



GEOLOGI FOR SAMFUNNET

SIDEN 1858



**NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE**
· NGU ·



Rapport nr.: 2019.032	ISSN: 0800-3416 (trykt) ISSN: 2387-3515 (online)	Gradering: Åpen	
Tittel: 3D-modellering og visualisering av Nestbylia karbonatforekomst, Saltdal kommune.			
Forfatter: Henderson, I.H.C., Raaness, A. & Korneliussen, A		Oppdragsgiver: Nordland Fylkeskommune	
Fylke: Nordland		Kommune: Saltdal	
Kartblad (M=1:250.000) Saltdal		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 2129-4 Rognan	
Forekomstens navn og koordinater: Nestbylia karbonater		Sidetall: 49	Pris: 170
Feltarbeid utført: 2018		Rapportdato: 18.12.2019	Prosjektnr.: 376600
Ansvarlig: <i>Jan Sundstad</i>			
Sammendrag: Basert på geologisk overflatekartlegging utført i denne studien og kjemiske analysedata fra Korneliussen m.fl. (2019) er det konstruert en 3D-modell i programvaren 3D MOVE av karbonatsonene ved Nestbylia i Saltdal kommune. Et område er ansett som egnet til mulig fremtidig gruvedrift. Dette betegnes som undersøkelsesområdet. Med en avbygging ned til ca. 200m gir dette et totalt volum på 375 000 000m ³ og en tonnasje på i størrelsesorden 1 milliarder tonn. To korte borehull ble utført i den midtre delen av undersøkelsesområdet sommeren 2018. Disse er begge 25 m meter lange og går gjennom karbonat. Totalt foreligger 273 kjemiske analyser av karbonat fra undersøkelsesområdet, og innholdet av karbonatbundet Fe+Mn er lagt inn i 3D-modellen. Analysene er gjort på flere typer prøver (håndstykker, borkaks fra overflaten, borekjerner). Karbonatbundet Fe+Mn lavere enn 250 ppm anses som bra, jo lavere jo bedre. Undersøkelsesområdet er delt opp i 10 adskilte volumer basert på geologiske og geometriske egenskaper. Karbonatene har gått gjennom en lang geologisk historie og har en svært kompleks geometri som er foldet og avskjært av flere geologiske strukturer og hendelser.			
Emneord:	strukturgeolgi	karbonat	
3D	volumberegning		

INNHOOLD

1. Executive Summary	6
2. Innledning.....	7
3. Metodikk	10
3.1 Strukturgeologiske feltundersøkelser	10
3.2 Overflateprøver for geokjemisk analyse.....	12
3.3 3D-modellering.....	15
3.4 Borekaksprøver.....	15
4. Resultater.....	17
4.1 Strukturgeologisk kartlegging	17
4.2 3D modellering	23
4.2.1 Høydemodell og ortofoto	23
4.2.2 Høydemodell og regionalgeologi	24
4.2.3 Drapering av overflatekartlegging	25
4.2.4 3D geologisk modell	27
4.2.5 Prøver og Fe-Mn analyser	30
4.3 Karbonatvolumer	31
4.3.1 2D-polygoner på overflaten	31
4.3.2 Volumer.....	34
4.4 Presentasjonsvideo.....	38
5. Konklusjoner	39
6. Anbefalinger for videre arbeid	40
6.1 Borehullsprogram	40
6.2 Mer detaljert feltarbeid	42
6.3 Utføring av en mer detaljert 3D-modell	42
7. Referanser.....	45

FIGURER

Figur 1: Bergrunnskart fra Melezhik m.fl. (2013) som viser Nestbylia.....	8
Figur 2: Skjematisk utvikling av folder i karbonat.	11
Figur 3: Fordeling av analyseprøvepunkter i undersøkelsesområdet.....	13
Figur 4: Fordeling av analyseprøvepunkter med hensyn til Fe+Mn innhold.....	14
Figur 5: Preliminært volum laget ut ifra polygonen i undersøkelsesområdet.....	15
Figur 6: Utsikt fra SØ som viser undersøkelsesområdet med topografisk kart.	16
Figur 7: Lokalitetspunkter for strukturgeologisk kartlegging gjennomført i 2018.....	18
Figur 8: Eksempler av foldestrukturer i felt som påvirker karbonatgeometrien.....	19
Figur 9: Eksempler av forskyvningsstrukturer i felt som påvirker karbonaten geometrien.....	20
Figur 10: Ny strukturgeologisk kartlegging av karbonatlagene.....	21
Figur 11: 3D skisse av utvikling av Nestbylia karbonatene gjennom geologisk tid.....	22
Figur 12: Nestbylia sett fra SØ med 10 m høydemodell.....	24
Figur 13: Nestbylia med undersøkelsesområdet vist med en rød polygon.....	24
Figur 14: Nestbylia sett fra SØ. Høydemodell med drapert regional geologi.....	25
Figur 15: Den nye strukturkartleggingen gjort i forbindelse med feltarbeid i 2018.....	26
Figur 16: To 3D-bilder av den fullstendige geologisk modellen fra både SØ og NØ.....	28
Figur 17: Utsnitt fra 3D MOVE modell vist i Figur 16.	29
Figur 18: Undersøkelsesområdet sett fra SØ med et mulig utgravingsnivå ned til 200m.....	31
Figur 19: Polygoner generert fra den geologisk oppdelingen av undersøkelsesområdet.....	33
Figur 20: 3D bilde av volumer sett fra SØ.....	35
Figur 21: Samme delvolumer vist i Figur 20, men med 'eksplodert' utseende.....	35
Figur 22: 3D bilde av volumer med analysedata sett fra SØ.....	36

Figur 23: Fargelagt 'eksploverte' delvolumer på Nestbylia.....	36
Figur 24: Alle volumer rangert i størrelse	38
Figur 25: 3D bilde over undersøkelsesområdet som viser profiler	40
Figur 26: Mulig fremtidig borehullsprogram basert på volumene 1, 6, 7 og 8.....	41
Figur 27: Strukturlokaliteter som kan påvirke karbonat kvalitet	43

1. Executive Summary

Korneliussen et al. (2019) have studied the chemical variation in the grey carbonate interval of the Nestbylia carbonate deposit. This stretches NS in a several hundred metre wide band just to the west of the town of Rognan, south of Bodø. This report builds on the detailed analytical study of Korneliussen et al. (op.cit.). An area was determined within this carbonate interval which was well suited to possible future mining activity. A polygon was created here in which was defined an *Area of Investigation* (AOI). With a potential open pit mining depth to 200 m, this gives a volume of approximately 375 million m³ and an estimated tonnage of 1.01 billion tonnes.

Detailed structural mapping was carried out in the AOI in the summer of 2018. It was determined that the carbonate is internally complexly and isoclinally folded. These folds have then been attenuated and segmented along axial planar shear zones. Furthermore, low angle thrust planes have displaced the carbonate from west to east. Finally, the carbonate has been dissected by east-west striking normal faults.

The complex geology described above necessitates a compartmentalisation of the volume defined by the AOI. Based on the geological constraints we have created 10 separate volumes from the AOI. Integration of these volumes with the chemical analysis allows the creation of distinct geometric/geochemical volumes. This demonstrates that only 4 of these 10 volumes have Fe+Mn less than 250 ppm. In addition, it is observed that the overall quality of these volumes is better in the northern part of the AOI than in the southern part. These high-quality volumes have a combined volume of 234 million m³. This corresponds to approximately 631 million tonnes of high-quality carbonate.

Based on volumes 1, 6, 7 and 8, a potential borehole program has been constructed to demonstrate the amount and orientation of boreholes required. We recommend 70 boreholes with approximately 15000 m of borehole altogether. This is also presented in 3D.

A video of the various 3D products has been made and this is available from a *sharepoint* download using the following link.

https://teams.microsoft.com/_#/school/files/General?threadId=19%3A783b50d5cd404d5aa5f9c8b2e489dcc2%40thread.skype&ctx=channel&context=376601_Ukonvensjonelle_Nordland_2018%252FRapport%25202019%2520Nestbylia%252F3D%252Frapport

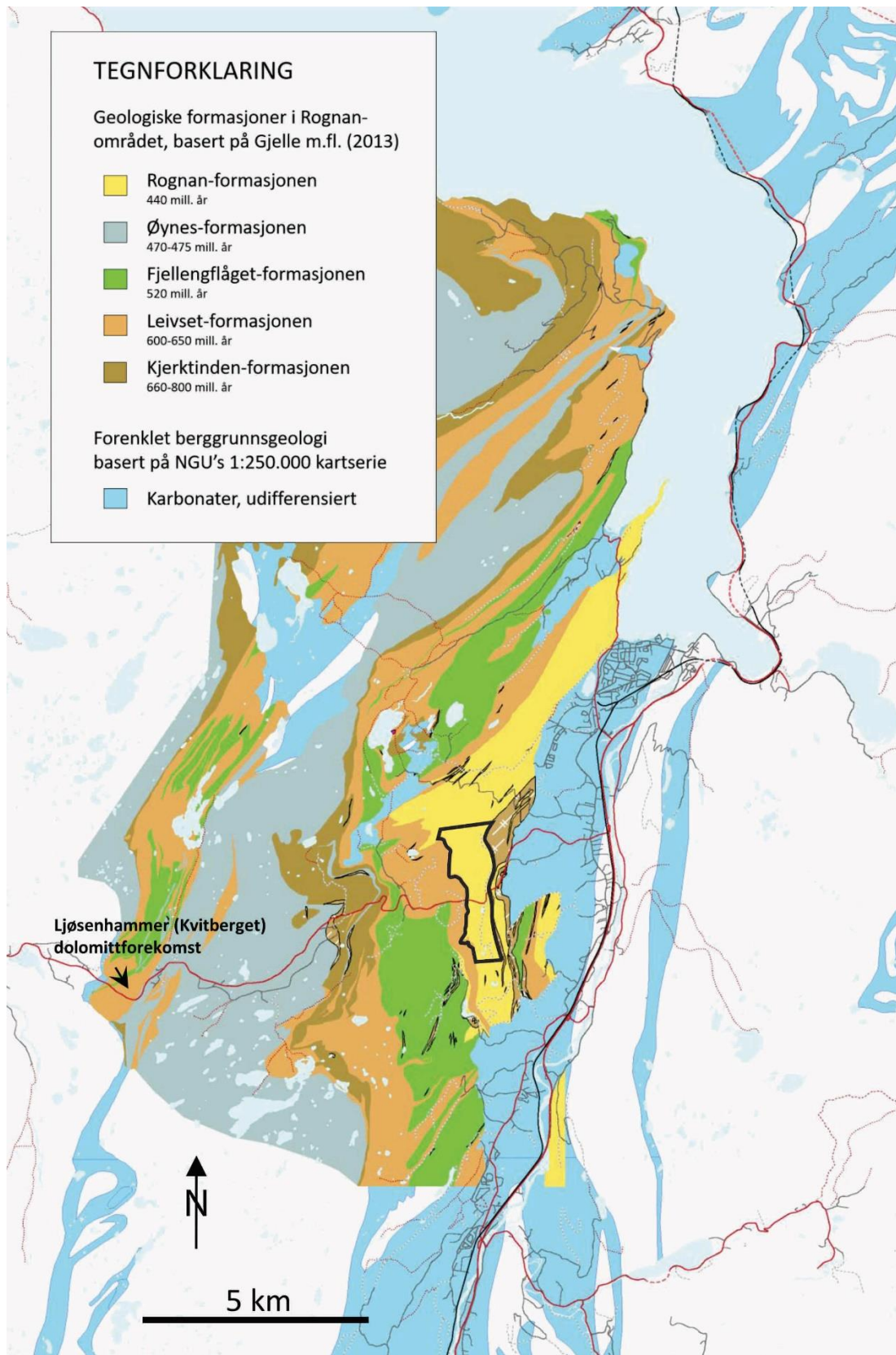
2. Innledning

Av flere områder med ukonvensjonelle karbonatforekomster har Evenesmarka i Evenes kommune og Nestbylia i Saltdal kommune tidligere vært gjenstand for undersøkelser (Korneliussen m.fl. 2018). Av disse to forekomstområdene, ble Nestbylia ansett som best egnet for eventuell framtidig industriell utvikling. Nordland fylkeskommune fulgte opp NGUs anbefaling om videre undersøkelser ved Nestbylia, og det ble skaffet til veie midler til et oppfølgende prosjekt. Resultatene av disse oppfølgende undersøkelser framgår av Korneliussen m.fl. (2019) og denne rapporten.

En viktig del av disse videreførte undersøkelser er å utarbeide en 3D-modell. Figur 1 viser berggrunnskart til Gjelle m.fl. (2013). Kartleggingen definerer en ca. 1 km bred grå marmorsoner (karbonat) som strekker seg N-S gjennom Nestbylia vest for Rognan. Den undersøkte marmorsonen ligger mellom andre marmor mot vest og en rekke forskjellige amfibolitter mot øst. Dateringsarbeidet fra karbonatene av Melezhik m.fl. (2013) som er vist i Figur 1 viser at de ulike bergartsenhetene har vidt forskjellige alder. Dette har sammenheng med at bevegelser i jordskorpa, over flere perioder, har skjøvet bergartsenhetene i forhold til hverandre. For eksempel ligger nå bergarter dannet for 600-650 millioner år siden (Leivset-formasjonen, se Figur 1) i direkte kontakt med bergarter dannet for 440 millioner år siden (Rognan-formasjonen, som inneholder Nestbylia-forekomsten).

Kunnskap om den tektoniske sammenstillingen av forskjellige karbonatlag i forhold til hverandre er avgjørende for helhetsforståelsen av de ulike karbonatkvalitetene som finnes i Nestbylia-forekomsten, og hvordan sette sammen en 3D-tolkning basert på karbonatkvaliteten.

Det kartbildet at alle bergartstyper også er foldet langs NNØ-SSV akser. Derimot er ingen folding tegnet internt i den grå karbonatsonen (Gjelle m.fl., 2013). Et hovedmål med feltundersøkelser i denne studien har vært å dokumentere forskjellige strukturer og foldinger som påvirker geometrien av de interessante karbonatsonene og deretter fastsette volumer/tonnasjer basert på disse.



Figur 1: Berggrunnskart fra Melezhik m.fl. (2013) som viser utstrekning av de ulike karbonatsonene og en polygon (sort strek) som viser det undersøkte området Nestbylia. Dette er betegnet som *undersøkellesområdet*. 3D modelleringen konsentrerer seg om dette området.

Hovedinnholdet i dette prosjektet er:

- Gjennomføre strukturgeologiske undersøkelser ved å kartlegge strukturene som påvirker forekomstens geometri og deformasjon.
- Konstruksjonen av en helhetlig geologisk modell.
- Forenkling av den geologiske modellen slik at forskjellige karbonatvolum kan defineres basert på geometriske, volumetriske og kjemiske forhold.
- Volumberegning av de mest interessante karbonatsonene.
- Beregnet volum og tonnasje av de karbonatsonene som har best kvalitet, dvs. de sonene som i gjennomsnitt inneholder karbonat med under 250 ppm karbonatbundet (syreløselig) jern (Fe) og mangan (Mn).
- Det er også utarbeidet en video som kan brukes i presentasjonssammenheng for grunneiere og andre interesserte.
- Skissere hvordan videre geologiske undersøkelser inkl. kjerneboringer og videreutvikling av 3D-modellen, bør legges opp.

3. Metodikk

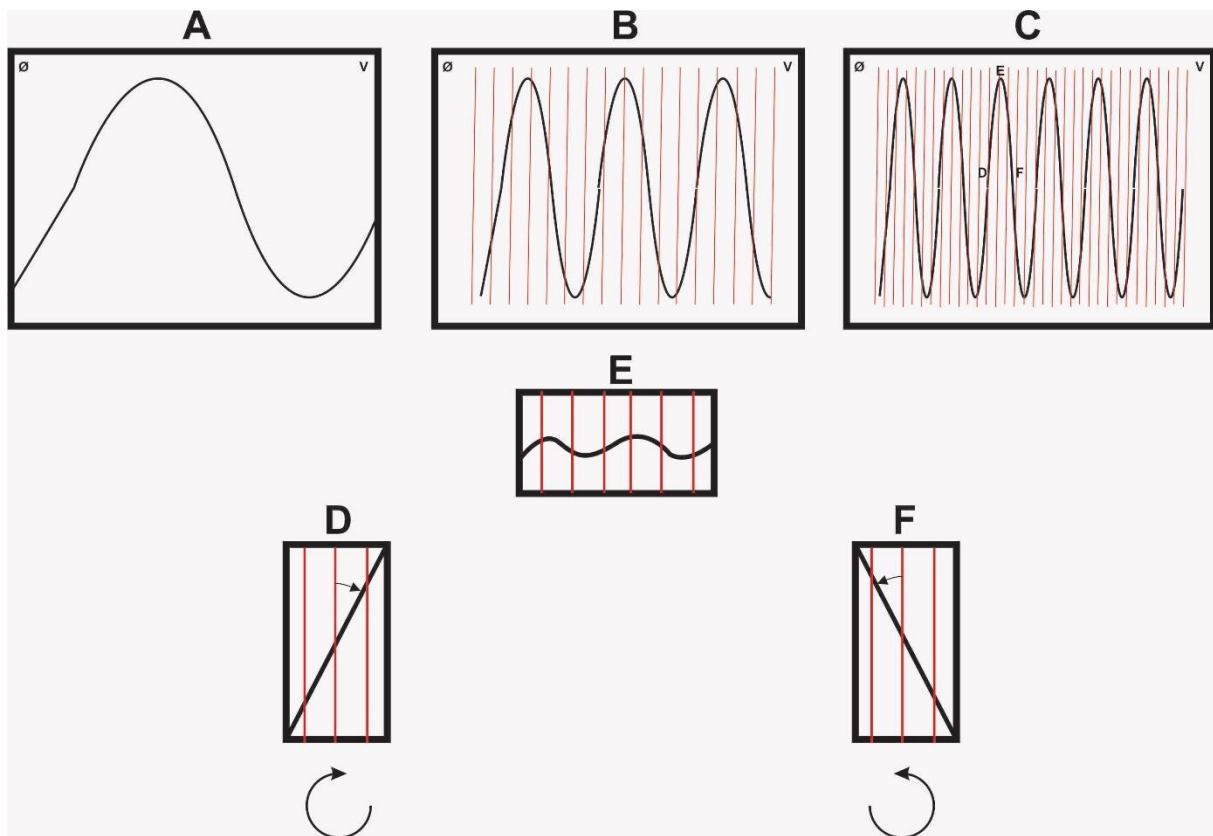
Dette avsnittet beskriver de nødvendige datakilder som er brukt og metoder som er tatt i bruk slik at en geologisk 3D-modell kan lages over karbonatene i Nestbylia.

De strukturgeologiske undersøkelsene er gjort ved særskilt feltkartlegging, og er inkorporert med analysedata fra Korneliussen m.fl. (2019). Alle tilgjengelige data er tilrettelagt for 3D-modellering og tolkning.

3.1 Strukturgeologiske feltundersøkelser

Karbonater er relativt myke bergarter, og er i Norge vanligvis svært deformert av geologiske hendelser. I tillegg til den kartleggingen som allerede er gjort i området av Gjelle m.fl. (2013) var det behov for mer detaljert geologisk kartlegging i undersøkelsesområdet som grunnlag for 3D-modellen. Dette var spesielt rettet mot de strukturene som påvirker karbonatgeometrien og for å samle inn flere orienteringsdata av karbonatlagene. Dersom den primære kjemiske variasjonen i karbonatbergarten er dannet før folding og deformasjon, er det kritisk å forstå foldenes geometri for å få en god tilnærming til den tredimensjonale kjemiske variasjonen.

Fem dagers detaljert strukturgeologisk feltarbeid ble utført i juli 2018, med formål å kartlegge viktig struktur (f.eks. folder) internt i karbonatlagene som endrer på og skjærer (f.eks. forkastninger) karbonatgeometrien. Figur 2 viser i teori hvordan detaljert foldekartlegging pågår i felt. Når karbonater deformeres i geologiske hendelser, blir de som regel foldet. Slike folder er ikke kaotiske, men skjer etter bestemte mønstre som blir vanskeligere og vanskeligere å kartlegge jo mer bergarten er deformert. Når foldene er så tette at de ikke er mulig å se de enkelte foldeflankene (flankene er parallelle som vist i Figur 2c) bruker strukturgeologer vinkel-forholdet mellom bergartens opprinnelige lagdeling og sekundær skiffrighet som en mal for å kartlegge de store foldene (Figur 2d, e og f). Resultatene av denne detaljerte analysen og det nye kartbilde vises i avsnitt 4.1 og Figur 10.



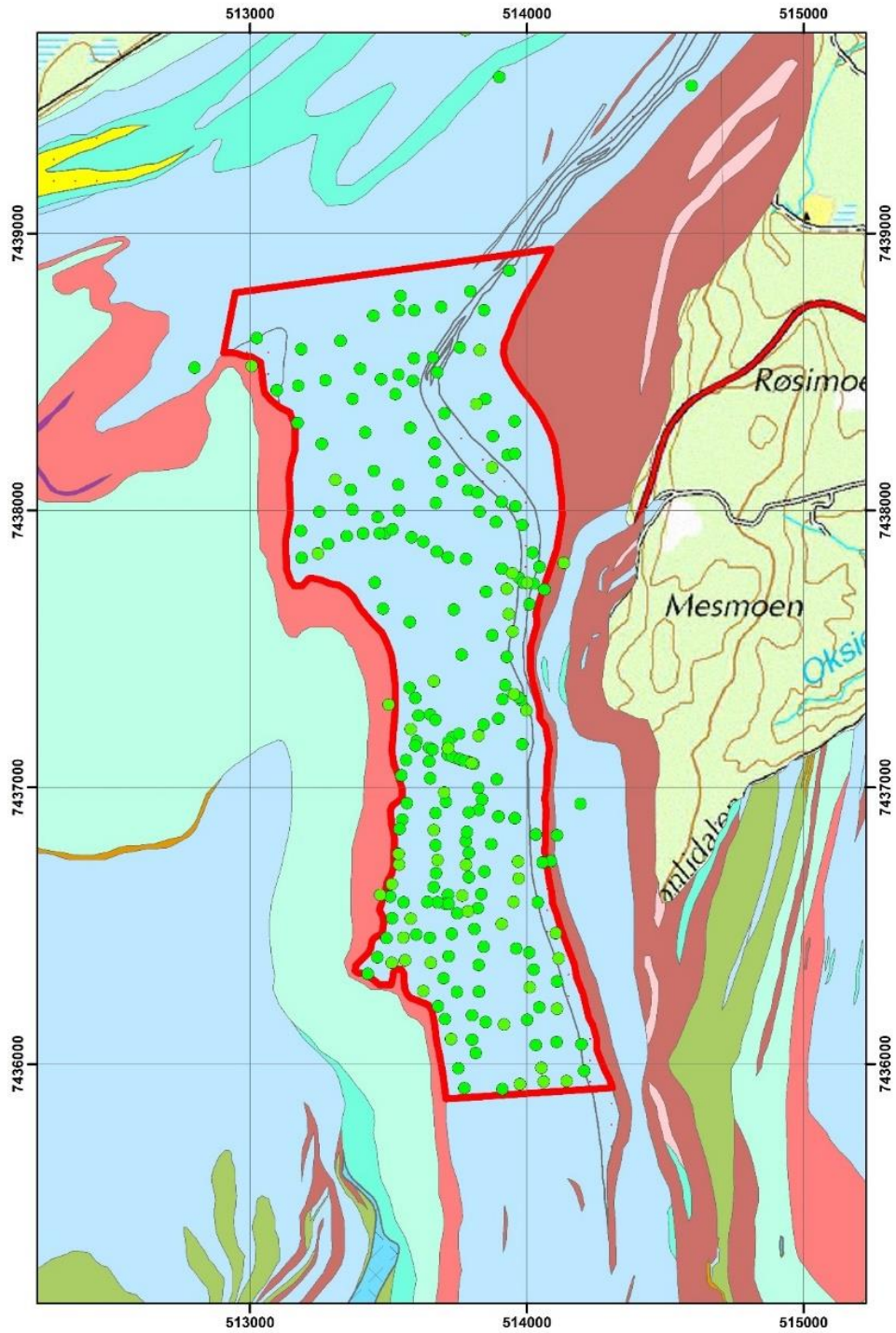
Figur 2: Skjematiske evolusjon av folder i karbonat som viser hvordan en strukturgeolog kan gjenkjenne og deretter kartlegge store folder i naturen. A: Firkanten representerer en homogen blokk av karbonat. Når denne deformeres, blir den opprinnelige horisontale lagdelingen deformert i folder. Den svarte linjen representerer her en av folderne. B: Med videre deformasjon blir foldene tettere og tettere og det utvikles en kraftig skifrihet i bergarten (røde linjer) som er systematisk parallell med foldegeometrien. C: Etter hvert blir foldene så tette at foldeflankene blir parallelle, og bestemmelse av storskala geometrien blir vanskelig. En strukturgeolog kan løse dette med å se på det geometriske forholdet mellom den primære lagdelingen (svart) og sekundær skifrihet (rød). I figur C vises D, E, og F ulike deler av den større foldegeometrien. D: På den vestlige foldeflanken er rotasjon fra skifriheten til lagdeling alltid med klokken. E: I foldelukningen har skifriheten en veldig høy vinkel (nesten 90 grader) til lagdelingen og her er det mange symmetriske folder. F: På den østlige flanken er rotasjon fra skifriheten til lagdeling alltid mot klokken. Ut fra denne type nøkkel-observasjoner på utvalgte lokaliteter er det mulig å kartlegge komplekse interne folder i karbonatbergarten, som vist i kapittel 4.1.

3.2 Overflateprøver for geokjemisk analyse

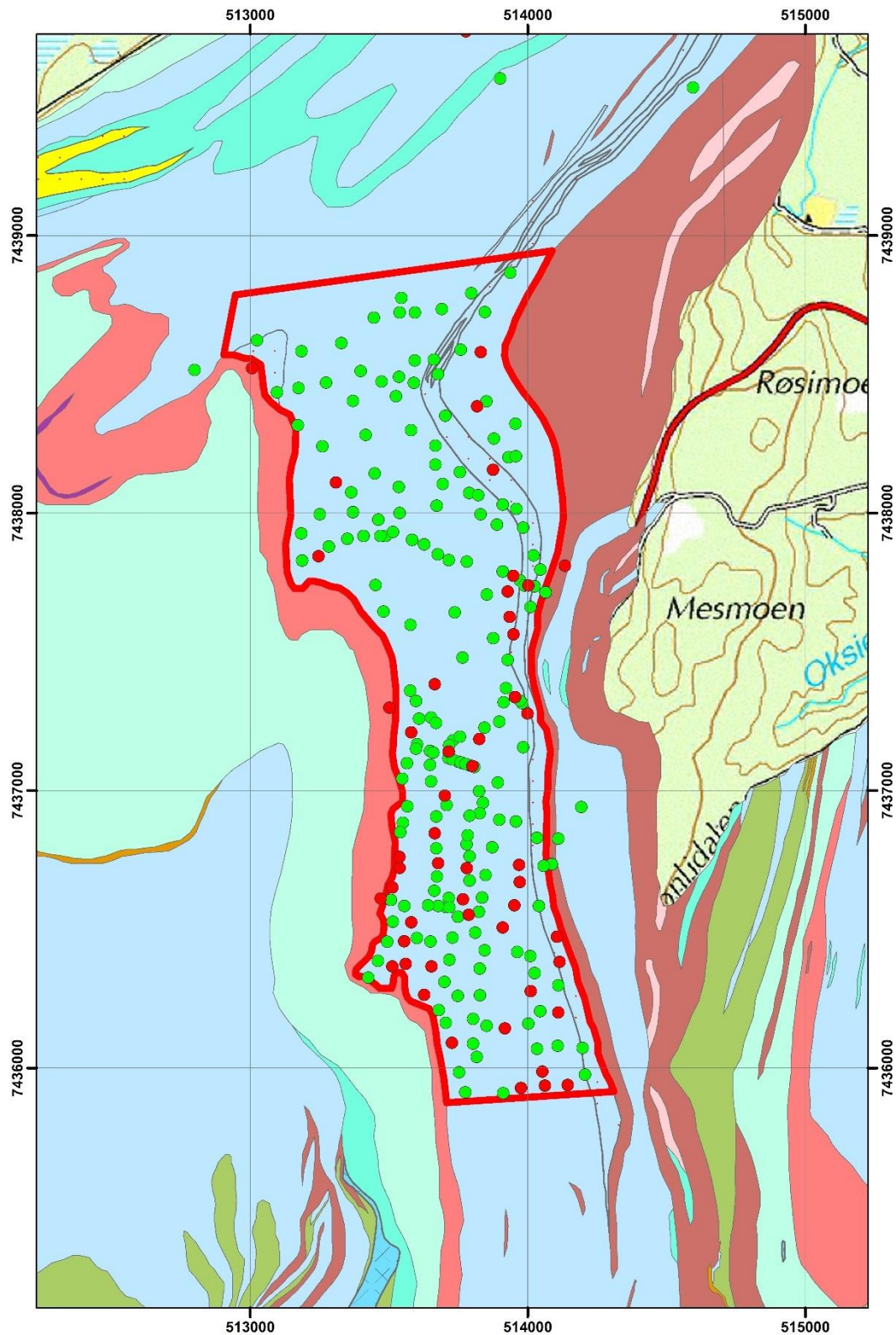
273 kjemiske analyser fra Korneliussen m.fl. (2019) er tilrettelagt og inkorporert i 3D-modellen (Figur 3). For å forenkle modellen er analysene delt opp i kun to grupper¹: Verdier med mindre enn 250 ppm karbonatbundet² Fe+Mn og verdier med over 250 ppm Fe+Mn (Figur 4). Dette er forskjellig fra Korneliussen m.fl. (2019) hvor analysene er delt opp i flere grupperinger. Den forenklingen som er utført i denne rapporten har vært nødvendig for å kunne kombinere og integrere de komplekse geologiske og geometriske mønstrene med analysedataene, og på en noenlunde enkel måte vurdere og visualisere de viktigste sonene i 3D. Det er viktig å være klar over at dette er første trinn i en 3D-modell utvikling, og som i en eventuell videreføring av forekomstundersøkelsen må justeres i forhold til ny informasjon.

¹ Av praktiske grunner har en vært nødt til å gjøre denne type forenkling. Det er sannsynlig at denne forenklede kvalitetsvurderingen må nyanseres i en eventuell framtidig videreutvikling av forekomsten, og det vil da bli behov for videreutvikling av 3D-modellen.

² Se Korneliussen m.fl. (2019) for nærmere redegjørelse.



Figur 3: Fordeling av analyseprøvepunkter i undersøkelsesområdet som viser den geologiske overflatekartleggingen sett i forhold til prøveanalysene (Korneliussen m.fl., 2019)

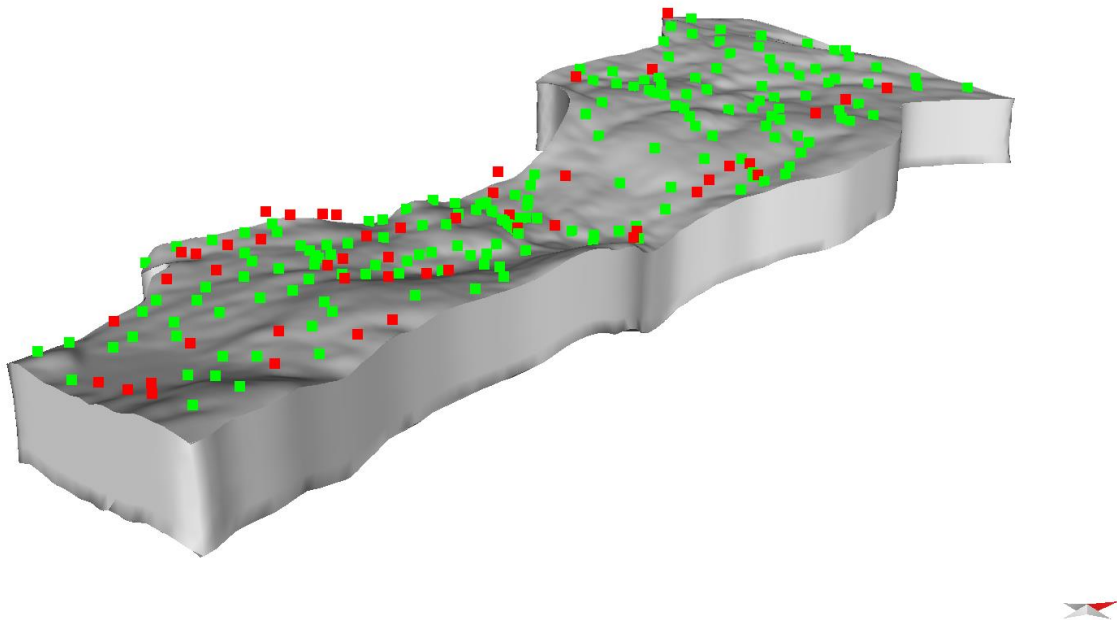


Figur 4: Fordeling av analyseprøvepunkter i undersøkelsesområdet som viser den geologiske overflatekartleggingen sett i forhold til prøveanalysene med hensyn til Fe+Mn innhold. Grønne punkter viser høykvalitets karbonat med Fe+Mn < 250 ppm. Røde punkter viser Fe+Mn > 250 ppm. Se Korneliussen m.fl. 2019 for en mer detaljert framstilling av analyseverdiene.

3.3 3D-modellering

3D-modellen bruker topografiske data fra Statens Kartverk (høydemodell) i form av en 10m digital terreng/høydemodell (DEM) lastet ned fra hoydedata.no. Over høydedataene er det drapert ortofoto fra norgebilder.no, eksisterende berggrunnskartet (Gjelle m.fl. 2013) og mer detaljert kartlegging gjort i denne studien.

I tillegg er analysedataene fra Korneliussen m.fl. (2019) brukt som grunnlag, integrert med strukturene og volumene for å kartlegge de beste karbonatsonene i tre dimensjoner. Figur 5 viser utvidelsen av undersøkelsespolygonen ned til 200 m (som en sannsynlig maksimal dagbruddsdybde³).



Figur 5: Preliminært volum laget ut ifra polygonet av undersøkelsesområdet vist i Figur 3, som ble utpekt som mulig driftsområde for karbonat. Volumet er tatt ned til 200m dybde, som et antatt maksimal dagbrudd.

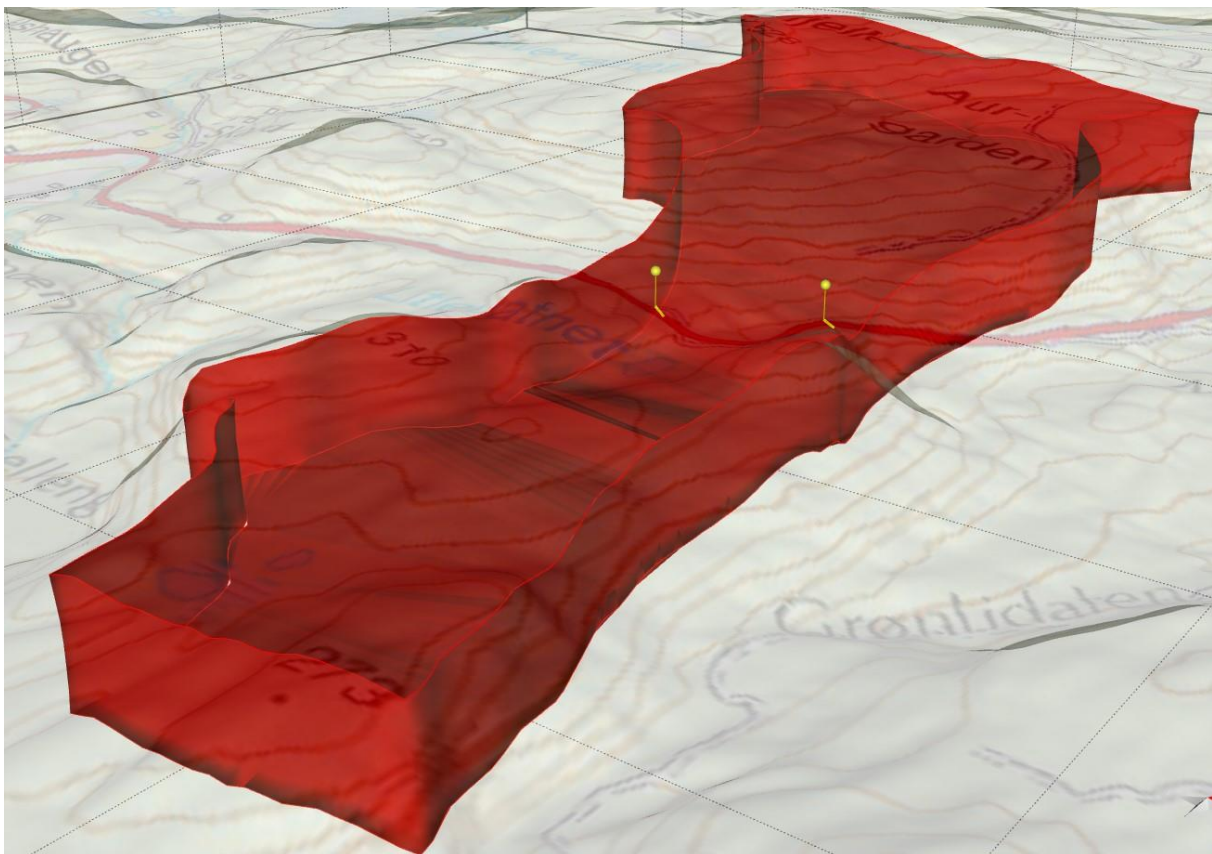
3.4 Bergartsprøver

To korte kjerneborehull ble boret sommeren 2018 i midten av målområdet ved Fylkesvei 812. Utplussing av disse borehullene og resultater fra kjemiske analyser er gitt av Korneliussen

³ I en eventuell framtidig prosjektutvikling vil en kunne utvikle ulike driftsalternativer. Visse deler av forekomstområdet vil for eksempel kunne være velegnet for underjordsdrift, og dermed representere et langt mer natur-/miljøvennlig driftsalternativ.

m.fl. (2019). Figur 6 viser disse to borehullene i 3D-modellen innenfor undersøkelsesområdet. Disse borehullene er relativt kort, og begge er lokalisert i midten av undersøkelsesområdet. Begrensningen i lengde skyldes begrensninger i tilgang på kjølevann til borerigg, og plasseringen er begrenset av adkomst-muligheter for boreriggen som var montert på en liten lastebil. Borehullene skulle bores vinkelrett på lagdelingen, noe som gjør at de har en veldig svak helning med hensyn til dybden i undersøkelsesvolumet, som går ned til 200 m.

I tillegg foreligger et relativt stort antall borkaks-overflateprøver og overflateprøver tatt med hammer/slegge. Se detaljert omtale av Korneliussen m.fl. (2019).



Figur 6: Utsikt fra sørøst som viser undersøkelsesområdet på topografisk kartgrunnlag. Undersøkelsesområdet er utvidet i dybden til en tenkt maksimum vertikal dybde 200m. De to borehullene utført med NGU utstyr i 2018 er vist i gul farge. Begge borehullene er i midten av undersøkelsesområdet og har en begrenset dybdeutstrekning (ca. 20 m vertikalt), og påvirker ikke 3D-modelleringen i noen grad.

4. Resultater

Dette avsnittet presenterer resultatene av den nye strukturgeologisk kartleggingen og 3D-modellering av Nestbylia karbonatforekomst.

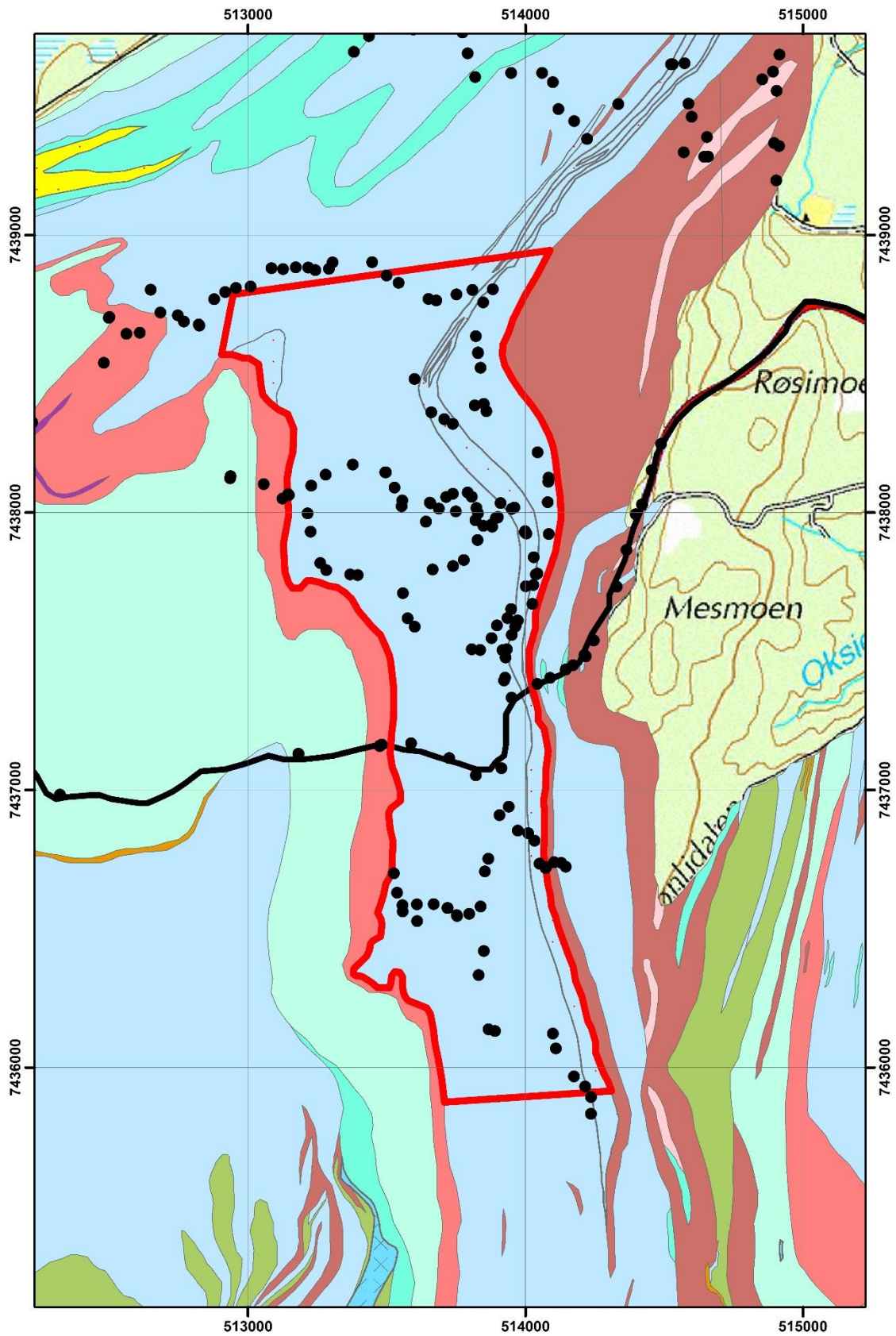
4.1 Strukturgeologisk kartlegging

Fem dager ble brukt til detaljert kartlegging av karbonatbergartene⁴ i undersøkelsesområdet ved Nestbylia. Målet var å finne interne strukturer og definere geometrier i karbonatene som kunne påvirke bergartsegenskapene, og derfor ha betydning for egnetheten med hensyn til et eventuelt fremtidig uttak. Den første delen av denne kartleggingen gikk til bestemmelser av foldegeometrier. Dette gjøres i teori ut fra prosessen lagt frem i Figur 2, men i praksis betyr dette befaring av flere hundre lokaliteter i felt. Figur 7 viser et kart over undersøkelsesområdet og nærliggende omegn, med over 250 befaringspunkter. Dette viser et relativt jevnt fordelt mønster av befaringspunkter i undersøkelsesområdet. Det ligger en del punkter også utenfor undersøkelsesområdet siden noen av de kritiske strukturer fortsetter utenfor undersøkelsesområdet og noen av de beste befaringslokaliteter også ligger utenfor undersøkelsesområdet.

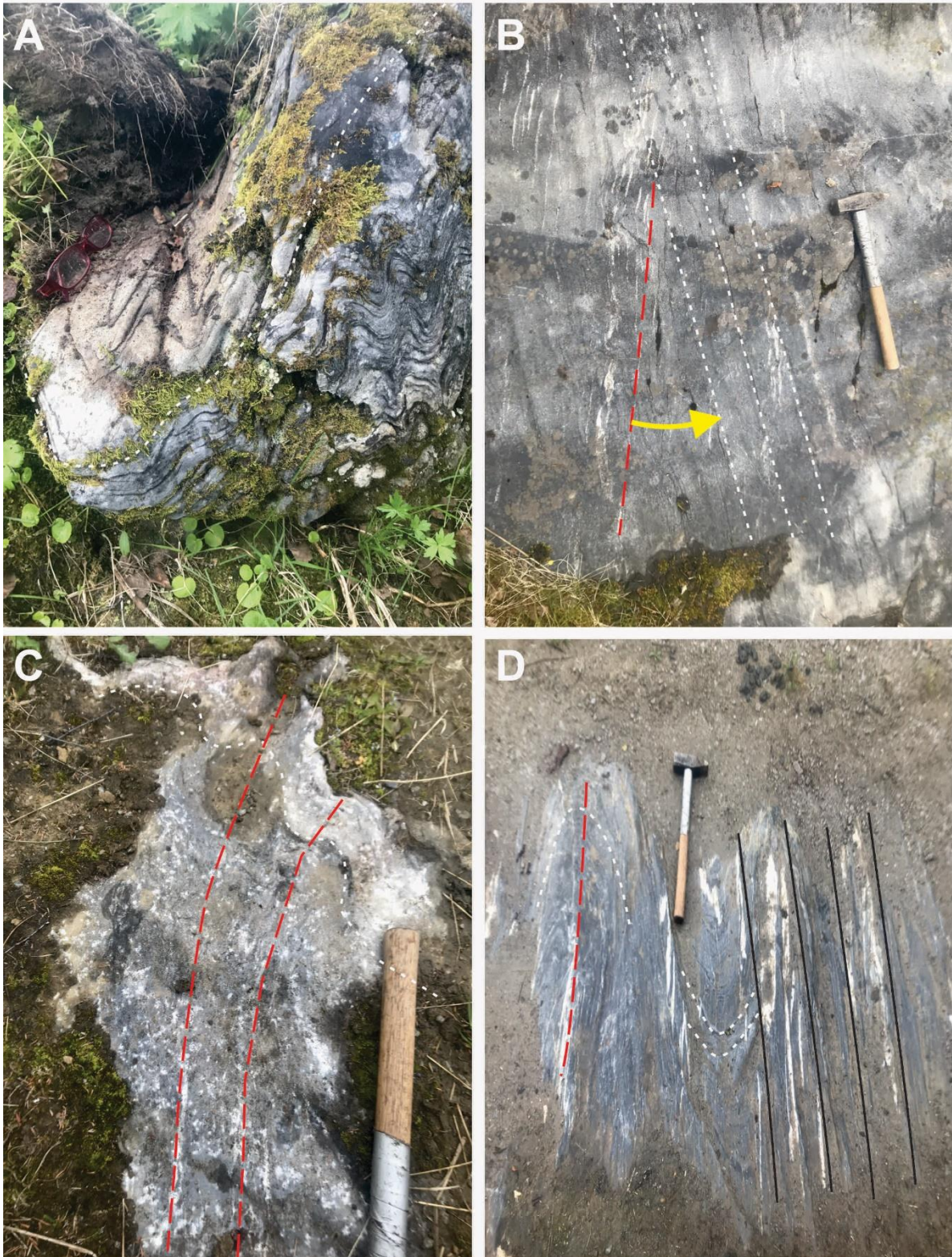
Figur 8 viser noen få eksempler av hvordan folde-relaterte strukturer som er illustrert teoretisk i Figur 2 ser ut i virkeligheten. I alle 250 befaringslokaliteter finner vi bevis for komplekse og til dels ekstremt komplekse foldestrukturer som påvirker geometrien av Nestbylia-karbonatene (Figur 8a). En forståelse av opprinnelig lagdeling og hvordan sekundær kløv er utviklet i karbonatbergarten er avgjørende for å bestemme den regionale foldegeometrien (Figur 8c og d). Observasjonen av det endrende lagdeling-kløv-forholdet tillater en oppbygging av den regionale foldestrukturen. I tillegg er foldene avskjært, generelt i foldekjernen. Dette ser man et eksempel av i Figur 8d, hvor folde-parallelle skjærsoner forkaster karbonatbergarten langs foldegeometrien. Denne type forkastningen er veldig typisk. For å oppsummere, det er to typer fold-relaterte geometrier som kan påvirke 3D-geometrien av karbonatbergarten; den opprinnelig isoklinale foldestrukturen, som kan være kompleks, og fold-parallelle skjærsoner som kan forkaste karbonatlag parallelt med foldene.

Figur 9 viser to eksempler på skyvesoner. I motsetning til foldene, er disse planare strukturer som er utviklet etter folding (de kutter foldene). Disse strukturene er flatliggende og kan ha betydelig forskyvning på opptil flere kilometer, og kan i slike tilfeller plassere vidt forskjellige bergartstyper opp på hverandre. Dette kan bety at to karbonat-typer som opprinnelig opptrådte langt fra hverandre nå befinner seg rett ved siden av hverandre. Dette kan ha stor betydning for den tredimensjonale fordelingen av karbonatkvaliteten og dermed også for en eventuell drift.

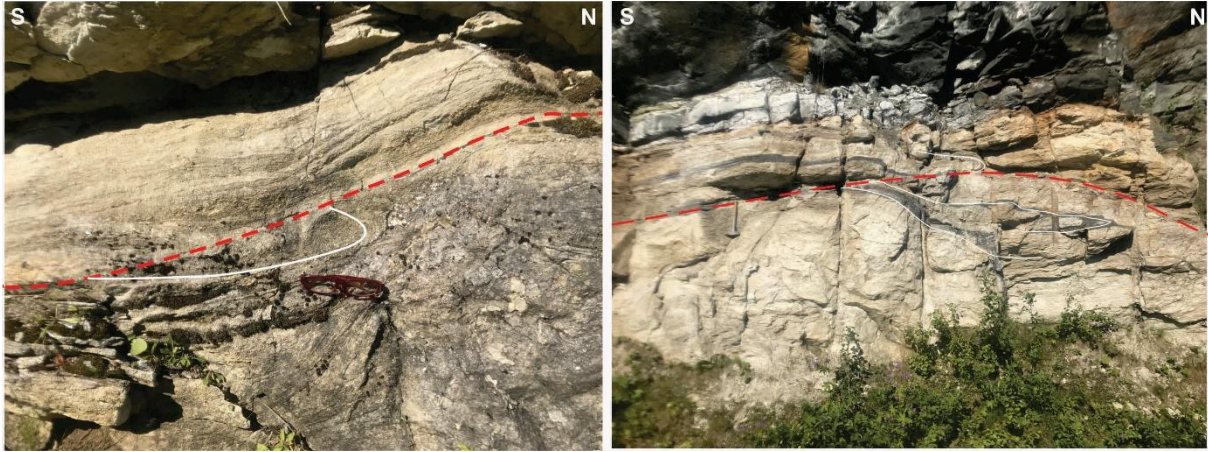
⁴ Karbonatbergart er her benyttet som sekkebetegnelse for ulike varianter av kalkspatmarmor.



Figur 7: Lokalitetspunkter for strukturgeologisk kartlegging gjennomført i 2018. Over 250 lokalitetspunkter ble samlet inn (svarte punkter). Den svarte linjen er Fylkesvei 812.



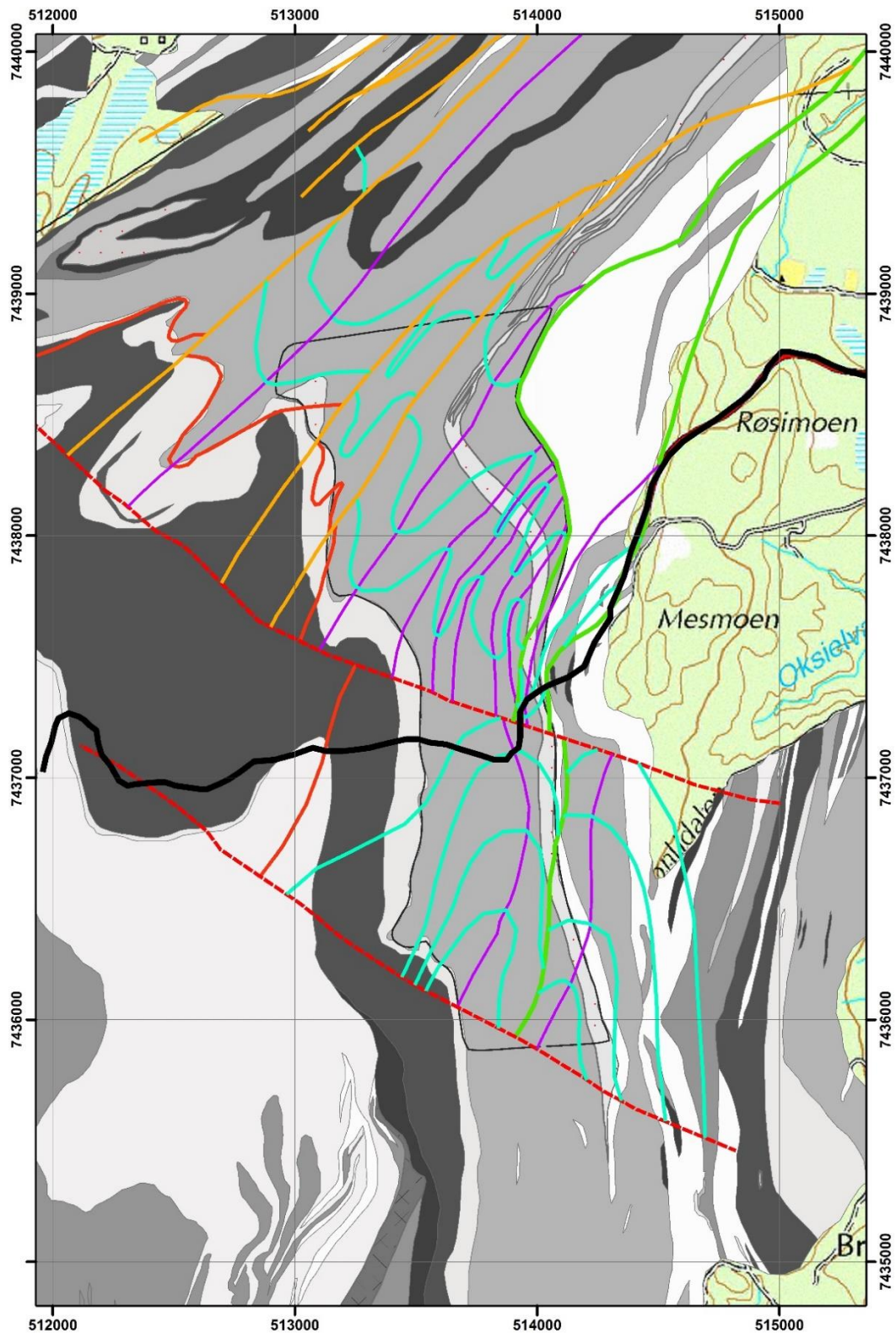
Figur 8: Eksempler på foldestrukturer som påvirker geometrien av Nestbylia-forekomsten. Lagdeling er stiptet hvit og kløv er rød. A: Typisk fold i karbonatbergart sett mot nord. B: Lagdeling-kløv forhold utviklet i karbonatbergarten, noe som er avgjørende for den regionale foldgeometrien. Dette mønsteret tilsvarer det som er sett i Figur 2f. C: Høy vinkel mellom opprinnelig lagdeling og kløv i en foldelukning som tilsvarer det som er sett i Figur 2e. D: Folde-parallele skjærsoner som forkaster karbonatbergarten langs foldgeometrien.



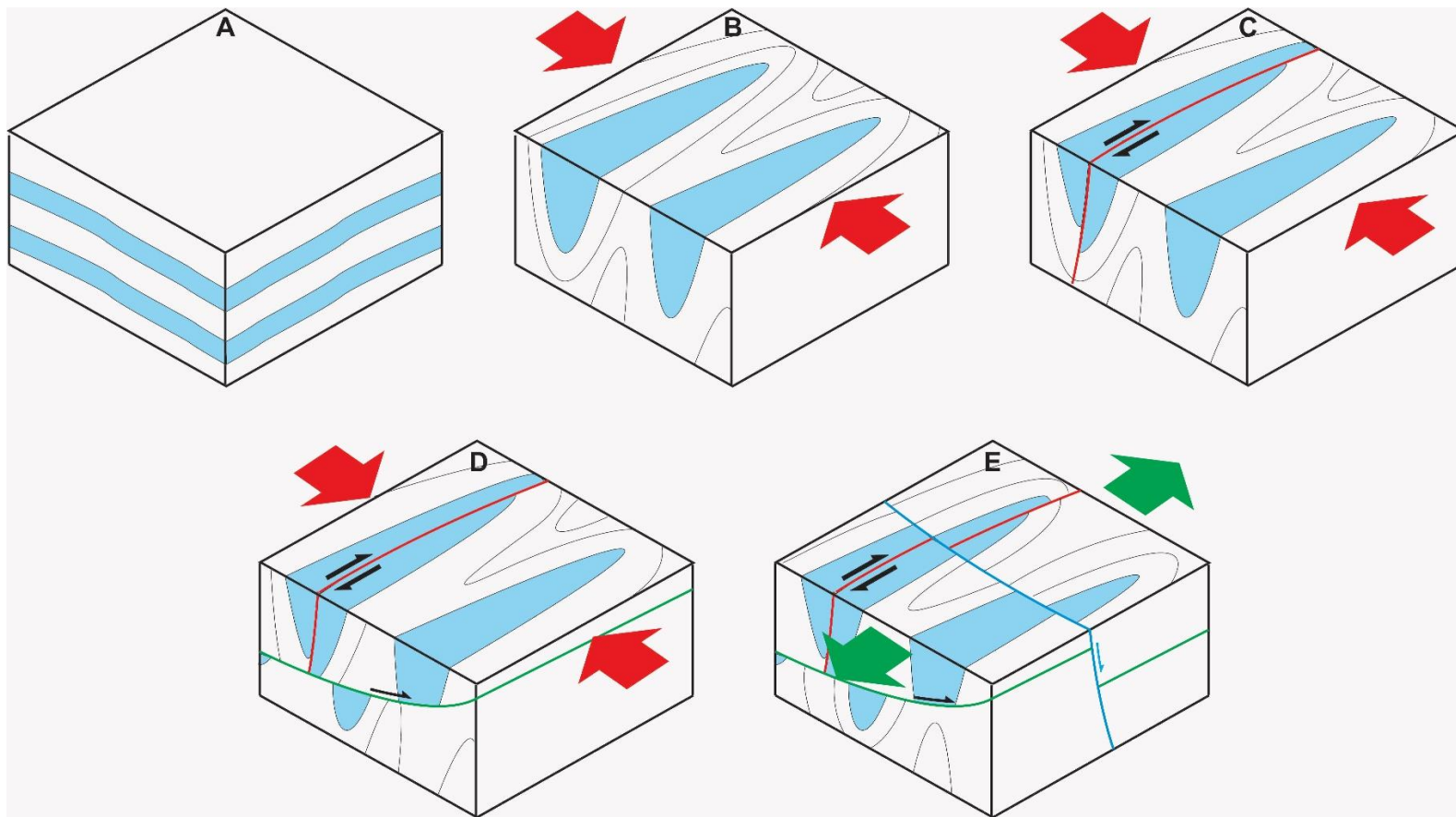
Figur 9: Eksempler av forskyvningsstrukturer i felt som påvirker forekomstgeometrien. Til venstre: Den røde linjen er bunnen på en forskyvning som sammenstiller karbonatbergarten over med den under som er av en annen type og kvalitet. Foldene i det nederste laget er kappet av inn mot forskyvningen. Til høyre: En forskyvning med tydelig avkappet karbonat-folder i laget, forårsaket av forskyvningen. Denne type forskyvninger er flatliggende strukturer som sammenstiller ulike bergartsblokker opp på hverandre, og kan representere forskyvninger på flere kilometer eller titalenkilometer.

Etter sammenstillingen av alle felldata er det laget en ny kartskisse (Figur 10). Bakgrunnskartet i figuren viser den geologisk kartlegging av Gjelle m.fl. (2013). Hovedforskjellen mellom denne tidligere kartleggingen og det som er gjort i denne rapporten, er at flere isoklinale folder er kartlagt i den ene karbonatsonen (lyseblå) som går nord-sør over Nestbylia (lyseblå linjer). I den nordligste delen av området, nord for riksvegen, er foldene hyppigere som vist med antall foldakser (lilla). I den nordvestlige delen av området er foldene tydelig avskjært av fold-parallele skjærsoner (oransje). Disse strukturene (se eksempel i Figur 8d) kan ha opptil flere hundre meter forskyvning og kan være avgjørende for fordeling og opptreden av karbonatkvaliteten. Flatliggende forskyvninger har kuttet karbonatbergarten etter folding (grønn). VNV-ØSØ forkastninger har deretter kuttet karbonatbergarten (rød).

Dette geometriske bildet kan virke veldig kompleks, men kartlegging av mønsteret og forståelse av prosessene som har dannet geometrien er kritisk for forståelse av den tredimensjonale fordelingen av karbonatkvaliteten. Dette komplekse bildet er forenklet oppsummert i skisseform i Figur 11. Opprinnelig ble karbonatlagene avsatt i et tropisk hav i horisontale lag. Øst-vest-kompresjon av lagene ledet i løpet av millioner av år til dannelse av isoklinale (parallele flanker) folder. Fortsettelse av deformasjonen har avskjært disse foldene parallelt med foldelengden i skjærsoner, hvor karbonatlagene kan være forkastet mange hundre meter. Mens kompresjonen av området fortsatte, ble utviklingen av folder erstattet av flatliggende skyvesoner. De kuttet foldene og skjøv horisontale skiver opp på hverandre med mange kilometer bevegelse. Til slutt har øst-vest orienterte normalforkastninger forskjøvet karbonatbergarten med opptil titalls meter vertikalt.



Figur 10: Ny strukturgeologisk kartlegging av karbonatlagene innenfor undersøkelingsområdet ved Nestbylia. Dette viser et svært komplisert geologisk bilde som påvirker forekomstgeometrien. Det er vanskelig å forestille seg denne 3D-strukturen av forekomsten i et 2D bilde. Lyseblå: Folder. Lilla: Foldenes akseplan (midten av foldene). Oransje: Skjærsoner assosierte med foldene. Grønn: Forskyvninger. Heltrukket rød: Øvre grensen av grå karbonaten mot Rosa Karbonat. Stiplet rød: Normal-forkastninger. Den svarte linjen er Fylkesvei 812. Det er derfor viktig at leseren ser på modellen i den vedlagte video.



Figur 11: 3D-skisse av utvikling av Nestbylia forekomsten gjennom geologisk tid. A: Karbonatet er avsatt på havbunn i horisontale lag (blå). B: Under øst-vest-kompresjonen er karbonatlagene foldet i tette isoklinale folder. C: Fortsatt kompresjon øst-vest danner nord-sør-gående forkastninger eller skjærsoner langs foldaksene (rød) som forskyver foldene opp til flere hundre meter. D: Fortsatt øst-vest-kompresjon danner lavvinklede forskyvningssoner (grønn) som sammenstiller forskjellige skiver i forhold til hverandre med opp flere kilometers forskyvning. E: Nord-sør-ekstensjon danner øst-vest normalforkastninger (blå) som kan forskyve forskjellige blokker titalls meter.

Figur 11 viser det komplekse geologiske bildet som er bygget opp av strukturer og overflater som har utviklet seg og påvirket karbonat på forskjellige tidspunkter. For å oppsummere 3D-modellen i Figur 11.

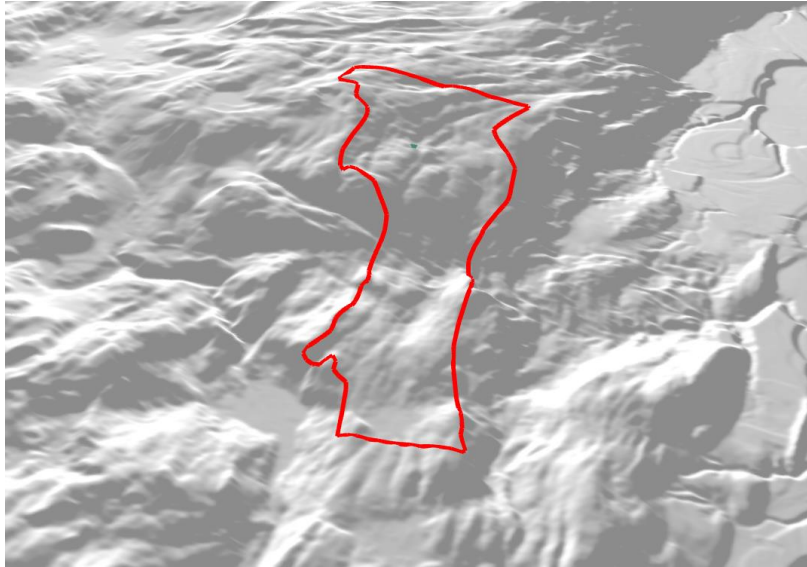
- Avsetning av horisontale karbonatlag i et tropisk hav.
- Øst-vest-kompresjon i forbindelse med fjellkjedebygging som har foldet karbonatlagene i isoklinale folder med parallelle flanker.
- De isoklinale foldene skjæres parallelt med foldgeometrien av skjærsoner som forkaster karbonatbergarten med opptil flere hundre meter.
- Skiver av ulike karbonatbergarter skyves over hverandre langs flatliggende skyvesoner. De kan ha blitt forskjøvet med mulig forskyvningsavstand på flere kilometer, kanskje flere titalls kilometer.
- Til slutt har karbonatbergarten blitt forkastet langs øst-vest-normalforkastninger med opptil flere titalls meter forskyvning.

4.2 3D-modellering

3D-modellen består av mange elementer. I følgende kapittel gjennomgås hvert element for seg og forklarer oppbyggingen av modellen.

4.2.1 Høydemodell og ortofoto

Grunnlaget for modellen er tredimensjonale topografiske data. Disse er lastet ned fra *hoydedata.no* og består av 10 m digital terreng /høydemodell (DTM) av Nestbylia og omegn (Figur 12). Georefererte ortofoto er deretter drapert over høydemodellen (Figur 13).



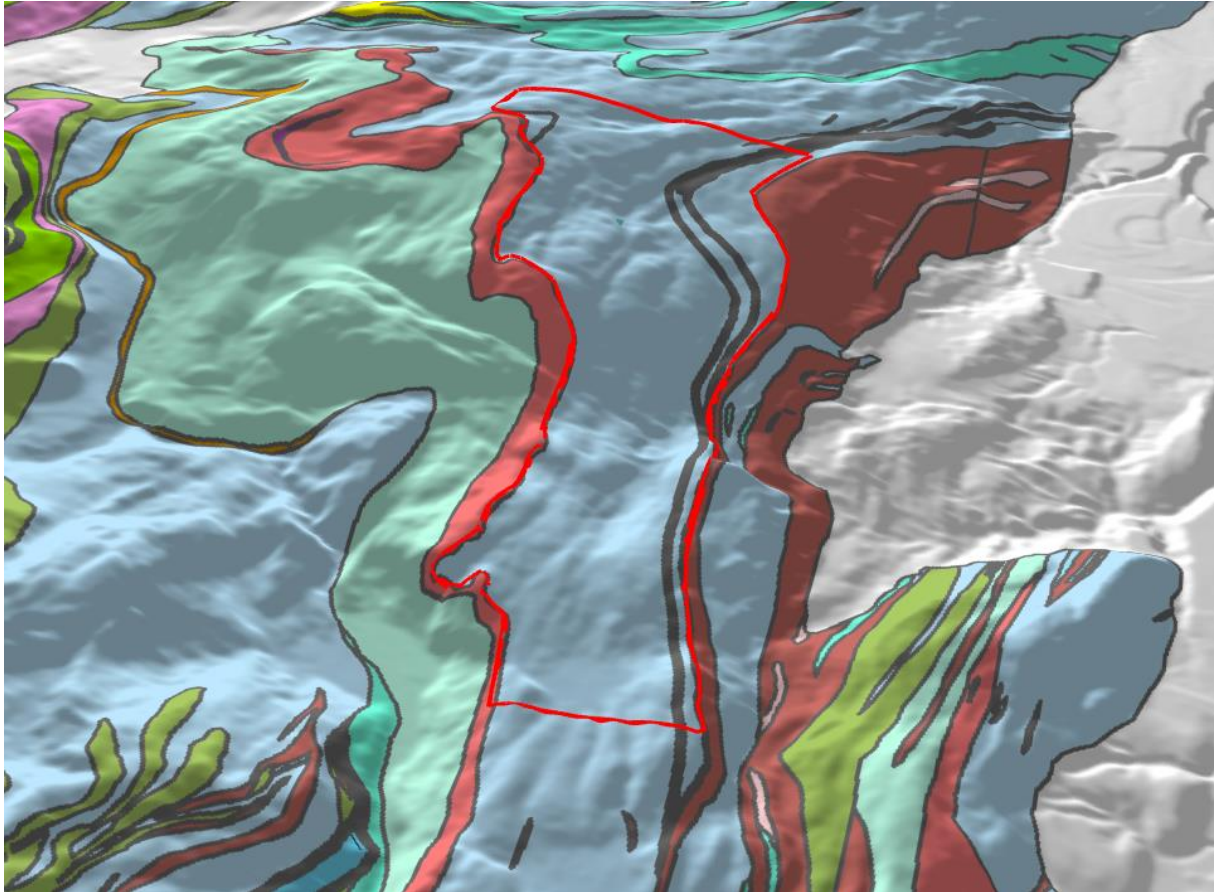
Figur 12: Nestbylia sett fra SØ med 10 m høydemodell. Undersøkesområdet er vist med rød polygon.



Figur 13: Nestbylia sett fra sørøst med 10 m høydemodell. Høydemodellen er drapert med ortofoto. Undersøkesområdet er avmerket i rødt.

4.2.2 Høydemodell og regionalgeologi

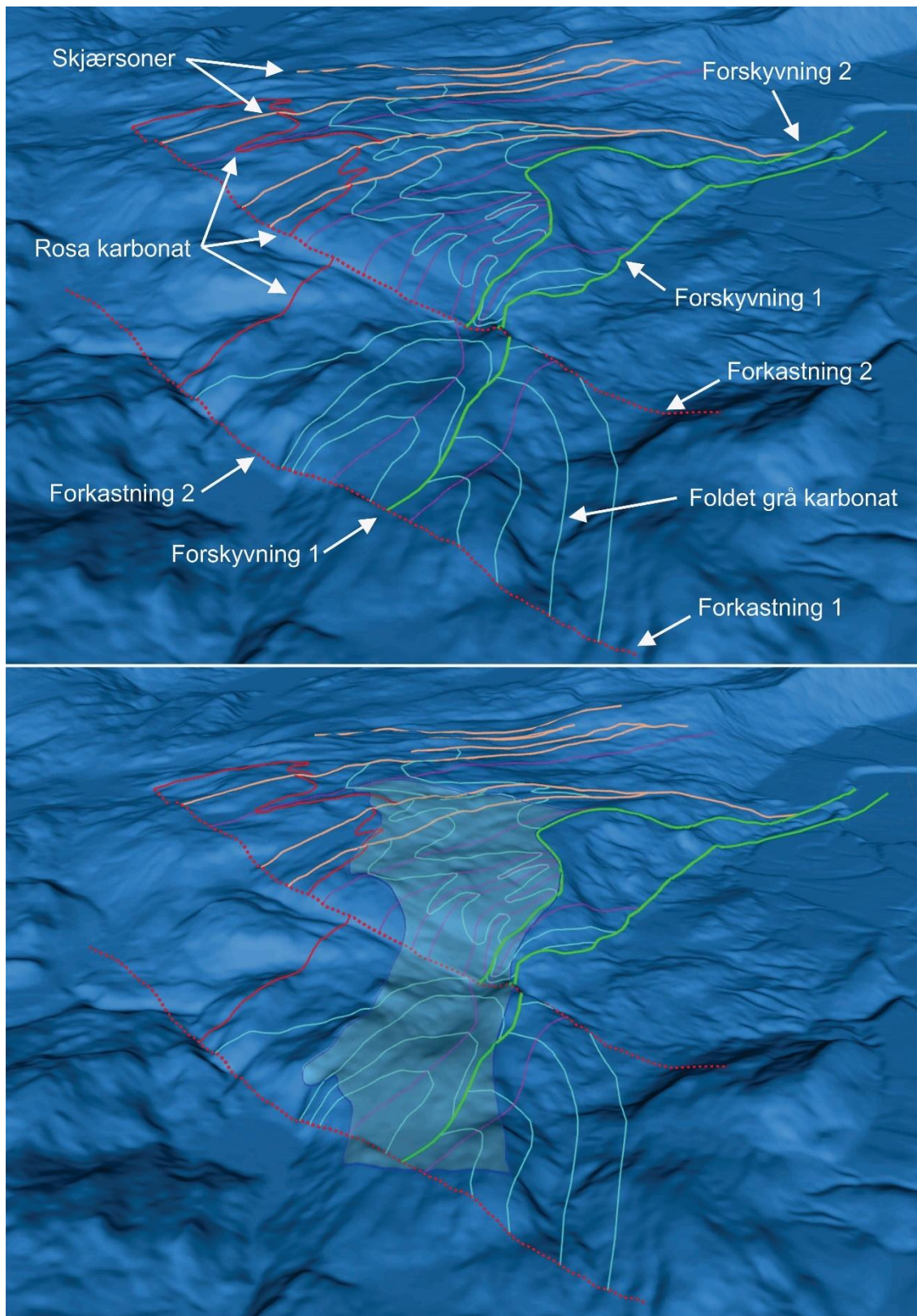
Figur 14 viser høydemodellen drapert med et digitalisert regionalgeologisk kart basert på Gjelle m.fl. (2013). Her får man et godt inntrykk av hvordan karbonatbergartene opptrer i forhold til landskapet.



Figur 14: Nestbylia sett fra sørøst. Høydemodellen med drapert regional geologi av Gjelle m.fl. (2013). Karbonatlagene vises med en blå farge. Undersøkesområdet vises med rød linje (polygon).

4.2.3 Drapering av overflatekartlegging

Figur 15 viser den samme høydemodell drapert med en ny, mer detaljert tolkning av geologien basert på strukturkartleggingen (avsnitt 4.1) i denne studien. Strukturene er forklart i avsnitt 4.1 og Figur 10/Figur 11.



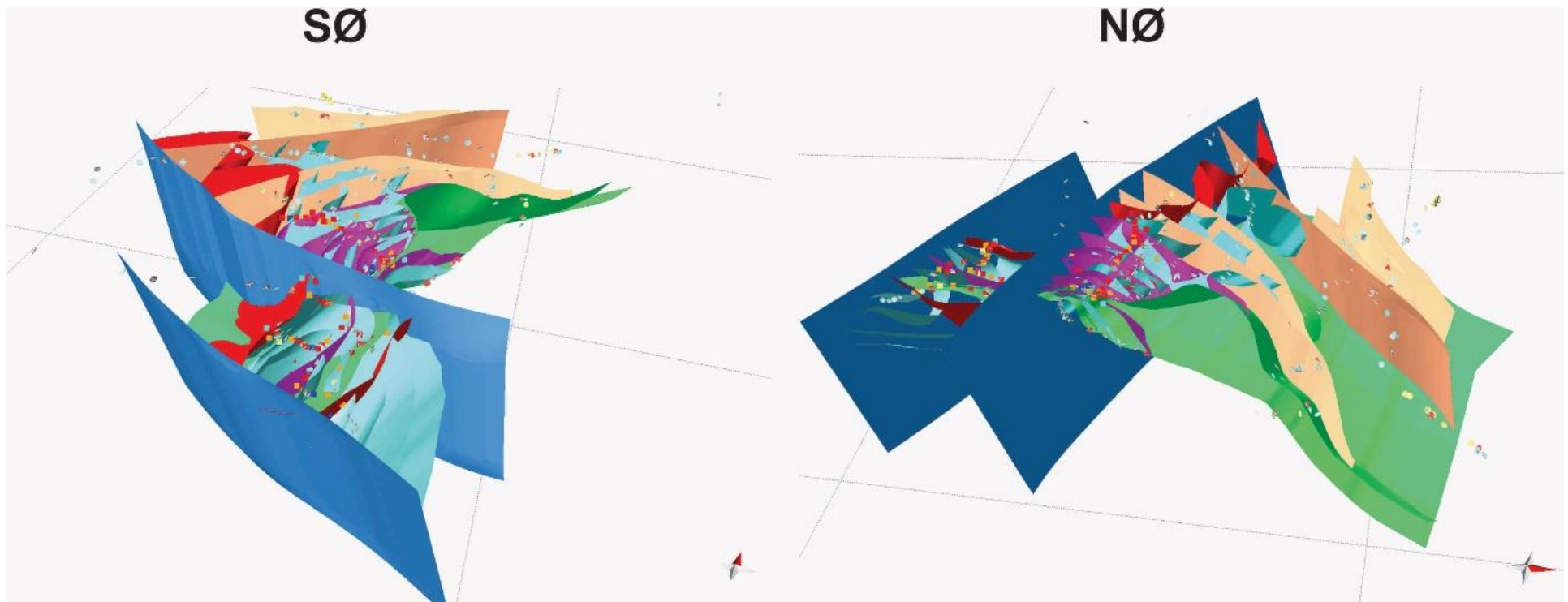
Figur 15: Undersøkellesområdet sett fra sørøst. Høydemodell (her vist i blåtoner) med drapert overflatekartlegging fra den nye strukturkartlegging gjort i forbindelse med denne studien. De forskjellige linjetyper er annotert i det øverste bildet. Det nederste bildet viser i tillegg forekomstområdet. Linjetyper: Lysblå-grå: karbonat. Lilla: Foldenes akseplan (midtlinjen i foldene). Rød-rosa: Karbonat. Oransje: skjærsoner assosiert med folding. Grønn: Forskyvninger. Stiplet rød: Normal-forkastninger. Undersøkellesområdet vises i det nederste bilde.

4.2.4 Geologisk 3D-modell

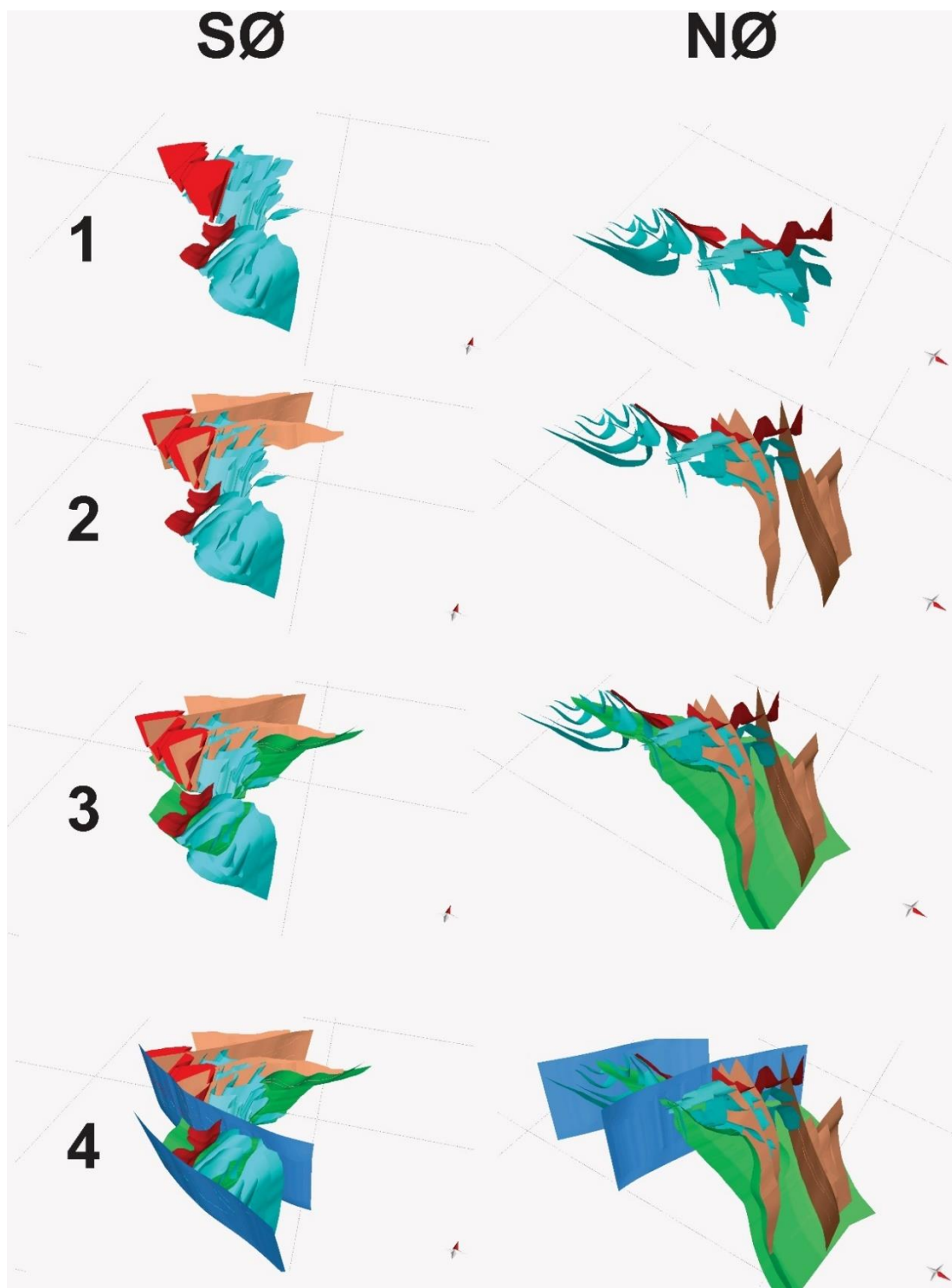
Figur 16 viser 3D-resultatene av ekstrapoleringen av 2D-målinger i karbonatbergarten vist i Figur 15. Denne figuren demonstrerer essensen av arbeidet gjort i denne rapporten. 2D-figuren er en representasjon av det komplekse 3D-overflatemønsteret. I og med at det kan være vanskelig å forstå dette bildet, henvises til en presentasjonsvideo (se avsnitt 4.4). Kompleksiteten er en kombinasjon av både de komplekse 3D-overflater sett i 2 dimensjoner, men også at strukturene har utviklet seg og påvirket geometrien av karbonatbergarten på forskjellige tidspunkt i den geologiske forhistorien. Det er derfor anbefalt at det gjøres en særskilt presentasjon for kommune og fylkeskommune, med visning av modellen i 3D-programvaren.

Figur 17 er en forenkling av 3D-mønsteret med de forskjellige strukturer illustrert på fire forskjellige tidspunkter gjennom geologisk tid. Først ble karbonatbergarten foldet i isoklinale folder. Deretter ble foldene kuttet og forkastet av skjærsoner parallelt med foldgeometrien. Deretter ble karbonatene forkastet på flatliggende skyvesoner og til slutt ble de forkastet på normalforkastninger. Disse fire begivenheter har skjedd over millioner av år.

I det påfølgende (avsnitt 4.2.5 og avsnitt 4.3) integreres dette komplekse bilde fra den geologiske kartleggingen og 3D modelleringen med analysedata fra Korneliussen m.fl. (2019). Det har vært nødvendig å gjøre forenklinger, og det er laget volumer av forskjellige karbonatenheter som er deformert og kuttet av de geologiske strukturene.



Figur 16: To 3D-bilder av den fullstendige geologiske modellen sett fra både sørøst (SØ) og nordøst (NØ). Formen på denne modellen danner grunnlaget for volumfordeling og volumberegning presentert i avsnitt 4.3. Lyse blå flater er foldene i den grå karbonatbergarten. Lilla farge viser foldeaksene (midtlinjen av foldene). Den røde farge er kontakten av den grå karbonatbergarten med en rosa karbonatbergart mot vest. De oransje flatene er fold-parallele skjærsoner. De grønne flatene er flatliggende forskyvninger. De mørkeblå flater er normalforkastninger.



Figur 17: Utsnitt fra 3D-modellen vist i Figur 16. Skisse som viser hovedstrukturene utviklet over tid i undersøkelsesområdet som påvirker geometrien av karbonatforekomsten. Til venstre ses modellen fra sørøst (SØ), til høyre fra nordøst (NØ). 1: Karbonatbergarten etter folding i isoklinale folder. Den røde overflaten er den vestlige grensen av den grå karbonatbergarten i kontakt mot den rosa karbonatbergarten. 2: Isoklinale folder i karbonatbergarten kuttet og forskjøvet av akseplan-skjærsoner i oransje farge. Denne forskyvingen kan være opptil flere hundre meter og plasserer karbonat av helt forskjellige karakter sammen. 3: Karbonatbergart kuttet av flatliggende forskyvninger (grønn). Denne forskyvingen kan være opptil flere kilometer lang og plasserer karbonatbergarter av helt forskjellige karakter ved siden av hverandre. 4: Karbonatbergart kuttet av øst-vest-normalforkastninger (blå). Denne forskyvingen kan være opptil flere titalls meter og sammenstiller karbonat av helt forskjellige karakter.

4.2.5 Prøver og Fe-Mn-analyser

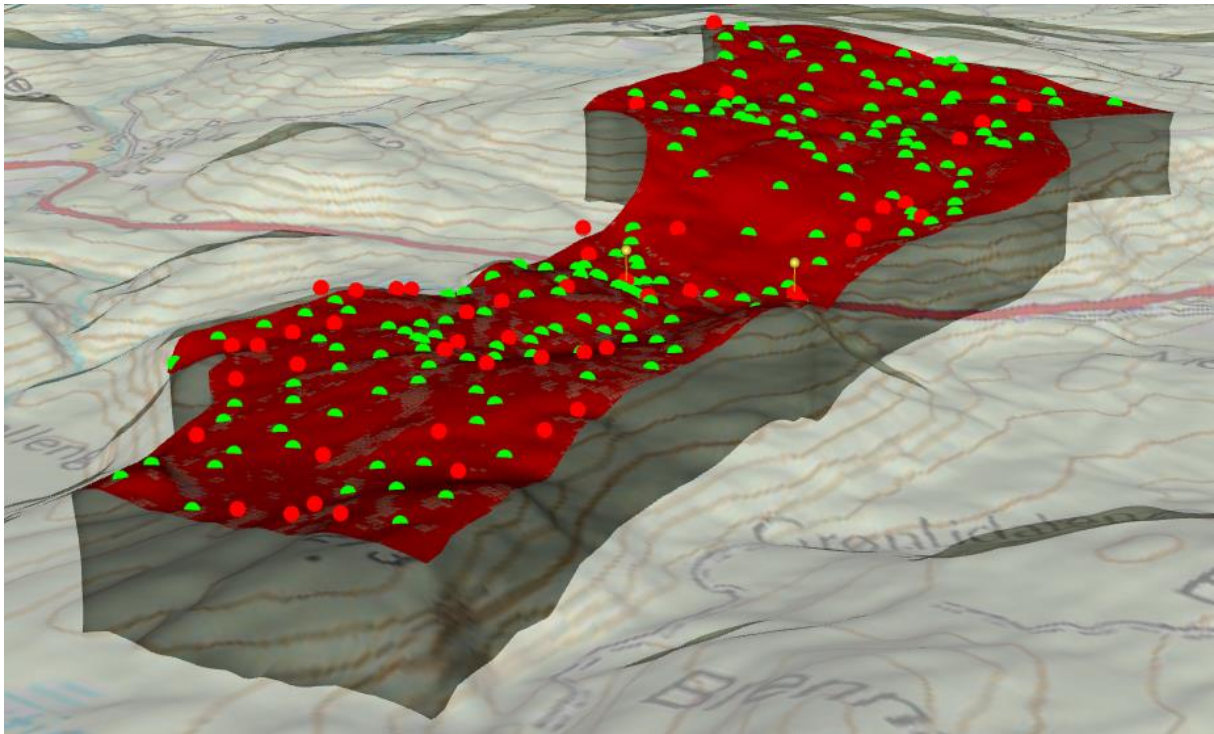
En indikasjon på karbonatets potensielle hvithet er innholdet av karbonatbundet (krystallbundet) jern (Fe) og mangan (Mn). Innholdet av karbonatbundet Fe og Mn reduserer karbonatets hvithet og må være lavt for anvendelser hvor høy hvithet er et kvalitetskriterium, jo lavere jo bedre. I denne rapporten er det skilt mellom karbonat med under 250 ppm karbonatbundet Fe+Mn, som ansees å være av høy kvalitet, og karbonat med over 250 ppm som ansees som mindre attraktivt. Se nærmere omtale av Korneliussen m.fl. (2019).

Prøvepunktene i undersøkelsesområdet er vist i Figur 3. Det framgår at prøvepunktene er noenlunde jevnt fordelt i undersøkelsesområdet. I denne rapporten er analysedataene brukt på en forenklet måte for å kunne lage en praktiske og lett forståelig inndeling av ulike karbonatvolum.

Datatabellen i Korneliussen m.fl. (2019) er her forenklet ved at analysene er inndelt i kun to grupperinger: Det er kombinert Fe+Mn verdier under og over 250 ppm, se **Vedlegg 1**.

Figur 18 viser hvordan analysene er fordelt med hensyn til Fe+Mn-innhold. Karbonatbergart med analyseverdier innenfor den beste kvaliteten er markert med grønne punkter (< 250 ppm Fe+Mn) mens de øvrige prøvene er markert med røde punkter (> 250 ppm Fe+Mn).

Av samtlige 273 analysepunkter har 220 en kombinert Fe+Mn mindre enn 250 ppm. Dette indikerer at en stor andel av karbonatbergartene i undersøkelsesområdet har høy kvalitet. Sammenligning av Figur 3 og Figur 4 viser at de punktene med lavere kvalitets karbonat er ujevn fordelt i undersøkelsesområdet. I Figur 4 er det tydelig at de fleste røde punkter ligger i den sørligste delen av undersøkelsesområdet og det er relativt få røde punkter i den nordligste delen av området. Dette kan bety at karbonaten med best kvalitet ligger i den nordligste delen av området.



Figur 18: Undersøkesområdet sett fra sørøst med et mulig avbygging ned til 200m fra overflaten og overflate analyseprøver. Potensielt høykvalitetskarbonat (< 250 ppm Fe+Mn) er vist med grønne punkter og lavkvalitets karbonat (> 250 ppm Fe+Mn) med røde punkter.

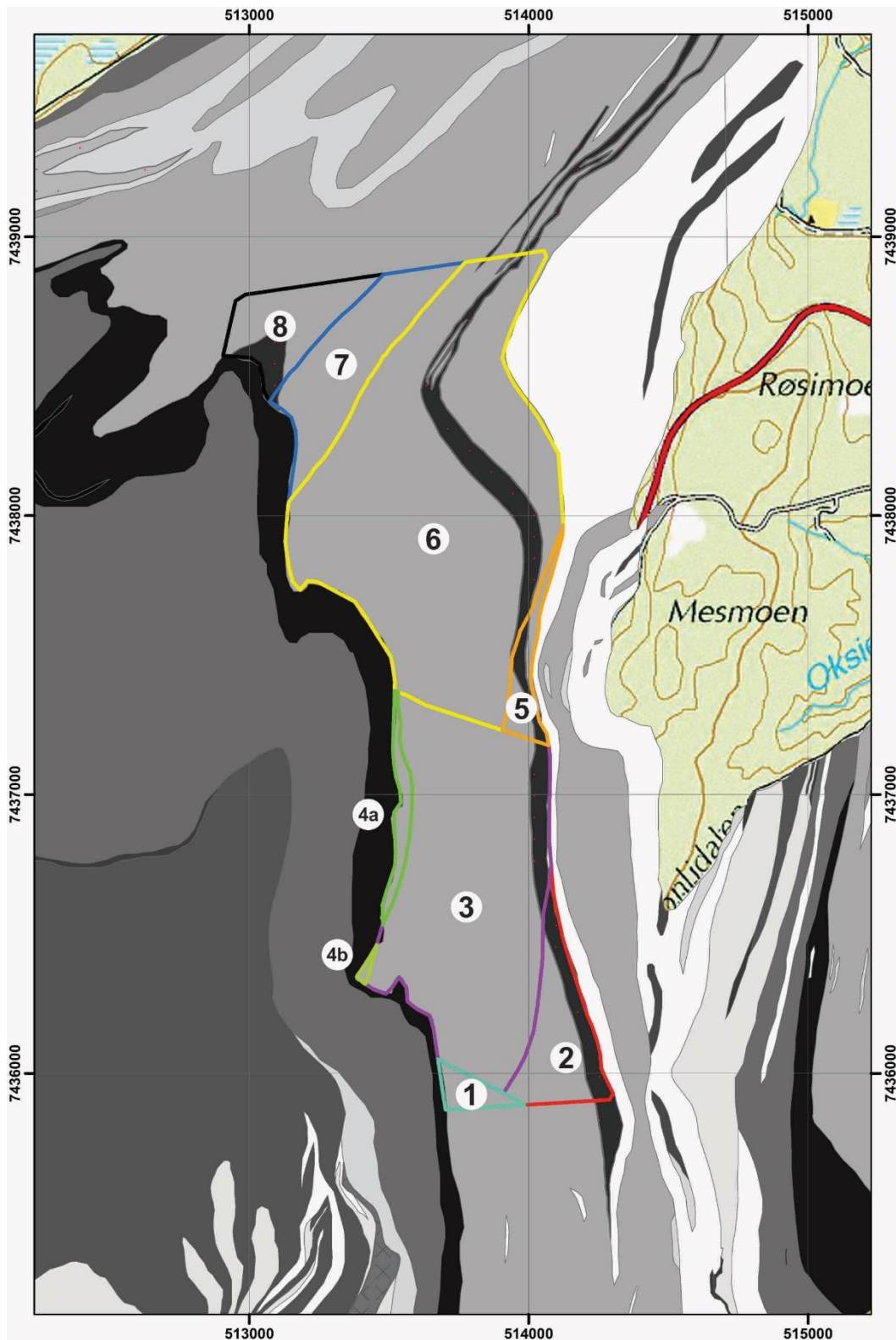
4.3 Karbonatvolumer

4.3.1 2D-polygoner på overflaten

Det er flere måter å konstruere volum for karbonatbergartene i Nestbylia; en har her valgt å bruke geometriene i geologien som mal. Denne studien er målrettet mot å definere volum som er geologisk realistiske, og for dette formål er den fullstendig geologiske modellen presentert i Figur 16 avgjørende. Figur 19 viser et kartutsnitt av 3D-modellen sett ovenfra som viser oppdeling i flere del-volumer av polygonen som definerer undersøkelsesområdet. Det er konstruert 10 ulike volum. Disse er nummerert fra 1 til 8. Polygon 4 består av 2 del-polygoner (4a og 4b). Polygon 5 består også av to polygoner (5a og 5b), men 5b er ikke synlig i 2D siden det ligger direkte under polygon 5a. Dette ser man bedre i Figur 20 og Figur 21. Her følger en kort beskrivelse av hvordan undersøkelsesområdet er delt opp i disse polygonene.

- **Polygon 1:** Dette er den sørligste polygonen og er avgrenset mot sør med grensen til undersøkelsesområdet og normalforkastning 2 mot nord (se Figur 15).
- **Polygon 2:** Denne polygonen ligger i sørøst og er avgrenset i øst mot grensen til undersøkelsesområdet. Mot vest er den avgrenset av en forskyvning (forskyvning 1) slik at den er kile-formet mot vest. Den er avgrenset mot nord av normalforkastning 2.

- **Polygon 3:** Denne polygonen ligger direkte vest for polygon 2 og er dermed avgrenset av forskyvning-1 møt øst og er også kile-formet. Den er avgrenset mot polygonene 4a og 4b mot vest og er avgrenset mot nord av normalforkastning-2.
- **Polygon 4a:** Polygon 4a er et lite og NNØ-SSV avlangt polygon som er avgrenset mot polygon 3 mot vest og den vestlige delen av undersøkelsesområdet mot vest. Den er avgrenset mot nord av normalforkastning-2.
- **Polygon 4b:** Denne polygonen er den sørlige fortsettelsen av polygon 4a og er den minste polygonen.
- **Polygon 5a:** Denne polygonen er avlangt N-S og er avgrenset mot sør av normalforkastning-2 og mot vest av det underliggende polygon 5b og den østlige grensen til undersøkelsesområdet.
- **Polygon 5b:** Denne polygonet er det nest minste i undersøkelsesområdet og er avgrenset møt sør av normalforkastning-2 og mot vest er avgrenset av forskyvning-1.
- **Polygon 6:** Polygon 6 er den største polygonen i undersøkelsesområdet og er avgrenset mot forskyvning-2 i øst, den vestlige delen av undersøkelsesområdet i vest og skjærforkastning-1 i NV.
- **Polygon 7:** Denne er en avlangt NØ-SV polygon som er avgrenset møt SØ av skjærforkastningen-1 og avgrenset mot NV av skjærforkastning-2
- **Polygon 8:** Denne er den nordligste polygonen og er avgrenset møt SØ av skjærforkastningen-2 og avgrenset mot nord av den nordlige grensen til undersøkelsesområdet.



Figur 19: Polygoner generert fra den geologisk oppdelingen av undersøkelsesområdet (polygoner er generert med adskilte geologiske egenskaper og derfor adskilte karbonat-egenskaper). Geologien er her vist i gråskala for å gjøre figuren enklest mulig.

Figur 20 viser de samme volumene tre-dimensjonalt. Resultatet er et ganske komplekst 3D-bilde med volumer med ulike former, størrelser og med forskjellige avstand fra overflaten, noen av dem plassert vertikalt over andre.

4.3.2 Volumer

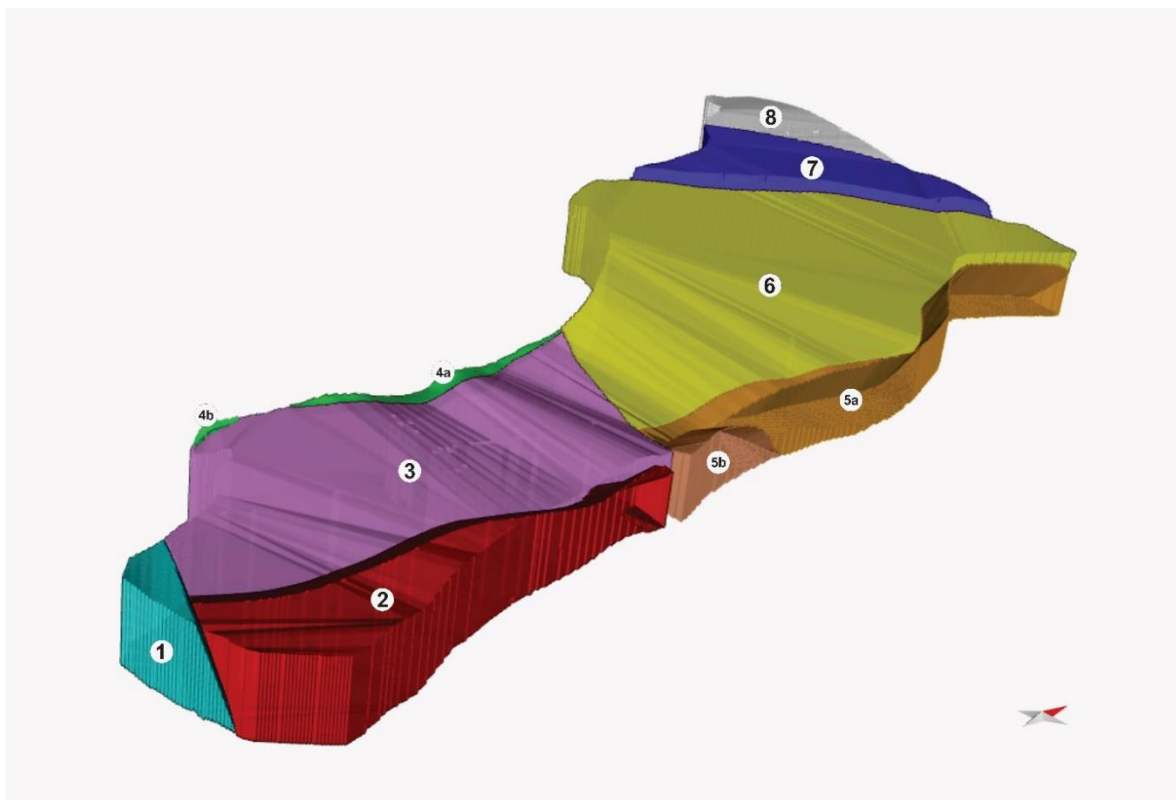
Det er beregnet volumer av polygonene i Figur 19 basert på en oppdeling av undersøkelsesområdet volum og det komplekse geologiske bildet vist i Figur 16.

Først er det laget topp- og bunn-overflater for de ulike karbonatsonene. Ut ifra disse topp- og bunn-overflater er det beregnet volumer (*voxels*) i m³, med tilhørende tonnasje i millioner tonn basert på en antatt gjennomsnittlig spesifikk vekt 2,7 t/m³, jfr. Tabell 1.

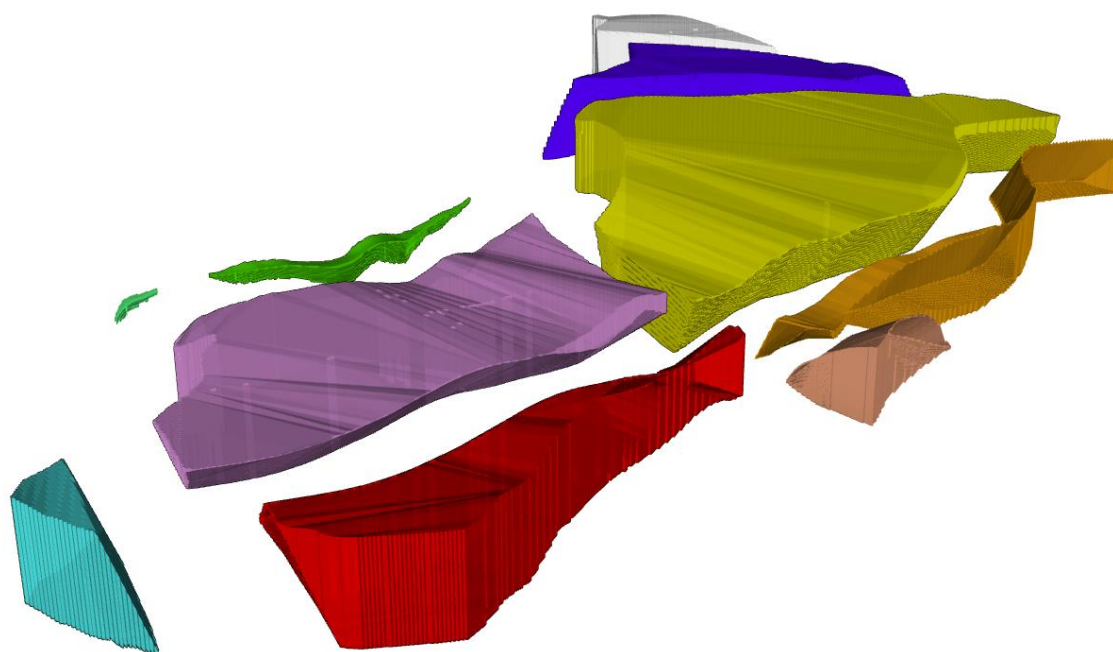
Volum navn	Volum (m ³)	Tonnasje (MT)
1	7 000 944	18,9
2	53 405 898	144,2
3	97 237 439	262,5
4a	776 966	2,1
4b	21 987	0,06
5a	16 900768	45,6
5b	5 202172	14,0
6	162 758 639	439,4
7	38 534057	104,0
8	25 734465	69,5
Totalt	407Mm³	1100

Tabell 1: Tabell som viser de forskjellige volumer bestemt ut ifra geometriske og geokjemiske parameter.

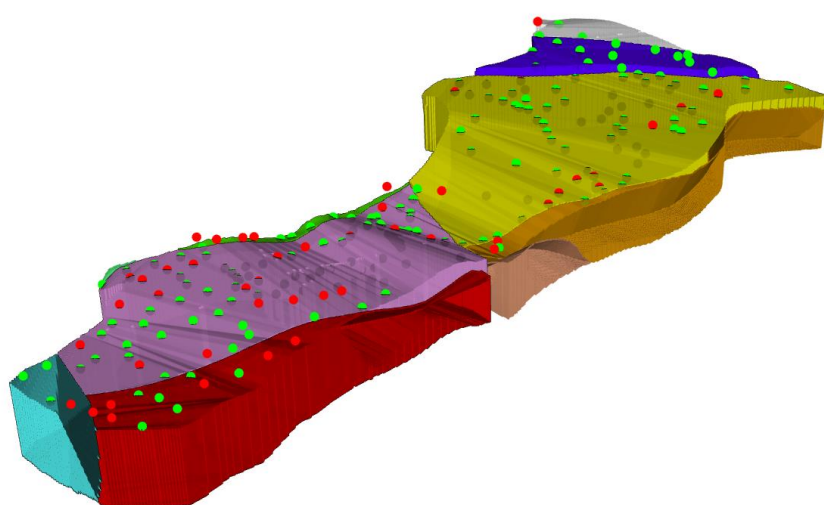
Når de forskjellige del-volumene vist i Figur 20 og Figur 21 integreres med analysedataene fra Korneliussen (2019) dannes det et nytt bilde av fordeling av karbonatkvalitet i forekomstområdet. Figur 22 viser delvolumene med analysedata. Lavere enn 250 ppm Fe+Mn er grønne punkter. Høyere enn 250 ppm Fe+Mn er røde punkter. Dette viser at de fleste røde punkter opptrer i det sørligste volumet og den i gjennomsnitt beste karbonatkvaliteten finnes i delvolumene som er lengst nord. Dette ser man når delvolumene er farget som høy- og lavkvalitets karbonatbergart. Tabell 2 viser de forskjellige delvolum med beregnet gjennomsnittlig Fe+Mn-verdi. Denne tabellen kombinert med Figur 23 viser at volumer 1, 6, 7 og 8 består av høykvalitets karbonatbergart. Volumer 2, 3, 4a, 4b, 5a, og 5b har høyere gjennomsnittlig verdi med Fe+Mn > 250 ppm. Tabell 3 er en revidert versjon av Tabell 1, og viser kun de volumene som har Fe+Mn < 250 ppm. Med denne beregningen er høykvalitets karbonat på Nestbylia konsentrert i den nordligste område med en tonnasje på i størrelsesorden 630 millioner tonn. Figur 24 viser en volumstørrelse-rangering av alle delvolumene. Dette illustrerer at de største volumene er av høykvalitets karbonatbergart, og de minste volumene er av lavkvalitet. Dette er et gunstig med tanke på en eventuell fremtidige gruvedrift/utvinning.



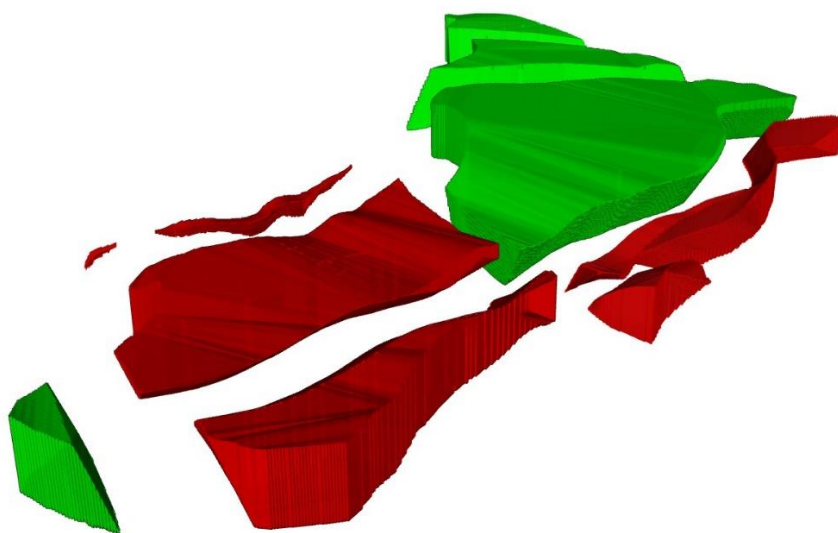
Figur 20: 3D-bilde av volumer sett fra SØ. Den røde pilen nederst til høyre viser nord. Volumene er konstruert fra 2D-polygonene vist i Figur 19 og er avgrenset i dybden av kuttende både vertikale og skråstilte geologiske strukturer.



Figur 21: Samme del-volumer vist i Figur 20, men med en 'eksplovert' utseende for å lettere forstå formen av volumene.



Figur 22: 3D-bilde av volumene med overflateanalysedata, sett fra sørøst. Den røde pilen nederst til høyre viser nord. Lavere enn 250 ppm karbonatbundet Fe+Mn er grønne punkter. Høyere enn 250 ppm Fe+Mn er røde punkter.



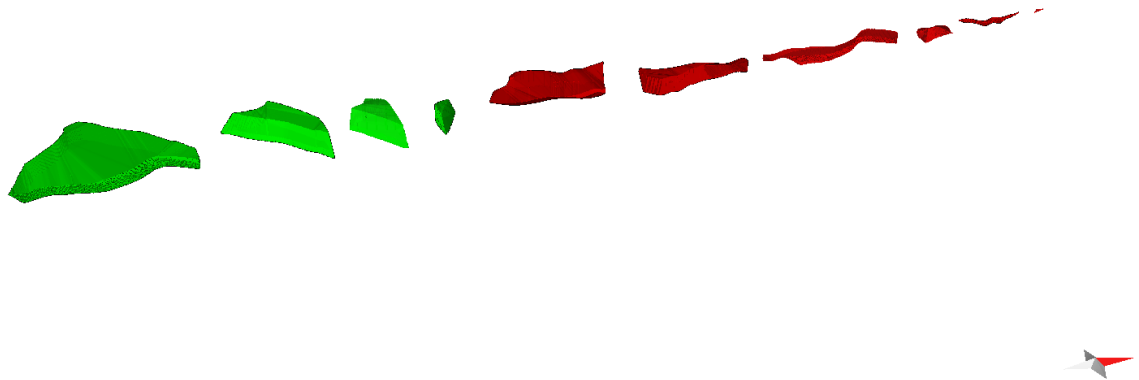
Figur 23: Samme 'eksploderte' utseende for del-volumene på Nestbylia Figur 21 men med fargelagt volumer basert på gjennomsnittlig innhold av karbonatbundet Fe+Mn. Grønne volumer er Fe+Mn < 250 ppm og røde volumer er Fe+Mn > 250 ppm.

Volum navn	Tonnasje (MT)	Fe+Mn (ppm)
1	18,9	106
2	144,2	255
3	262,5	726
4a	2,1	662
4b	0,06	-
5a	45,6	1140
5b	14,0	-
6	439,4	101
7	104,0	101
8	69,5	97

Tabell 2: Del-volumer med gjennomsnittlig innhold av karbonatbundet Fe+Mn. Det er tydelig at det er flere av de 'lav' kvalitets karbonater som er uinteressant, men del-volum 2 ligger rett utenfor den øvre grense for Fe+Mn med en verdi av 255 ppm. Dette kan også være av interesse.

Volum navn	Volum (m ³)	Tonnasje (MT)
1	7 000 944	18,9
2	53 405 898	144,2
3	97 237 439	262,5
4a	776 966	2,1
4b	21 987	0,06
5a	16 900768	45,6
5b	5 202172	14,0
6	162 758 639	439,4
7	38 534057	104,0
8	25 734465	69,5
Totalt	234Mm³	631

Tabell 3: Revidert Tabell 1 med kun volumberegninger for de volumene med Fe+Mn innhold under 250 ppm. Volumene med Fe+Mn > 250 ppm har rød tekst.



Figur 24: Alle volumer rangert i størrelse fra venstre til høyre. Volum 6, 7, 8, 1 har gjennomsnittlig karbonatbundet Fe+Mn < 250 ppm, mens volum 3, 2, 5a, 5b, 4a og 4b har Fe+Mn > 250 ppm. Det er tydelig at de største volumene består av høykvalitets karbonat mens de minste volumene består av lavere kvalitets karbonat. I tillegg er det tydelig at med lavere volumstørrelse er også geometrien på volumene annerledes. Lavkvalitets-volumene er gjennomgående avlange.

4.4 Presentasjonsvideo

Det er laget en video av modellen som viser de forskjellige 3D produkter i *mp4*-format. Filen heter *nestbylia.mp4* og ligger på en *sharepoint* mappen og må lastes ned fra linken nedenfor.

https://teams.microsoft.com/_#/school/files/General?threadId=19%3A783b50d5cd404d5aa5f9c8b2e489dcc2%40thread.skype&ctx=channel&context=376601_Ukonvensjonelle_Nordland_2018%252FRapport%25202019%2520Nestbylia%252F3D%252Frapport

Videoen viser først en regional høydemodell over hele Nestbylia området med tilhørende ortofoto, og deretter modellen med regional geologi som viser fordeling av karbonat over hele Nestbylia og omegn. Den neste delen av videoen viser topografi og ortofoto-bilder av den delen av Nestbylia som er av interesse for gruvevirksomhet med et tilhørende volum for undersøkelsesområdet. Deretter vises den fullstendig geologiske modellen som gir et inntrykk den geologiske kompleksiteten. Deretter er undersøkelsesområdet delt opp i flere delvolumer basert på geometri fra den geologiske 3D-modellen og informasjon om karbonatkvalitet. Dette kan være et nyttig produkt for å gjøre modellen enklere å forstå for grunneiere og andre interesserte.

5. Konklusjoner

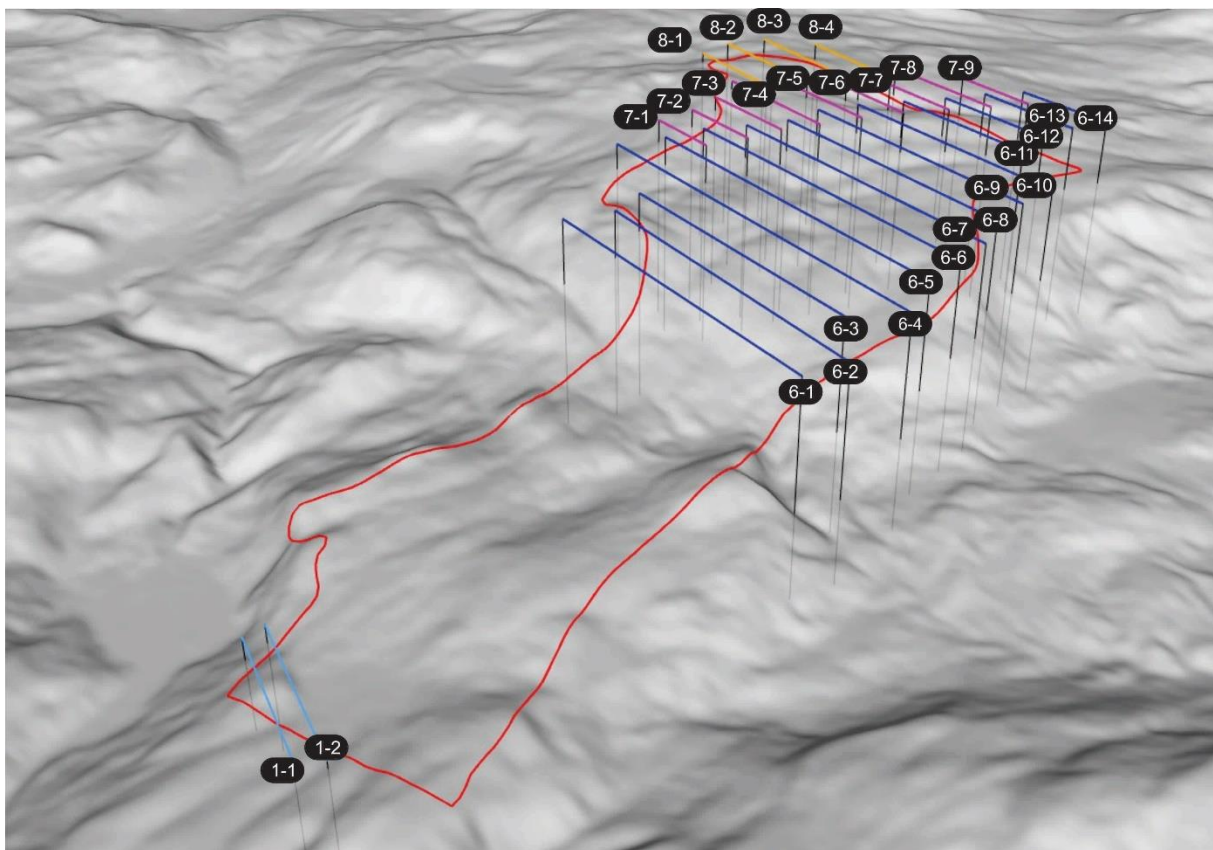
- Basert på den geologiske kartlegging av Gjelle m.fl. (2013) og Melezhik m.fl. (2013) og videre feltundersøkelser i denne studien, er det konstruert en 3D-modell av de viktigste karbonatsonene i Nestbylia forekomsten som ligger innenfor undersøkelsesområdet.
- Ny, detaljert strukturgeologisk kartlegging er gjort med over 250 befaringspunkter som i tillegg til det geologiske kartet utgjør grunnlaget for konstruksjon av 3D-modellen.
- Karbonatforekomsten har kompleks geometrisk form forårsaket av flere geologiske hendelser. Karbonatbergarten er først foldet, deretter avskjært langs skjærsoner parallelt med foldgeometrien. Senere forskyvning har deretter sammenstilt forskjellige flere hundre meter brede skiver av karbonatbergarter opp på hverandre. Til slutt har karbonatblokkene blitt normalforkastet.
- To borehull er lagt inn i 3D MOVE med tilhørende analysedata av Fe+Mn innholdet i bergarten.
- Analyser av 273 overflateprøver er lagt inn i 3D-modellen.
- Hele undersøkelsesområdet gir et volum av karbonatbergarter på 407Mm^3 (1,01 milliarder tonn) med en beregnet dybde ned til 200 m under overflaten.
- Karbonatbergartene i undersøkelsesområdet er på grunn av de veldig komplekse geologiske hendelsene over millioner av år, delt opp av flere kuttende strukturer, og er sterkt foldet de fleste steder. Av denne grunn er forekomstområdet splittet opp i en rekke delvolum med til dels ganske forskjellige egenskaper.
- 10 forskjellige delpolygoner er konstruert (polygonene er navngitt 1, 2, 3, 4a, 4b, 5a, 5b, 6, 7 og 8). Formen på disse polygonene er komplekse og er bestemt ut ifra undersøkelsesområdets avgrensinger, skjærende strukturer og kjemisk sammensetning.
- Integrering av delvolum med analysedata viser tydelig at de beste kvalitetsvolumene (med mindre enn 250 ppm Fe+Mn) finnes i den nordligste delen av undersøkelsesområdet.
- Rangering av delvolumene viser tydelig at volumene med den beste karbonatkvaliteten er størst, og volumene med den laveste karbonatkvaliteten er de minste.
- Når en kun tar hensyn til volumberegningene for den beste kvaliteten gir dette ca. 234 millioner m^3 , som tilsvarer ca. 631 millioner tonn karbonatbergart.

6. Anbefalinger for videre arbeid

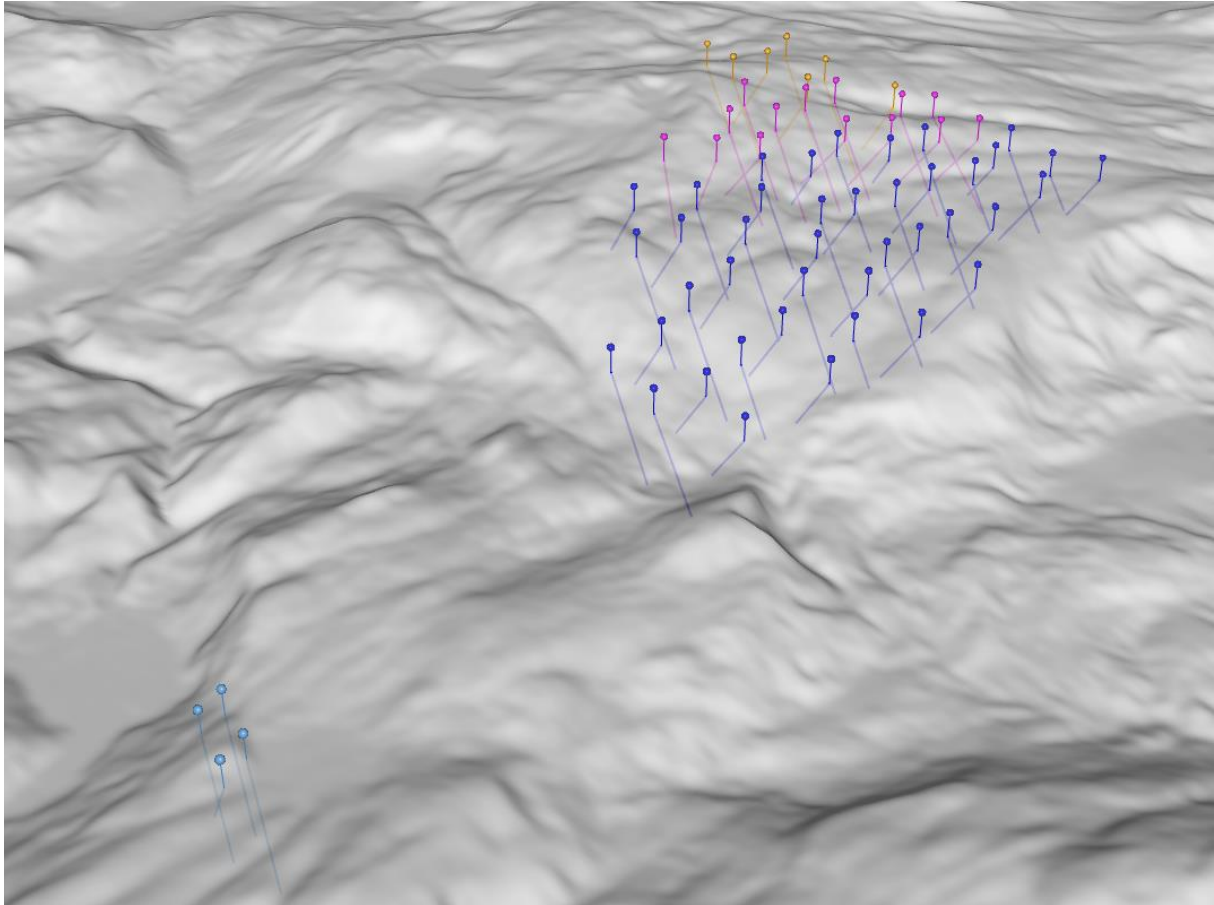
3D-modellen er forenklet så langt mulig, og kun hoved-karbonatlagene er inkludert. Mindre karbonatlag og andre bergartstyper er ikke tatt med, fordi dette ikke var overkommelig innen prosjektets rammer. Eventuelle videre forekomstundersøkelser bør inkludere videre detaljert geologisk kartlegging, særlig i de områder som inneholder den beste karbonatkvaliteten.

6.1 Borehulls program

Denne 3D-modellen er primært basert på overflateanalyser. De to borehullene fremvist i denne rapporten er for korte til å påvirke utformingen av modellen. Det betyr at resultatene av 3D-modellen kan ansees som foreløpig, men gir likevel et verdifullt helhetsbilde. For å kunne fastslå et fagmessig forsvarlig forekomstsvolum må høykvalitets-delvolumene kjernebores på en systematisk. I tillegg bør en også, dog i mindre omfang, gjøre kjerneboringer i noen av lavkvalitets delvolumer fordi overflateprøvetakingen tross alt er mangelfull, og karbonatbergarten kan være bedre enn det som hittil er antydnet.



Figur 25: 3D-bilde over undersøkelsesområdet som viser profiler over delvolumene 1, 6, 7, og 8.



Figur 26: Anbefalt framtidig borehulls-program basert på delvolumene 1, 6, 7 og 8, tilsammen ca. 15000 m fordelt på 70 borehull. Borehull i volum 1 er lyseblå. Volum 6 er mørkeblå. Volum 7 er lilla og volum 8 er oransje.

Figur 25 viser konstruksjonen av 'profiler' gjennom undersøkelsesområdet. Disse profilene er nødvendig for å kunne lage et borehullsmønster som er systematisk. En profil kan inneholde flere borehull. For de høykvalitets volumer 1, 6, 7 og 8 er det laget totalt 29 profiler. Figur 26 viser et mulig scenario med borehull som faller enten mot vest eller øst med en fall-vinkle av ca. 50 grader. Totalt er det 70 borehull med variabel lengde, med en total lengde på ca. 15000m. Tabell 4 viser detaljene for dette fremtidige borehullsprogrammet.

Volum og profil	Antall borehull	Lengde
Volum_1_profil_1	2	509m
Volum_1_profil_2	2	480m
Volum_6_profil_1	2	535m
Volum_6_profil_2	3	591m
Volum_6_profil_3	3	764m
Volum_6_profil_4	5	1013m
Volum_6_profil_5	4	887m
Volum_6_profil_6	4	843m
Volum_6_profil_7	3	774m
Volum_6_profil_8	4	772m
Volum_6_profil_9	3	709m
Volum_6_profil_10	3	540m
Volum_6_profil_11	2	416m
Volum_6_profil_12	2	351m
Volum_6_profil_13	2	347m
Volum_6_profil_14	1	166m
Volum_7_profil_1	1	214m
Volum_7_profil_2	1	196m
Volum_7_profil_3	2	483m
Volum_7_profil_4	2	545m
Volum_7_profil_5	2	548m
Volum_7_profil_6	2	535m
Volum_7_profil_7	2	545m
Volum_7_profil_8	2	527m
Volum_8_profil_1	2	515m
Volum_8_profil_2	2	468m
Volum_8_profil_3	2	542m
Volum_8_profil_4	1	205m
Totalt	70	15002m

Tabell 4: Mulig fremtidig borehulls-program som viser antall hull og lengde beregnet ut ifra volumene 1, 6, 7 og 8 i Figur 20.

6.2 Mer detaljert feltarbeid

Feltarbeidet som er blitt utført på dette prosjektet er ansett som et minimum for å kunne tilføre en forbedring i geologien slik at en anstendig 3D-modell kunne bygges opp. Videreutvikling av 3D-modellen krever videreføring av feltundersøkelsene.

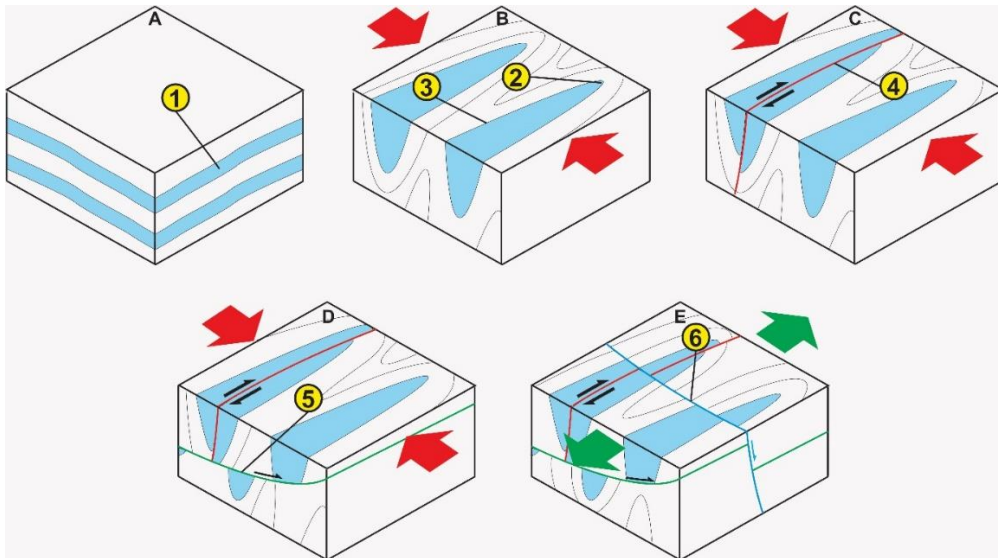
6.3 Utføring av en mer detaljert 3D-modell

Den geologiske modellen består utelukkende av de modellerte karbonatlagene. Skulle det være ønskelig med en full 3D-modell som inkluderer alle de geologiske lagene er en mer fokusert og kompleks modelleringsprosess nødvendig.

6.4 Strukturpåvirkning på kjemi og mineralogi

Strukturpåvirkning på kjemi og mineralogi

Denne rapporten er basert på over 250 lokalitetspunktene. Den andre rapporten i dette prosjektet (Korneliussen m.fl. 2019) har ca. 270 analysepunkter, og det er observert til dels store kjemiske og mineralske variasjoner. I denne rapporten har vi dokumenterte mange forskjellige strukturtyper som påvirker geometrien av mulig utvinnbare volumer på forekomsten. Derimot har verken denne rapporten eller Korneliussen m.fl. (2019) studert systematisk de teksturale, mineralogiske eller kjemiske variasjoner i karbonat i forbindelse med disse strukturene. Vi anbefaler et nytt prosjekt hvor det samles inn et statistisk holdbart antall prøver fra hver av de 6 strukturlokalitetene nevnt i **Error! Reference source not found.** og som beskrives i Tabell 5. Dette prøvematerialet må så bearbeides for å oppnå forståelse for strukturelementenes påvirkning på bergartens kjemiske og mineralogiske egenskaper. I dette ligger også at en beskriver hvor i forekomstområdet påvirkningen er sterkest, og en anbefaling om egnede steder for eventuell framtidig gruvedrift..



Figur 27: Strukturlokaliteter hvor deformasjonen kan ha påvirket både tekstur, mineralogi og kjemi av karbonat.

Strukturlokalitet	Beskrivelse
1	Udeformerte karbonat.
2	Karbonat i foldelukninger. Den kan være rekrystallisert eller udeformert.
3	Foldeflanker. Deformert og forskifret karbonat.
4	I skjærsoner langs folder. Veldig deformert og forskifret.
5	I flattliggende skyvesoner. Veldig deformert og forskifret.
6	I normalforkastninger. Kan være delvis deformert, forskifret og sprøtt.

Tabell 5: Beskrivelse av strukturlokaliteter hvor deformasjonen kan ha påvirket både tekstur, mineralogi og kjemi av karbonaten.

7. Referanser

Gjelle, S., Solli, A. & Melezhik, V. 2013: Bedrock map of the Rognan area, Nordland, North Norway. In: Melezhik, V.A., Roberts, D., Gjelle, S., Solli, A., Fallick, A.E., Kuznetsov, A.B. & Gorokhov, I.M. 2013: Isotope chemostratigraphy of high-grade marbles in the Rognan area, North-Central Norwegian Caledonides: a new geological map, and tectonostratigraphic and paleogeographic implications. *Norwegian Journal of Geology*, Vol. 93, 107-139.

Henderson, I.H.C.; Raaness, A.; Korneliussen, A. (2018). 3D-modellering og visualisering av karbonatforekomsten ved Breivoll, Rolla. *NGU Rapport 2016.049 2018.013*. 25 s.

Korneliussen, A & Raaness, A. (2017) Kalkspatmarmor ved Breivoll-Skog, Ibestad kommune: En oppsummering. *NGU Rapport 2016.049*, 28 s + vedlegg 113 s.

Korneliussen, A., Raaness, A., Henderson, I., Lynum, R., Gellein, J. & Viken, G. (2019) Nestbylia kalkspatmarmorforekomst, Saltdal, Nordland. *NGU Rapport 2019.033*, 33s.

Korneliussen, A., Raaness, A., Lynum, R. & Viken, G. 2019: Kalkspatmarmor i Evenesmarka og Nestbylia, Evenes og Saltdal, Nordland. *NGU Rapport 2018.023*, 114 s.

Melezhik, V.A., Roberts, D., Gjelle, S., Solli, A., Fallick, A.E., Kuznetsov, A.B. & Gorokhov, I.M. 2013: Isotope chemostratigraphy of high-grade marbles in the Rognan area, North-Central Norwegian Caledonides: a new geological map, and tectonostratigraphic and paleogeographic implications. *Norwegian Journal of Geology*, Vol. 93, 107-139.

Vedlegg 1: Tabell over Fe+Mn-innhold. Forenklet fra Korneliussen m.fl. (2019).

Prøve	Putm33Ø	Putm33N	Fe+Mn
K201.16	513807	7437085	58
K202.16	513800	7437088	710
K203.16	513790	7437091	57
K204.16	513775	7437096	221
K204B.16	513765	7437099	67
K206.16	513758	7437102	215
K207.16	513749	7437104	104
K208.16	513728	7437112	119
K209.16	513714	7437117	71
K210.16	513659	7437137	68
K211.16	513647	7437143	63
K212.16	513597	7437151	231
R001	513897	7436895	92
R002	513871	7436795	144
R003	513847	7436695	205
R004	513835	7436614	132
R005	513823	7436563	90
R005	513823	7436563	90
R006	513787	7436552	324
R007	513748	7436545	121
R007	513748	7436545	121
R008	513717	7436579	173
R009	513706	7436579	109
R010	513677	7436584	139
R010	513677	7436584	139
R011	513640	7436586	193
R012	514024	7437736	131
R013B	514001	7437739	830
R014	513987	7437739	105
R015	513971	7437757	59
R016	513947	7437774	689
R017	513909	7437789	83
R017	513909	7437789	83
R018	513780	7437825	151
R019	513715	7437830	221
R019	513715	7437830	221
R020	513675	7437851	130
R021	513626	7437887	121
R022	513583	7437903	162
R022	513583	7437903	162
R023	513514	7437932	188
R024	513956	7438205	95
R025	513930	7438201	18
R026	513874	7438156	390
R027	513821	7438065	219
R028	513468	7437917	218
R029	513408	7437917	51
R029	513408	7437917	51
R030	513349	7437907	120
R031	513282	7437879	35
R032	513245	7437844	290
R033	513186	7437829	55
R033	513186	7437829	55
R034	513370	7438003	29
R035	513461	7437976	126
R036	513488	7437917	80
R036	513488	7437917	80
R037	513538	7438000	66
R038	513671	7438027	103
R039	513667	7438175	171
R040	513788	7438073	169
R041	513829	7437995	63
R042	513888	7437958	127
R043	513909	7438031	91
R044	513958	7438015	138
R045	513983	7437947	85
R046	514020	7437847	223
R047	514133	7437810	19911
R048	514045	7437796	116
R049	514063	7437714	165
R049	514063	7437714	165
R050	514009	7437661	224
R051	513580	7436525	2336
R052	513555	7436584	124
R052	513555	7436584	124
R053	513506	7436605	145
R053	513506	7436605	145
R054	513470	7436611	7108
R055	513513	7436527	215
R056	513717	7436390	116
R057	513747	7436260	87
R058	513802	7436177	221

R059	513851	7436152	186
R060	513917	7436143	312
R061	514001	7436160	220
R062B	514032	7436069	173
R063	514052	7435987	264
R064A	514107	7436080	177
R065A	514044	7436205	150
R066	514010	7436277	1021
R067	514008	7436403	164
R068	514039	7436584	63
R068	514039	7436584	63
R069	514056	7436728	128
R070	514032	7436830	99
R071	513956	7436889	76
R072	513827	7436262	67
R073	513826	7436358	83
R074	513844	7436424	191
R075	513810	7436488	213
R076	514193	7436941	194
R077	514109	7436827	43
R078	514086	7436734	125
R079	513891	7437029	186
R080	513597	7437323	137
R081	513576	7437360	183
R082	513501	7437299	6535
R083	513664	7437383	327
R084	513764	7437479	125
R085	513875	7437549	113
R086	513934	7437626	305
R087	513948	7437563	254
R088	513927	7437471	239
R100	513512	7436650	4373
R101	513538	7436721	344
R102	513537	7436760	470
R103	513540	7436850	148
R104	513550	7436884	79
R105	513566	7436943	37
R106	513547	7437043	224
R107	513564	7437099	135
R108	513647	7437093	102
R109	513651	7437033	158
R110	513701	7436982	250
R111	513707	7436948	57
R112	513670	7436907	241
R113	513664	7436846	278
R114	513670	7436791	220
R115	513677	7436738	601
R116	513672	7436690	35
R117	513663	7436639	36
R118	513715	7436612	84
R119	513766	7436608	1512
R120	513790	7436675	138
R121	513780	7436720	560
R122	513790	7436763	85
R123	513779	7436806	44
R124	513783	7436839	72
R125	513790	7436910	47
R126	513826	7436918	39
R127	513838	7436956	35
R128	513824	7436998	215
R129	513955	7438322	106
R130	513850	7438403	54
R131	513830	7438580	274
R132	513845	7438724	83
R133	513936	7438866	166
R134	513796	7438792	84
R135	513690	7438735	63
R136	513593	7438723	217
R137	513538	7438723	58
R138	513445	7438704	203
R139	513327	7438613	53
R140	513184	7438583	98
R141	513024	7438623	97
R142	513006	7438522	7841
R143	513096	7438435	213
R144	513173	7438451	96
R145	513272	7438470	54
R146	513370	7438404	91
R147	513525	7438421	56
R148	513589	7438469	115
R149	513676	7438500	111
R150	513702	7438351	75
R151	513817	7438385	4128
R152	513758	7438589	128
R153	513661	7438553	61
R154	513592	7438550	248
R155	513536	7438491	70
R156	513473	7438474	148
R157	513398	7438512	66
R158	513171	7438317	46
R159	513259	7438241	34

R160	513416	7438282	26
R161	513308	7438111	471
R162	513250	7437995	48
R163	513183	7437926	14
R164	513448	7438143	94
R165	513535	7438094	70
R166	513579	7438299	67
R167	513667	7438243	75
R168	513755	7438148	143
R169	513877	7438269	45
R170	513693	7438105	114
R171	513544	7438775	79
R172	513451	7437740	137
R173	513480	7437645	214
R174	513550	7467644	76
R175	513577	7437597	67
R176	513736	7437642	58
R177	513852	7437706	115
R178	513927	7437717	2367
R179	513921	7437369	153
R180	513979	7437315	63
R181	513971	7437324	69
R182	513728	7436470	54
R183	513649	7436456	155
R184	513600	7436468	127
R185	513554	7436457	4742
R187	513554	7436457	1580
R188	513493	7436455	61
R189	513460	7436386	196
R190	513425	7436326	230
R191	513512	7436366	707
R192	513560	7436375	3654
R193	513653	7436366	1235
R194	513699	7436310	216
R195	513626	7436264	267
R196	513679	7436209	101
R197	513704	7436163	155
R198	513726	7436091	288
R199	513802	7436088	125
R200	513815	7436040	225
R201	513752	7435985	113
R202	513774	7435913	106
R203	513911	7435910	100
R204	513975	7435928	280
R205	514061	7435937	289
R206	514143	7435939	560
R207	514206	7435976	128
R208	514197	7436072	128
R209	514109	7436200	293
R210	514109	7436298	53
R211	514114	7436382	362
R212	514104	7436473	457
R213	514024	7436342	54
R214	513961	7436418	179
R215	513909	7436506	4377
R216	513951	7436586	5747
R217	513970	7436670	36752
R218	513968	7436732	431
R219	513716	7437163	179
R220	513669	7437244	124
R221	513651	7437263	68
R222	513608	7437259	140
R223	513580	7437210	971
R224	513601	7437167	203
R225	513730	7437181	109
R226	513755	7437194	129
R227	513825	7437186	569
R228	513843	7437227	66
R229	513897	7437248	71
R230	513912	7437318	46
R231	513998	7437278	10893
R232	513983	7437156	10
K301.18	513364	7438075	55
K303A.18	513408	7437917	53
K303B.18	513408	7437917	57
K306.18	513370	7438003	28
K316.18	512799	7438516	55
K317.18	513777	7439736	322
K317A.18	513900	7439566	205
K318.18	514595	7439534	130
NL 1/00.0-3.5	513953	7437337	60
NL 1/03.5-7.0	513953	7437337	95
NL 1/07.0-9.5	513953	7437337	66
NL 1/09.5-11.5	513953	7437337	86
NL 1/11.5-13.0	513953	7437337	138
NL 1/13.4-16.3	513953	7437337	333
NL 1/17.6-19.0	513953	7437337	1922
NL 1/24.0-25.3	513953	7437337	709
NL 2/01.0-2.5	513715	7437141	165
NL 2/03.0-5.0	513715	7437141	133
NL 2/05.0-7.5	513715	7437141	161

NL 2/07.5-9.4	513715	7437141	459
NL 2/09.4-10.8	513715	7437141	160
NL 2/10.8-11.8	513715	7437141	73
NL 2/11.8-13.8	513715	7437141	74
NL 2/13.8-16.5	513715	7437141	76
NL 2/16.5-18.0	513715	7437141	87
NL 2/18.0-20.0	513715	7437141	83
NL 2/20.0-23.0	513715	7437141	42
NL 2/23.0-25.6	513715	7437141	95



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