



GEOLOGI FOR SAMFUNNET

SIDEN 1858



**NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE**
· NGU ·



Rapport nr.: 2016.046	ISSN: 0800-3416 (trykt) ISSN: 2387-3515 (online)	Gradering: Åpen
Tittel: 3D modellering og visualisering av Bordvedåga Be-forekomst, Høgtuva, Nordland.		
Forfatter: Iain H.C. Henderson, Morgan Ganerød & Tom Heldal	Oppdragsgiver: Statsskog	
Fylke: Nordland	Kommune: Rana	
Kartblad (M=1:250.000) Mo i Rana	Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)	
Forekomstens navn og koordinater: Høgtuva, UTM33 449680; 7365550	Sidetall: 27	Pris: 130,-
Feltarbeid utført: 24-25.08.2016	Rapportdato: 22.12.2016	Prosjektnr.: 371300
	Ansvarlig:	
Sammendrag: <p>Denne rapporten dokumenterer en ny metode i Norge for å modellere og visualisere mineralforekomster, og bruker Bordvedåga Be-forekomsten ved Høgtuva som et av de første eksemplene. Metoden går ut på å lage en detaljert terrengmodell, med tilhørende rektifiserte bilder, og å integrere høydemodellen med underjords-geologiske data for å skape en helhetlig geologisk-terreng modell. I utgangspunktet lages terrengmodellen med fotogrammetri fra bilder tatt fra drone med GPS. Totalt ble de brukt 528 bilder over selve Be-forekomsten og ned nord til tregrensen. Den fotogrammetriske modellen ble laget i <i>Agisoft Photoscan Professional</i> programvaren hvor først en punktsky og deretter en wireframe-mesh ble produsert. Denne modellen ble importert inn i <i>3D MOVE</i> programvaren for videre geologisk arbeid. 37 borehull ble brukt, med tilhørende Be-innehold fra kjemiske analyser, til å bestemme formen av forekomsten i dybden. 11 NNØ-SSV profiler ble laget parallelt med borehullretning, hvor 2D tolkninger ble gjort av kontakter mellom de forenklete bergartstypene. Ut i fra disse 11 profilene ble det laget 3D overflater av toppen og bunnen av den mineraliserte bergarten, som utgjør konstruksjonen av den kombinerte terreng-geologiske 3D modellen for forekomsten. I tillegg har flere 2D og 3D produkter fra modellen blitt produsert for å illustrere ulike nyttige aspekter. To volumberegninger ble gjort på Be-holdig stein over henholdsvis 200 ppm og 1000 ppm Be. 1000 ppm Be utgir et volum på ca. 155 000 m³, som tilsvarer ca. 419 000 tonn. Dette er ca. 20 % mer enn tidligere beregninger. I tillegg er en 3D modell som kan visualiseres med <i>3D MOVE VIEWER</i> levert til kunden. 2D produkter består av dybdeberegninger til toppen og bunnen av den Be-holdige bergarten i de 11 profilene, samt horisontale dybdekart. Disse produktene bør bidra til en bedre forståelse av geologien i forekomsten direkte under bakken i Høgtuva.</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 måte enestående i Norge. Prosjektet er del-finansiert av Mineralklynge Norge</p>		
Emneord: 3D	terrengmodell	fotogrammetri
drone	Høgtuva	

INNHOOLD

1. INNLEDNING.....	6
2. METODIKK	7
2.1 Utstyr	7
2.2 Fotogrammetriske prinsipper.....	8
2.3 Usikkerhet i modellen.....	12
3. RESULTATER	13
4. PRODUKTER FRA 3D MODELLEN.....	18
4.1 3D modell i 3D MOVE VIEWER.....	18
4.2 Volum	19
4.2.1 Be >200 ppm	19
4.2.2 Be >1000 ppm	20
4.3 Dybdekart	21
4.3.1 Be >200 ppm	21
4.3.2 Be >1000 ppm	24
5. Tunnelen.....	27
6. KONKLUSJONER	29
7. ANBEFALNINGER FOR VIDERE ARBEID	31

FIGURER

Figur 1: Drone brukt til å skaffe GPS rektifiserte bilder fra luften: DJI Phantom 4.....	7
Figur 2: Kontrollenhet til dronen med tilhørende Ipad som brukes til å fjernstyre dronen fra Litchi applikasjonen.	7
Figur 3: Prinsippet med oppbygging av 3D terrengmodell fra dronebilder.....	8
Figur 4: Automatisk flyruteplanlegging i ArcGIS. Dette produserer en.csv fil med XYZ punkter som lastes opp til dronen.....	9
Figur 5: Bilde fra Litchi applikasjonen som styrer dronen automatisk i luften.	9
Figur 6: Oppbygging av terrengmodell med Agisoft Photoscan programvare. A- Bilder lastet inn i programvaren vises som blå firkanter. Bildene er tatt fra 100 m høyde over bakken. Den tynne punkttskyen viser overflaten. Bildet inneholder 65 000 punkter. B- Lett punkttsky uten dronebildevising. Den tettere delen av punkttskyen er hvor Bordvedåga Be forekomst ligger. Disse bildene er tatt fra 30 m høyde over bakken. C- Terrengmodell laget ut i fra en tett punkttsky. Her er det ca. 3,4 millioner overflater. D. Ferdig høydmodell med bilder.....	10
Figur 7: Bilder av ferdig terrengmodell i 3D MOVE klar for innlegging av geologiske data. Noter UTM33 XY koordinater (rød og grønne tall) og høyde (blå tall nederst til venstre) er riktige.	11
Figur 8: Oppsummering av arbeidsflyten for å lage 3D topografiske-geologiske modeller fra bilder.....	11
Figur 9: Geologisk kart (etter Wilberg, 1989) over Høgtuva som viser de forskjellige bergartstyper og hvor forekomsten ligger (rød firkant).	13
Figur 10: Utsnitt fra Norge i bilder over Høgtuva som viser borehullene ved Bordvedåga Be-forekomst (gule linjer). Utsnittet viser utgangen av høye Be-verdiene på overflaten (rosa)..	14
Figur 11: Bordvedåga Be-forekomst sett fra SØ i 3D MOVE programvaren med tilhørende borehull. De fleste borehullene faller mot 225 grader. De korteste hullene (4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13) faller mot 250 grader. Be-verdien vises med forskjellige farger på borehullstrengen. grå er mindre enn 200 ppm, blå er 200-400 ppm, grønn er 400-1000 ppm, oransje er 1000-3000 ppm og rødt er mer enn 3000 ppm.	15
Figur 12: Profilene som er laget i 3D MOVE for å kunne tolke den mineraliserte kroppen. Totalt er det 11 profiler som ligger parallelt med fallretningen av borehullene.	15
Figur 13: Eksempel på bestemmelse av bergartskontakt fra profil 7 i 3D MOVE basert på en forenklet inndeling av bergartstypene.	16
Figur 14: Volum (i rødt) laget ut fra de 11 profiler vist i Figur 12 som avgrensner partier som inneholder mer enn 200 ppm Be.	17
Figur 15: Utsnitt fra 3D MOVE VIEWER fil som er lagret på FTP siden til NGU. Programvaren er en forenklet utgave av 3D MOVE som tillater visualisering av 3D modeller men ikke endringer. Spalten til venstre viser de forskjellige lag som kan vises eller skjules. Det bør skjules 'trace lines' og 'posts' når filen åpnes (rød firkant). Disse er kun konstruksjonslinjer for de geologiske profilene. modellen roteres med musen. Rotasjonscenter velges med å trykke på knappen (gul rundning). For å gjøre et lag transparent (f. eks. topografien) klikk først på laget spalten til venstre og velg transparentnivå med funksjonen i den blå firkant.....	18

Figur 16: Utsnitt fra ftp siden til NGU. Alle 3 filer skal lastes ned. moveviewer_2016.2.2_windows-64-bit.exe skal installeres.hogtuva_statsskog.movd er en mappe med alle de nødvendige lagfiler som skal lastes inn i modellen. Hogtuva_statsskog.move er selve modellen.	19
Figur 17: Volumenet (i grønn) mellom 200 ppm topp-Be og 200 ppm bunn Be. Dette gir et mineralisert volum på ca. 710 000 m ³ , tilsvarende ca. 1.9 millioner tonn.	20
Figur 18: Volumenet (i oransje) mellom 1000 ppm topp-Be og 1000 ppm bunn Be. Dette gir et volum på ca. 155 000 m ³ , som tilsvarer ca. 419 000 tonn.....	21
Figur 19: 3D oversikt over den Be >200 ppm-mineraliserte kroppen sett fra NØ (grønn), med høydekoter som viser dybden til toppen av kroppen fra overflaten, og dronetopografien drapert over. Kroppen ligger i nærheten av overflaten i sør men går mot dypet i nord.....	22
Figur 20: Dybdekart hentet fra 3D modellen med høydekoter som viser topografien. Disse angir dybde til toppen av den mineraliserte Be >200 ppm sonen. Borehullene er vist i gult og geologiske profiler (1-10) i lys blå. Kroppen ligger i nærheten av overflaten i sør men går mot dybden i nord.....	22
Figur 21: 3D oversikt over den Be >200 ppm mineraliserte kroppen sett fra NØ (grønn), med tykkelseskoter og dronetopografi.	23
Figur 22: Dybekart med koter som viser avstanden fra toppen av den mineraliserte >200 ppm Be sone til bunnen av den mineraliserte sone. Kartet viser tykkelsen på den mineraliserte sonen. Borehullene er vist i gult og geologiske profiler(1-10) i lysblå.....	23
Figur 23: 3D oversikt over den Be >1000 ppm-mineraliserte kroppen sett fra NØ (oransje), med koter (i 5m intervaller) som viser dybden til toppen av kroppen fra overflaten. Kroppen ligger i nærheten av overflaten i sør men går mot dybden i nord.	24
Figur 24: Dybdekart hentet fra 3D modellen med koter som vist i Figur 23, som representerer dybden til toppen av den mineraliserte Be >1000 ppm sonen. Borehullene er vist i gul og geologiske profiler (1-10) i lys blå. Kroppen ligger i nærheten av overflaten i sør men går mot dybden i nord, og er maksimum ca. 50 m fra overflaten lengst i nord.	25
Figur 25: 3D oversikt over den Be >1000 ppm mineraliserte kroppen sett fra NØ (grønn), med tykkelseskoter som viser at kroppen er relativt tynn, og er tykkest i sør, hvor den ligger i nærheten av overflaten.	25
Figur 26: 2D dybdekart med koter som viser avstanden fra toppen av den mineraliserte Be >1000 ppm sonen til bunnen av den mineraliserte sonen. Bildet viser tykkelsen på den mineraliserte sonen. Borehullene er vist i gul og geologiske profiler (1-10) i lys blå.	26
Figur 27. 2D kartutsnitt som viser borehullene (gul), de geologiske profilene som er brukt til å lage malmkroppen (blå) og den planlagte trase for tunnelen (rød).	27
Figur 28: 3D oversikt over forekomsten med dronetopografi og den planlagte tunneltrase. Både Be >200 ppm og Be <1000 ppm malmkroppene er vist.	28
Figur 29: Profil gjennom fjellsiden som viser topografi (oransje), borehull, dronetopografi (grå) og den planlagte tunneltraseen.	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 bruker Bordvedåga Be-forekomsten ved Høgtuva 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 underjords-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 528 bilder over selve Be-forekomsten og ned not nord til tregrensen 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. 37 borehull ble brukt, med tilhørende Be-innehold fra kjemiske analyser til å bestemme formen på forekomsten i dybden. 11 NNØ-SSV profiler ble laget parallelt med borehullretning, hvor 2D tolkninger ble gjort av kontakter mellom de forenklete bergartstypene. Ut fra disse 11 profilene ble det laget 3D overflater av toppen og bunnen til den mineraliserte bergarten. 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. En volumberegning ble gjort på Be-holdig stein både på Be >200 ppm og Be >1000 ppm. Be >1000 ppm utgir en volum på ca. 155 000 m³ som er ca. 419 000 tonn. 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 den Be-holdig bergarten i de 11 profilene, samt som horisontale dybdekart. Disse produktene bør bidra til en bedre forståelse av geologien i forekomsten direkte under bakken i Høgtuva.

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 presenteres for Mineralklynge Norge i slutten av 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).



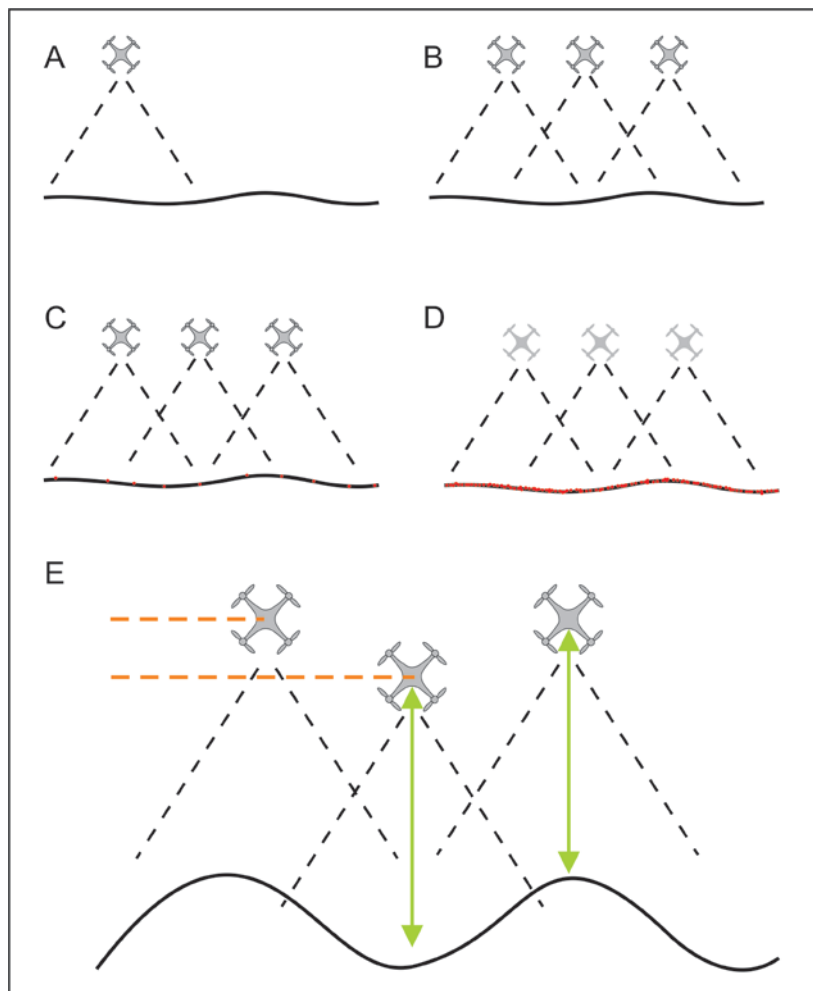
Figur 1: Drone brukt til å skaffe GPS rektifiserte bilder fra luften: DJI Phantom 4.



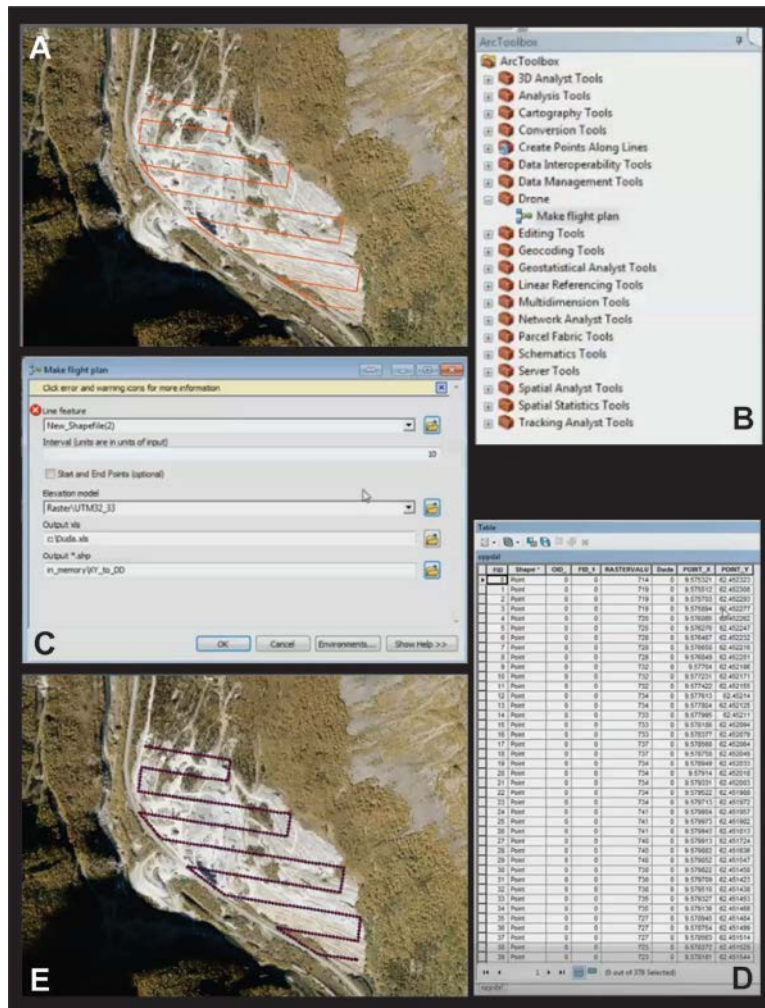
Figur 2: Kontrollenhet til dronen med tilhørende Ipad som brukes til å fjerne styre dronen fra Litchi applikasjonen.

2.2 Fotogrammetriske prinsipper

Prinsippet med å bygge 3D terrengmodeller fra bilder tatt fra drone er relativt enkel og godt dokumentert og brukt forskjellige steder i verden. 'Structure from motion' beskriver det avanserte programvare må gjøre for å sammenligne bilder med minst 60 % overlapp og plukke ut identiske piksler (Figur 3). Mange programvarer eksisterer 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 3A-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 det nødvendige overlappet. 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.

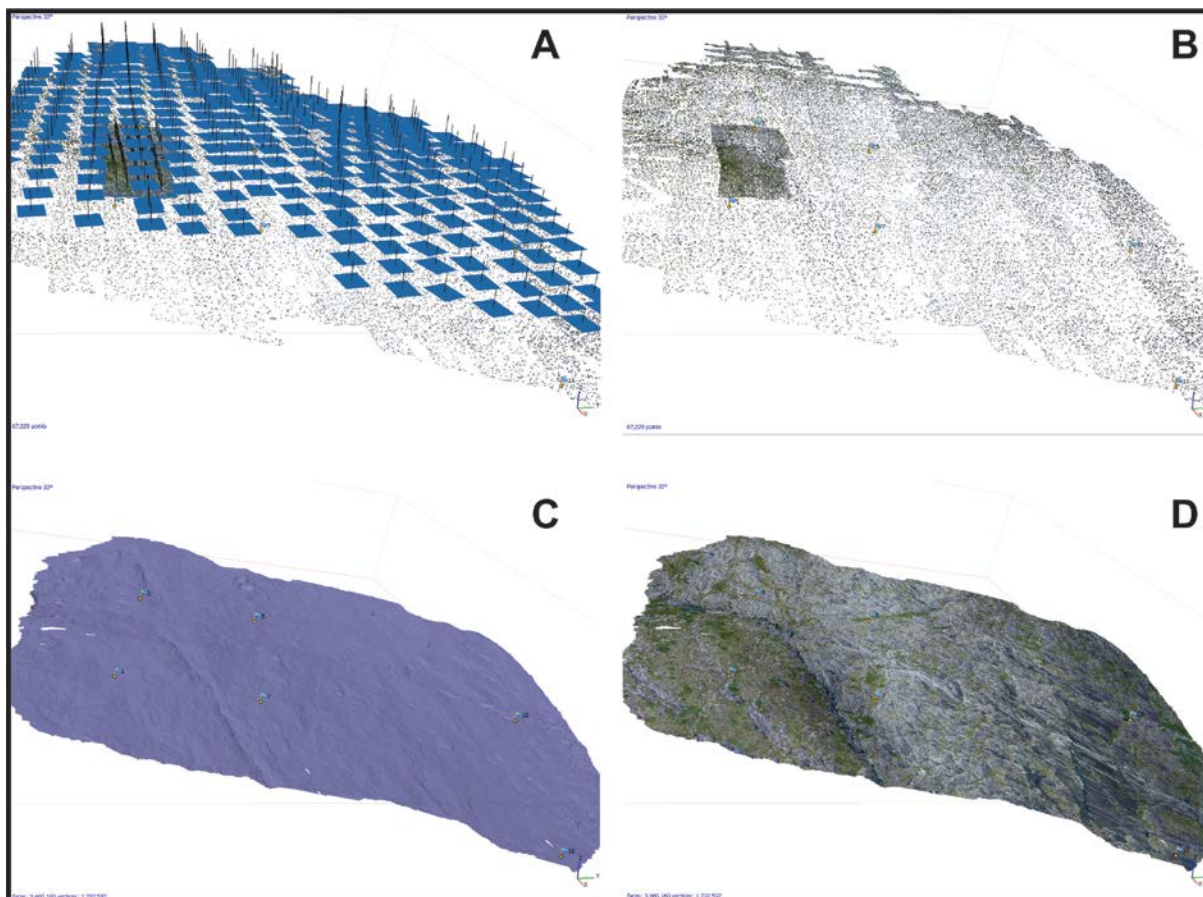


Figur 4: Automatisk flyruteplanlegging i ArcGIS. Dette produserer en.csv fil med XYZ punkter som lastes opp til dronen.

The image shows the Litchi drone application interface. The main map displays a circular flight path with numbered waypoints (1-99) over a satellite image of a field. The right-hand panel shows flight settings:

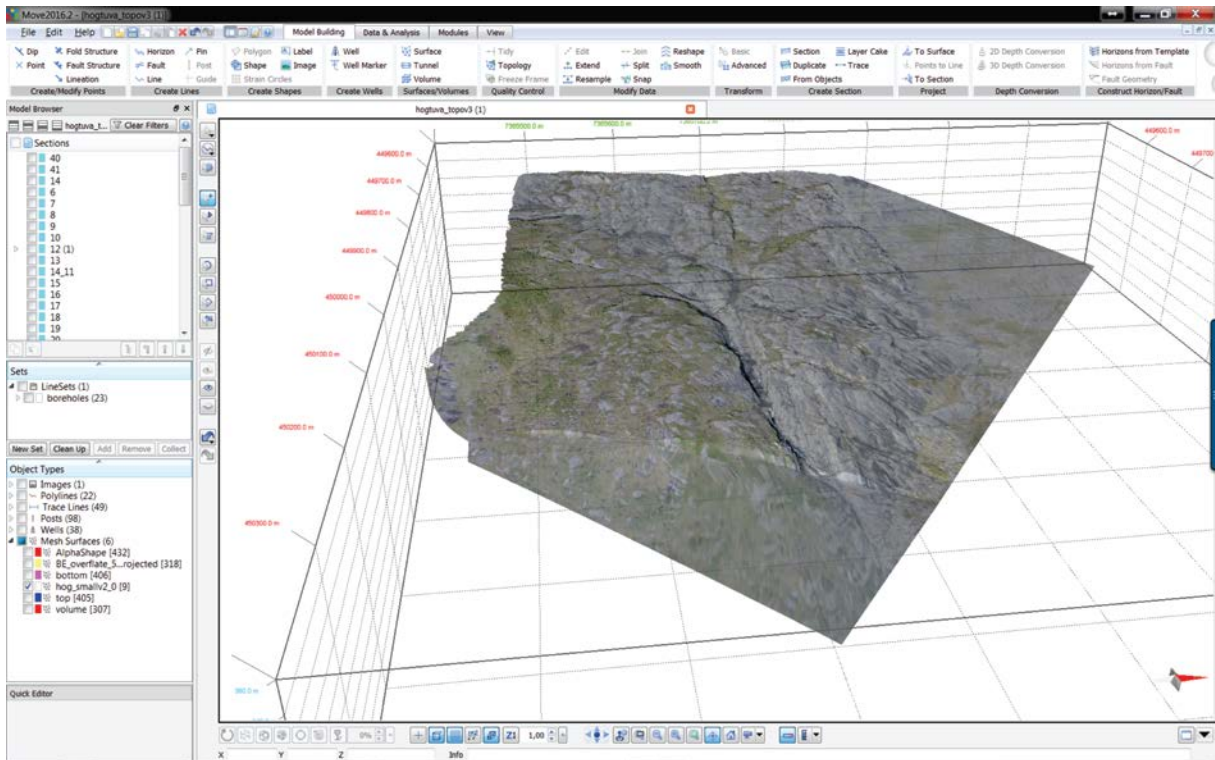
- Latitude: 67.2856597780742
- Longitude: 15.368892349777222
- Altitude: 30m
- Ground Elevation: 87m (m below first waypoint)
- Speed: Cruising
- Curve Size: 0m
- Heading: 314°
- Poi: None
- Gimbal Pitch: Disabled, Focus POI, Interpolate
- Actions: 2
 - Tilt Camera: -90°
 - Take Photo: 40

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



Figur 6: Oppbygging av terrengmodell med Agisoft Photoscan programvare. A- Bilder lastet inn i programvaren vises som blå firkanter. Bildene er tatt fra 100 m høyde over bakken. Den tynne punktskyen viser overflaten. Bildet inneholder 65 000 punkter. B- Lett punktsky uten dronebildevising. Den tettere delen av punktskyen er hvor Bordvedåga Be forekomst ligger. Disse bildene er tatt fra 30 m høyde over bakken. C- Terrengmodell laget ut i fra en tettpunktsky. Her er det ca. 3,4 millioner overflater. D. Ferdig høydemodell med bilder.

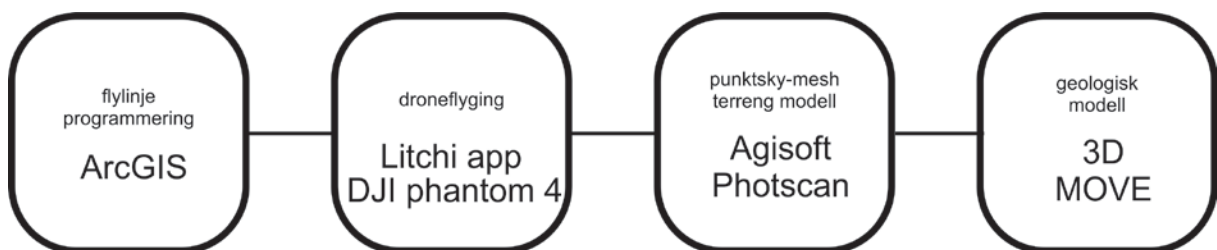
Etter flyvningen lastes bildene inn i programvaren *Agisoft Photoscan Professional* som lager en punktsky fra bildene (Figur 6). Fra de 528 bildene som er tatt over Høgtuva finner programvaren opprinnelig 65 000 felles punkter eller piksler (Figur 6a). Datamaskinen lager deretter en tett punktsky, hvor det er ekstrapolert mange flere punkter (Figur 6b). Ut i fra denne punktskyen lages det en "solid terrengmodell" (Figur 6c). Til slutt legges et sammensatt bilde over hele området over høydemodellen (Figur 6d). Dette avslutter arbeidsfasen med å konstruere høydemodellen. Neste fase er å få modellen overført til et verktøy hvor de geologiske arbeidene kan påbegynne.



Figur 7: Bilder av ferdig terrengmodell i 3D MOVE klar for innlegging av geologiske data. Noter UTM33 XY koordinater (rød og grønne tall) og høyde (blå tall nederst til venstre) er riktige.

Figur 7 viser et utsnitt fra en geologisk modelleringsprogramvare som heter 3D MOVE. Dette er en programvare som tillater 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.



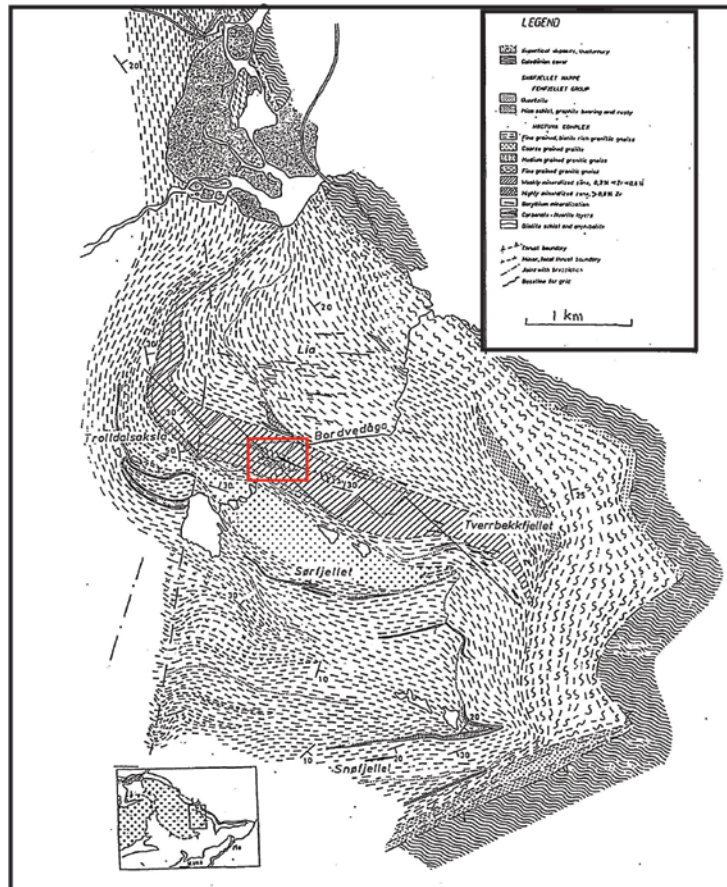
Figur 8: Oppsummering av arbeidsflyten for å lage 3D topografiske-geologiske modeller fra bilder.

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 vanskelige å kvantifisere men må betraktes som en vanlig usikkerhet ved geologisk tolkningsarbeid.

3. RESULTATER

Bordvedagå Be-forekomst er ett av tre testområder for dette prosjektet. Det er flere grunner for å bruke denne forekomsten som testområde; lett tilgjengelighet, overkommelig størrelse på forekomsten, relativt enkel geologi, lett tilgjengelig geologiske informasjon i form av borehull, og et ønske fra Statsskog om å øke kunnskapen om forekomsten.



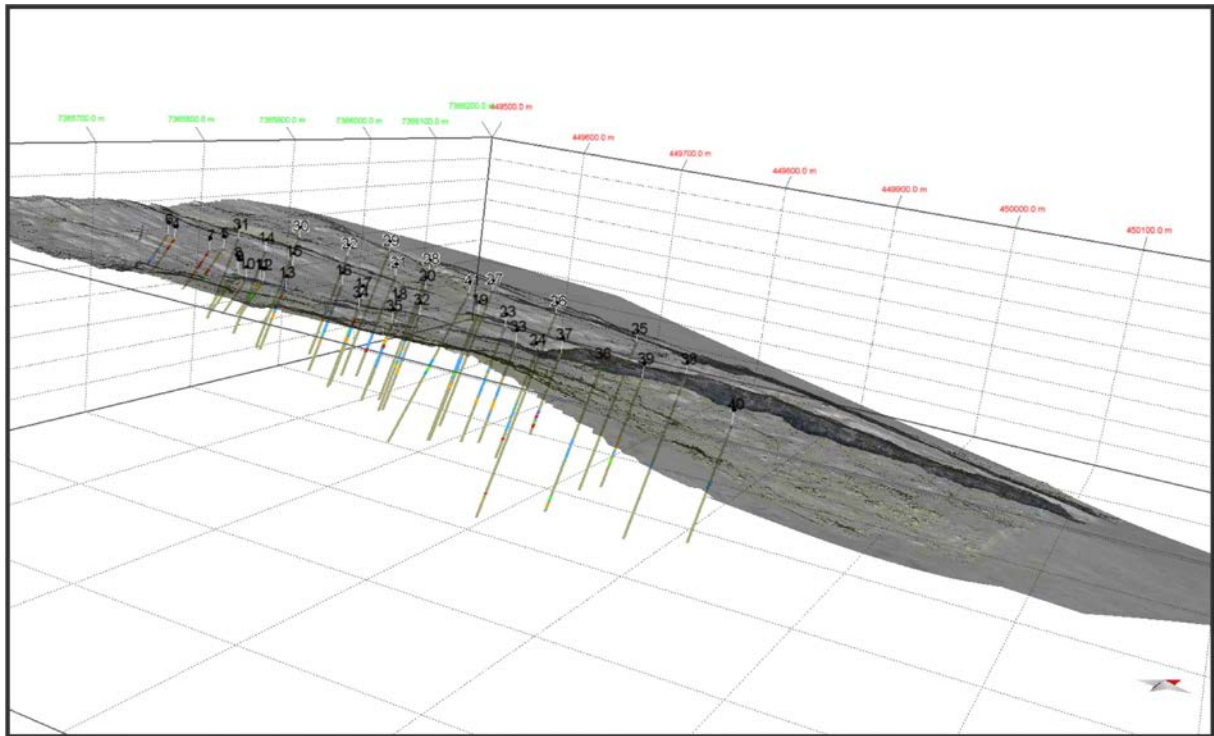
Figur 9: Geologisk kart (etter Wilberg, 1989) over Høgtuva som viser de forskjellige bergartstyper og hvor forekomsten ligger (rød firkant).

Figur 9 viser et forenklet geologisk kart over Høgtuva. Geologisk sett er Høgtuva en del av grunnfjellet, som i hovedsak består av massiv granitt som ble dannet for ca. 1800 millioner år siden. Under den Kaledonske fjellkjededannelsen for ca. 400 millioner år siden ble mye yngre bergarter skjøvet inn over granittene. Kontakten mellom de yngre bergartene og grunnfjellet har blitt foldet og erodert slik at 'vinduer' gjennom de yngre bergartene inn i grunnfjellet har blitt dannet. Høgtuva er ett av disse vinduene. Granitter kan inneholde sære mineraler og noen ganger mineraler med verdier. I Høgtuvavinduet, og spesielt ved Bordvedåga, finnes det en naturlig anriking av en rekke grunnstoffer og spesielle mineraler og metaller, inklusiv uran, zirkon, sjeldne jordarter og beryllium. Beryllium er spesielt interessant ettersom det er et verdifullt og nødvendig element som brukes i spesielle legeringer til luftfartsindustrien. Berylliumforekomster er sjeldne og i dag er to tredjedeler av verdensproduksjonen begrenset til noen få forekomster i USA.

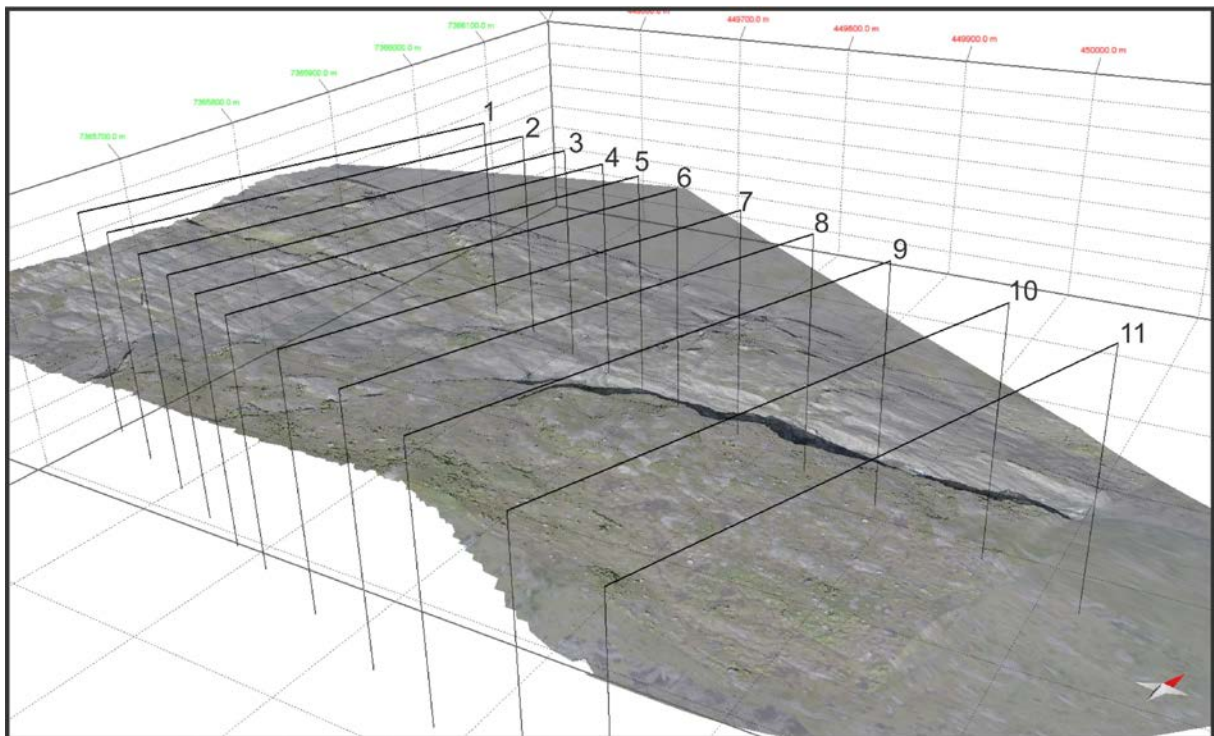
På slutten av 80-tallet gjennomførte NGU totalt 37 kjerneboringer i Bordvedåga området. Overflategeologisk kartlegging og prøvetaking ble også gjennomført. Kjernematerialet ble analysert for blant annet sjeldne jordarter, Zr, U, og Be. Målet med rapporten her er å konstruere en 3D modell som tar hensyn til Be-konsentrasjonen. Borehullene vises i Figur 10. De fleste borehullene faller med 70 graders fall mot 225 (SSV). Forekomsten har utgående i den sørligste del av forekomsten (se den rosa polygonen i Figur 10).



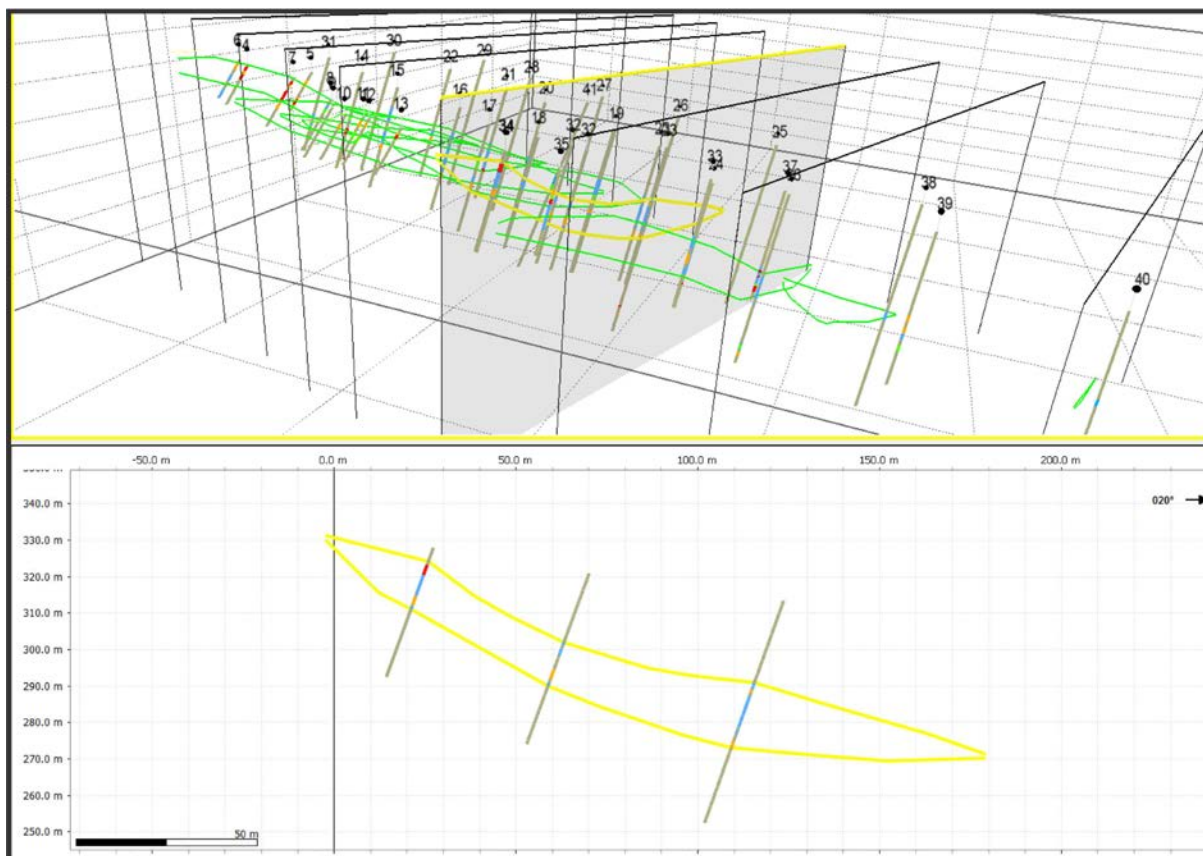
Figur 10: Utsnitt fra Norge i bilder over Høgtuva som viser borehullene ved Bordvedåga Be-forekomst (gule linjer). Utsnittet viser utgangen av høye Be-verdiene på overflaten (rosa).



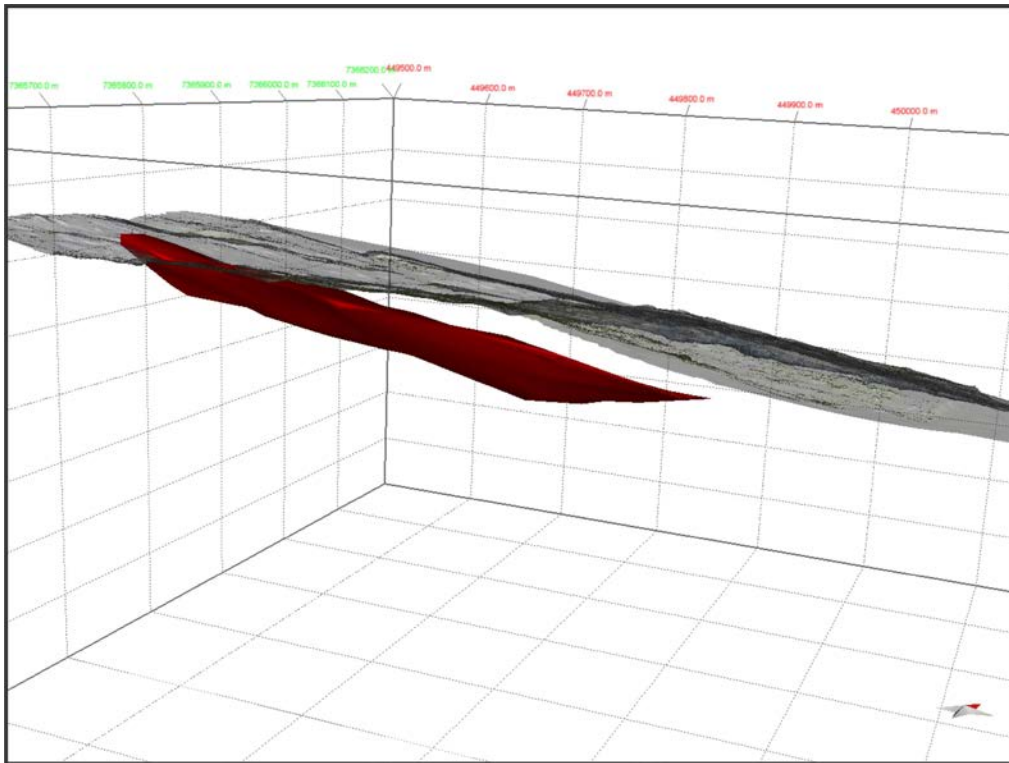
Figur 11: Bordvedgåa Be-forekomst sett fra SØ i 3D MOVE programvaren med tilhørende borehull. De fleste borehullene faller mot 225 grader. De korteste hullene (4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13) faller mot 250 grader. Be-verdien vises med forskjellige farger på borehullstrengen. grå er mindre enn 200 ppm, blå er 200-400 ppm, grønn er 400-1000 ppm, oransje er 1000-3000 ppm og rødt er mer enn 3000 ppm.



Figur 12: Profilene som er laget i 3D MOVE for å kunne tolke den mineraliserte kroppen. Totalt er det 11 profiler som ligger parallelt med fallretningen av borehullene.



Figur 13: Eksempel på bestemmelse av bergartskontakt fra profil 7 i 3D MOVE basert på en forenklet inndeling av bergartstypene.



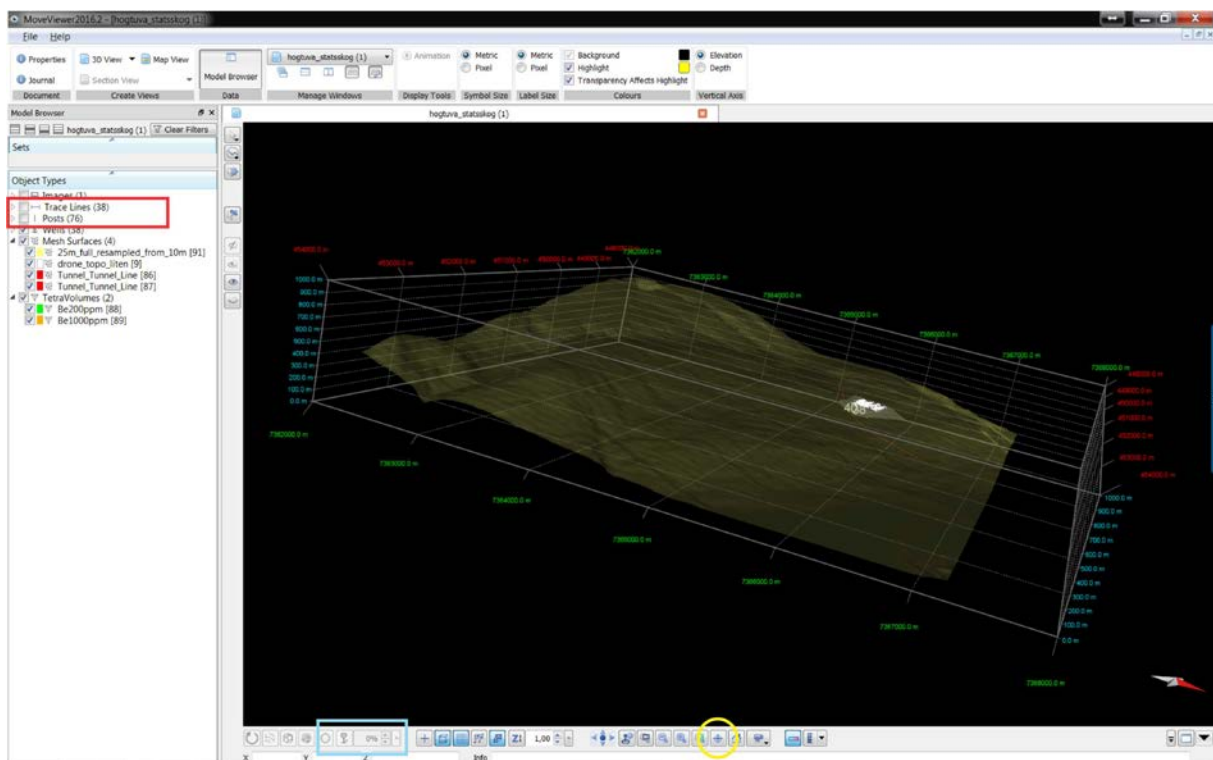
Figur 14: Volum (i rødt) laget ut fra de 11 profiler vist i Figur 12 som avgrensner partier som inneholder mer enn 200 ppm Be.

4. PRODUKTER FRA 3D MODELLEN

En 3D modell av Bordvedåga Be-forekomst, basert på et godt datagrunnlag, kan gi et betydelig faglig og praktisk utbytte. Herunder vises det en rekke 2D og 3D produkter avledet fra den digitale modellen.

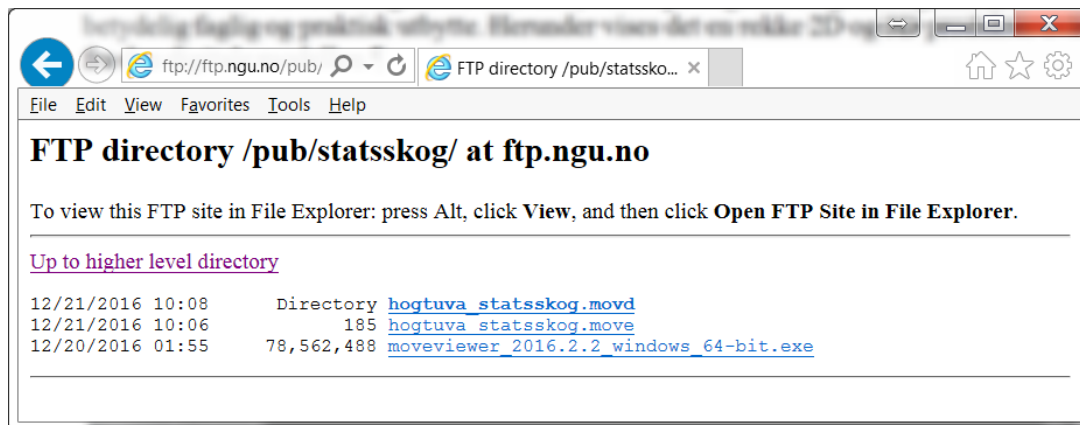
4.1 3D modell i 3D MOVE VIEWER

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



Figur 15: Utsnitt fra 3D MOVE VIEWER fil som er lagret på FTP siden til NGU. Programvaren er en forenklet utgave av 3D MOVE som tillater visualisering av 3D modeller men ikke endringer. Spalten til venstre viser de forskjellige lag som kan vises eller skjules. Det bør skjules 'trace lines' og 'posts' når filen åpnes (rød firkant). Disse er kun konstruksjonslinjer for de geologiske profilene. modellen roteres med musen. Rotasjonssenter velges med å trykke på knappen (gul rundning). For å gjøre et lag transparent (f. eks. topografien) klikk først på laget spalten til venstre og velg transparentnivå med funksjonen i den blå firkant.

Alle de nødvendige filer er tilgjengelige på NGU ftp siden som er til å finne på <ftp://ftp.ngu.no/pub/statsskog>. Figur 16 viser hvordan ftp siden ser ut i denne mappen som er laget for statsskog.



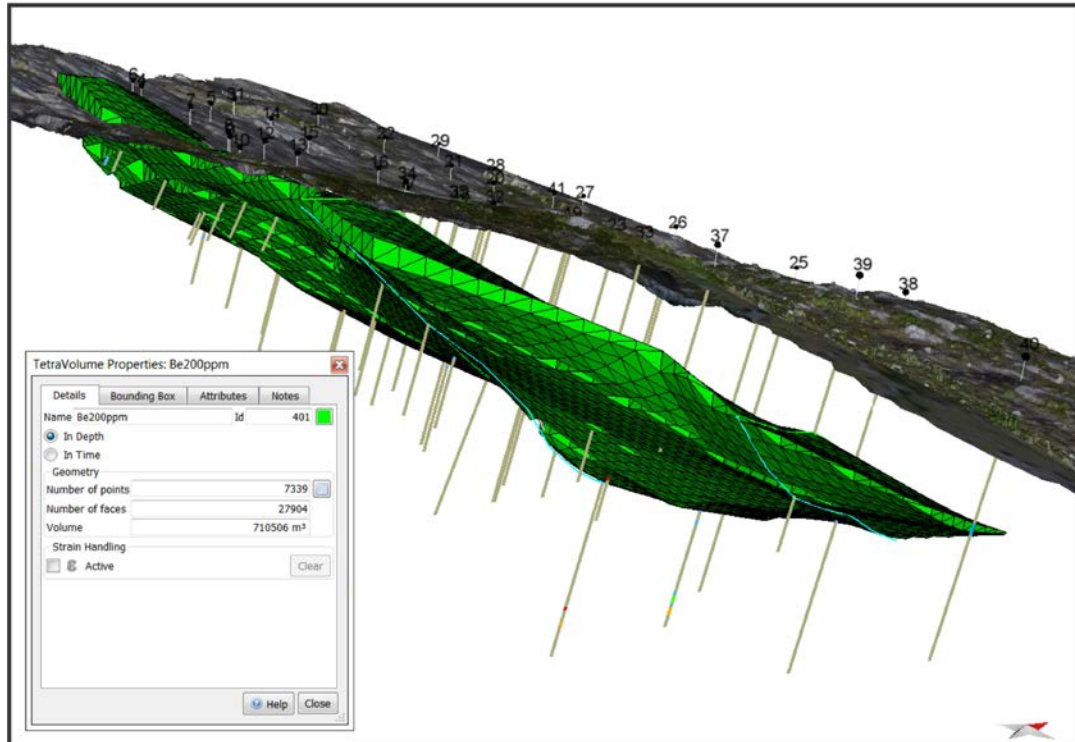
Figur 16: Utsnitt fra ftp siden til NGU. Alle 3 filer skal lastes ned. `moveviewer_2016.2.2_windows-64-bit.exe` skal installeres. `hogtuva_statsskog.movd` er en mappe med alle de nødvendige lagfiler som skal lastes inn i modellen. `Hogtuva_statsskog.move` er selve modellen.

4.2 Volum

For å beregne et volum av en malmkropp er det nødvendig å bestemme hvilken gehalt som skal være avgrensende. Dette heter '*cut-off*' på engelsk. I det følgende er det vist og beregnet to forskjellige eksempler: en lav *cut-off* på 200 ppm Be som gir et relativt stort volum og en høyere *cut-off* på 1000 ppm Be som gir et vesentlig mindre volum. 1000 ppm Be *cut-off* tilsvarer beregningen gjort av Wilberg (1987).

4.2.1 Be >200 ppm

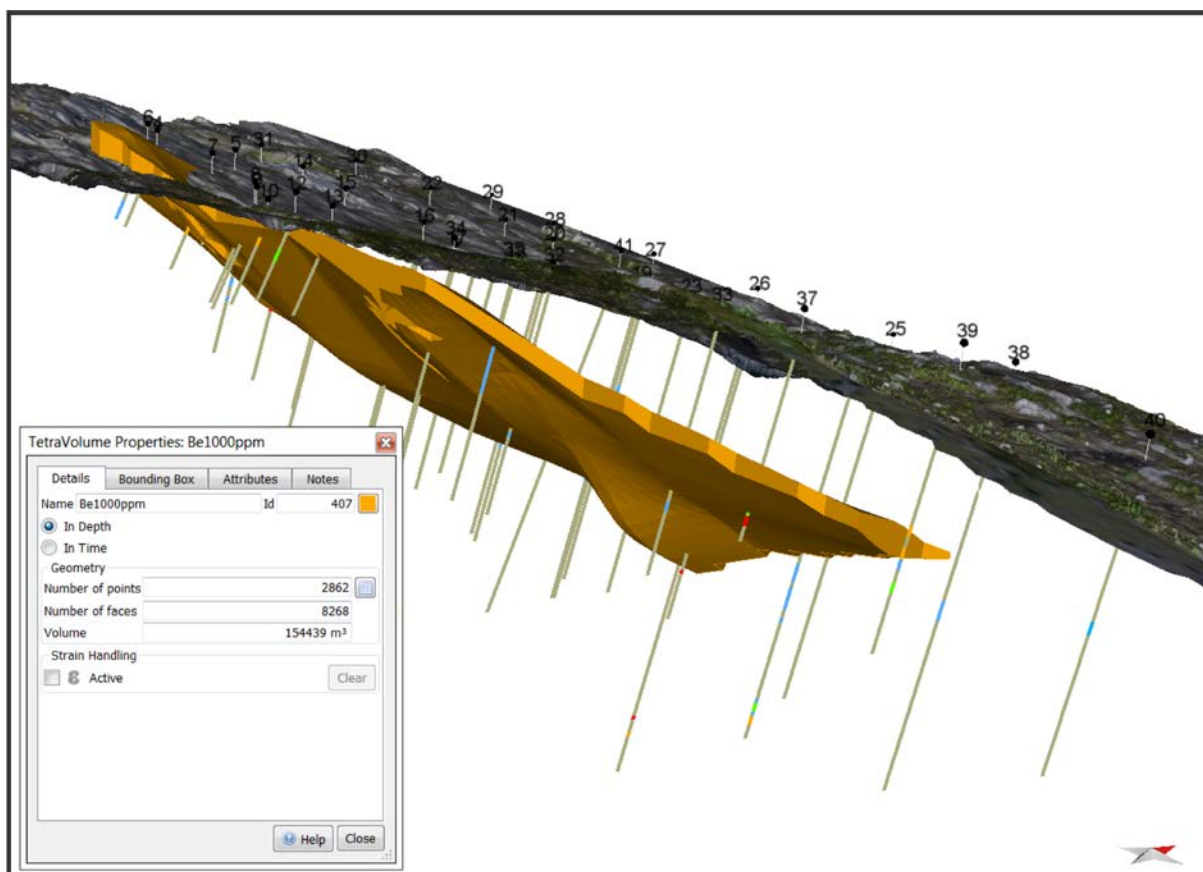
Figur 17 viser volumenet mellom toppen og bunnen av den mineraliserte sonen fra borehullsobservasjoner basert på en *cut-off* på 200 ppm Be. Dette utgjør et volum på ca. 710 000 m³ og med en vanlig tetthet på granitt tilsvarer dette ca. 1,9 millioner tonn. Det kan tydelig sees at malmkroppen faller svakt mot NØ og er nærmere overflaten i vest (Figur 17).



Figur 17: Volumet (i grønn) mellom 200 ppm topp-Be og 200 ppm bunn Be. Dette gir et mineralisert volum på ca. 710 000 m³, tilsvarende ca. 1.9 millioner tonn.

4.2.2 Be >1000 ppm

Figur 18 viser volumet mellom toppen og bunnen av den mineraliserte sonen fra borehullsobservasjoner basert på en cut-off på 1000 ppm Be. Dette gir et mindre volum på ca. 155 000 m³, og med en vanlig tetthet på granitt tilsvarer dette ca. 419 000 tonn. Wilberg (1987) beregnet et volum ut i fra samme 1000 ppm Be cut-off til å være ca. 355 000 tonn. 3D beregninger gjort i denne rapporten er gjort på en mer systematisk måte, men likevel er de to beregningene i samme størrelsesorden. Likevel gir beregningen i denne rapporten en malmkropp som er ca. 20 % større enn tidligere beregnet.



Figur 18: Volumenet (i oransje) mellom 1000 ppm topp-Be og 1000 ppm bunn Be. Dette gir et volum på ca. 155 000 m³, som tilsvarer ca. 419 000 tonn.

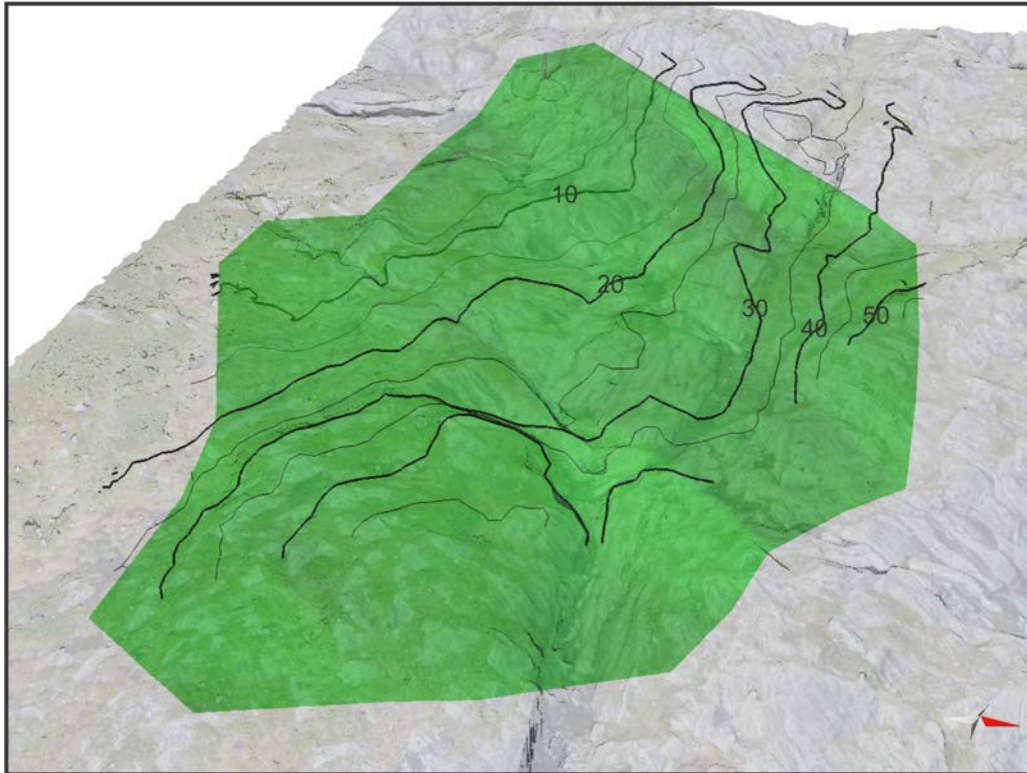
4.3 Dybdekart

I tillegg til å kunne visualisere malmkroppen i 3D, er det nyttig å kunne visualisere malmkroppen på papir og kart, særlig når man er på befaring i felt. Da er *dybdekart* et nyttig verktøy. Dette er kart med koter som viser dybde til og tykkelse av forskjellige interessante geologiske lag. Ett eksempel er avstand fra toppen av malmkroppen til overflaten, som kan være svært nyttig i forbindelse med arealplanlegging. I tillegg viser avstanden fra toppen av malmsonen til bunnen av malmsonen selve tykkelsen på malmkroppen.

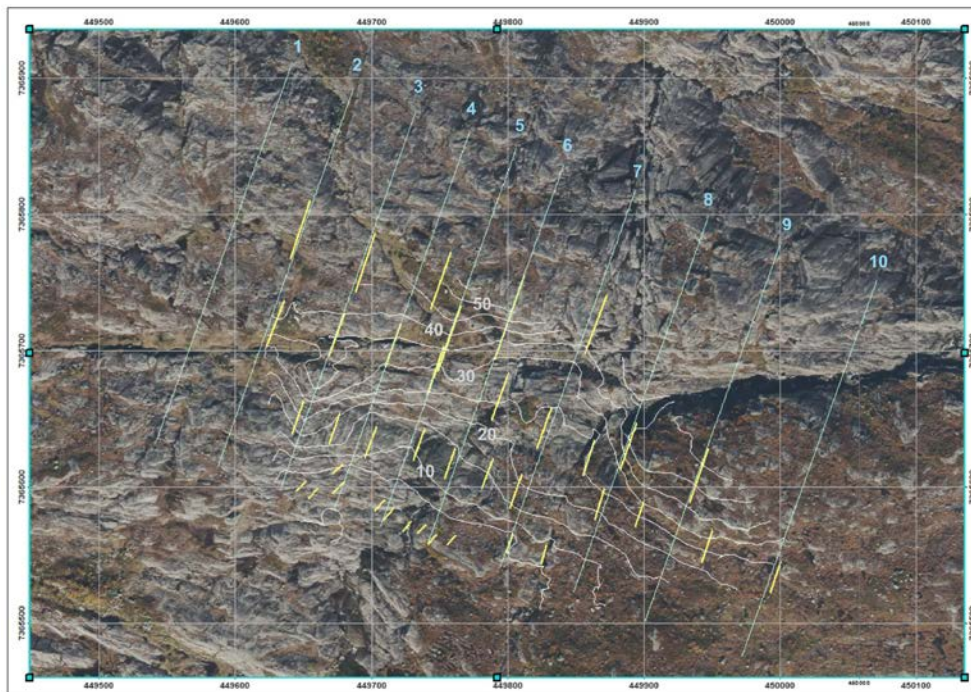
4.3.1 Be >200 ppm

4.3.1.1 Dybde fra overflate til toppen av 200 ppm Be-sonen

Figur 19 viser dybden til toppen av 200 ppm Be-sonen, med en transparent dronetopografi. På topografien har vi kalkulert høydekoter som viser dybden til toppen av sonen fra topografien. Modellen viser at malmkroppen er forholdsvis flatliggende men faller mot nord og er nærmest overflaten i sør, og ligger dypere mot nord. Figur 20 viser samme høydekoter men i 2D kartsnitt med tilhørende borehull. Dette er et svært kritisk verktøy å kunne ta i bruk på feltbefaring og ved arealplanlegging.



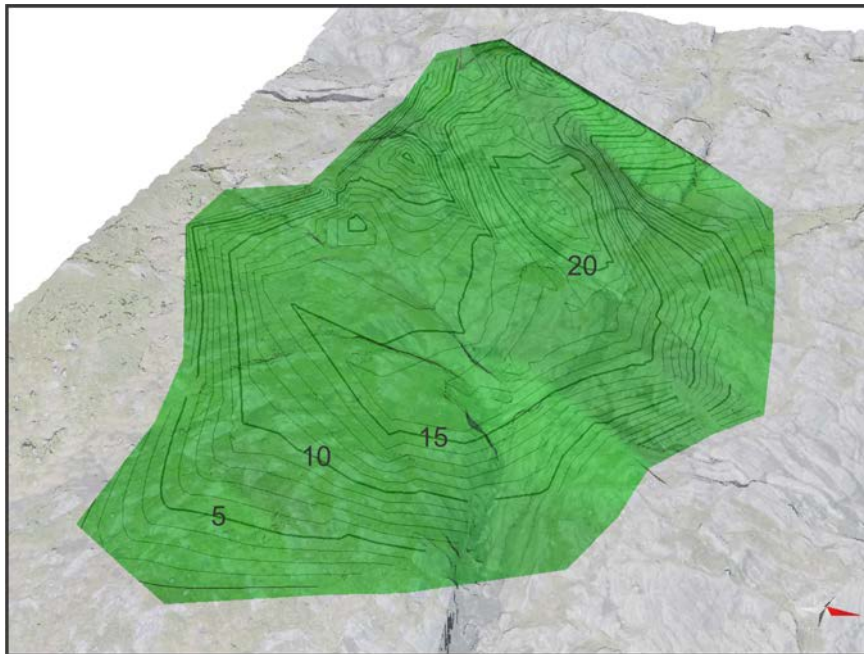
Figur 19: 3D oversikt over den Be >200 ppm-mineraliserte kroppen sett fra NØ (grønn), med høydekoter som viser dybden til toppen av kroppen fra overflaten, og dronetopografien drapert over. Kroppen ligger i nærheten av overflaten i sør men går mot dyppet i nord.



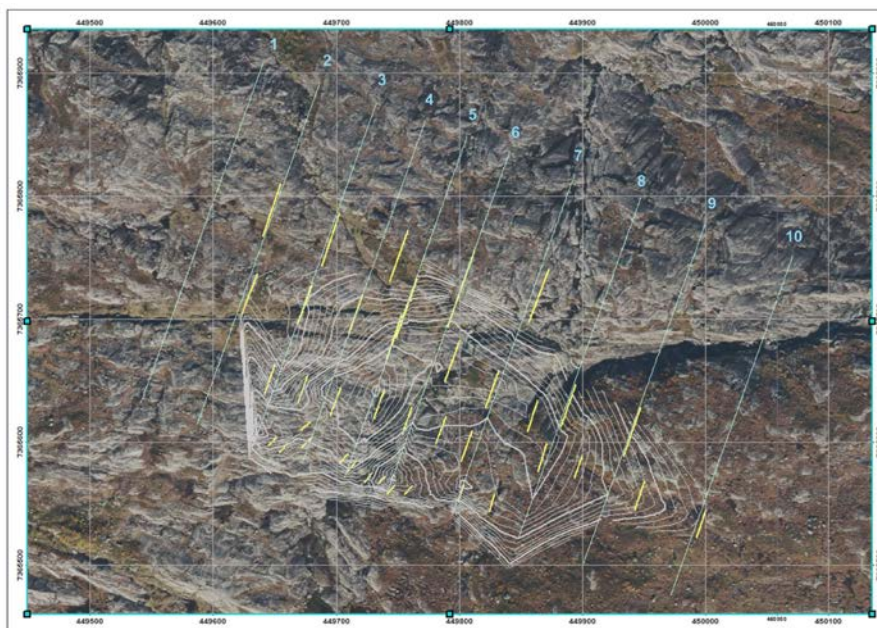
Figur 20: Dybdekart hentet fra 3D modellen med høydekoter som viser topografien. Disse angir dybde til toppen av den mineraliserte Be >200 ppm sonen. Borehullene er vist i gult og geologiske profiler (1-10) i lys blå. Kroppen ligger i nærheten av overflaten i sør men går mot dybden i nord.

4.3.1.2 Avstand fra toppen til bunnen av den Be-mineraliserte sonen: tykkelsen på Be >200 ppm sonen

I tillegg til å lage høydekoter på dybden fra overflaten til malmkroppen kan vi også beregne malmkroppens mektighet ved å lage høydekoter på overflaten og bunnen av malmsonen slik at malmkroppens tykkelse blir visualisert.



Figur 21: 3D oversikt over den Be >200 ppm mineraliserte kroppen sett fra NØ (grønn), med tykkelseskoter og dronetopografi.



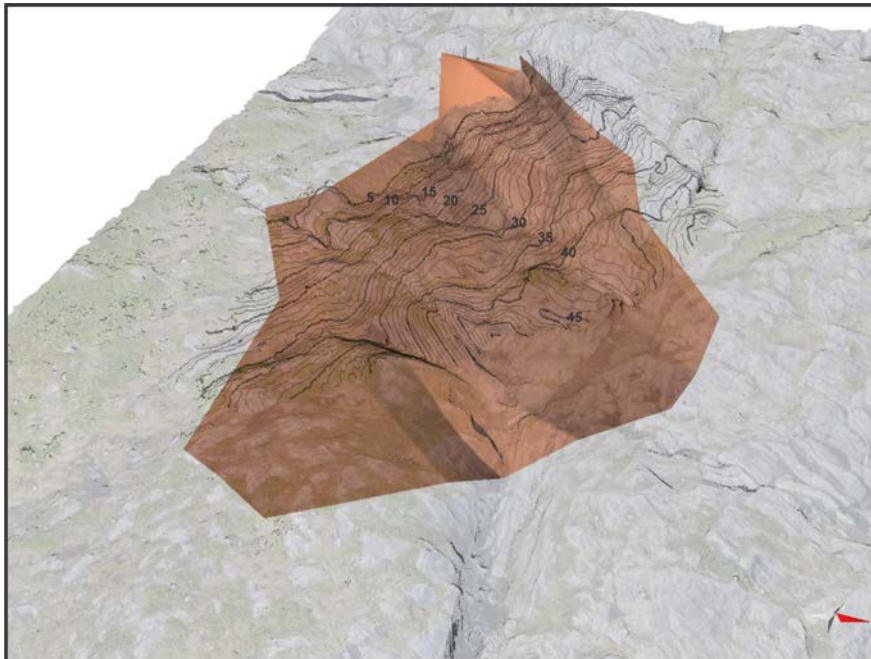
Figur 22: Dybekart med koter som viser avstanden fra toppen av den mineraliserte >200 ppm Be sone til bunnen av den mineraliserte sone. Kartet viser tykkelsen på den mineraliserte sonen. Borehullene er vist i gult og geologiske profiler(1-10) i lysblå.

Figur 21 viser tykkelsen av >200 ppm Be kroppen. Malmkroppen er mektigst i vest og er mye tynnere i den østlige delen, men den blir også tynnere rundt kantene av malmkroppen mot både nord og sør. Figur 22 viser de samme høydekotene i 2D kartutsnitt med tilhørende borehullsmønster.

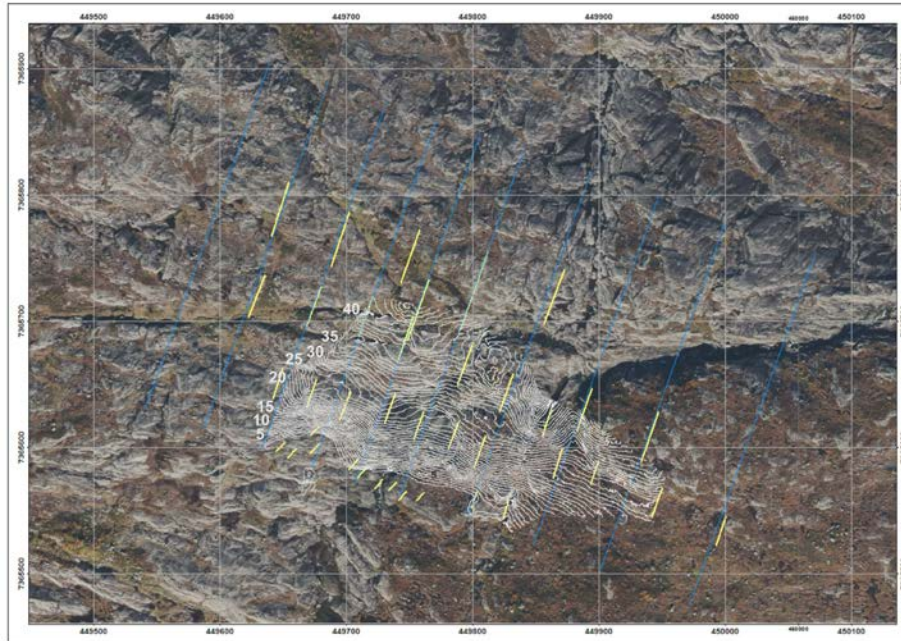
4.3.2 Be >1000 ppm

4.3.2.1 Dybde fra overflaten til toppen av >1000 ppm Be-sonen

Figur 23 viser dybde til toppen av 1000 ppm Be sonen med en transparent dronetopografi. På topografien har vi beregnet koter som viser dybden til toppen av sonen. Dette viser at malmkroppen er forholdsvis flatliggende men faller mot nord og er nærmest overflaten i sør men ligger dypere mot nord. 1000 ppm Be malmkroppen har selvfølgelig mye mindre mektighet og utstrekning sammenlignet med 200 ppm Be kroppen. Figur 24 viser de samme kotene, men i 2D kartsnitt med tilhørende borehull.



Figur 23: 3D oversikt over den Be >1000 ppm-mineraliserte kroppen sett fra NØ (oransje), med koter (i 5m intervaller) som viser dybden til toppen av kroppen fra overflaten. Kroppen ligger i nærheten av overflaten i sør men går mot dybden i nord.



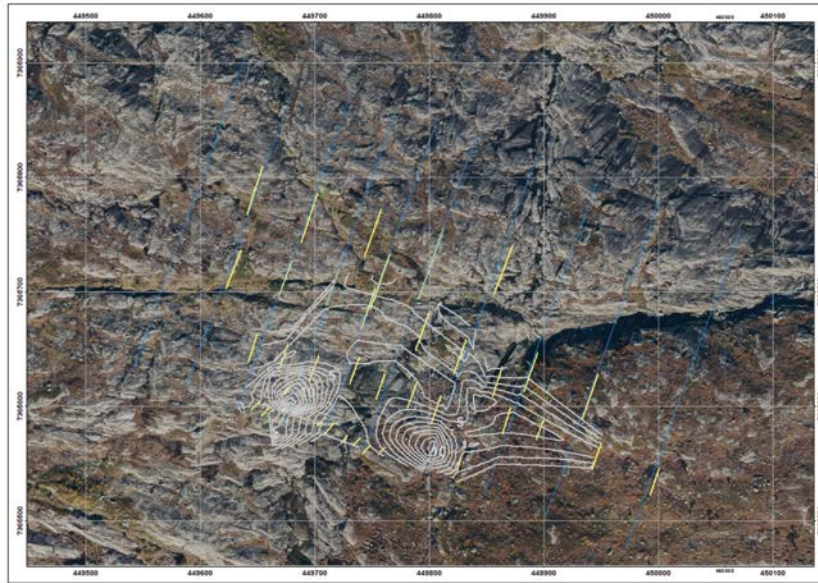
Figur 24: Dybdekart hentet fra 3D modellen med koter som vist i Figur 23, som representerer dybden til toppen av den mineraliserte Be >1000 ppm sonen. Borehullene er vist i gul og geologiske profiler (1-10) i lys blå. Kroppen ligger i nærheten av overflaten i sør men går mot dybden i nord, og er maksimum ca. 50 m fra overflaten lengst i nord.

4.3.2.2 Dybde fra toppen av Be-sonen til bunnen av Be-sonen: tykkelse på Be > 1000 ppm sonen

Figur 25 viser det samme 1000 ppm Be volum med koter som viser tykkelsen av kroppen. Malmkroppen er mye tynnere enn den for Be >200 ppm, men er mektigst i sør og tynner raskt ut mot nord. Den blir også tynnere rundt kantene av malmkroppen mot både nord og sør.



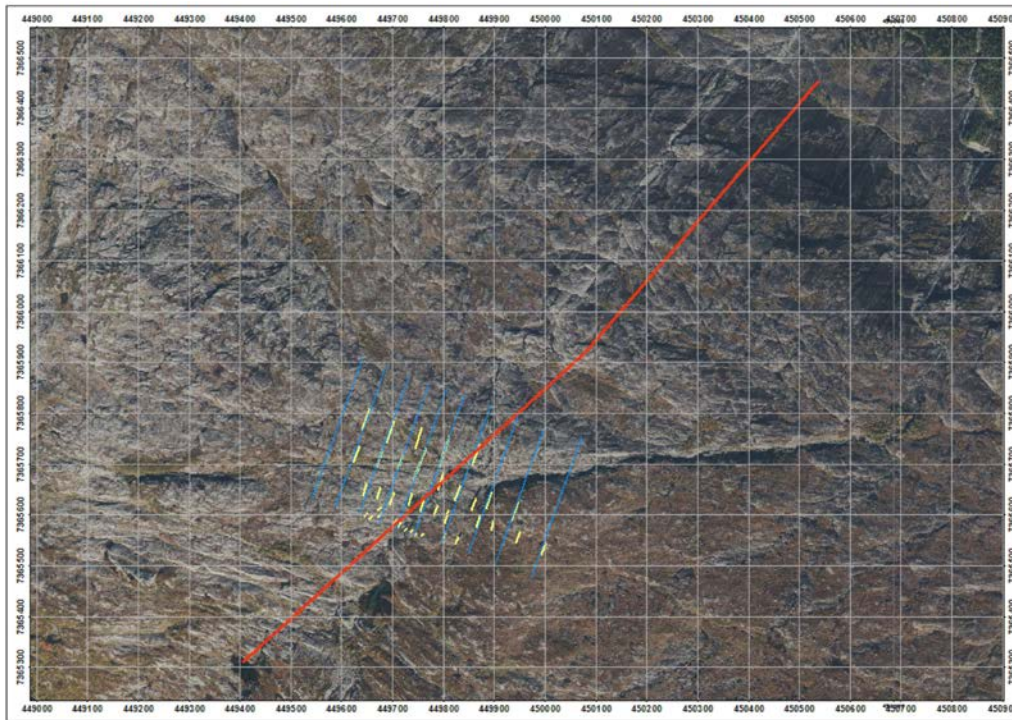
Figur 25: 3D oversikt over den Be >1000 ppm mineraliserte kroppen sett fra NØ (grønn), med tykkelseskoter som viser at kroppen er relativt tynn, og er tykkest i sør, hvor den ligger i nærheten av overflaten.



Figur 26: 2D dybdekart med koter som viser avstanden fra toppen av den mineraliserte Be >1000 ppm sonen til bunnen av den mineraliserte sonen. Bildet viser tykkelsen på den mineraliserte sonen. Borehullene er vist i gul og geologiske profiler (1-10) i lys blå.

5. Tunnelen

I forbindelse med mulig bygging av en kraftstasjon i dalen nord for Høgtuva er det planlagt en vanntunnel som går fra en av de små tjernene sør fra forekomsten. Figur 27 viser et 2D kartutsnitt med borehullene, de geologiske profilene som er laget til å konstruere malmkroppen og den mulige traseen for tunnelen.

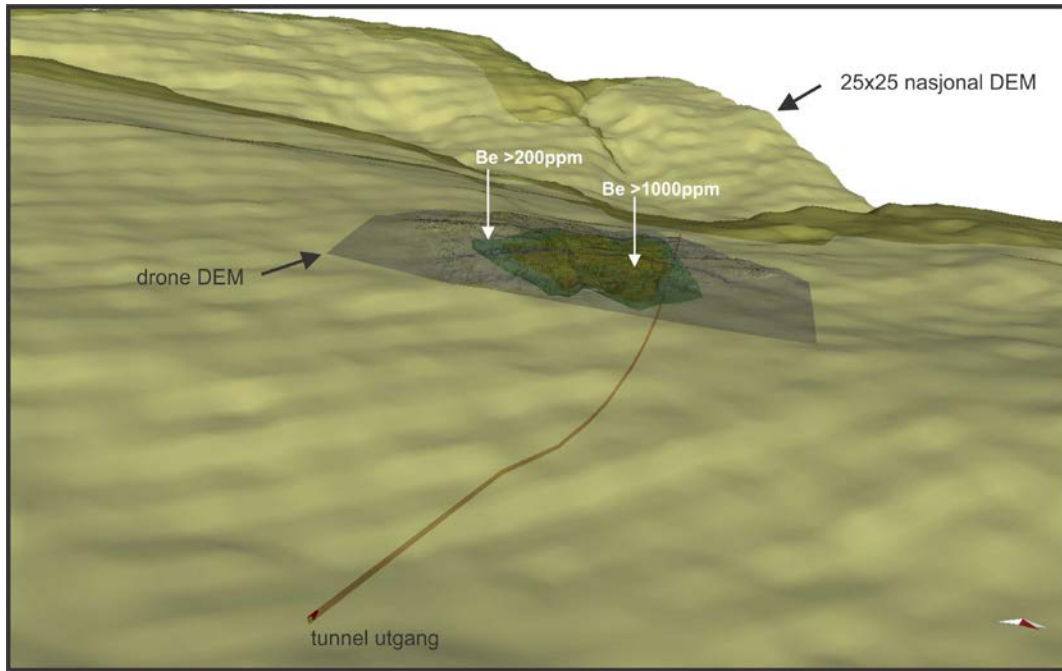


Figur 27. 2D kartutsnitt som viser borehullene (gul), de geologiske profilene som er brukt til å lage malmkroppen (blå) og den planlagte traseen for tunnelen (rød).

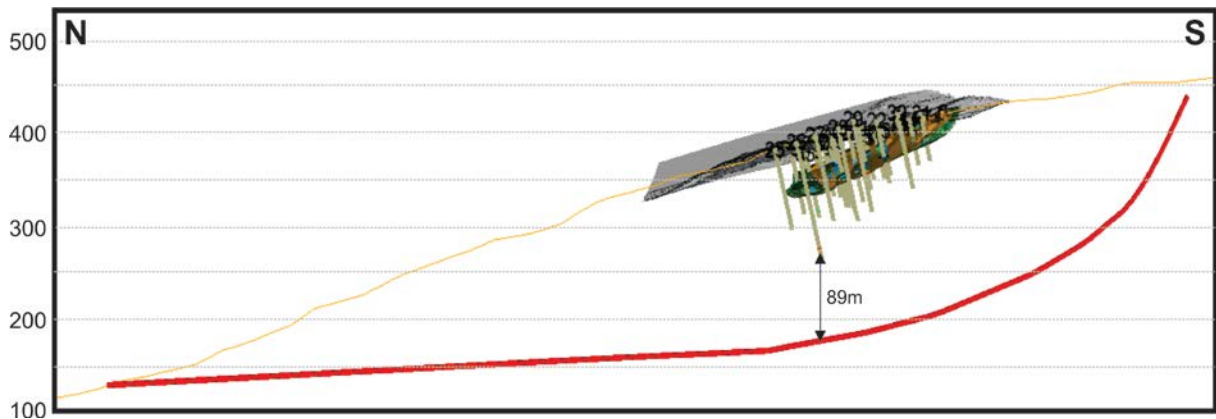
Figur 28 viser et 3D kartutsnitt mot fjellsiden fra nord. Den lavoppløselig 10x10 m nasjonale digitale høydemodell (DEM) er vist i gul. Drapert over den ses den høyoppløselige dronetopografi generert i prosjektet her. Bordvedåga Be-forekomst er vist i både Be >200 ppm og en mindre Be >1000 ppm versjoner. Tunneltraseen vises i rødt. Det er veldig tydelig fra figuren at tunnelen er planlagt å gå rett under forekomsten.

Figur 29 viser et N-S tverrsnitt gjennom fjellet. Dette viser at tunnelen går minst 130 meter under den laveste delen av forekomsten (Be >200ppm). Det dypeste borehull (#26) er ca. 130 meter langt. Figuren viser at bunnen av hullet ligger ca. 90 meter over den planlagte tunnelen.

Det ser derfor umiddelbart ut til at tunnelen ikke går gjennom Bordvedåga Be-forekomst. En skal imidlertid være oppmerksom på at det i det dypeste borehullet, som stopper ca 90 meter over tunnelen, observeres enkelte høye Be-gehalter, opp til og over 3000 ppm Be. Det er derfor muligheter for at det finnes ytterligere mineraliseringer på dypere nivå enn Bordvedåga forekomsten vi har modellert i denne rapporten. Et boreprogram er derfor fortsatt nødvendig for å avklare muligheten for mineraliseringer i tunneltraseen.



Figur 28: 3D oversikt over forekomsten med dronetopografi og den planlagte tunneltrase. Både Be >200 ppm og Be <1000 ppm malmkroppene er vist.



Figur 29: Profil gjennom fjellsiden som viser topografi (oransje), borehull, dronetopografi (grå) og den planlagte tunneltraseen.

6. KONKLUSJONER

- Et utviklingsprosjekt er etablert på NGU med henblikk på å produsere integrerte høyde/topografiske og geologiske modeller av undergrunnen. Prosjektet er støttet økonomisk av Mineralklynge Norge, og arbeidet på Bordvedåga Be-forekomst har blitt del-finansiert av Statsskog.
- Høydemodellen er basert på fotogrammetri, med bilder tatt fra en semi-automatisk drone
- Den fotogrammetriske modell er basert på en punktsky laget i programvaren *Agisoft Photoscan Professional* .
- De geologiske delene av modellen er lagt inn i programvaren *3D MOVE*
- En integrert høyde-geologisk modell har blitt laget over Bordvedåga Be-forekomsten på Høgtuva.
- Modellen består av den topografiske modellen med ortofoto tatt fra drone, borehullsdata og en forenklet tolkning på to forskjellige Be-verdier i borehullene: Be >200 ppm og Be >1000 ppm
- Basert på 10 geologiske profiler har vi modellert malmkroppen, og resultatene viser:
 - et modellert volum med Be >200 ppm er beregnet til 1.9 millioner tonn
 - et modellert volum med Be >1000 ppm er beregnet til ca. 419 000 tonn
 - sistnevnte er i samme størrelsesorden som det som ble kartlagt av Wilberg (1987), men er ca. 20 % større
 - begge volumer er relativt flatliggende og faller mot nord
 - begge volumer ligger dypere under bakken mot nord
 - malmkroppen er nærmest overflaten i vest
- Produkter laget fra den digitale 3D modellen omfatter:
 - Full 3D modell som kan åpnes med 3D MOVE VIEWER.
 - 2D dybdeprofiler vises som kart og kan skrives ut og brukes på befaring. Disse kartene viser dybden til toppen av volumene for både Be >200 ppm og Be >1000 ppm

- 2D tykkelsesprofiler vises som kart som kan skrives ut og brukes på befaring. Disse kartene viser avstanden mellom toppen og bunnen av de mineraliserte volumene for både Be >200 ppm og Be >1000 ppm
- Modellering av den planlagte vanntunnelen viser at den går rett under forekomsten og er ca. 130 m under den laveste del av forekomsten, basert på Be >200 ppm.
- Den dypeste hullet, som er ca. 130 m langt avsluttes ca. 90 m over den planlagte vanntunnel
- Ettersom høye Be-verdier har blitt observert i bunnen av det lengste borehullet er det fortsatt mulighet for flere nord-fallende malmkropper under den forekomsten som har blitt modellert. Ytterligere mineraliseringer kan derfor ligge i tunneltraseen og boring til trasenivå anbefales.

7. ANBEFALNINGER FOR VIDERE ARBEID

3D modelleringen i dette arbeid har hatt et avgrenset formål. Formålet har primært vært å definere en arbeidsflyt som fungerer, slik at det kan produseres gode modeller som bygger opp kunnskapen om forekomster. Denne rapporten viser hvordan arbeidsflyten har blitt testet på Bordvedåga berylliumforekomst. Modellen for Bordvedåga forekomst er basert på en veldig forenklet geologisk modell. 3D-tolkningen inkluderer kun informasjon om kun Be-verdier fra borehull og den kartlagte utgående malmsone. Ingen andre geologiske data (f. eks, geofysikk) har blitt inkludert.

Videre arbeide bør inkludere en utvidet modellering av alle de geologiske enhetene som er observert i borehuller og under kartlegging. Dette kan resultere i en mer detaljert geologisk modell som inkluderer både bergartsgrenser og det store antall nord-sør forkastninger som finnes i området. Disse forkastningene har i alle sannsynlighet forskjøvet forekomsten og delt den opp i flere uavhengige deler og har stor betydning for Bordvedågaforekomstens geometri og kan ha ytterligere konsekvenser for tunneltraseen. Mange interessante grunnstoffer og mineraler er tilstede i granitten. Modelleringen har fokusert på beryllium, men både Uran, sjeldne jordarter og zirkon er også viktige komponenter. Videre arbeid bør derfor inkludere disse verdikomponentene.

Resultatene av denne modellbygging utelukker ikke at det kan finnes flere mineraliserte soner mot dybden. Ved eventuell etablering av vanntunnel bør det derfor gjennomføres et boreprogram i forkant som omfatter flere og dypere borehull under den eksisterende forekomst, spesielt i den nordligste delen av tunneltraseen



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