. Figur 28 viser volumet (i oransje) med høydekoter for dybden til toppen av laget (bunnen er allerede beregnet fra toppen av den grå/hvite marmoren). Høydekotene (i blå og med kun 1m intervall) viser at toppen av laget alltid er i nærheten av overflaten og ikke dypere en ca. 10m. I den østlige delen av er volumet nærmere overflaten (ca. 5m eller mindre).

Figur 29 viser de samme høydekotene i kartform og viser at dette volumet ikke streker seg så langt øst som de to andre volumer under (den er i 'frisk luft' over bakken i øst). Dette kartet kan skrives ut og brukes på stedet i bruddet til å visualisere høyden til den geologiske overflaten av interesse.



Figur 28: Dybdekart topp konglomerat. Tall i meter.

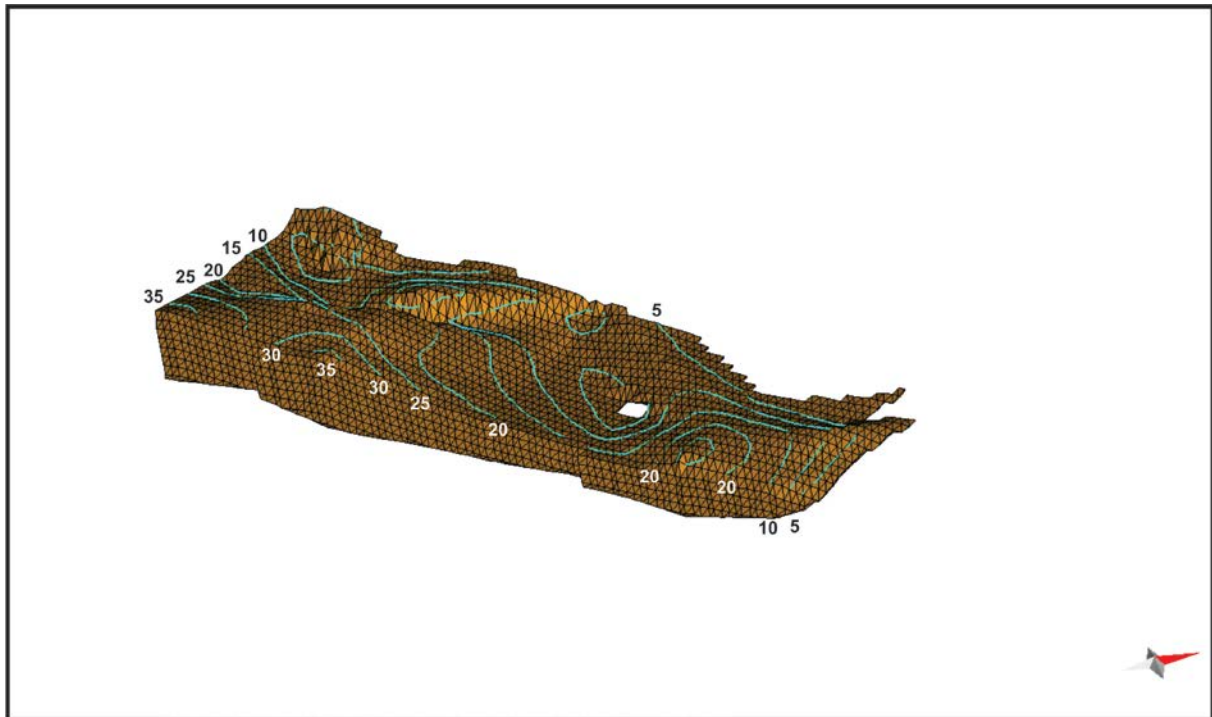


Figur 29: Dybdekart til topp konglomerat i kartform. Tall i meter.

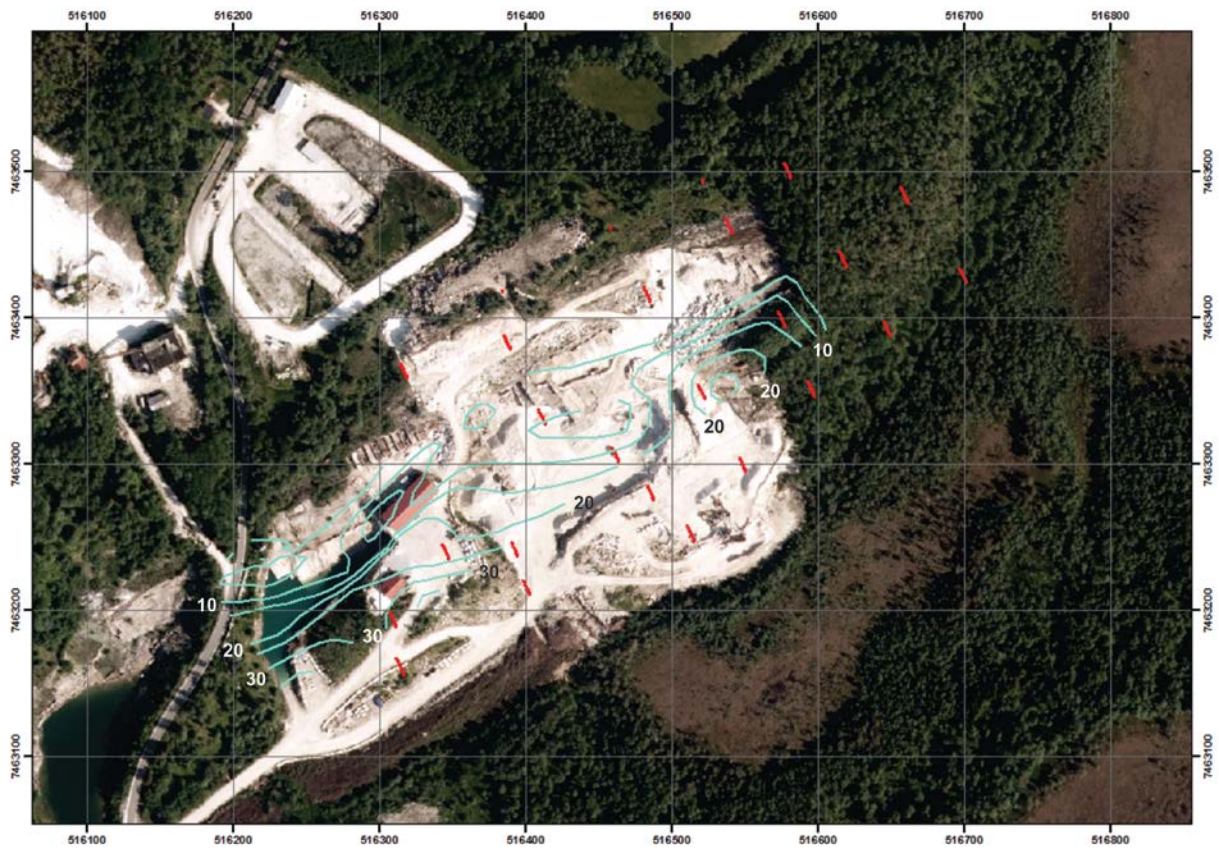
4.3.7 Tykkelse konglomerat

Figur 30 viser koter for tykkelsen til konglomerat-sandsteinslaget. Dette viser en mer kompleks og varierende tykkelse enn de to andre, nedre volumer, siden det er dette som bryter bakkeoverflaten mest. Volumet er tynnest i øst og nord og tykkest der den faller mot sør og vest til maks 35 meter.

Figur 31 viser de samme tykkelseskotene i kartform. Det viser at volumet streker seg ikke like langt sør som de to volumene under. Dette kartet kan skrives ut og brukes på stedet i bruddet til å visualisere høyden til den geologiske overflaten av interesse.



Figur 30: Tykkelse (m) av konglomeratlaget i 3D.



Figur 31: Tykkelse (m) av konglomeratlaget i kartform.

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 Norwegian Rose AS.
- 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 marmorbruddet til Norwegian Rose A/S på Fauske.
- Modellen består av den topografiske modellen med ortofoto laget fra drone, borehullsdata og en forenklet tolkning på de forskjellige bergartstyper.
- Basert på 11 profiler har 4 overflater blitt tolket i 3D:
 - bunnen av dolomitten
 - toppen av dolomitten-bunnen av grå/hvit marmor
 - toppen av grå/hvit marmor- bunnen av konglomerat/sandstein
 - toppen av konglomerat/sandstein-bunnen av båndmarmor
- 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 kan ikke brukes til å endre modellen
 - Innenfor et område hvor det er borehull i bruddet er det laget tre volumer mellom de fire bergartskontaktene (antatt dybde på dolomitten til å være ca. 40m). Disse viser et resterende omtrentlig volum tilsvarende minimum $2,75\text{Mm}^3$ for dolomitten, $2,34\text{Mm}^3$ for grå/hvit marmor, og $560\,000\text{m}^3$ for konglomerat/sandsteinen.
 - Dette tilsvarer en omtrentlig tonnasje på minimum 7,4Mt dolomitt, 2,4Mt grå/hvit marmor og 1,5Mt konglomerat-sandstein.
 - Vi har laget 'høydekotekart' over alle de tre volumene, både av toppen og bunnen av dem. Disse viser avstand, eller dybde, fra volumoverflaten til topografien. Denne informasjonen er presentert som både 3D bilde og 2D kart som kan skrives ut på papir og brukes i bruddet.

- Vi har laget 'høydekotekart' over tykkelsen til de to øverste volumene. Denne informasjonen er presentert som både 3D bilde og 2D kart som kan skrives ut på papir og brukes i bruddet.
- Generelt faller alle volum og deres topp og bunn kontakter mot sør og øst. Volumene blir dypere mot vest og kommer over bakken i nord og øst (særlig konglomerat-sandsteinslaget er veldig tynn i øst).
- Med hensyn til tykkelsesmønster fremstår dolomitten som jevntykk (ettersom vi har beregnet en maksimal tykkelse på 40m fra det dypeste borehull). Den grå/hvite marmoren er tynnest i øst og nord og blir tykkere i vest og har en maks tykkelse på ca. 40m, med et gjennomsnitt på ca. 30m. Konglomerat-sandsteinslaget er noen tynnere. Det er tykkest i vest og sør og har en maksimal tykkelse på ca. 30m, med et gjennomsnitt på ca. 20m.

6. ANBEFALNINGER FOR VIDERE ARBEID

Dette arbeid har vært bevisst 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 alle de geologiske enhetene i ikke-forenklet form, for å fremstille en mer realistisk og detaljert geologisk modell.

På grunn av det avgrensede omfanget av prosjektet har det ikke blitt gjennomført nytt geologisk kartleggingsarbeid i forbindelse med modelleringen. Videre modellutvikling bør også inkludere kartlegging.



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