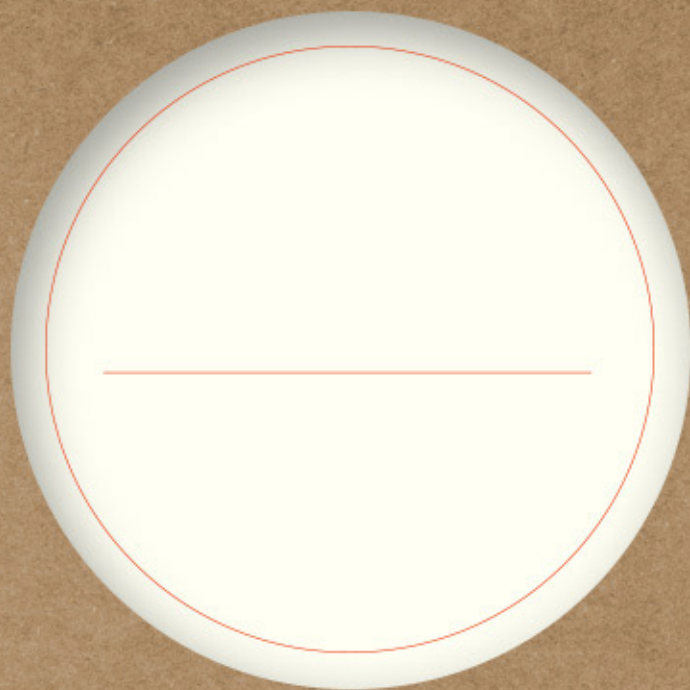




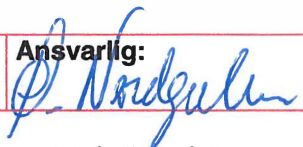
GEOLOGI FOR SAMFUNNET

SIDEN 1858



NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE
· NGU ·



Rapport nr.: 2015.055		ISSN: 0800-3416 (trykt) ISSN: 2387-3515 (online)		Gradering: Åpen	
Tittel: Vurdering av geologiske forhold ved potensielle lokaliteter til deponi for uorganisk farlig avfall.					
Forfatter: Jan Cramer, Vikas Baranwal, Marco Brønner, Atle Dagestad, Eyolf Erichsen, Marie Keiding, Eiliv Larsen, Henrik Schiellerup, Arne Solli			Oppdragsgiver: Miljødirektoratet		
Fylke:			Kommune:		
Kartblad (M=1:250.000)			Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)		
Forekomstens navn og koordinater:			Sidetall: 127		Pris: kr 425
			Kartbilag:		
Feltarbeid utført:	Rapportdato: 29.02.2016	Prosjektnr.: 365400		Ansvarlig: 	
Sammendrag: NGU har utført en vurdering av geologiske forhold ved potensielle lokaliteter til deponi for uorganisk farlig avfall. Utgangspunktet for vurderingen var en liste med 12 lokaliteter som var sammenstilt av Direktoratet for Mineralforvaltning på forespørsel fra Miljødirektoratet. NGUs vurdering omfatter geologiske-, hydrogeo-logiske- og ressursforhold for de utvalgte lokalitetene og er basert på eksisterende kunnskap og data. I første omgang ble vurderingen tatt med hensyn til Miljødirektoratets kriterier for mulige lokaliteter. I dialog med Miljødirektoratet ble listen med 12 lokaliteter deretter redusert til 5 mulige lokaliteter. Etter en felles befarings med Miljødirektoratet på 3 av disse 5 lokaliteter i oktober 2015 ble én av lokalitetene tatt ut av listen over mulige lokaliteter. De viktigste geologiske forhold i NGUs vurdering av en lokalitets egnethet for etablering av et permanent deponi for uorganisk farlig avfall er: – Vertsbergart med gode kjemiske og fysiske egenskaper. Plassering av det basiske avfallet bør ligge i homogene syre-nøytraliserende bergarter med god styrke, lav hydraulisk konduktivitet og uten betydelig innhold av sulfider. Bergartene i og rundt et deponi bør ha så liten som mulig oppsprekking og større forkastninger bør helst være fraværende. Bergartens evne til selvretting av mindre sprekker er også en gunstig egenskap. – Ingen hydraulisk gradient gjennom og i nærheten av deponiet. Plassering av avfallet må ligge i massivt fjell godt under havnivå (≥5 m) der dybden under havnivå må vurderes med hensyn til raten for lokal landheving. Området over og rundt deponiet bør ha en forholdsvis flat topografi og ikke føre til en betydelig grunnvannsgradient mot dypet. – Deponiet må ikke være påvirket av dypforvitring eller av store forkastninger som er utsatt for neotektonisk stress. Plassering av deponiet må vurderes med hensyn til jordskjelvis risiko og landheving (strekkspenninger) som kan medføre åpning av sprekker til grunnvann. Rystelsene fra jordskjelv er mindre på dypet sammenlignet med rystelsene på eller nær jordens overflate. – Plassering av et permanent deponi må vurderes opp mot forholdet mellom landhevning og økning av havnivå som følge av forventet klimaendring. Et deponi under dagens havnivå må ikke ende opp over havnivå for å unngå påvirkning av grunnvannet. Den endelige vurderingen konkluderer med at 2 lokaliteter som er allerede gravd ut er aktuelle nå for videre utredning som mulig deponi for uorganisk farlig avfall. Disse er Dalen kalksteingruve i Porsgrunn kommune i Telemark og Rekefjord Øst pukkverk i Sokndal kommune i Rogaland. Enkelte av de øvrige lokalitetene kan muligens på lang sikt bli aktuelle til videre vurdering og utredning, det vil si etter at virksomheten på disse lokalitetene blir avsluttet om 25-30 år fra nå. I tillegg fremstår 2 lokaliteter, der det planlegges utgravning av nye fjellhaller, med potensielle geologiske forhold som egner seg for et mulig deponi. På disse lokalitetene trengs det detaljerte forundersøkelser for å fremskaffe nødvendige data til nærmere utredning av de geologiske forhold og til videre planlegging. Disse 2 lokalitetene er henholdsvis Lervik i Kvinesdal kommune i Vest Agder og Raudsand i Nesset kommune i Møre og Romsdal.					
Emneord: Geologi		Grunnvann		Gruve	
Pukkverk		Deponi		Farlig avfall	

INNHold

1. Innledning	1
1.1. Bakgrunn	1
1.2. Kriterier og lokaliteter	2
2. Tilleggsbehov fra Staten strålevern	6
2.1. Kriterier	6
2.2. Vurdering	7
3. Generelle geologiske aspekter	9
3.1. Hydrogeologi og geokjemi	9
3.2. Klima, glasiasjoner og havnivå	17
3.3. Neotektonikk og jordskjelvrisiko	22
3.4. Dypforvitring	26
3.5. Ressursvurdering	27
4. Vurdering av lokaliteter	28
4.1. Miljødirektoratets kriterier	28
4.2. Generelle aspekter	31
4.3. Vurdering av geologiske forhold	33
4.3.1. Lokaliteter aktuelle nå	34
4.3.2. Ikke aktuelle lokaliteter	35
5. Beskrivelse av lokaliteter	41
5.1. Aktuelle lokaliteter	41
5.1.1. Dalen	41
5.1.2. Rekefjord Øst	51
5.2. Ikke aktuelle lokaliteter	61
5.2.1. Berakvam	61
5.2.2. Akselberg	67
5.2.3. Tellnes	72
5.2.4. Sløvåg	77
5.2.5. Sætrefjellet	84
5.2.6. Rødsand	88
5.2.7. Fosdalen	94
5.2.8. Stordø	100
5.2.9. Glærum	102
5.2.10. Vigsnes	105
6. Oppsummering	107
7. Referanser	108
8. Vedlegg 1	
To lokaliteter med forslag til fjellhaller til mulig deponi for uorganisk farlig avfall	112

1. INNLEDNING

1.1. Bakgrunn

Norge har et nasjonalt mål og internasjonale forpliktelser om å ta hånd om eget avfall, enten ved å bruke gjenvinning eller ved at avfallet er sikret en god nasjonal behandling. Under en felles erklæring av miljøministrene fra de fem nordiske land (1994) kan behandlingskapasitet for farlig avfall i Norden utnyttes under ett. Dermed eksporterer Norge i dag mye organisk farlig avfall til Sverige, Finland og Danmark for destruksjon, mens Norge importerer betydelige mengder uorganisk farlig avfall fra de samme landene. Norsk Avfallhåndtering AS (NOAH AS) bruker i dag Langøya i Oslofjorden til behandling og deponering av en vesentlig andel av landets produksjon av uorganisk farlig avfall. Behandlingen omfatter nøytralisering av syreholdig avfall med flyveaske.

NOAH bruker et kalksteinsbrudd på Langøya som deponi for behandlet avfall, men det tilgjengelige volumet for deponering nærmer seg slutten. NOAH har bare tillatelse til å ta imot farlig avfall frem til 2026. Selv har NOAH beregnet at deponikapasiteten for farlig avfall tar slutt i 2022 med dagens mottaksvolumer. Det er dermed behov for å finne alternative lokaliteter i Norge for etablering av et nytt deponi for uorganisk farlig avfall, som må være operativt før Langøya er fylt opp.

Klima- og miljødepartementet har bedt Miljødirektoratet om å utrede ulike lokaliseringer for et nytt nasjonalt anlegg for mottak av uorganisk farlig avfall, herunder vurderinger av egnethet av de utvalgte lokalitetene for deponering av ulike typer uorganisk farlig avfall og avfall med oppkonsentrert naturlig forekommende radioaktive stoffer (NORM). Utredningen skal oversendes departementet innen 1. mai 2016.

Miljødirektoratet har inngått en avtale med NGU om vurdering av geologiske forhold ved potensielle lokaliteter for deponi for uorganisk farlig avfall. Oppdraget til NGU innbefatter utarbeidelse av en rapport innen 18. desember 2015 som vurderer geologiske-, hydrogeologiske- og ressursforhold for utvalgte lokaliteter basert på eksisterende kunnskap og data. Utvalgte lokaliteter er basert på en liste sammenstilt av Direktoratet for mineralforvaltning (DMF) på forespørsel fra Miljødirektoratet.

I slutten av november 2015 fikk Miljødirektoratet forespørsel fra to forskjellige aktører om å inkludere to nye lokaliteter i utredningen om ulike lokaliseringer for et nytt nasjonalt anlegg for mottak og deponering av uorganisk farlig avfall. Disse to aktørene foreslår hver et nytt anlegg for deponering basert på fjellhaller som er planlagt gravd ut i henholdsvis Kvinesdal og Nesset kommune. Miljødirektoratet har bedt NGU om en kort vurdering av disse to nye lokalitetene, og denne vurderingen er lagt til rapporten som Vedlegg 1 (Kap. 8).

1.2. Kriterier og lokaliteter

Miljødirektoratet har satt følgende kriterier for mulige lokaliteter for nytt deponi for uorganisk farlig avfall:

- Lokaliteten bør ligge ved kysten mellom svenskegrensen og Nord-Trøndelag.
- Bare utredning av lokaliteter som allerede er gravd ut.
- Eventuell pågående virksomhet på lokaliteten må være avviklet senest 2020, helst innen 2018.
- Lokaliteten må være relativt nær en havn som kan ta imot middels store lastebåter, eller ha mulighet for å anlegge en slik havn.
- Lokaliteten bør ha et oppfyllingsvolum som kan romme minst 20 års drift, ideelt skulle det tilsi en størrelsesorden på 10 mill. m³, men noen mindre lokaliteter bør også vurderes fordi det er svært få lokaliteter med så stort volum. Det siste anses som relevant også ut fra at det er ukjent om dagens volumer av farlig avfall til deponi vil fortsette.
- Deponiarealet på lokaliteten bør aller helst ligge under grunnvannstand og bestå av bergarter med begrenset sprekkdannelse og vanninntrengning.
- Det forutsettes at avfall skal stabiliseres før deponering.

Utgangspunktet for NGUs arbeid er en oversikt med lokaliteter fra DMF etter forespørsel fra Miljødirektoratet. DMFs oversikt er en grovkartlegging av mulige områder for deponi av uorganisk farlig avfall basert på tilsvarende kriterier:

- Lokaliteten bør ligge ved kysten mellom svenskegrensen og Nord-Trøndelag.
- Eventuell pågående virksomhet på lokaliteten må være avviklet senest 2020.
- Lokaliteten må være relativt nær en havn som kan ta imot middels store lastebåter, eller ha mulighet for å anlegge en slik havn.
- Lokaliteten bør ha et oppfyllingsvolum som kan romme minst 20 års drift, dvs. størrelsesorden 10 mill. m³.
- Deponiarealet på lokaliteten bør aller helst ligge under grunnvannstand og bestå av bergarter med begrenset sprekkdannelse og vanninntrengning.

DMF har sett på sjønære områder der de har kjennskap til arbeidet med uttak av mineralske ressurser. Med en utvidet kyststrekning til å gjelde til og med Brønnøy kommune omfatter DMFs oversikt 12 lokaliteter og lokaliseringen av disse er vist i Figur 1. DMFs oversikt med kommentarer vises i Tabell 1.

De to lokaliteter med planlagte fjellhaller (Vedlegg 1) er også vist i Figur 1.

NGUs vurdering i denne rapporten er basert på eksisterende geologisk informasjon som foreligger i NGUs databaser og i tilgjengelig dokumentasjon. Det vil si at det ikke er foretatt nye undersøkelser eller innhenting av nye data for de enkelte lokalitetene i forbindelse med utarbeidelse av rapporten. Det kan derfor foreligge informasjon som NGU ikke har hatt tilgang til. For tre lokaliteter (Sløvåg, Rekefjord Øst og Dalen) har NGU mottatt noen tilleggsopplysninger på befaringen, sammen med Miljødirektoratet, som ble foretatt 21-23 oktober 2015 på disse lokalitetene.

Detaljeringsgraden for NGUs vurdering av de forskjellige lokalitetene gjenspeiler både prioritering av lokalitetene med hensyn til ovennevnte kriterier og omfang av tilgjengelig kunnskap og data for hver lokalitet.

Akselberg	Brønnøy kommune
Fosdalen	Verran kommune
Sjøflot/Glærum	Surnadal kommune
Rødsand	Nesset kommune
Raudsand	Nesset kommune
Sætrefjellet	Bremanger kommune
Sløvåg	Gulen kommune
Stordø	Stord kommune
Vigsnes	Karmøy kommune
Berakvam	Suldal kommune
Tellnes	Sokndal kommune
Rekefjord Øst	Sokndal kommune
Lervik	Kvinesdal kommune
Dalen/Kjørholt	Porsgrunn kommune



Figur 1 Tolv lokaliteter pekt ut av DMF (grønn sirkel) og to lokaliteter med planlagte fjellhaller (Raudsand og Lervik, rød trekant) for vurdering til mulig bruk som deponi for uorganisk farlig avfall.

Tabell 1 DMFs grovkartlegging av mulige områder for deponi av uorganisk farlig avfall.

Område	Kommune	Kommentar	Drifts-status	Uttaks-metode	UTM koordinater
Dalen/ Kjørholt	Porsgrunn	Dette er et sammenhengende system av kalksteinsgruver. Dalen er i drift, mens Kjørholt er nedlagt. I Kjørholt gruve er det tatt ut mer enn 4 mill. m ³ . Statistikkgrunnlaget er mangelfullt. I flere perioder, bl.a. på 1960-tallet, ble det ikke samlet inn data fra kalksteinsproduksjonen. I området Dalen foregår uttaket under sjøbunnen. Norcem vurderer å avvikle uttaket pga. lang transport, samt at man nærmer seg forekomstgrensen som er en forkastning.	I drift / nedlagt	Under jord	32 V 539237 6547559
Tellnes	Sokndal	Titania AS driver uttak av ilmenitt i dagbrudd. Ressurser for ca. 60 års drift med dagens uttak. I den eldste delen av dagbruddet er det stabilitetsproblemer i den ene veggen. Hvorvidt denne delen av dagbruddet anses som utdrevet og derfor kan gjenfylles, må evt. avklares. Tilsvarende om slik gjenfylling kan skje parallelt med igangværende drift.	I drift	Dagbrudd	32 V 348772 6469319
Rekefjord Øst	Sokndal	Gjeldende reguleringsplan har endret bunnkoten fra ca. K 0 til K -47. I planprogrammet for kommuneplanen 2011 – 2022 er foreslått etterbruk sjørettet næringsområde. Ferdig utdrevet brudd utgjør ca. 3 mill. m ³ . §5 i reguleringsplanen krever avsluttet uttak senest 2 år etter at man starter Rekefjord Vest. Mangler oversikt over gjenstående ressurser i Rekefjord Øst.	I drift	Dagbrudd	32 V 339846 6468079
Berakvam	Suldal	Norsk Stein driver uttak av fjell, granodioritt og gneis, til knuste produkter, ca. 10 mill. tonn pr. år som tilsvarer ca. 2,6 mill. m ³ . Det er ikke satt noen kotebegrensning i uttaksområdet, kun at driftsplanen skal være godkjent av Bergvesenet. Driver etappevis med den sydligste delen som det dypeste nivået til enhver tid. Det vil ta lang tid før man når bunnivået i dette området.	I drift	Dagbrudd	32 V 332825 6585288
Vigsnes	Karmøy	Nedlagt kobber- og svovelkisgruve. Består av to gruver, Vigsnes og Rødklev, som har forbindelse via en stoll. Gruvene er fylt med vann. Samlet volum av uttatte masser er mindre enn 700 000 m ³ .	Nedlagt	Under jord	32 V 285277 6585426
Stordø	Stord	Nedlagt svovelkisgruve. Vannfylt opp til grunnstollnivået. Ikke tilgjengelig under dette nivået. Uttaket foregikk med magasinbryting. Totalt uttatt volum ca. 2,3 mill. m ³ . Vannet har en pH på ca. 2,7.	Nedlagt	Under jord	32 V 299222 6633578
Sløvåg	Gulen	Igangværende drift. Uttaksområdet har en kotebegrensning på K -120 og vil ikke være avsluttet i overskuelig framtid.	I drift	Dagbrudd	32 V 287103 6752596

Tabell 1 DMFs grovkartlegging av mulige områder for deponi av uorganisk farlig avfall (forts.).

Område	Kommune	Kommentar	Drifts-status	Uttaks-metode	UTM koordinater
Sætrefjellet	Bremanger	Kraterbrudd som drives høyt til fjells. Har gjenstående ressurser for mer enn 100 år med dagens produksjon.	I drift	Dagbrudd	32 V 297744 6856243
Rødsand	Neset	Nedlagt jernmalmgruve. Totalt uttatt volum ca. 5 mill. m ³ . Oppfyller ikke kravet om begrenset sprekkdannelse og vanninntrengning.	Nedlagt	Under jord	32 V 454585 6968707
Sjøflot/ Glærum	Surnadal	To gruver på samme kalksteinsforekomst. DMF kjenner ikke til at det er forbindelse mellom gruvene under jord. Totalt uttatt volum mindre enn 1 mill. m ³ , men vanskelig å anslå pga. mangelfulle opplysninger. Sjøflot startet omkring 1930 og avsluttet 1966. Glærum startet i 1944 og er fortsatt i drift. Små uttak, ca. 10 – 15 000 tonn pr. år.	I drift / nedlagt	Under jord	32 V 479760 6984723
Fosdalen	Verran	Nedlagt jernmalmgruve bestående av to gruveområder adskilt av en forkastning på ca. 900 m. I vestgruva som tilhører staten, har driften i hovedsak foregått som magasinbryting og mer enn 5 mill. m ³ er tatt ut. Vannfylt opp til grunnstollnivået, ikke tilgjengelig under dette nivået. I Østgruva har driften foregått som skiverasbryting. Ca. 5 mill. m ³ er uttatt, men pga. rasdriften er volumet usikkert. Østgruva holder på å fylles med vann. Den er mer enn 1100 m dyp. Heisen er revet.	Nedlagt	Under jord	32 W 608343 7107919
Akselberg	Brønnøy	Kalksteinsbrudd som drives av Brønnøy Kalk. Det er ikke satt kotebegrensning i reguleringsplanen, men uttaket skal skje i henhold til driftsplan godkjent av Bergvesenet. Dagbrudd kan drives ned til K -135 og forventes avsluttet om ca. 30 år. Da vil totalt uttatt volum være ca. 30 mill. m ³ .	I drift	Dagbrudd	33 W 383874 7255049

2. Tilleggsbehov fra Statens strålevern

Statens strålevern (NRPA) har kommet med innspill (notat 07.09.2015) til Miljødirektoratets utredning for deponiløsninger for farlig avfall om at den også vil kunne inkludere avfall med naturlig forekommende radioaktive stoffer (NORM = naturally occurring radioactive materials).

NRPA beskriver at NORM-avfall i Norge omfatter:

- Syredannende bergarter (f.eks. alunskifer, galgebergskifer og andre uranrike svartskifre, avfall fra tidligere gruvedrift eller fra gamle alunskiferdeponi)
- Avfall fra offshore (f.eks. separatorslam og avleiringer fra rensing/vedlikehold av installasjoner)
- Avfall fra landbasert industri (f.eks. fra prosesser som øker konsentrasjonen av radioaktive stoffer)
- Mindre volum av annet avfall fra industri-/næringsvirksomhet (f.eks. vannfiltre, isolasjonsmateriale mm.)

De største mengdene av deklart radioaktivt avfall er radioaktive bergarter, for det meste syredannende bergarter. På nåværende tidspunkt er det to deponi som kan motta slike bergarter – NOAH og Borge. Det er nødvendig å sikre deponikapasitet for syredannende bergarter for fremtiden. NRPA sier lite konkret om mengder av NORM-avfall som genereres hvert år, men antyder at det forventes en økning i fremtidig behov for deponering.

NRPA nevner også at det må tas hensyn til radon i forbindelse med deponering av avfall med oppkonsentrert NORM. Radon er en edelgass som dannes ved nedbrytning av de naturlig forekommende radioaktive stoffene uran og thorium. Edelgasser har liten evne til binde seg med andre stoffer, og radon vil derfor kunne unnsnippe fra deponeringsstedet og være tilgjengelig for transport i luft og i bakken.

2.1 Kriterier

NRPA sier at et deponi for farlig avfall som også skal kunne ta imot NORM-avfall bør:

1. Kunne ta imot syredannende bergarter som alunskifer og beslektete svartskifre.
2. Kunne ta imot mindre mengder med avfall slik som støv fra sveisestaver, vannfiltre og isolasjon som kan defineres som radioaktivt avfall, og som også inneholder enkelte naturlig forekommende radioaktive stoffer slik som kun thorium-232 uten andre henfallsprodukt.
3. Kunne ta imot større volum av NORM og avfall med kun enkelte naturlig forekommende radioaktive stoffer slik som bly-210 eller polonium-210 med aktivitetsnivå over deponiplikt.
4. Kunne ta imot noe avfall fra offshore, deriblant separatorslam og avleiringer.
5. Ta hensyn til radonproblematikk. Deponering av NORM i gruver kan medføre høye konsentrasjoner av radon i gruvegangene. Dette kan løses ved tilstrekkelig ventilering. Det må forventes høye nivåer av radon ved utgang av en grube som benyttes til deponering av NORM og det må tas hensyn til at det kan bli økt radonproblematikk i bygninger i nærheten.
6. Deponi ved overflaten må ta hensyn til at radioaktivt avfall må ha tilstrekkelig tildekking til at strålingen fra avfallet blir tilstrekkelig skjermet.

2.2 Vurdering

Trygg permanent deponering av NORM-avfall krever

- A. stabilisering av avfallet med hensyn til utlekking,
- B. beskyttelse mot radioaktiv stråling fra det deponerte faste avfallet
- C. beskyttelse mot eksponering for radon-gass fra avfall som inneholder uran og thorium.

A – Stabilisering av avfallet med hensyn til utlekking omfatter både kjemisk stabilisering av avfallet og fysisk beskyttelse av avfallet mot kontakt med vann, spesielt bevegende/strømmende vann.

Kjemisk stabilisering omfatter både 1) prosessen for behandling av rå avfallet til deponering (f.eks. nøytralisering, omforming til fast form) og 2) tilrettelegging in-situ for et stabilt kjemisk miljø rundt det deponerte avfallet.

1) Behandlingsprosessen er den håndteringen som må utføres av operatøren av deponiet, og vil være avhengig av flere faktorer som, for eksempel, NORM-avfallsets sammensetning og form, konsentrasjon av NORM, generering av radon og eventuelle prosessvæsker eller prosessgasser, samt eventuelt behov for å emballere avfallet. Det er nødvendig å utrede disse aspekter for de forskjellige typer NORM-avfall til deponering, for å avklare hvilke kjemiske egenskaper det deponerte avfallet vil ha. For eksempel vil nøytralisering av syredannende NORM-bergarter (for eksempel svartskifer) kunne utføres ved blanding med basisk flyveaske. Særlig viktig er det å ha kontroll over eventuelle væsker eller gasser som frigis in-situ i deponiet etter det behandlede avfallet er lagt på plass.

2) Tilrettelegging for et stabilt kjemisk miljø i deponiet omfatter, for eksempel, valg av bergarter med kapasitet til syre-nøytralisering (f.eks. kalkstein, basiske intrusiver) som vertsmiljø for deponert avfall som kan danne syre i kontakt med vann. For eksempel, naturlig grunnvann i kalkstein og anortositt har en basisk sammensetning karakterisert av pH verdier >8 og en kapasitet til kjemisk bufring for å nøytralisere syre. Det er også mulig å anvende konstruerte løsninger ved å bruke, for eksempel, knust kalkstein som en ekstra barriere i tillegg til en membran mot vanninntrengning.

Fysisk beskyttelse av avfallet mot kontakt med vann er en viktig faktor for å unngå nedbrytning av avfallet og mulig transport gjennom oppløsning av avfallsets komponenter i vann. Når avfallet er i kontakt med vann og komponenter i avfallet går i kjemisk oppløsning, kan slike komponenter bli transportert bort fra avfallet og ut av deponiet (se også Kap. 3.1).

B – Beskyttelse mot radioaktiv stråling fra NORM-avfall gjøres ved å sørge for en fysisk barriere mot strålingen rundt det deponerte avfallet. I tillegg kommer beskyttelse i den operative fasen av deponeringsprosessen fra transport og håndtering til selve deponeringen. Denne sistnevnte beskyttelse må utredes i henhold til lovverk som regulerer håndtering av NORM-avfall.

I prinsipp gir bergarter og fyllmasser rundt og over avfallet lagt ned i et deponi tilstrekkelig beskyttelse mot direkte β -stråling og fra NORM-avfall innblandet med uorganisk farlig avfall. NORM avfall inneholder elementer som avgir γ -stråling, så som uran og thorium, med halveringstider som er $\gg 10^6$ år slik at et deponi for NORM avfall derfor må betraktes som et permanent deponi. I et langtidsperspektiv må en sikkerhetsanalyse således utrede risikoen for at disse fysiske barrierer mot stråling ikke kan opprettholdes over lang tid (se også Kap. 4.2).

C – Beskyttelse mot eksponering for radon-gass fra NORM avfall som er lagt ned i et deponi gjøres først og fremst gjennom ventilering av denne edelgassen til atmosfæren. I motsetning til andre gasser som er kjemisk reaktive (eks. H_2S , H_2 og NH_3) vil radon som edelgass ikke reagere med porevann, avfallmatrisen eller vertsbergarter langs transportveien ut fra kilden. Fordi ^{222}Rn har en halveringstid på ca 3,8 døgn vil ikke all radon som dannes i deponert avfall nødvendigvis finne veien helt ut av deponiet. Hvor fort utgassing av radon kan skje er avhengig av parametre som porøsitet og permeabilitet i avfallet og vertsmediumet (bergart og tildekking), samt hvor krocket den sammenhengende permeabiliteten ('tortuosity') er. Derfor kan et deponi som plasseres forholdsvis dypt i fjell under havnivå være kilden til radon uten at denne gassen kan nå helt ut til atmosfæren.

Selv om plassering av et deponi under havnivå i prinsipp er gunstig med hensyn til en innadvent hydraulisk gradient (se også Kap. 3.1), kan radongass lekke ut av deponiet til atmosfæren fordi gass vil bevege seg langs gradienten for gasstrykk. For eksempel er det kjent at utgassing av grunnvann i brønner forekommer ved endring fra høyt- til lavt lufttrykk i atmosfæren. Uansett må konsekvensen utredes av bl.a. konfigurasjonen og materialeegenskapene for et planlagt deponi med hensyn til utgassing av radon fra deponert NORM avfall.

3. Generelle geologiske aspekter

3.1 Hydrogeologi og geokjemi

Hydrogeologi

I EUs Rådskonferanse for deponering av avfall (EUs deponidirektiv) stilles det meget strenge krav til tetting av deponiet for å forhindre forurensningen av sedimenter og grunnvann fra utlekking fra deponiet. Det stilles blant annet krav om dobbelt sikring med både bunn- og sidemembran og en naturlig geologisk barriere. Totalvirkningen av den naturlige geologiske barrieren når det gjelder vern av jord, overflatevann og grunnvann fra farlig avfall skal minst tilsvare virkningen av et 5 m tykt minerallag med hydraulisk konduktivitet $K \leq 1 \cdot 10^{-9}$ m/s. I de tilfeller der den naturlige geologiske barrieren ikke tilfredsstiller dette kravet kan det etableres en kunstig geologisk barriere, med minimum 0,5 m tykkelse, som gir tilsvarende beskyttelse.

For å vurdere berggrunnens potensial som en naturlig geologisk barriere i henhold til EUs deponidirektiv, er det nødvendig å ha en forståelse av hvordan vanntransport foregår i berggrunnen. Det er i den sammenheng viktig å ha klart for seg skillet mellom bergarter hvor væskestrømning kontrolleres av primær porøsitet (porøse akviferer), der væskestrømningen kan sammenliknes med væskestrømning i homogene løsmasseavsetninger, og bergarter hvor strømning hovedsakelig foregår i komplekse nettverk av sprekker og kanaler (sprekkeakviferer). Den arealmessige fordelingen av de to akvifertyper i berggrunn i Norge er:

- *Porøsitetskontrollerte* permeable berggrunnsenheter – hovedsakelig sedimentære og vulkanske bergarter med primær porøsitet. De er lite utbredt på land i Norge, og utgjør kun ca 2% av berggrunnens overflateareal.
- *Sprekkekontrollerte* permeable berggrunnsenheter – hovedsakelig krystalline metamorfe/omvandlede bergarter og dypbergarter uten primær porøsitet. De utgjør over 98% av norsk berggrunn.

Fordi ingen av de 12 lokaliteter som DMF har pekt ut har sedimentære eller vulkanske bergarter som vertsmedium, fokuseres det her på sprekk kontrollert væskestrømning i den videre beskrivelsen av berggrunnens hydrauliske egenskaper. Dette gjør samtidig oppgaven mer komplisert fordi væskestrømning i oppsprukket fast fjell er beheftet med langt større usikkerhetsfaktorer enn vannstrømning i porøse medier. Det teoretiske grunnlaget og det matematiske formelverk som benyttes for å karakterisere væskestrøm i porøse medier vil ikke kunne benyttes på væskestrøm i oppsprukket fjell (sprekkeakvifer) uten at det innføres et sett av forutsetninger og betydelige forenklinger.

Ut fra et forurensningsperspektiv benyttes materialeparameteren *hydraulisk konduktivitet* (K) for å beskrive berggrunnens vannføringsegenskaper. Bruk av denne parameteren, for å estimere oppsprukket fjells hydrauliske egenskaper, forutsetter en homogen isotrop oppsprekking av berggrunnen med like strømningsegenskaper langs samtlige sprekkplan (diskretisering).

Undersøkelser og observasjoner av berggrunnen i Norge viser dog at oppsprekningen er langt fra homogen eller isotrop. Den svært variable romlige oppsprekkingsfrekvensen som observeres er styrt bl.a. av foliasjon eller lagdeling i fjellet samt nåværende og tidligere tektoniske spenningsforhold i berggrunnen med sprekker, forkastninger og knusningssoner som de mest fremtredende fenomener. Væskestrømmen langs antatt like sprekkplan, eller langs et og samme sprekkplan, kan også være svært variabel. Sprekkeåpningen kan variere, som følge av uregelmessig oppsprekking, og sprekkplanet kan være helt eller delvis

gjentettet som følge av leirfyllinger eller utfelling av mineraler på sprekkeplanet. Samlet påvirker disse forholdene i betydelig grad berggrunnens hydrauliske egenskaper slik at væskestrøm i oppsprukket fjell må betraktes som væskestrøm langs foretrukne strømningsveier på et fåtall av fjellets totale antall sprekker (Figur 2).



Figur 2 To eksempler av sprekkeakviferer i massive bergarter der grunnvann strømmer langs foretrukne strømningsveier. (foto: B. Frengstad og J. Cramer)

For sammenlikningens del er det vist en sammenstilling mellom konduktivitet i fjell og løsmasser i Figur 3. Det er i denne sammenstilling viktig å ha forståelse for de overnevnte forutsetninger og forenklinger som ligger bak estimeringen av berggrunnens konduktivitet i figuren. Den naturlige hydrauliske anisotropi i forskjellige bergarter er videre illustrert i Tabell 2.

Hydraulic conductivity [m · s ⁻¹]	Rocktype		
	unconsolidated rocks	hard sedimentary rocks	igneous and metamorphic rocks
1		<i>karstified</i>	
10 ⁻¹	gravel		lava
10 ⁻²	<i>coarse</i>		
10 ⁻³	sand	limestone	
10 ⁻⁴			
10 ⁻⁵	<i>fine</i> loess		<i>fissured</i>
10 ⁻⁶		<i>fissured</i>	
10 ⁻⁷			
10 ⁻⁸	moraine,	<i>compact</i>	sandstone
10 ⁻⁹	clayey drift deposits		basalt
10 ⁻¹⁰			granite, gneiss metamorphic rocks
10 ⁻¹¹		slate	
10 ⁻¹²		shale	
10 ⁻¹³			<i>compact</i>

Figur 3 Variasjon i hydraulisk konduktivitet for ulike løsmassetyper samt sedimentære og krystalline bergartstyper (Stuckmeier og Margat, 1995).

Tabell 2 Representative verdier for hydraulisk konduktivitet i to forskjellige retninger i én og samme bergart. (Tabell fra Domenico og Schwartz, 1990)

Material	Horizontal Hydraulic Conductivity (m/sec)	Vertical Hydraulic Conductivity (m/sec)
Anhydrite	10^{-14} to 10^{-12}	10^{-15} to 10^{-13}
Chalk	10^{-10} to 10^{-8}	5×10^{-11} to 5×10^{-9}
Limestone, dolomite	10^{-9} to 10^{-7}	5×10^{-10} to 5×10^{-8}
Sandstone	5×10^{-13} to 10^{-10}	2.5×10^{-13} to 5×10^{-11}
Shale	10^{-14} to 10^{-12}	10^{-15} to 10^{-13}
Salt	10^{-14}	10^{-14}

Norsk fjell er gjennomskåret av store sprekker/svakhetssoner. Dette kan ses tydelig på satellittbilder, hvor langstrakte, nærmest snorrette daler, vassdrag og kløfter står fram som lineære soner, også kalt lineamenter. I større detalj, på flybilder eller spesielt når en besøker området til fots, vil en se at disse topografiske forsenkningene er betinget av svakt fjell, som oftest i form av partier med meget høy grad av oppsprekning. De inneholder også linser med nedknust fjell karakterisert ved fjellbiter i en leirig grunnmasse. Dette er soner i fjellet hvor det har vært bevegelse (forkastninger). Omkring slike soner er det vanlig å finne avtagende grad av oppsprekning, men selv i områder mellom lineamenter er fjellet svakt oppsprukket. Med andre ord; alt fjell er oppsprukket, men kun i avgrensede soner (lineament-er) finner en stor tetthet av sprekker. Ut fra den generelle fordelingen av sprekker synes det klart at det er større grunnvannsstrømning rundt lineamenter enn ellers i berggrunnen, dette fordi høy sprekketetthet gir større strømningspotensial.

Mange av dagens avfallsdeponier er plassert i større og mindre dalforsenkninger i terrenget bla. for å skjerme omgivelsene for innsyn og gjøre aktiviteten mindre utsatt for vær og vind. Ut fra forvissningen om at disse kan være betinget av svakhetssoner eller mer intens oppsprekning av berggrunnen vil disse dalsenkningene normalt være lite egnet for deponering av avfall, iallfall hvis deponiet ikke omfatter konstruerte barrierer.

Som tidligere nevnt, genereres sprekker av bevegelser i jordskorpa. Av jordskorpebevegelser i nyere tid er landhevingen som etterfulgte siste istid vært svært viktig for berggrunnens hydrauliske egenskaper. Den landhevingen som forstst pågår varierer fra rundt 0 til 1 mm per år nær kysten til over 5 mm per år i grensestrøkene mot Sverige på Østlandet (Figur 12). Hevingen har utsatt de øverste 100 m av berggrunnen for strekkspenninger, som har kunnet åpne eldre sprekker (Gudmundson, 1999). Dette er også vist i studier av forholdet mellom variasjoner i landheving og brønnnytelse (Rohr-Torp, 1994; Morland, 1997), som viser at brønner på innlandet, i områder med størst landheving, i snitt gir langt mer vann enn brønner nærmere kysten. Dette viser at landhevingen har en betydelig effekt på berggrunnens gjennomsnittlige hydrauliske egenskaper.

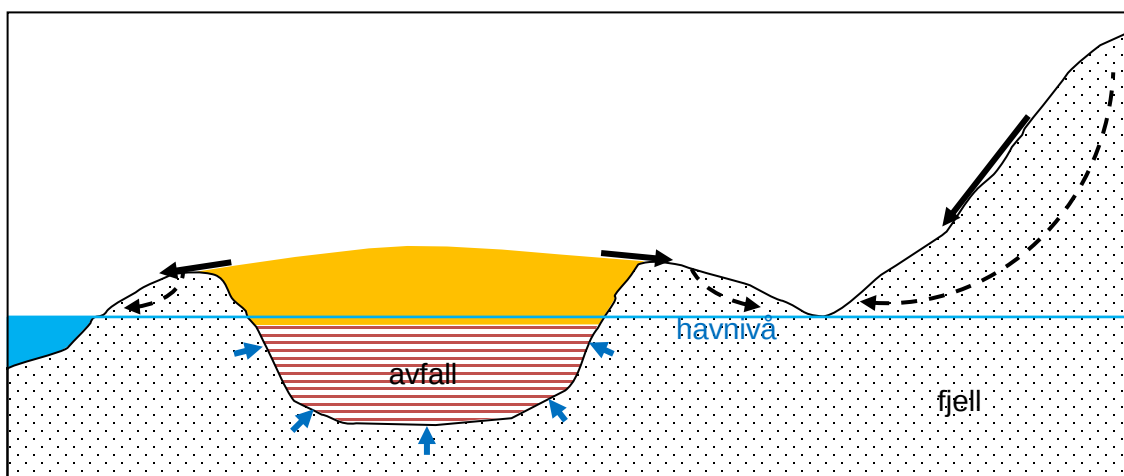
Erfaringer og undersøkelser, kombinert med statistisk behandling av informasjon i NGUs Brønndatabasen, viser at berggrunnen generelt er betydelig oppsprukket i Norge. Denne oppsprekningen gir berggrunnen hydrauliske egenskaper som gjør det vanskelig å finne egnede deponiområder i fjell som tilfredsstiller deponidirektivets krav, uten etablering av kunstig geologiske barrierer.

For å kunne anbefale plassering av deponier må det, i tillegg til innhenting og sammenstilling av geologisk bakgrunnsinformasjon bla. fra NGUs databaser, utføres omfattende geologiske

og hydrogeologiske undersøkelser for å kartlegge undergrunnens hydrauliske egenskaper. På grunn av berggrunnens vanligvis inhomogene og til tider uforutsigbare oppsprekningsmønstre kan det være en svært omfattende og utfordrende oppgave å dokumentere berggrunnens hydrauliske egenskaper.

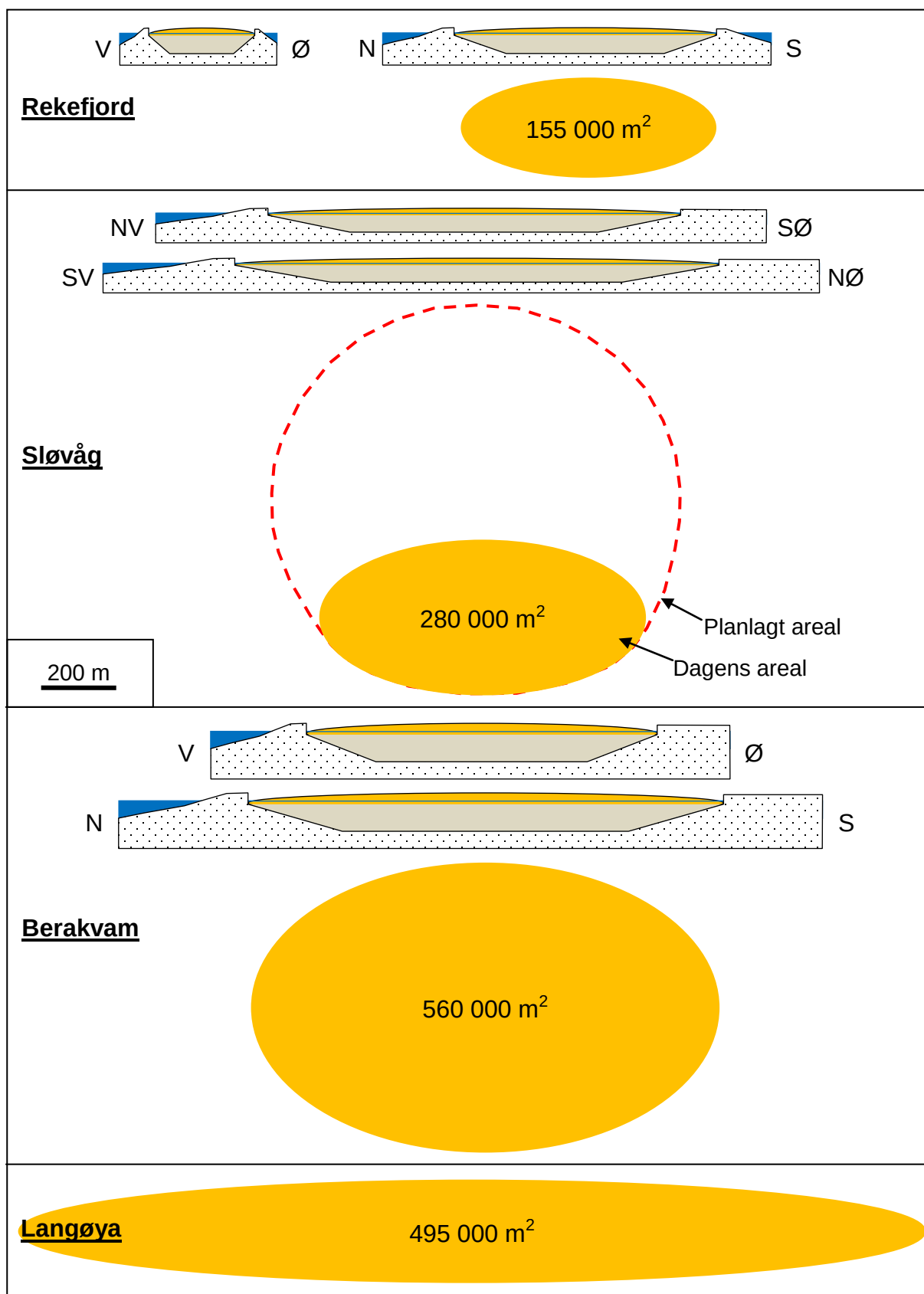
Et viktig mål er derfor å isolere avfallet i et deponi fysisk fra bevegende vann, ved å plassere deponiet slik at det ikke er en hydraulisk gradient gjennom eller i nærheten av deponiet. I tillegg til naturlige geologiske barrierer kan kunstig tetting (membran) bidra med ekstra sikring mot at vann kan bevege/strømme gjennom deponiet. I teori ville plassering av et deponi i sin helhet i massiv og tett fjell over grunnvannsnivået være den beste løsningen på grunn av fravær av grunnvann. Men dette er vanskelig å realisere i praksis (på grunn av deponiets volum og topografiske forhold) særlig for et permanent deponi i et langtidsperspektiv (på grunn av bl.a. klimaendring).

Plassering av deponiet i fjell under havnivå er en potensielt god løsning fordi det ved riktig utforming og kontroll ikke vil være noen hydrauliske gradienter gjennom deponerte masser. Overflatevann og grunnvann har sin naturlige drenering ned mot havnivå, og i sjønære lavtliggende områder vil den hydrauliske gradienten under havnivå være lav. Figur 4 illustrerer skjematisk hvordan overflatevann og grunnvann drenerer ned mot havnivå. Ved plassering av avfallet i deponiet i fjell godt under havnivået (minst 5 m) vil risikoen for hydrauliske gradienter gjennom deponiet være minimal. Samtidig vil en slik plassering sikre at det hydrauliske trykket (tilsvarende sjøvannets) er innadvent og dermed bidrar til å forhindre utlekking fra deponiet.



Figur 4 Skisse som viser en skjematisk profil gjennom et deponi og forholdene til overflate-/grunnvann (svarte hele/stiplede piler) og sjøvann (blått). Avfallet i deponiet er plassert under havnivå for å unngå hydrauliske gradienter og mulig grunnvannsstrøm gjennom eller i nærheten av avfallet. De små blå pilene representerer hydraulisk trykk av sjøvannet inn mot deponiet, noe som fører til at avfallet forblir vannmettet over tid.

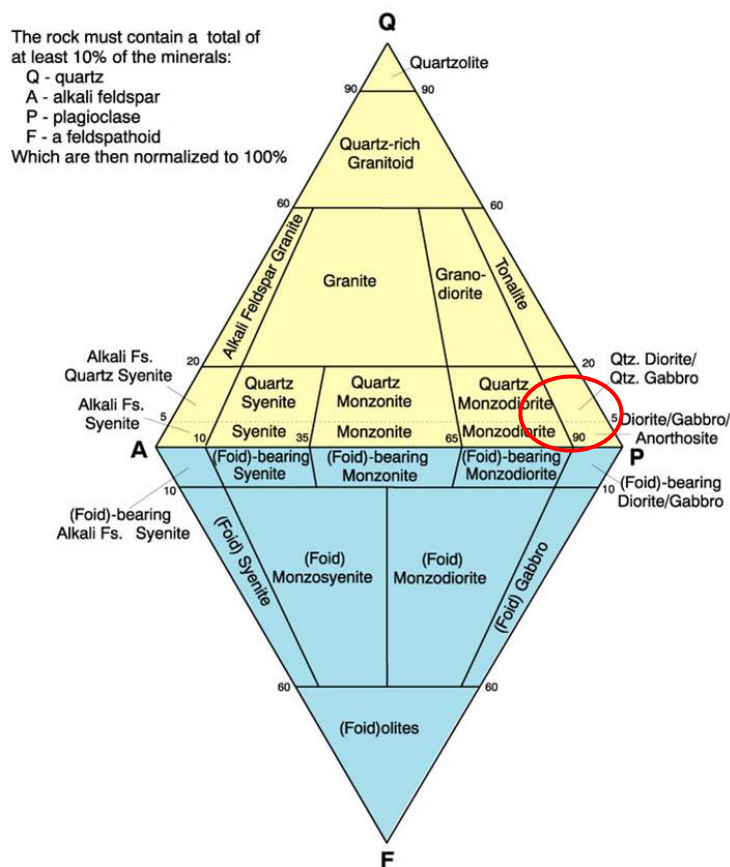
Det er også viktig å vurdere dimensjonene og geometrien for et deponi på jordens overflate (bruk av dagbrudd). Forholdet mellom naturlig barriere i bunn og sider mot avfallsvolum, og areal som må dekkes til er viktige faktorer i vurdering av deponiets sikkerhet med hensyn til potensiell infiltrasjon av vann og eventuell utlekking av uønskede stoffer. Figur 5 illustrerer skjematisk størrelsesforhold og dimensjoner for tre mulige lokaliteter samt Langøya for referanse. Generelt vurderes som gunstig for et permanent deponi lavere forhold mellom tildekkingsareal og avfallsvolum med hensyn til risiko for jordskjelv, havstigning og ny istid.



Figur 5 Figuren illustrerer skjematisk størrelsesforhold av et mulig deponi i tre lokaliteter, med tverrsnitt og areal tegnet i samme målestokk. Det gule arealet representerer tildekking og avfallet er angitt med grå farge. Areal for Langøya er tegnet inn skjematisk for referanse.

Geokjemi

I tillegg til mekanisk styrke og stabilitet av vertsbergarten for et deponi for uorganisk farlig avfall, har den kjemiske og mineralogiske sammensetningen av vertsbergarten betydning i forhold til stabiliteten og beskyttelse av avfallet over tid. Det vil si at vertsbergartens sammensetning har både en direkte og en indirekte betydning i å sikre en trygg og permanent deponering av avfallet. For eksempel, en kalkstein har en direkte betydning i egenskap av å være selvtettende med hensyn til sprekker forårsaket av stressdeformasjon. Kalsiumkarbonat som løses opp fra selve kalksteinen feller ut og tetter igjen disse sprekke og dermed reduserer risiko for infiltrasjon av vann inn til deponiet samt risiko for utlekking ut av deponiet. Selvtetting er en meget sen prosess, men vil ha betydning i et langtidsperspektiv. Indirekte betydning vil eksempelvis være der vertsbergarten påvirker grunnvannets kjemiske sammensetning, som igjen kan påvirke stabiliteten av avfallet gjennom bufring av porevannets kjemi. Gitt at sammensetningen av det uorganiske farlige avfallet er svært basisk (alkalisk), er vertsbergarter med syre-nøytraliserende egenskaper gunstige for et deponi.



Figur 6 Klassifisering av intrusive bergarter (Streckeisen, 1974). De mest basiske bergarter faller innfor det røde feltet.

Syre-nøytraliserende bergarter omfatter både sedimentære, metamorfe og magmatiske bergarter, hvorav kalkstein eller marmor (metamorf kalkstein) og noen intrusive bergarter peker seg ut med gunstige egenskaper. De viktigste vanlige mineraler som reagerer forholdsvis lett ('reaktiv') med grunnvann (forvitring) er kalsitt (Ca-karbonat), plagioklas (Ca-rik feltspat) og biotitt (Fe-silikat). Som vist i Figur 6 inneholder de mest basiske intrusive bergarter forholdsvis lite/ingen kvarts (quartz) og alkalifeltspat, men inneholder mye plagioklas slik at grunnvannskjemi i disse bergarter er kjennetegnet av forholdsvis høye pH-verdier og innhold av Ca og bikarbonat. I tillegg har basiske bergarter et forholdsvis høyt innhold av reaktive jernrike mineraler (bl.a. biotitt, amfibol og pyroxen) som bidrar til

grunnvannets kapasitet til redoksbufring. Basiske intrusive bergarter som regnes som gunstige reaktive vertsbergarter for uorganisk farlig avfall er således gabbro, noritt, anortositt, dioritt og monzodioritt.

En god vertsbergart for et deponi bør derfor ikke inneholde mineraler som kan ha en ugunstig effekt på grunnvannets kjemi. Særlig mineralisering med sulfider (såkalte kismineraler) vil kunne føre til lav pH i grunnvannet, som igjen kan føre til økt løselighet og mobilitet av tungmetaller. Nesten alle bergarter inneholder små mengder av metallholdige oksider og sulfider (bimineraler), mens noen bergarter kan forekomme med betydelig mineralisering slik at de kan utvinnes gjennom gruvedrift. Det er derfor i deponisammenheng viktig å unngå gruver med malmforekomster med mineralisering av sulfider.

Geokjemisk transport av stoffer krever vann som transportmedium, med unntak av gasser som kan migrere uten en vannfase til stede. Vannets kjemiske- og fysiske sammensetning (f.eks. innhold av gasser, kolloider og bakterier) samt de lokale forhold (bl.a. temperatur, trykk, pH, redoks, hydraulisk gradient) bestemmer om en komponent i avfallsmatrisen (her gips+kalsitt grunnmasse) går i oppløsning og kan transporteres med vannstrømmen ut av deponiet. Denne geokjemiske interaksjonsprosessen kan endres i karakter og omfang over tid, særlig hvis de ytre forhold endrer seg over tid. For eksempel kan trykk og temperatur i deponert avfall i bunnen av deponiet endre seg som følge av oppfylling av deponiet (forholdsvis kort tid), eller endringer i geologiske-/klimaforhold (f.eks. lang tid) fører til endring i havnivå eller temperatur.

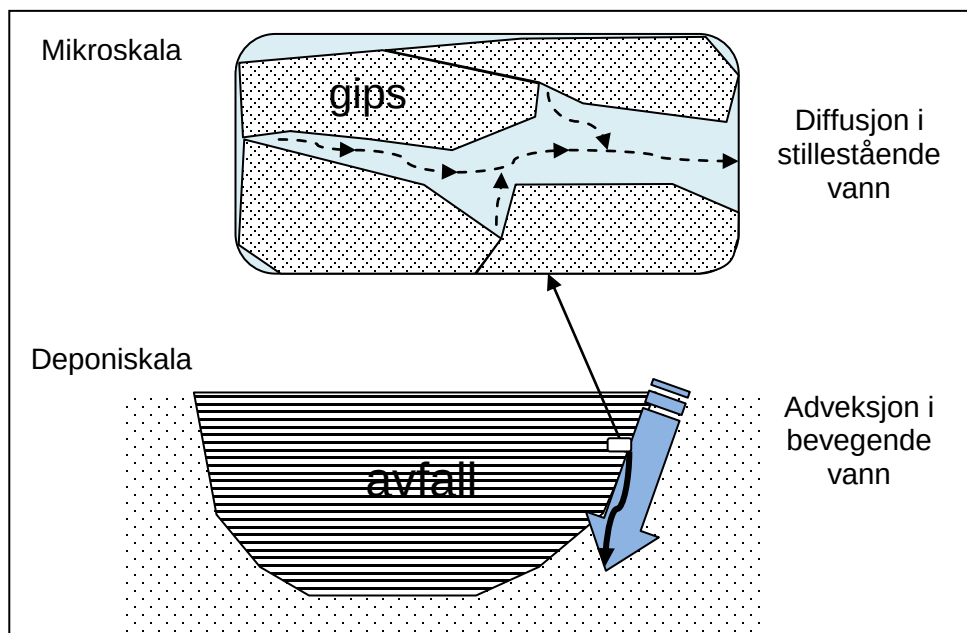
Avfallet som deponeres er (delvis) vannmettet og vil i prinsippet forbli vannmettet (porevolumet fylt med vann) etter deponering, på grunn av hydrauliske forhold rundt og i deponiet. Beskrivelsen av det uorganiske farlige avfallet (Norcem 23.10.2015; NGI, 2015; se også Kap. 4.2) tyder på at forholdene i porevannet er sterk alkalisk ($\text{pH} > 8$) og sterk reduserende (H_2 og NH_3) samt at porevannet har et forholdsvis høyt innhold av oppløste stoffer. Disse forholdene bestemmer også hvor stabilt avfallet er over tid. For eksempel, bakteriologiske redoksprosesser kan påvirke stabiliteten til deponerte massene ved at sulfat som har løst opp fra avfallsmatrisen blir redusert til H_2S eller HS^- . Porevannet får dermed en lavere konsentrasjon av SO_4^{2-} i forhold til likevekten med sulfat i det faste avfallet, noe som igjen vil ha en negativ effekt på stabiliteten av det faste avfallet. Dette scenario er potensielt mulig når avfallet har blandet inn alunskifer/svartskifer som inneholder organisk materiale og bakterier.

Avfallsets stabilitet er videre avhengig av systemets (vann, vertsbergart, avfall) kjemiske bufringskapasitet for å opprettholde den ønskede kjemiske likevekten mellom porevann og avfallsmatrisen. For eksempel, infiltrasjon inn i deponiet av grunnvann med O_2 og lav pH kan medføre syredannelse og oksidasjon i porevannet som igjen kan føre til utlekking fra avfallet. Grunnvann i basiske bergarter, så som kalkstein og kalkspatmarmor, og basiske intrusiver (eks. anortositt, gabbro), har høyere pH-verdier (> 8) sammenlignet med sure bergarter (eks. sandstein, granitt, gneis; Frengstad, 2002) og er dermed bedre i stand til å holde pH i porevannet innenfor de ønskede verdier for kjemisk likevekt. Hvis porevannet inneholder løst Fe eller Mn (eks. fra alunskifer) vil disse komponenter også ha en viktig evne til bufring av redoksførhold ved å felle ut meget raskt ved oksidering av porevannet. I tillegg har jern- og manganoksider og -hydroksider en sterk evne til å absorbere andre oppløste komponenter som vil felle ut sammen med disse oksider/hydroksider fra vannfasen. Slike bufferprosesser er viktige for å unngå at uønskede stoffer løses opp og transporteres ut av deponiet.

Vannbasert transport av stoffer kan skje ved to prosesser: via diffusjon (stillestående vann) og via adveksjon (vann i bevegelse), eller som en kombinasjon av disse to prosesser. Ved

diffusjon transporteres den oppløste komponenten langs gradienten fra høyere til lavere kjemisk potensial (konsentrasjon i oppløsning) uten at vannet er i fysisk bevegelse. Diffusjon er en meget langsom prosess og stopper når den oppløste komponenten har lik kjemisk potensial i porevannet. Tidsaspektet for diffusjon som transportmekanisme er også sterk avhengig av hvor krokete transportveien er ('tortuosity') i mediets sammenhengende porøsitet. Ved adveksjon transporteres den oppløste komponenten fysisk i vannet som beveger seg / strømmer langs en hydraulisk gradient fra høyere til lavere vanntrykk. Tortuosity er også av vesentlig betydning for hastigheten av advektiv transport, særlig i sprekkeakviferer i fjell.

Følgende scenario beskriver et eksempel på en mulig kombinasjon av begge transportprosesser: Avfallet, med lav porøsitet og permeabilitet, har porene fylt med stillestående vann som står i kontakt med vann i bevegelse på utsiden av avfallet. Diffusjon kan da transportere en oppløst komponent fra avfallets innside til dets utside, der det vannet som er i bevegelse kan lede denne komponenten bort og ut av deponiet (Figur 7). Derfor er det viktig at avfallet i et deponi isoleres fysisk, særlig fra bevegende vann, ved å plassere deponiet slik at det ikke er en hydraulisk gradient gjennom eller i nærheten av deponiet. I tillegg til naturlige geologiske barrierer kan kunstig tetting (membran) bidra med ekstra sikring mot at vann kan bevege seg/strømme gjennom deponiet.



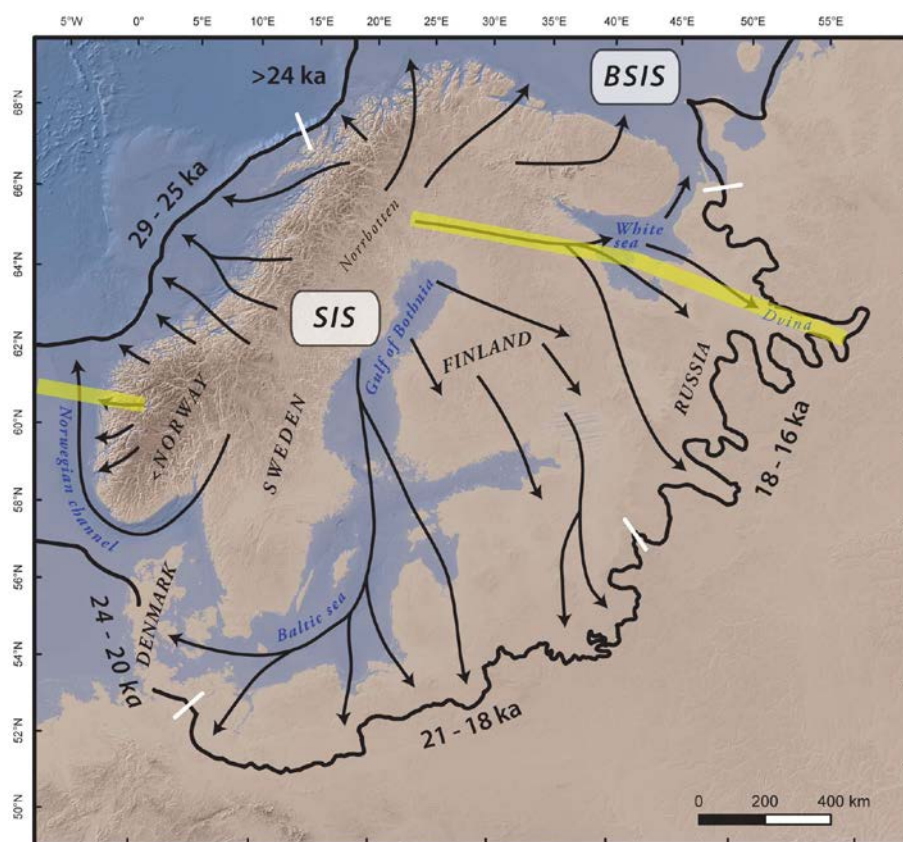
Figur 7 Skjematiske diagram som viser diffusjon (stiplede piler) og adveksjon (hel pil). Øverst: Viser diffusjon av oppløste komponenter i stillestående porevann (lyseblått) i avfallsmatrisen i ytterkanten av deponiet. Nederst: Viser hvordan adveksjon i strømmende grunnvann (mørkeblått) i kontakt med avfallets stillestående porevann kan transportere oppløste komponenter ut av deponiet.

I prinsippet finnes det ikke en hydraulisk gradient under havoverflate, slik at et deponi under havnivå er den foretrukne plassering med hensyn til risiko for utlekking av miljøgifter fra deponiet. Lokalt kan det forekomme submarine kilder der grunnvann strømmer ut under havnivå gjennom sprekke- eller karstakviferer, og plassering av et deponi bør da eventuelt ta hensyn til dette. I større målestokk oppstår det også gradienter i havet som fører til at sjøvann er i bevegelse/strømmer, for eksempel på grunn av forskjell i temperatur og salinitet av vannet, samt effekten av tyngdekraft (tidevann). På lokal målestokk for et deponi i fjell, med avfallet deponert under havnivå, vil dog effektene av variasjoner av vanntrykk i havet være minimale og ikke føre til bevegelser av vann i oppsprukket fjell.

3.2 Klima, glasiasjoner og havnivå

Siste istids maksimum og isavsmelting

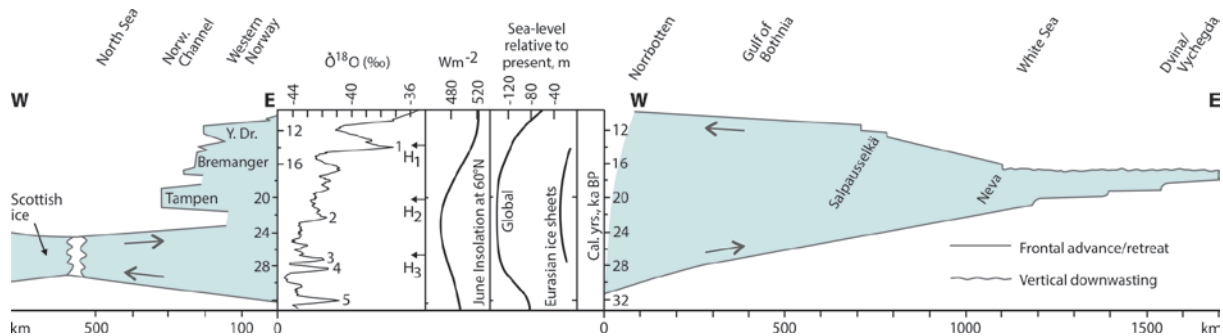
Siste istid omfatter perioden 117 000 til 11 700 år før nåtid. Gjennom hele perioden var det store klimavekslinger med den følge at de store innlandsisene varierte mye i størrelse, men det var først mot slutten av istiden at de nådde sin maksimale utbredelse. Den skandinaviske innlandsisen (SIS) hang i perioden med maksimal nedisning sammen med isen over Barentshavet i nord (BSIS), og med is over de britiske øyer i sørvest. I vest nådde den helt ut på sokkelkanten, mens den rakk langt inn på kontinentet i sør og i øst (Figur 8). Innlandsisen hadde sitt maksimale volum for ca 21 000 år siden (Lambeck et al. 2006), men maksimal yttergrense eller israndens posisjon, ble oppnådd til svært ulik tid (Figur 8; Hughes et al. 2015; Larsen et al. submitted). Faktisk er det omtrent 10 000 år i aldersforskjell mellom eldste og yngste maksimumsposisjon i henholdsvis sørvest og nordøst. Da breen nådde maksimumsposisjon i nordøst, hadde den begynt å smelte tilbake i sørvest. Dette betyr at breen ikke på noe samtidig tidspunkt hadde én utbredelse som tilsvarer den i Figur 8.



Figur 8 Maksimal isutbredelse for den skandinaviske innlandsisen i siste istid (Larsen et al. submitted). Alder på maksimumsposisjon i tusen år er gitt for segmenter av randområdene skilt med hvite streker. Piler gir hovedstrømningsmønster for innlandsisen. Gule profiler viser område for tid – se distansediagram i Figur 9.

Allerede for om lag 25 000 år siden begynte isen å trekke seg tilbake i vest mens den fremdeles ekspanderte østover (Figur 9). Isskillet, eller hovedkulminasjonen til ismassen, migrerte i denne perioden østover. Tilbaketrekkingen i vest ble avbrutt av flere store isframstøt, mens avsmeltingen var mer jevn i øst. Den siste store isekspansjonen skjedde i den såkalte yngre dryas-perioden for 12 800 til 11 700 år siden da det var framrykk eller stillstand rundt hele ismarginen. I Norge ble det dannet et mer eller mindre sammenhengende randtrinn fra denne perioden, blant annet Raet på Østlandet og de såkalte Tromsø-Lyngen morenene i

Nord-Norge. Mens isen i vest responderte raskt på klimaendringer under avsmeltingsperioden, er samvariasjon med klima i øst tilsynelatende fraværende (Figur 9). Dette har sammenheng med topografi og beskaffenhet av isens underlag som igjen styrer isens bevegelsesdynamikk og hastighet som diskutert i Larsen et al. (submitted). Etter yngre dryas skjedde det en rask oppvarming, og for mellom 8 000 og 6 000 år siden var de fleste breer i Skandinavia helt borte. Dette betyr at dagens breer stort sett er nydannet etter denne varmeperioden.



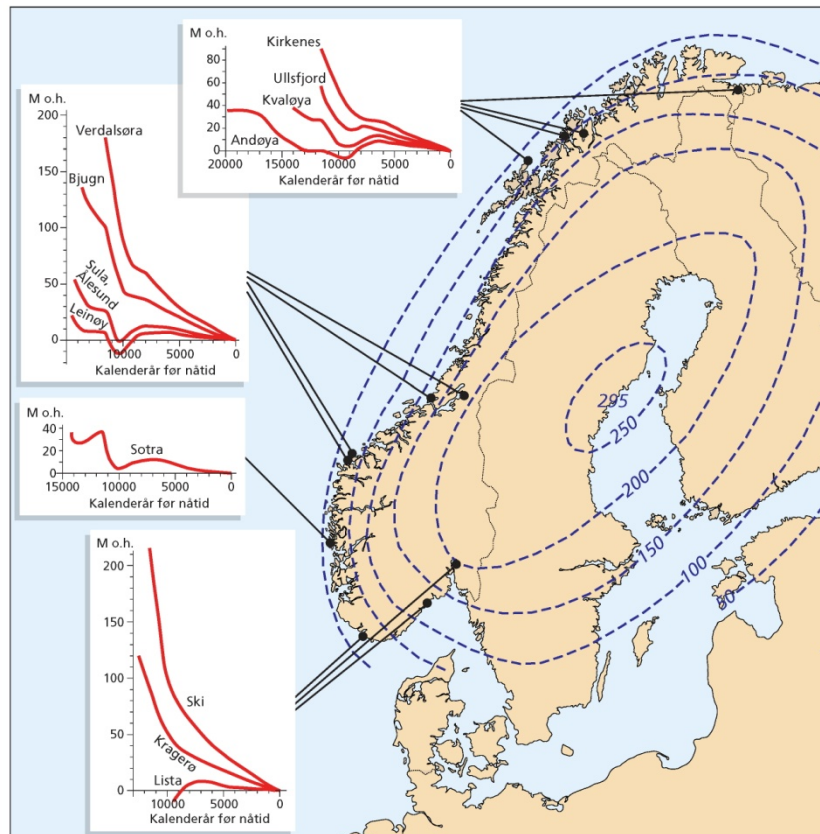
Figur 9 Framrykk og tilbaketrekking av fronten til den skandinaviske innlandsisen plottet mot tid langs et profil i sørvest og et i nordøst, begge markert med gule linjer på Figur 8 (Larsen et al. submitted). Isfrontens bevegelsesretning er angitt ved piler. Oksygenisotoper fra iskjerner på Grønland, sommersolinnstråling på 60 °N samt globalt og Eurasisk isvolum er plottet på den samme tidsakse (Berger & Loutre 1991; Greenland Ice Core Project members 2004; Lambeck et al. 2006; Larsen et al. 2010).

Senglasiale og holosene havnivåvariasjoner

Isen over Skandinavia var tykkest nær hovedisskillet. Som diskutert over har isskillet migrert gjennom tid. Over Bottenvika der isen var på sitt tykkeste, kan den ha vært opp i mot 3 000 m. Dette utgjorde en enorm vekt på jordskorpa. Siden egenvekten av is er ca 1/3 av egenvekta for stein, vil 3 000 m is presse jordskorpa ned omtrent 1 000 m inntil det etableres likevekt. Som følge av at isvekta ble redusert, og etter hvert forsvant helt da isen smeltet bort, begynte landet å stige. Dette gikk raskest til å begynne med, men ennå stiger landet fordi ny likevekt ikke er oppnådd. Størst er landhevingen der isen var tykkest, mens den avtar mot randområdene. Dette gjenspeiler seg i kart over dagens landheving som vist i Figur 13. Da alle isdekker på jorden var på sitt maksimale under siste istid, var også det globale havnivået omtrent 125 m lavere enn i dag. Dette som følge av at enormt mye vann var bundet opp i is på land. Den påfølgende isavsmeltingen førte til at det globale havnivå økte i takt med at smeltevann ble tilført havene. Samtidig avtok isvekten over land der det var innlandsis, og landet begynte å stige. I tidligere isdekkede områder er derfor havnivåvariasjoner eller strandlinjas posisjon gjennom tid, styrt både av hastigheten på landhevingen og variasjon globalt havnivå (vannvolum). På grunn av disse faktorene vil strandforskyvningsforløpet på et sted forandres gjennom tid, og det vil være ulik strandforskyvning på ulike steder avhengig av istykkelse. Derfor vil en strandforskyvningskurve ytterst på kysten se annerledes ut enn innerst i en fjord (Se kurver i Figur 10).

Kartet til høyre på Figur 10 viser marine grense, det høyeste havnivå etter siste istid. Den marine grensen stiger innover i landet til der hvor ismektigheten var størst. Legg merke til samvariasjon mellom den marine grensen og dagens landhevingsrate (Figur 13). Strandforskyvningskurvene i Figur 10 viser hvordan strandlinjen har forskjøvet seg ulike steder fra isavsmeltingen og frem til i dag. De fleste steder var landhevingen så rask at selv om det smeltet is, så forskjøv strandlinjen seg hele tiden mot lavere nivå. Det har altså vært en

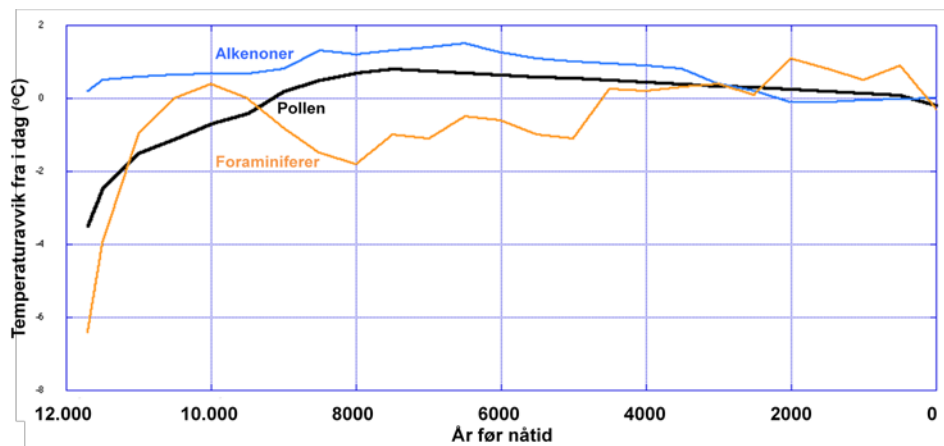
kontinuerlig regresjon, men med avtakende hastighet mot vår tid. Unntak fra dette finner en i de ytre kyststrøk hvor havet steg i perioden 9 500 til 6 500 år før nåtid. Dette skyldes at sen avsmelting av det store nord-amerikanske isdekket tilførte mye vann til verdenshavene. I de ytre kyststrøk av Norge førte dette til en havnivåstigning, transgresjon, fordi istykkelsen der hadde vært liten slik at denne vannvolumøkningen var større enn landhevningen. Lenger inn i landet, hvor landhevningen var raskere, skjedde det ikke en transgresjon, men i noen av kurvene kan en se at regresjonen gikk mer langsomt fordi vannvolumet økte.



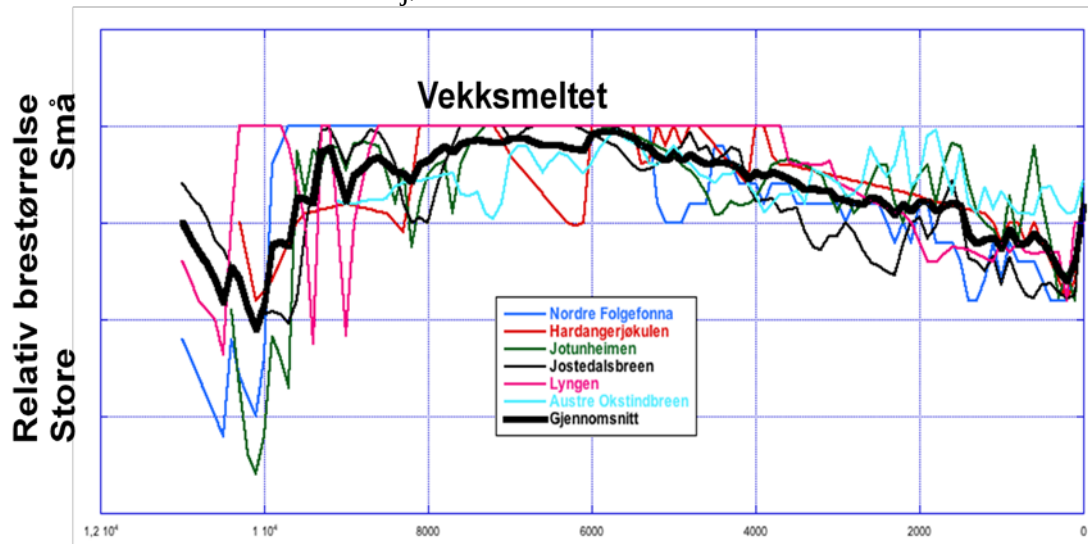
Figur 10 De stiplede linjene i kartet binder sammen marine grenser med lik høyde i meter over dagens havnivå. Marin grense er det høyeste spor av havet etter siste istid. De røde kurvene er strandforskyvningskurver hvor endring i høyden på havnivå relativt til dagens er plottet mot tid. Hver kurve er representativ for et sted. Reprodusert etter Vorren et al. (2013).

Klima i holosen

Den kalde yngre-dryas-perioden markerte slutten på siste istid. En kraftig oppvarming etter det skjedde ved overgangen til holosen, vår nåværende mellomistid. Denne oppvarmingen er tydelig både i havtemperaturer som vist ved alkenoner og foraminiferer, og i lufttemperaturer basert på pollen (Figur 11). Selv om klimaendringene etter den istiden har vært mindre enn i siste istid, og ikke minst mindre enn overgangen til holosen, så har de likevel vært betydelige. Oppvarmingen etter istiden ble avbrutt av flere relativt kortvarige kuldeperioder før de høyeste temperaturene inntraff i perioden for ca 8 000 til 6 000 år siden i det såkalte holosene klimaoptimum (Hansen-Bauer et al. 2015) som også Figur 11 viser. Sommertemperaturen kan på det varmeste i klimaoptimumet ha vært så mye som 2 grader høyere enn i dag. De fleste breer smeltet i denne perioden helt vekk slik at svært mange av dagens breer er nydannet i løpet av perioden etter klimaoptimumet (Figur 12).



Figur 11 Variasjoner i sommertemperaturer for Norge basert på pollen og havtemperaturer basert på alkenoner og foraminiferer for de siste knapt 12 000 år. Reprodusert fra Hanssen-Bauer et al. (2015). Originaldata i Eldevik et al. (2014). Alkenoner er organiske forbindelser som dannes av noen typer plankton som igjen varierer med temperatur. Foraminiferer er temperaturavhengige mikroorganismer hvorav de fleste lever i marine miljø.



Figur 12 Holosene brevariasjoner for seks breer i Sør- og Nord-Norge og gjennomsnittet av disse. Reprodusert fra Hanssen-Bauer et al. (2015). Originaldata i Dahl & Nesje (1994), Nesje et al. (2001), Bakke et al. (2005a, b, 2010), IPCC (2007), Matthews et al. (2008) og Vasskog et al. (2012).

Etter det holosene klimaoptimum har det vært en generell avkjølende trend, men med markerte varmeperioder i de første århundrene etter år 0, og på 1200-tallet. Denne trenden kulminerte med den såkalte lille istid. Isbreene rykket da kraftig frem, og fikk sin største utbredelse etter siste istid. I Norge var trolig de strengeste årene under lille istid på 1740-tallet med avlingssvikt og hungersnød mange steder. Brevekst på 1990-tallet i vestlige fjellområder skyldes svært nedbørrike vintre. Klimavariasjoner som skjedd før den industrielle revolusjon skyldes naturlige svingninger, mens dagens og fremtidens har en menneskespåvirket komponent (IPCC 2013).

Fremtidens klima

Diskusjonen i dette avsnittet om klima frem til neste århundreskifte er basert på rapporten "Klima i Norge 2100" til Miljødirektoratet (Hanssen-Bauer et al. 2015). Her pekes på noen

hovedkonklusjoner. Det understrekes i rapporten at fremskrivninger er beheftet med usikkerhet som skyldes mangelfull kunnskap om klimaets følsomhet og fremtidig naturlig klimautvikling, begrensninger i klimamodellene og usikkerhet med hensyn til fremtidige utslippsscenarioer. Avhengig av det siste, kan årsmiddeltemperaturen i Norge øke med fra 1,5 til 4,5 °C fram mot århundreskiftet. Økningen vil være størst i nord. Også nedbøren vil øke i total mengde, men viktigst er trolig at antall episoder med intens nedbør vil gå betydelig opp. Dette vil føre til øket flomfare og øket erosjons- og skred-fare. De store isbreene vil i følge rapporten bli kraftig redusert i størrelse, mens av de små, vil bare de høyestliggende overleve. Mot slutten av århundret vil det meste av norskekysten få havstigning. Den vil i følge beregningene være fra -10 til +55 cm avhengig av stedbetinget landhevingsrate og beregninger basert på utslippsscenario.

Starttidspunkt for neste glasiasjon er uklart både på grunn av at den naturlige klima-utvikling er beheftet med usikkerheter og fordi utslippsscenarioer for klimagasser i lange tidsperspektiv er ukjente. På grunn av det siste er det vanskelig å bruke tidligere overganger fra mellomistid til istid som analog for hva som kan skje. Data tyder imidlertid på at det må skje stor isvekst på høye breddegrader slik at smeltevann og isfjell påvirker havsirkulasjon og gir et system-skifte til istidmodus. Dette betinger lavt CO₂ innhold i atmosfæren og en orbitalkonfigurasjon som gir lav sommerinnstråling (Tzedakis et al. 2012). Dagens CO₂ innhold i atmosfæren er på ca 390 ppmv, mens det preindustrielle var på 280. I følge modellberegningene til Tzedakis et al. (2012) vil dagens mellomistid kunne ta slutt innenfor de neste 1 500 år med den gitte sommerinnstråling dersom CO₂ konsentrasjonen i atmosfæren ikke overstiger 240±5 ppmv. Dette vil, om denne modellen predikerer riktig, bety at systemet entrer istidsmodus under disse gitte betingelser, noe som ville bety at breer starter å vokse fra sine kjerneområder langs fjellkjeden. Ved isveksten mot siste istids maksimum tok det ca 7 000 år fra initiering i høyfjellsområdene, til det var oppnådd maksimal isutbredelse på kontinentalsokkelen i vest (Hughes et al. 2015). Ettersom det vil være lite is i kjerneområdene ved starten av neste istid, vil isveksten trolig ta lengre tid. Med de gitte forutsetninger, kan dette betraktes som en minimumstid det vil ta fra isvekst starter til isen når sin maksimale utbredelse. Det må imidlertid understrekes at denne type prognoser er meget usikre. En annen modellberegning indikerer at vår nåværende mellomistid vil ha en naturlig varighet på ytterligere 50 000 år, og der neste glasiale maksimum vil inntreffe om ca 100 000 år (Loutre & Berger 2000). I denne rapporten finner vi det riktig å påpeke den vitenskapelige usikkerhet uten å ta stilling til hva som måtte være sannsynlige scenario.

Landheving og havnivå på kort sikt

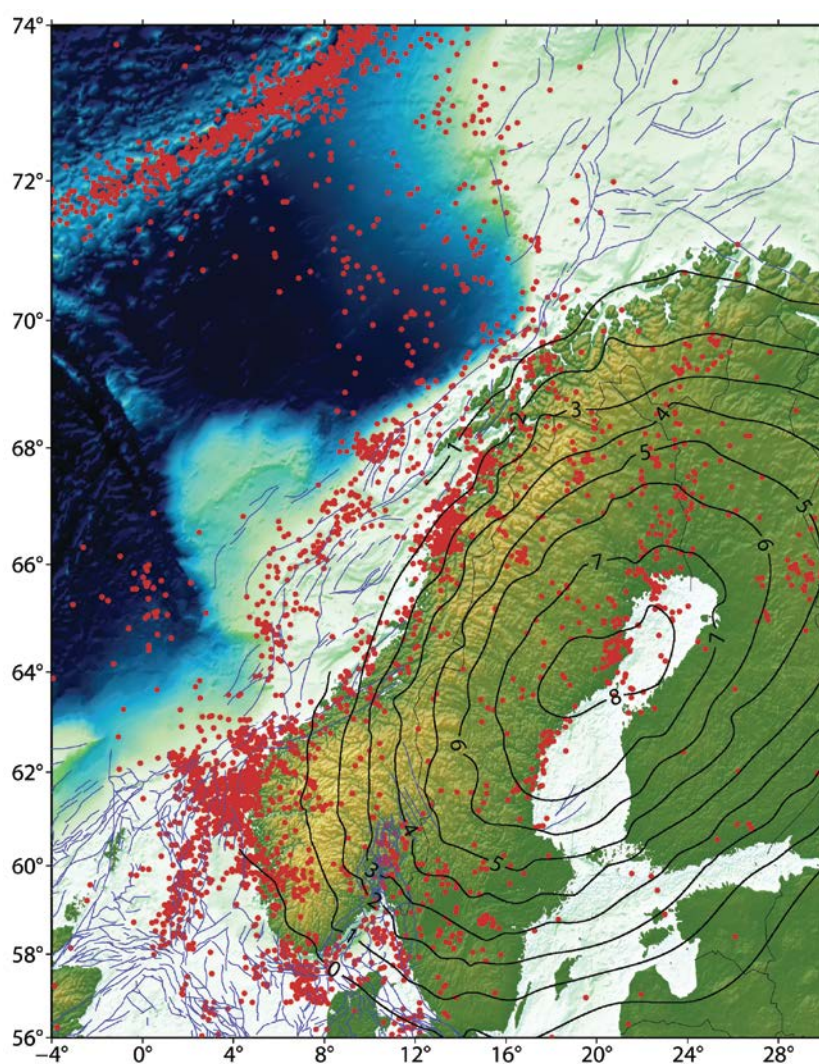
Dagens landhevingsrate er vist i Figur 13, og i en forstørret versjon i Figur 14. Landhevingsraten er en rest etter den glasiotektoniske nedpressingen forårsaket av den Skandinaviske innlandsisen i siste istid. Landhevingsraten er dermed avtakende. Med global oppvarming, er det forventet at det eustatiske havnivå vil stige (IPCC 2013). Langs norskekysten vil dette slå forskjellig ut, avhengig av landhevingsraten på observasjonsstedet. Dette er det tatt hensyn til ved beregning av fremtidig havnivå i Norge (Simpson et al., 2015). Det fremtidige havnivå er, som fremtidig temperaturutvikling, også avhengig av utslippsscenario for drivhusgasser og hva som skjer med verdens isbreer. Uavhengig av størrelsen på den eustatiske havnivåstigningen, så vil Rekefjord Øst, som ligger nær nullkonturen for landhevning, få stigende havnivå. Dalen ligger nær konturen for 2 mm landhevning pr. år. Avhengig av utslippsscenario, er modellert havnivåstigning for dette området fra 0 til ca 0,4 m i løpet av dette hundreåret (Simpson et al. 2015).

3.3 Neotektonikk og jordskjelvrisiko

Neotektonikk i Norge

De fleste jordskjelv skjer langs Jordens aktive plategrenser, som subduksjonssoner og midthavsrygger. Norge ligger langt fra aktive plategrenser, men har likevel relativ høy seismisitet sammenlignet med tilsvarende områder.

De mest seismisk aktive områder i Norge er kontinentalsokkelen, Vestlandet, Osloriften og Nordland (se Figur 13). De største historiske jordskjelv i Norge er angitt i Tabell 3. Ingen av disse var større enn rundt M 5,8 (styrke på Richter skala), men det er anslått at jordskjelv med styrke på opp til M 6,5 kan forekomme både på kontinentalsokkelen og i fastlandet. Selv om seismisiteten generelt er lavere på fastlandet, kan kraftige jordskjelv også opptre der - de har bare en lengre returperiode og er derfor vanskelig å forutse. Samlet sett forventes det at jordskjelv med styrke på omtrent M 6,0 eller større inntreffer ca hvert 100 år i Norge og omkringliggende områder.

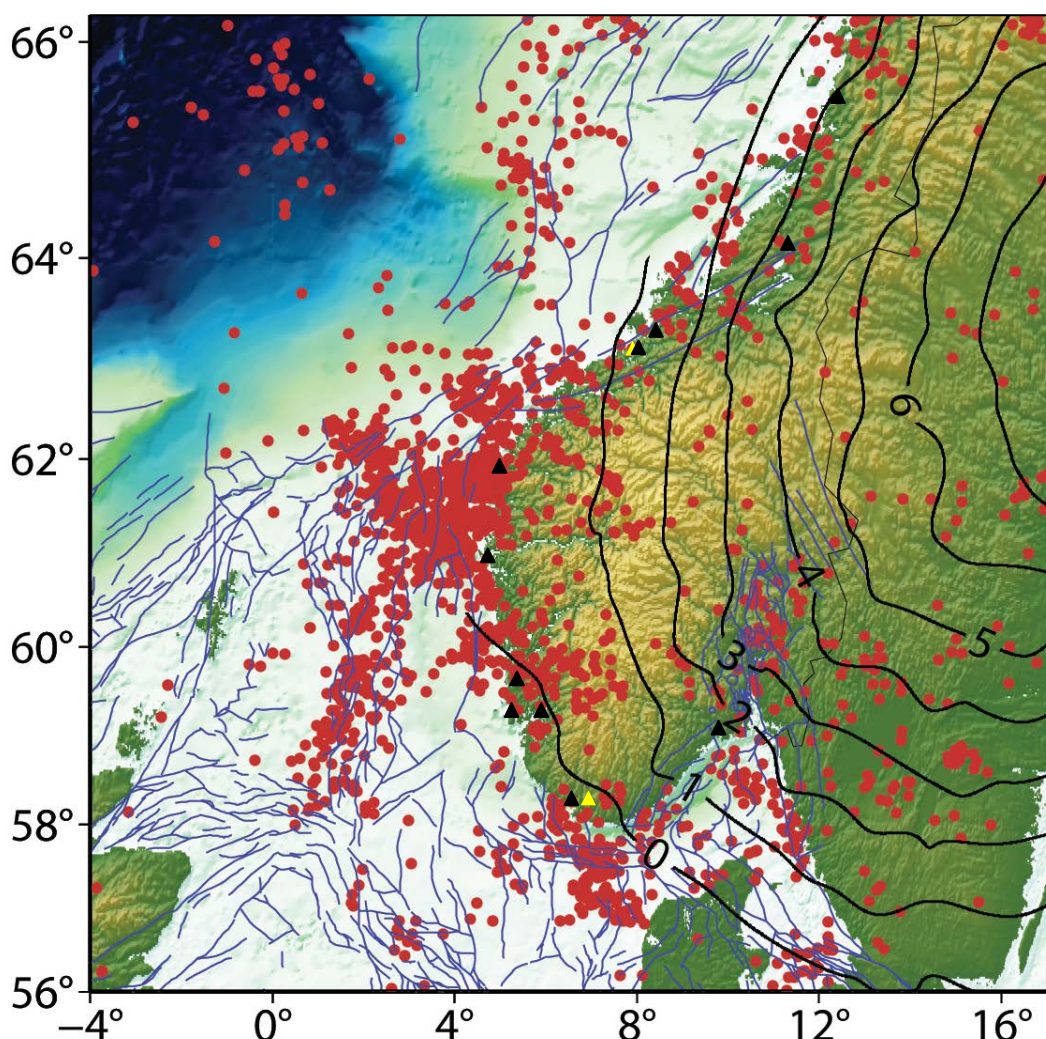


Figur 13 Neotektonikk i Norge. De røde prikkene viser seismisitet i 1980-2011 fra den fellesnordiske jordskjelvskatalogen FENCAT fra Helsinki Universitet. Konturlinjene viser dagens landheving (i mm/år) i forhold til havnivå bestemt ut fra tidevannsmålinger, nivellering og GPS-målinger (Vestøl, 2006). De tynne blå streker er store regionale forkastninger. Se også utsnitt med lokaliteter i Figur 14.

Tabell 3 De største historiske jordskjelv i Norge.

Dato	Styrke	Område
22.12.1759	M 5,6	Kattegat
31.08.1819	M 5,8	Ytre Ranafjord
09.03.1866	M 5,7	Haltenbanken
23.07.1894	M 5,4	Nordland
23.10.1904	M 5,4	Oslofjorden
24.01.1927	M 5,3	Nordsjøen
07.06.1931	M 5,5	Doggerbanken
08.08.1988	M 5,3	Nordvestlandet

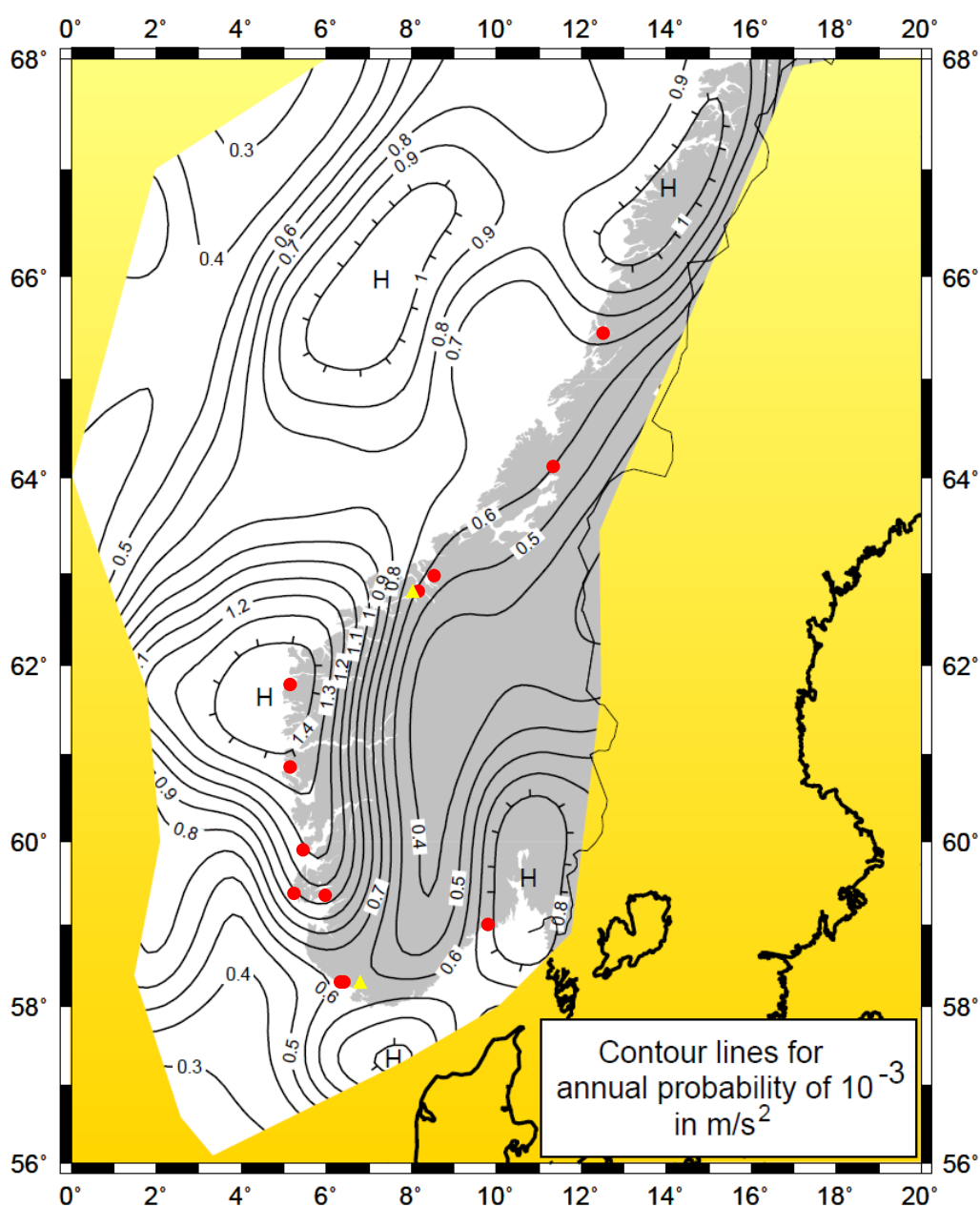
Årsakene til seismisiteten i Norge er mange, men trykket fra den midt-Atlantiske spredningsrygg anses for å være den vesentligste kilde til jordskjelv. Seismisiteten i Norge påvirkes dessuten av landhevingen, som primært skyldes isostatisk justering av litosfæren etter smeltingen av isdekket fra den siste istid for ca 10 000 år siden. Landhevingens innflytelse på seismisiteten er dog noe komplisert, da den sannsynligvis øker seismisiteten på den norske kontinentalsokkelen samt i deler av Vestlandet samtidig som den minsker seismisiteten i øvrige deler av det norske fastland. Andre kilder til seismisitet i Norge er sannsynligvis erosjon og avsetning av sedimenter samt topografi i fjellrike områder.



Figur 14 Forstørret utsnitt av neotektonikk kartet over Norge (Figur 13) med de 12 lokaliteter fra DMF (svarte trekkanter) og 2 lokaliteter med fjellhaller (gule trekkanter). Konturlinjene viser dagens landheving (i mm/år; se også Figur 13).

Jordskjelvrisiko

Et seismisk sonekart er fremstilt av NORSAR og NGI i samarbeid (se Figur 15). Dette anvendes blant annet til prosjektering av konstruksjoner for seismisk påvirkning i Eurokode 8 fra Norsk Standard. Kartet er beregnet ut fra analyser av historiske observasjoner og moderne registreringer av seismisitet samt bakkens forventede respons på de seismiske bølgene. Det viser hvor stor horisontal spiss-akselerasjon kan forventes som følge av jordskjelv i løpet av 1 000 år. Det kan ses ut fra dette, at sannsynligheten for rystelser fra jordskjelv er størst på Vestlandet, særlig langs kysten av Sogn og Fjordane. I Osloriften er det også økt sannsynlighet, mens langs kysten av Trøndelag og Sørlandet er sannsynligheten mindre.

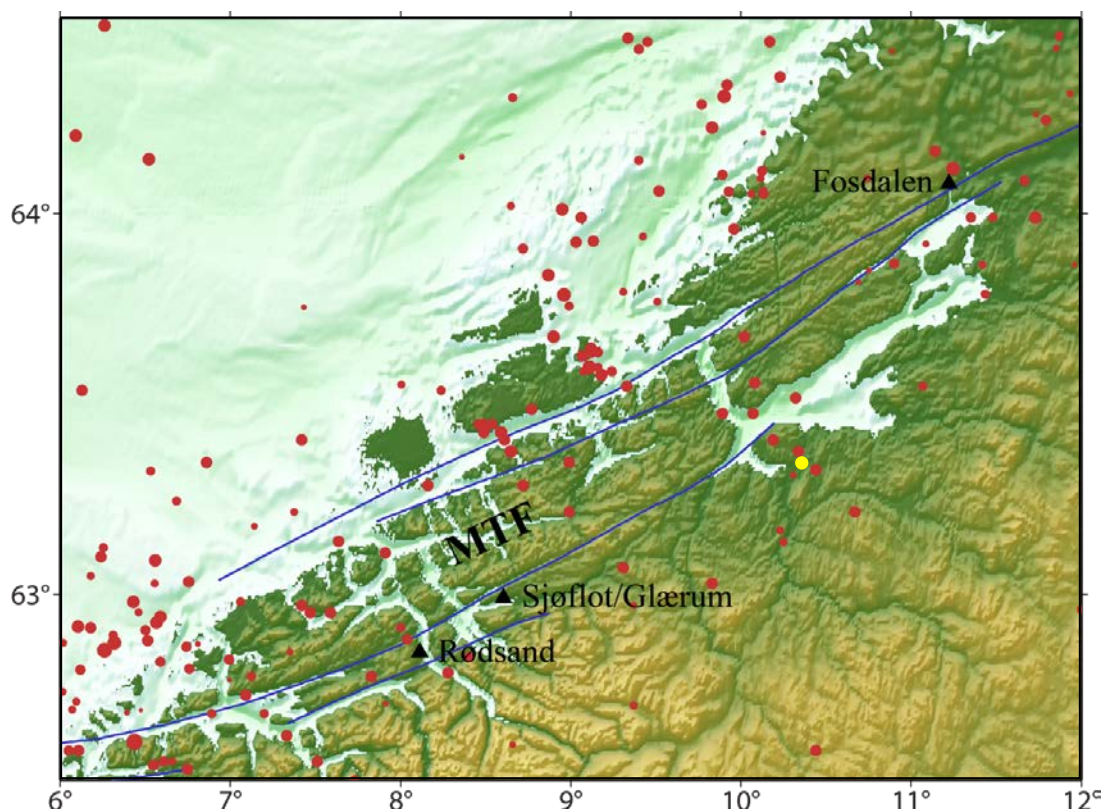


Figur 15 Spiss-akselerasjon-konturlinjer i m/s^2 for årlig overskridelsessannsynlighet i 10^{-3} (1 000 års returperiode) for det sydlige Norge og omkringliggende offshore områder. Konturintervall $0,1 \text{ m/s}^2$. H: Høy, L: Lav. Røde punkter er de 12 lokaliteter fra DMF og gule trekanten er 2 lokaliteter med fjellhaller (se Figur 1). (Gjengitt med tillatelse fra Bungum et al. (1998))

Ut over de regionale variasjoner som ses i det seismiske sonekartet, kan det være lokale forhold som har betydning for risikoen ved jordskjelv. Det har betydning om det finnes forkastninger i umiddelbar nærhet til de gruver og dagbrudd som vurderes for deponi. Forkastninger kan, selv om de ikke viser tegn på aktivitet i nyere tid, utgjøre svakhetssoner i undergrunnen som kan reaktiveres ved nye jordskjelv. Dette gjelder især for lokaliteter på Vestlandet og i Osloriften.

Konsekvensen av et større jordskjelv på et etablert og oppfylt deponi vil i hovedsak berøre integriteten av de beskyttende vertsbergartene og den konstruerte tildekkingen/tettingen. Eksisterende sprekker og forkastninger i bergarten er svakhetssoner som kan bli åpnet for grunnvannsbevegelse som følge av jordskjelvet. I tildekkingen over det deponerte avfallet kan det oppstå sprekker som forringer tildekkingens beskyttende egenskaper. Når grunnvann således får nye muligheter til å komme i kontakt med deponert avfall er det økt sannsynlighet for utlekking av uønskede stoffer fra deponiet. Sannsynligheten for kollaps av vertsbergarten til et oppfylt deponi som følge av et større jordskjelv vurderes som lite. Det har dessuten betydning om deponiet ligger i dagbrudd eller i gruve, da rystelsene fra jordskjelv typisk vil være mindre under jorden.

Et eksempel på en større forkastningssone er den såkalte Møre-Trøndelagsforkastningen (MTF) som strekker seg som en bred sone fra Grong i nord og nesten til Ålesund i sør (Figur 16). I figuren vises også beliggenhet med hensyn til MTF for 3 av de lokalitetene diskutert i denne rapporten. Jordskjelvet med størrelse M 2,1 som traff Trondheim den 12. oktober 2015 ligger i utkanten av dette forkastningskomplekset (Figur 16).

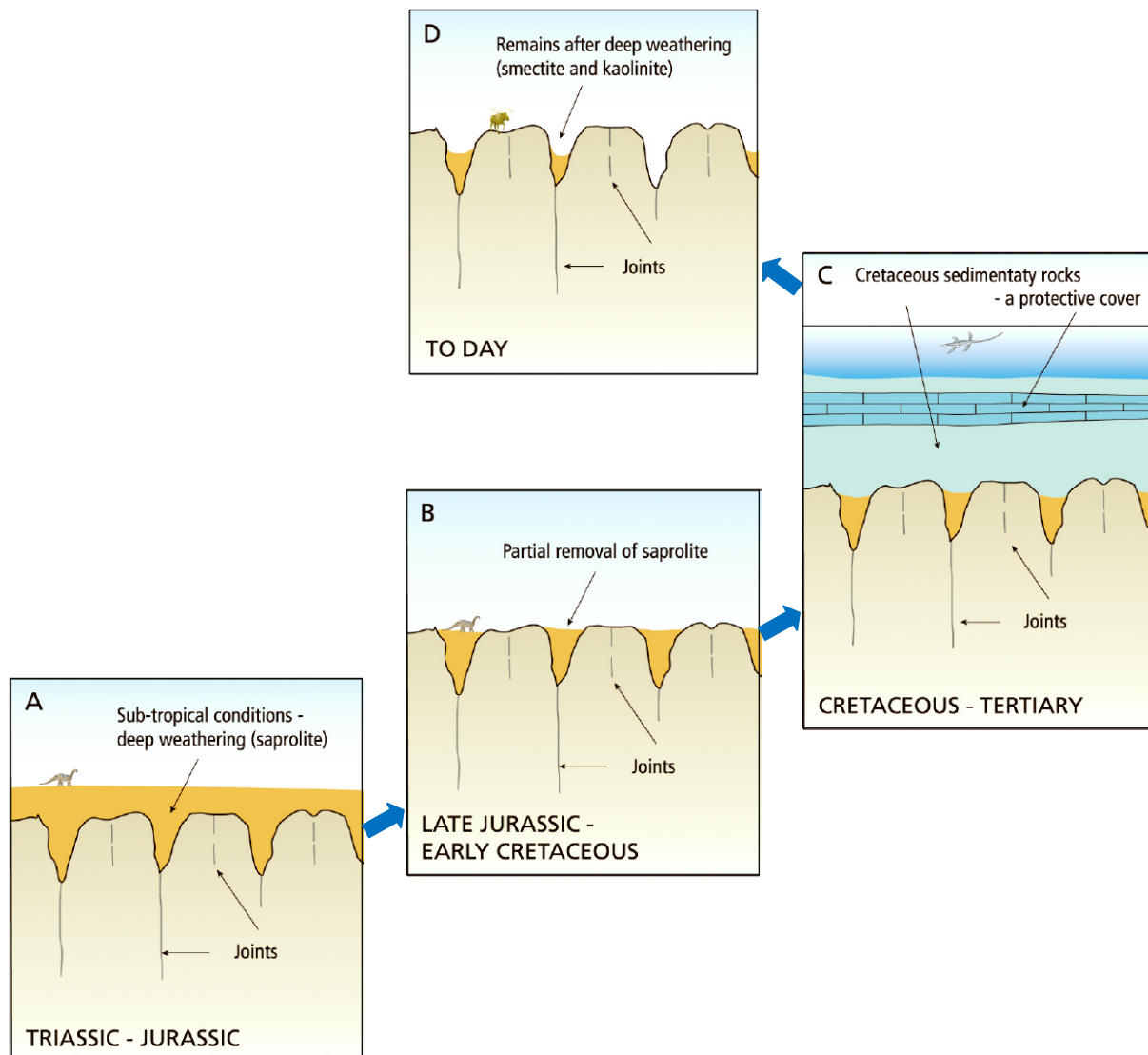


Figur 16 Kartet viser den store Møre-Trøndelagsforkastningen (MTF) som en bred sone med store forkastninger (blå linjer). Lokalisering for tre av lokalitetene er også angitt. De røde punkter er lokaliteter for jordskjelv registrert i området i 1980-2011. Det gule punktet er episentret for jordskjelvet som inntraff i Trondheim den 12.10.2015.

3.4 Dypforvitring

Dypforvitring har blitt påvist mange steder i Skandinavia, særlig langs kysten av Norge. Forvitringen skjedde sannsynligvis i Trias og Jura, der Norge lå mye lengre mot sør enn det gjør i dag. I det varme og våte tropiske klima ble berggrunnen sterk forvitret over lang tid, muligens ved kjemisk forvitring på grunn av surt vann fra organisk materiale i sumpområder. Slik tropisk forvitring forekommer i dag over store områder i Mellom-Amerika, Amazonas, Afrika sør for Sahara, India, Sørøst-Asia og Australia. Den forvitrede bergarten kalles 'saprolitt' og er rik på leirmineraler som smektitt og kaolinit. I sprekkesoner, der vannet har kunnet trenge dypere ned, kan det dannes saprolittenheter som er flere hundre meter tykke (Olesen, 2007).

Etter dannelsen av tykke saprolittenheter i Trias og Jura (for ca 250 mill. år siden; Figur 17A) og etterfølgende erosjon av saprolittene i sen Jura – tidlig Kritt (Figur 17B), ble Norge dekket av hav (Figur 17C), hvor det ble avsatt tykke sedimentære lag, som senere ble erodert i forbindelse med landhevingen i Neogen. I dag finnes saprolitt primært i sprekkesoner (Figur 17D), der den kan fortsette til dyp på mer enn 200 m. Flatedekkende saprolittenheter med noe titalls meter mektighet er også observert noe få steder i Norge, bl.a. i Vestfold og Nordland.



Figur 17 Skjematisk illustrasjon av hvordan dypforvitring kan ha blitt dannet siden Trias-Jura. Blå pilene antyder tidsforløp til i dag. Illustrasjon fra Olesen et al. (2007).

NGU har ved hjelp av geofysiske observasjoner produsert aktsomhetskart som viser sannsynlighet for dypforvitring på Østlandet og langs deler av den norske kyst (Olesen, 2004; Brønner et al., 2013). Saprolitt har andre fysiske egenskaper enn uforvitret berggrunn. Det har en større ledningsevne for elektrisitet, en lavere seismisk hastighet, lavere tetthet og er mindre magnetisk enn friske bergarter. Aktsomhetskartene viser hvor det er sammenfall mellom negativ magnetisk anomali og lav topografi, hvilket typisk vil være tilfellet i områder med dypforvitring. Det er viktig å bemerke at aktsomhetskartene ikke nødvendigvis angir områder der det har blitt påvist dypforvitring, men derimot områder der de geofysiske observasjoner indikerer en større sannsynlighet for dypforvitring. For eksempel vil sprekkesoner med et dekke av løsmasser også gi utslag på aktsomhetskartet uten at det nødvendigvis er snakk om dypforvitring.

Dypforvitring kan utgjøre et problem dersom det finnes i nærheten av et deponi for uorganisk farlig avfall, primært fordi grunnvann lett kan trenge igjennom forvitrede sprekkesoner i fjell. Dessuten utgjør dypforvitring svakhetssoner i berggrunnen.

I denne vurderingen av potensielle lokaliteter til deponi for uorganisk farlig avfall er dypforvitring vurdert på de lokalitetene der NGU har relevante geofysiske data for å kunne lage aktsomhetskart for dypforvitring. Disse lokalitetene er, fra sør til nord, Dalen, Lervik, Tellnes, Rekefjord Øst, Sløvåg og Akselberg. På de øvrige lokalitetene har NGU ikke de nødvendige geofysiske dataene.

3.5 Ressursvurdering

Alle mineralske ressurser (malm, industrimineral, naturstein, pukk og grus) klassifiseres med hensyn til viktighet som naturressurs. Det foretas en ressursvurdering av hver enkelt forekomst etter ett sett med kriterier. Formålet er blant annet å synliggjøre mineralske ressursers betydning ved offentlig planlegging.

I samarbeid med Direktoratet for mineralforvaltning (DMF) har NGU utarbeidet hvilke kriterier som skal vektlegges for internasjonalt, nasjonalt og regionalt viktige forekomster. NGU står for klassifikasjonen, mens DMF forvalter mineralloven og involveres i plansaker som omhandler mineralske ressurser. Det stilles nasjonale forventninger til regional og kommunal planlegging (Kommunal- og moderniseringsdepartementet, kongelig resolusjon 12 juni 2015) for forekomster av nasjonal og regional betydning. I plansaker etter plan- og bygningsloven har DMF innsigelseskompetanse for mineralske forekomster klassifisert som nasjonalt eller regionalt viktige.

Kriterier (✓) som vektlegges for internasjonalt, nasjonalt og regionalt viktige forekomster:

In situ-verdi	Levetid	Årsproduksjon	Kvalitet	Beliggenhet	Eksport	Nasjonal forsyning
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

4. Vurdering av lokaliteter

4.1 Miljødirektoratets kriterier

Som en første tilnærming til vurdering av de tolv lokalitetene foreslått av DMF viser Tabell 4 en oversikt over lokalitetene opp mot Miljødirektoratets kriterier. Miljødirektoratet gir i tillegg en forutsetning om at avfallet skal stabiliseres før deponering.

Tabell 4 DMFs lokaliteter til mulig deponi for uorganisk farlig avfall satt opp mot kriterier fra Miljødirektoratet.

Lokalitet	KRITERIER					
	Beliggenhet Fylke	Allerede gravd ut	Nedlagt i 2020 #	Nær havn	Volum mill.m ³	Over/under grunnvann *
Dalen	Telemark	Ja, gruve	Ja, 2018	Ja	18	Under (havet)
Tellnes	Rogaland	Ja, dagbrudd	Nei, 2075	Nei	>10	Over-under
Rekefjord Øst	Rogaland	Ja, dagbrudd	Nei, 2021	Ja	6	Under (havet)
Berakvam	Rogaland	Ja, dagbrudd	Nei, 2040	Ja	40	Over-under
Vigsnes	Rogaland	Ja, gruve	Ja, 1972	Nei	0,7	Under (havet)
Stordø	Hordaland	Ja, gruve	Ja, 1968	Nei	2,3	Under (havet)
Sløvåg	Sogn og Fjordane	Ja, dagbrudd	Nei, 2080	Ja	>10	Over-under
Sætrefjellet	Sogn og Fjordane	Ja, dagbrudd	Nei, 2115	Nei	>10	Over
Rødsand	Møre og Romsdal	Ja, gruve	Ja, 1987	Ja	5	Under (havet)
Sjøflot/Glærum	Møre og Romsdal	Ja, gruve	Ja/Nei, ?	Nei	1	Under
Fosdalen	Nord-Trøndelag	Ja, gruve	Ja, 1997	Ja	5	Under (havet)
Akselberg	Nordland	Ja, dagbrudd	Nei, 2045	Nei	30	Over-under

Årstall for forventet nedlagt drift for lokaliteter med fortsatt virksomhet i 2015.

* Over-under betyr dagbrudd ligger i dag over grunnvannstand og er planlagt utdrevet under havnivå.

Med unntak av Akselberg ligger alle 12 lokaliteter ved kysten mellom svenskegrensen og Nord-Trøndelag, samt alle lokaliteter er allerede gravd ut, det vil si enten i form av en gruve eller som dagbrudd. Kalksteinbruddet Akselberg i Brønnøy kommune i Nordland ble også inkludert av DMF fordi det store dagbruddet kan være en mulig lokalitet til å vurdere på lengre sikt.

Kriteriet om at eventuell pågående virksomhet på lokaliteten må være avviklet senest i 2020, helst innen 2018, innfris kun av 5 lokaliteter. Etter dialog med Miljødirektoratet ble det avklart at interessen og muligheten for samdrift av dagens virksomhet med eventuell deponidrift burde undersøkes nærmere av Miljødirektoratet med eiere av de øvrige aktuelle lokalitetene.

Kriteriet om at lokaliteten må være relativt nær en havn som kan ta imot middels store lastebåter, eller ha mulighet for å anlegge en slik havn, innfris av 6 lokaliteter. De øvrige lokalitetene har enten en forholdsvis lang vei (flere km) til nærmeste kaianlegg eller har ingen direkte åpenbar mulighet for tilgang til en havn eller for anlegg av en havn.

Miljødirektoratet ba DMF å foreslå lokaliteter med et oppfyllingsvolum i størrelsesorden 10 mill. m³. Av lokalitetene foreslått av DMF har halvparten et potensielt volum på 10 mill. m³ eller mer, mens de øvrige lokaliteter har potensielle volum <10 mill. m³. Etter dialog med Miljødirektoratet er det ønskelig å se også på noen mindre lokaliteter som har et volum på 5 mill. m³ eller mer. Dermed er 9 lokaliteter aktuelle til vurdering, mens 3 lokaliteter er ikke aktuelle ut fra en volumbetraktning.

Kriteriet om at lokaliteten må ha et deponeringsvolum som helst bør ligge under grunnvannstand innfris av 8 lokaliteter hvorav 4 lokaliteter vil ha mulighet for et deponi under havnivå (Dalen, Rekefjord Øst, Rødsand og Fosdalen), mens på de øvrige 4 lokaliteter vil et mulig deponi ligge (delvis) over grunnvannstand (Berakvam, Akselberg, Tellnes og Sløvåg). På de resterende 4 lokaliteter vil deponeringsvolumet ligge stort sett over grunnvannstand, i det minste under deponeringen.

I følgende to tabeller er DMFs lokaliteter rangert etter, først, potensiell volum og, deretter, volumets plassering med hensyn til grunnvannstand. Tabell 6 viser dermed at 6 lokaliteter innfrir 5 av 6 kriterier satt av Miljødirektoratet, med kriteriet om nedlagt drift i 2020 som avvik. Det er derfor behov for å avklare om lokaliteter med fortsatt virksomhet etter 2020 er interessert i samdrift, det vil si fortsatt uttak av ressurser samtidig med deponering av avfall.

Tabell 5 DMFs lokaliteter til mulig deponi for uorganisk farlig avfall satt opp mot kriterier fra Miljødirektoratet, rangert etter mulig oppfyltingsvolum.

Lokalitet	KRITERIER					
	Beliggenhet Fylke	Allerede gravd ut	Nedlagt i 2020	Nær havn	Volum mill.m ³	Over/under grunnvann
Berakvam	Rogaland	Ja, dagbrudd	Nei, 2040	Ja	40	Over-under
Akselberg	Nordland	Ja, dagbrudd	Nei, 2045	Nei	30	Over-under
Dalen	Telemark	Ja, gruve	Ja, 2018	Ja	18	Under (havet)
Tellnes	Rogaland	Ja, dagbrudd	Nei, 2075	Nei	>10	Over-under
Sløvåg	Sogn og Fjordane	Ja, dagbrudd	Nei, 2080	Ja	>10	Over-under
Sætrejfellet	Sogn og Fjordane	Ja, dagbrudd	Nei, 2115	Nei	>10	Over
Rekefjord Øst	Rogaland	Ja, dagbrudd	Nei, 2021	Ja	6	Under (havet)
Rødsand	Møre og Romsdal	Ja, gruve	Ja, 1987	Ja	5	Under (havet)
Fosdalen	Nord Trøndelag	Ja, gruve	Ja, 1997	Ja	5	Under (havet)
Stordø	Hordaland	Ja, gruve	Ja, 1968	Nei	2,3	Under (havet)
Sjøflot/Glærum	Møre og Romsdal	Ja, gruve	Ja/Nei, ?	Nei	1	Under
Vigsnes	Rogaland	Ja, gruve	Ja, 1972	Nei	0,7	Under (havet)

Tabell 6 DMFs lokaliteter til mulig deponi for uorganisk farlig avfall satt opp mot kriterier fra Miljødirektoratet, rangert etter både mulig oppfyltingsvolum og dets plassering med hensyn til grunnvannstand.

Lokalitet	KRITERIER					
	Beliggenhet Fylke	Allerede gravd ut	Nedlagt i 2020	Nær havn	Volum mill.m ³	Over/under grunnvann
Dalen	Telemark	Ja, gruve	Ja, 2018	Ja	18	Under (havet)
Sløvåg	Sogn og Fjordane	Ja, dagbrudd	Nei, 2080	Ja	>10	Over-under
Rekefjord Øst	Rogaland	Ja, dagbrudd	Nei, 2021	Ja	6	Under (havet)
Rødsand	Møre og Romsdal	Ja, gruve	Ja, 1987	Ja	5	Under (havet)
Fosdalen	Nord Trøndelag	Ja, gruve	Ja, 1997	Ja	5	Under (havet)
Berakvam	Rogaland	Ja, dagbrudd	Nei, 2040	Ja	40	Over-under
Akselberg	Nordland	Ja, dagbrudd	Nei, 2045	Nei	30	Over-under
Tellnes	Rogaland	Ja, dagbrudd	Nei, 2075	Nei	>10	Over-under
Sætrejfellet	Sogn og Fjordane	Ja, dagbrudd	Nei, 2115	Nei	>10	Over
Stordø	Hordaland	Ja, gruve	Ja, 1968	Nei	2,3	Under (havet)
Sjøflot/Glærum	Møre og Romsdal	Ja, gruve	Ja/Nei, ?	Nei	1	Under
Vigsnes	Rogaland	Ja, gruve	Ja, 1972	Nei	0,7	Under (havet)

Samdrift og avfallsdeponering

Av de 6 aktuelle lokalitetene (Tabell 6) er gruvedriften på 2 lokaliteter allerede nedlagt i dag, gruvedriften på én lokalitet planlegges avvirket innen 2018, mens fortsatt drift av pukkverk på 3 lokaliteter er planlagt i flere år fremover.

For å inkludere de sistnevnte 3 lokalitetene i NGUs arbeid var det viktig å få avklart om eiere/operatørene av disse lokaliteter er interessert i mulighet for samdrift, det vil si fortsatt drift av pukkverk samtidig som dagbrudd på lokaliteten kan brukes til deponi. Derfor har Miljødirektoratet tatt kontakt med de 3 pukkverk og bedt om en avklaring med hensyn til mulig samdrift, med følgende resultat:

- Yeoman Halsvik AS som eier og drifter **Sløvåg** pukkverk har som kjernevirksomhet uttak av pukk i de neste 60-70 årene fremover. De har følgelig ikke vurdert mulighet for å bruke dagbruddet, eller delen av dagbruddet, til deponi. I tillegg har steinbruddet i dag et ganske stort areal (ca 280 000 m²) med fhv liten dybde, hvorav kun et lite område under havnivå.
- Norsk Stein AS som eier og drifter **Berakvam** pukkverk har svart at de ikke er interessert i mulighet for samdrift av et deponi i dagbruddet før tidligst om 25 år.
- Rekefjord Stone AS som drifter og eier **Rekefjord Øst** pukkverk, har svart at de er interessert i mulighet for samdrift med et deponi i Vallnes dagbrudd samtidig som de flytter uttak av pukk til et tilgrensende området (Vedåsen). Det forventes at uttak av pukk fra Vallnes dagbrudd avsluttes innen 2020-21.

Tabell 7 viser dermed en rangering av lokaliteter der 4 av lokalitetene er aktuelle for NGUs vurdering av geologiske forhold med hensyn til eventuelt bruk som nytt deponi.

Tabell 7 Rangering av DMFs lokaliteter til mulig deponi, rangert etter både mulig oppfyllingsvolum, dets plassering med hensyn til grunnvannstand samt tidspunkt for nedlagt drift i 2020.

Lokalitet	KRITERIER					
	Beliggenhet Fylke	Allerede gravd ut	Nedlagt i 2020	Nær havn	Volum mill.m ³	Over/under grunnvann
Dalen	Telemark	Ja, gruve	Ja, 2018	Ja	18	Under (havet)
Rekefjord Øst	Rogaland	Ja, dagbrudd	Nei, 2021	Ja	6	Under (havet)
Rødsand	Møre og Romsdal	Ja, gruve	Ja, 1987	Ja	5	Under (havet)
Fosdalen	Nord Trøndelag	Ja, gruve	Ja, 1997	Ja	5	Under (havet)
Berakvam	Rogaland	Ja, dagbrudd	Nei, 2040	Ja	40	Over-under
Akselberg	Nordland	Ja, dagbrudd	Nei, 2045	Nei	30	Over-under
Tellnes	Rogaland	Ja, dagbrudd	Nei, 2075	Nei	>10	Over-under
Sløvåg	Sogn og Fjordane	Ja, dagbrudd	Nei, 2080	Ja	>10	Over-under
Sætrejfellet	Sogn og Fjordane	Ja, dagbrudd	Nei, 2115	Nei	>10	Over
Stordø	Hordaland	Ja, gruve	Ja, 1968	Nei	2,3	Under (havet)
Sjøflot/Glærum	Møre og Romsdal	Ja, gruve	Ja/Nei, ?	Nei	1	Under
Vigsnes	Rogaland	Ja, gruve	Ja, 1972	Nei	0,7	Under (havet)

4.2 Generelle aspekter

Tidsperspektiv

En viktig faktor i vurdering av risiko knyttet til deponering av farlig avfall er tidsperspektivet for deponiet. Geologiske og tekniske aspekter og scenarier som må vurderes med hensyn til deponiets intakthet over tid er, for eksempel, stabilitet av avfallet, risiko for destruktive jordskjelv, landheving, stigning av havnivå eller dannelse av nytt isdekke som følge av klimaendringer.

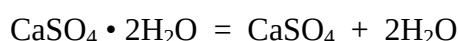
Geologisk informasjon viser at de siste mellomistidene har vart i ca 10 000 til 20 000 år og at den siste istiden sluttet for ca 12 000 år siden. Derfor har Canada, for eksempel, brukt et tidsperspektiv på 10 000 år i sikkerhetsanalyser for permanent deponering av radioaktivt avfall, basert på når neste istid forventes å bringe et nytt isdekke på de nordlige breddegradene.

I vurdering av geologiske forhold av potensielle lokaliteter til deponi for uorganisk farlig avfall tas det her utgangspunkt i at et slikt deponi skal være permanent.

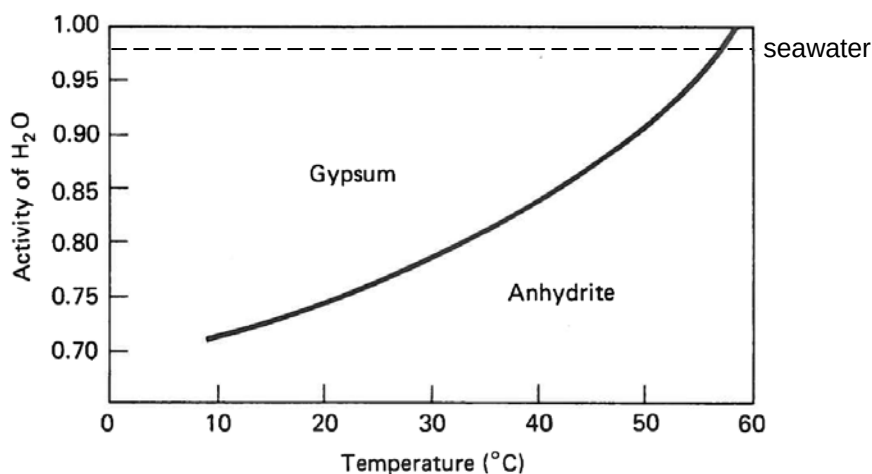
Avfall

Et nytt deponi for uorganisk farlige avfall skal hovedsakelig ta imot samme type avfall som NOAH deponerer i dag på Langøya. Dette avfallet består av en blanding av flyveaske og svovelsyre/ jernsulfat med innblanding av mindre mengder annet industriavfall. Flyveasken har en kjemisk sammensetning som er kjennetegnet av et høyt innhold av Ca, hydroksider og karbonater som gir den en sterk alkalisk (basisk) egenskap og som brukes til nøytralisering av det syreholdige avfallet. Det nøytraliserte avfallet består da i hovedsak av en masse bestående av gips og et høyt innhold av CaCO_3 samt andre innblandete komponenter, særlig tungmetaller (NGI, 2015). Det nøytraliserte avfallet ('gipsslurry') som NOAH deponerer på Langøya har et høyt innhold av vann (ca 70%). I dagbruddet på Langøya blir det frie vannet presset ut av slurrien og massen størkner til et fast produkt. Avfallsvannet blir rensert og ledet ut av bruddet.

I nøytralisering av syreholdig avfall med flyveaske dannes en alkalisk gipsslurry (pH ~10) og det frigjøres gasser, spesielt H_2 og NH_3 som tyder på sterk reduserende forhold i slurrien. Gips har den kjemiske sammensetning $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ mens anhydritt er CaSO_4 , det vil si at anhydritt er den dehydrerte formen av gips som kan beskrives med følgende reaksjon:



Figur 18 viser stabilitetsdiagrammet for gips og anhydritt i forhold til temperatur og kjemisk aktivitet av H_2O . Vanlig sjøvann har en aktivitet av H_2O på ~0,98, og gips er en stabil fase i kontakt med sjøvann med temperaturer opp til 40-50° C. Samtidig er anhydritt mer oppløslig i sjøvann sammenlignet med gips. Konsentrasjonen av komponenter løst opp i avfallets porevann kan øke over tid gjennom kontinuerlig interaksjon av det stillestående vannet med avfallsmassen. Dette er en langsom prosess som er kjent fra gammelt, forholdsvis stillestående grunnvann i sprekkeakviferer på større dyp (>300 m) i bl.a. Finland, Sverige og Canada, der grunnvannet har fått en salinitet som er betraktelig høyere sammenlignet med sjøvann (Fritz og Frape, 1987). Når vannets salinitet øker reduseres aktiviteten av H_2O i vannet, slik at gips i kontakt med meget saltholdig porevann kan nærme seg stabilitetsgrensen mot anhydritt (Figur 18).



Figur 18 Diagram som viser stabilitet av gips i forhold til anhydritt i kontakt med vann (etter Hardie 1967).

Stabiliteten av avfallsmatrisen for det deponerte uorganiske avfallet er derfor usikker i et langtidsperspektiv (flere 100-1000 år) fordi det ikke finnes forskningsdata eller erfaringsdata fra Langøya for denne stabiliteten for tidsspenn av flere hundre eller tusen år. For trygg *permanent* lagring av uorganisk farlig avfall er det derfor vesentlig at deponiet plasseres slik at det ikke er, eller blir risiko for advektiv transport av uønskede komponenter ut av deponiet. Det betyr at den optimale plassering av et deponi er under havnivå og forblir under havnivå på lang sikt. En god lokalitet for et permanent deponi må derfor også vurderes med hensyn til landheving (se også Kap. 3.2).

Geologisk barriere

Når det gjelder vern av jord, overflatevann og grunnvann stilles det i avfallforskriften bl.a. krav om dobbelt sikring med både bunn- og sidemembran og en naturlig geologisk barriere. For et deponi beregnet for farlig avfall skal totalvirkningen av den naturlige geologiske barrieren minst tilsvare virkningen av et 5 m mektig minerallag med hydraulisk konduktivitet $K \leq 1 \cdot 10^{-9}$ m/s. Dersom det aksepteres en løsning uten kunstig membran betyr det at avfallsmassen deponert i et deponi for uorganisk farlig avfall i et egnet massiv fjell vil ha direkte kontakt med vertsbergarten(e). Ved å plassere deponiet under havnivå vil avfallet forbli vannmettet over tid på grunn av den innadvendte hydrauliske gradienten.

Bruk av et deponi for uorganisk farlig avfall til å omfatte også NORM-avfall må utredes separat med hensyn til type deponi (dagbrudd versus gruve) og med hensyn til hvilke effekter dette har på den kjemiske stabiliteten av den blandete avfallsmassen (se også Kap. 2.2 og 3.1). Utredningen må fokusere på langtidsperspektivet for å finne ut om endringer i kjemisk stabilitet medfører produksjon av stoffer som er skadelig for vertsbergarten eller uønskelig ved eventuell utlekking. Mulige alternative løsninger er å holde begge typer avfall adskilt i samme deponi eller å ha forskjellige deponi for hver type avfall. Dette må også utredes med hensyn til gasser som dannes direkte fra avfallet, enten under håndtering av uorganisk farlig avfall (eks. H_2 og NH_3) eller fra NORM-avfallet (Rn). Bruk av et åpent dagbrudd til et deponi kan, for eksempel, være foretrukket med hensyn til utgassing, sammenlignet med bruk av en gruve til deponi.

4.3 Vurdering av geologiske forhold

Rangeringen av DMFs lokaliteter i Tabell 7 (side 30) er her utgangspunkt for vurderingen av geologiske forhold med hovedfokus på de 9 lokaliteter som har et potensielt oppfyllingsvolum på 5 mill. m³ eller mer. NGU har for hver lokalitet vurdert de geologiske forhold samt annen relevant tilgjengelig informasjon med hensyn til mulig egnethet av lokaliteten til deponi for uorganisk farlig avfall som kan være operativt i 2020.

NGUs vurdering konkluderer med følgende inndeling:

1. lokaliteter som er aktuelle nå for videre utredning
 - Dalen gruve
 - Rekefjord Øst dagbrudd
2. lokaliteter som ikke er aktuelle for videre utredning
 - Berakvam dagbrudd
 - Akselberg dagbrudd
 - Tellnes dagbrudd
 - Sløvåg dagbrudd
 - Sætrefjellet dagbrudd
 - Rødsand gruve
 - Fosdalen Øst gruve
 - Stordø gruve
 - Glærum gruve
 - Vigsnes gruve

De viktigste geologiske forhold i NGUs vurdering av en lokalitets egnethet for etablering av et permanent deponi for uorganisk farlig avfall er:

- Vertsbergart med gode kjemiske og fysiske egenskaper. Plassering av det basiske avfallet bør ligge i homogene syre-nøytraliserende bergarter med god styrke, lav hydraulisk konduktivitet og uten betydelig innhold av sulfider. Bergartene i og rundt et deponi bør ha så liten som mulig oppsprekking og større forkastninger bør helst være fraværende. Bergartens evne til selvtetting av mindre sprekker er også en gunstig egenskap.
- Ingen hydraulisk gradient gjennom og i nærheten av deponiet. Plassering av avfallet må ligge i massivt fjell godt under havnivå (≥ 5 m) der dybden under havnivå må vurderes med hensyn til raten for lokal landheving. Området over og rundt deponiet bør ha en forholdsvis flat topografi og ikke føre til en betydelig grunnvannsgradient mot dypet.
- Deponiet må ikke være påvirket av dypforvitring eller av store forkastninger som er utsatt for neotektonisk stress. Plassering av deponiet må vurderes med hensyn til jordskjelvrisiko og landheving (strekkspenninger) som kan medføre åpning av sprekker til grunnvann. Rystelsene fra jordskjelv er mindre på dypet sammenlignet med rystelsene på eller nær jordens overflate.
- Plassering av et permanent deponi må vurderes opp mot forholdet mellom landhevning og økning av havnivå som følge av forventet klimaendring. Et deponi under dagens havnivå må ikke ende opp over havnivå for å unngå påvirkning av grunnvannet.

Nedenfor gis per gruppe en kort vurdering for hver lokalitet av viktige geologiske forhold sammen med annen relevant informasjon, både i form av tekst og som tabell. Kapittel 5 gir en mer omfattende beskrivelse av alle lokaliteter, med omfanget av beskrivelsen i forhold til ovennevnte grupperangering. I tillegg gis det en kort vurdering i Vedlegg 1 av to lokaliteter med forslag til utgraving av fjellhaller til mulig deponi.

For lokalitene som er aktuelle for videre utredning (Dalen, Rekefjord Øst, Lervik og Raudsand) anbefales det forundersøkelser i felt for å hente inn bedre og mer detaljert geologisk kunnskap og data som er arealbetinget. Slik ny kunnskap og data bør da brukes i en nærmere evaluering, gjennom analyse og modellering, for å kunne bekrefte på best mulig grunnlag en lokalitets egnethet for etablering av et deponi.

4.3.1 Lokalteter aktuelle nå

Dalen

Gunstige aspekter:

- Kalksteinen i Dalen gruve er en forholdsvis homogen og massiv basisk bergart med gode kjemiske og fysiske egenskaper med hensyn til det basiske avfallet. Kalksteinen og sidebergartene inneholder ikke betydelige mengder av sulfider og har en lav grad av oppsprekning.
- Dalen gruve har et volum til deponering på >10 mill. m^3 som ligger godt under havnivå. Dette volumet vil forbli under havnivå også ved forventede endringer i forholdet mellom landheving og havnivå på lang sikt.
- Et oppfylt deponi vil ha en innadvendt hydraulisk gradient, mens de lokale forholdene (topografi; bergartenes hydraulisk konduktivitet) gir en lav grunnvannsgradient nær overflaten.
- Forkastningene registrert i gruen er forholdsvis tette og kalksteinen er selvtettende i kontakt med grunnvann.
- Kort avstand til dypvannskai.

Mindre gunstige aspekter:

- Lokalisering i den seismisk aktive Oslofjorden og frekvensen av forkastninger i, og i nærheten av, gruen.
- Omfattende gruvevirksomhet med mange åpninger mot dagen krever omfattende tetting mot infiltrasjon av overflatevann.
- Avgassing fra avfallet under deponering kan bli potensielt utfordrende i denne dype og komplekse gruen, særlig hvis avfallet har en mer kompleks sammensetning (for eksempel innblanding av NORM-avfall).
- Sannsynlighet for dypforvitring over Dalen gruve må avklares nærmere.

Rekefjord Øst

Gunstige aspekter:

- Monzonoritt i Vallnes dagbrudd er en massiv basisk bergart med gunstige kjemiske og fysiske egenskaper med hensyn til det basiske avfallet. Det er ikke registrert betydelig innhold av sulfider i tilknytning til forekomsten på Vallnes.
- Vertsbergarten har en moderat grad av oppsprekning, det er ikke registrert forkastninger i eller i nærheten av Vallnes dagbrudd. Det er ikke registrert innlekkasje av sjøvann inn i dagbruddet.
- Ingen antydning til sannsynlighet for dypforvitring over Vallnes dagbrudd.
- Relativt lavt forhold mellom tildekkingsareal og avfallsvolum.
- Dagbruddet på Vallnes vil ha et volum på ca 6 mill. m^3 under havnivå til deponering av avfall. Ved vesentlig stigning av havnivå vil hele deponiet ligge under havoverflaten på lang sikt.
- Dagbruddet ligger for det meste på en halvøy med lav topografi og et meget begrenset nedbørsfelt, slik at deponeringsvolumet vil kun bli utsatt for en innadvendt hydraulisk gradient fra havet.
- Et åpent dagbrudd er gunstig med hensyn til avgassing fra avfallet under og etter deponering. God mulighet for evt. ventilering av radon fra avfall med innblandet NORM.
- Kort avstand til dypvannskai.

Mindre gunstige aspekter:

- Beliggenhet nær jordoverflaten er mer utsatt for rystelser fra seismisk aktivitet.

Tabell 8 Oppsummering av viktig informasjon for **lokaliteter som vurderes aktuelle nå for videre utredning** for mulig deponi for uorganisk farlig avfall.

TEMA	BESKRIVELSE	
	Dalen	Rekefjord Øst
Kommune	Porsgrunn	Sokndal
Fylke	Telemark	Rogaland
Ressurs	Mineral – kalkstein	Pukk – monzonoritt
Klassifisering ressursverdi	Internasjonalt viktig	Internasjonalt viktig
Uttak	Gruve – under jord	Dagbrudd – åpen
Dagbrudd areal (ca m ²)	-	155 000
Beliggenhet inngang (m over havet)	0-75	25
Nær havn, avstand uttak-kai (ca km)	Ja, <0,5	Ja, 0,5
Drift startet i	1960	1964
Drift nedlagt i	-	-
I drift i 2020	Nei	Nei
Forventet drift etter 2015 (år)	3	5-6
Infrastruktur fjernet	Nei	Nei
Volum tatt ut v/avsluttet drift (mill. m ³)	>18	7
Uttatt volum under havnivå i dag	Ja	Ja
Dypest planlagt nivå (m over havet)	-350	-47
Uttatt volum vannfylt i dag	Nei	Nei
Ras i uttaket	Ja	Nei
Potensielt deponivolum:		
Geometri	Stoller og rom	Krater
Vertsbergart	Kalkstein	Monzonoritt
Betydelig innhold av sulfider	Nei	Nei
Forkastning(er)	Ja, flere	Nei
Oppsprekningsgrad	Lav	Moderat
Volum under havnivå (ca mill. m ³)	18	6
Grunnvannsgradient	Minimal-lav	Minimal
Jordskjelv risiko (m/s ² , Figur 14)	0,7-0,8	0,6-0,7
Landheving (mm/år, Figur 13)	1-2	0

4.3.2 Ikke aktuelle lokaliteter

Berakvam

Gunstige aspekter:

- Ved avsluttet drift forventes et volum under havnivå på ca 40 mill. m³. Ved vesentlig stigning av havnivå vil hele deponiet ligge under havoverflaten på lang sikt.
- Granodioritt/granittisk gneis har gode fysiske egenskaper og er moderat oppsprukket.
- Det er ikke registrert betydelig innhold av sulfider i tilknytning til denne forekomsten.
- Kort avstand til dypvannskai.

Mindre gunstige aspekter:

- Norsk Stein AS som eier og drifter pukkverket er ikke interessert i mulighet for samdrift av et deponi i dagbruddet før tidligst om 25 år.
- Vertsbergartene har mindre gunstige kjemiske egenskaper med hensyn til det basiske avfallet.
- Relativt høyt forhold mellom tildekkingsareal og avfallsvolum.
- Største delen av nedbørsfeltet med bratt topografi ligger oppstrøms steinbruddet. Dette gir betydelige utfordringer med bortledning av overflatevann fra et evt. deponiområde. I tillegg bidrar topografien til en betydelig grunnvannsgradient i deponeringssammenheng.
- Beliggenhet nær jordoverflaten er mer utsatt for rystelser fra seismisk aktivitet.

Akselberg

Gunstige aspekter:

- Kalksteinmarmor i dagbruddet er en basisk-reaktiv bergart med gode kjemiske og fysiske egenskaper med hensyn til det basiske avfallet. Det er ikke registrert betydelig innhold av sulfider i tilknytning til denne forekomsten.
- Vertsbergarten har en lav-moderat grad av oppsprekning og det er ikke registrert forkastninger i eller i nærheten av Akselberg dagbrudd.
- Ved avsluttet drift vil dagbruddet ha et estimert volum under havnivå på ca 25 mill.m³ (ned til 135 muh) tilgjengelig for deponering av avfall. Dagbruddet ligger i et området med forholdsvis lav topografi slik at deponeringsvolumet vil ha en innadvent hydraulisk gradient og en lav grunnvannsgradient nær overflaten.
- Lokaliteten ligger i et område med lav seismisk aktivitet.
- Volumet under havnivå vil mest sannsynlig forbli godt under havnivå også ved forventede endringer i forholdet mellom landheving og havnivå.

Mindre gunstige aspekter:

- Fortsatt drift av dagbrudd forventes i ca 30 år fremover (etter 2015).
- Relativt høyt forhold mellom tildekkingsareal og avfallsvolum.
- Lang avstand fra dypvannskai til dagbrudd.
- Beliggenhet nær jordoverflaten er mer utsatt for rystelser fra seismisk aktivitet.

Tellnes

Gunstige aspekter:

- Noritt og anortositt er massiv basisk bergarter med gunstige kjemiske og fysiske egenskaper med hensyn til det basiske avfallet.

Mindre gunstige aspekter:

- Lang avstand fra dypvannskai til dagbrudd.
- Vertsbergarten inneholder sulfider.
- Forekomsten har store gjenværende ressurser som gir utsikten til mange ti-år med gruvedrift.
- Usikkert hvor betydelig volum som blir tatt ut under havnivå, gitt dybden og de bratte skråningene i dagbruddet per i dag. I tillegg er det stabilitetsproblemer i fjellveggen i den eldste delen av dagbruddet.
- Sterk kupert terreng som gir en betydelig grunnvannsgradient samt utfordringer med bortledning og utpumping av overflatevann.
- Beliggenhet nær jordoverflaten er mer utsatt for rystelser fra seismisk aktivitet.

Sløvåg

Gunstige aspekter:

- Ved avsluttet drift forventes et volum under havnivå på >>10 mill. m³. Ved vesentlig stigning av havnivå vil hele deponiet ligge under havoverflaten på lang sikt.
- Granittisk-granodiorittisk gneis har gode fysiske egenskaper og er moderat oppsprukket.
- Det er ikke registrert betydelig innhold av sulfider i tilknytning til denne forekomsten.
- Kort avstand til dypvannskai.

Mindre gunstige aspekter:

- Relativt høyt forhold mellom tildekkingsareal og avfallsvolum.
- Vertsbergartens kjemiske egenskaper regnes som mindre gunstig med hensyn til det basiske avfallet.
- Usikker om det blir et betydelig deponeringsvolum under havnivå gitt det store arealet med ressurser som er planlagt tatt ut de neste 60-70 år.

- En maksimal utnyttelse vil gi et nedbørsfelt på ca 1,2 km² hvorav størstedelen vil ligge innenfor dagbruddets grenser. I deponeringssammenheng kan dette gi betydelig utfordringer med bortledning og utpumping av overflatevann, også på grunn av svært høy årsnedbør. Topografien i nedbørsfeltet vil gi lave til middels grunnvannsgradienter inn til og rundt et evt. deponi.
- Sannsynlighet for rystelser fra jordskjelv er størst på Vestlandet, særlig langs kysten av Sogn og Fjordane. Beliggenhet nær jordoverflaten er mer utsatt for rystelser fra seismisk aktivitet.

Sætrefjellet

Mindre gunstige aspekter:

- Vertsbergartens kjemiske- og hydrauliske egenskaper er ikke gunstig med hensyn til deponering av det basiske avfallet.
- Dagbruddet, som er planlagt i aktiv bruk i ca 100 år fremover, har et for stort areal til bruk som deponi med naturlige geologiske barrierer.
- Dagbruddet ligger høyt over havnivået ca 2 km og ca 425 m høyde-meter fra nærmeste dypvannskai. Ved avsluttet drift vil et evt. deponeringsvolum ligge godt over havnivå.
- Beliggenhet av dagbruddet og topografien rundt bruddet medfører middels til betydelige hydrauliske gradienter gjennom og rundt et evt. deponi.
- Sannsynlighet for rystelser fra jordskjelv er størst på Vestlandet, særlig langs kysten av Sogn og Fjordane. Beliggenhet nær jordoverflaten er mer utsatt for rystelser fra seismisk aktivitet.

Rødsand

Gunstige aspekter:

- Kort avstand til dypvannskai.

Mindre gunstige aspekter:

- Ved avsluttet drift hadde gruen et estimert volum under havnivå på <5 mill.m³ (ned til 600 muh) tilgjengelig for deponering av avfall.
- Granittisk gneis som hoved vertsbegart har ikke gode kjemiske egenskaper med hensyn til det basiske avfallet. I tillegg forekommer det betydelig innhold av sulfider.
- Bergartene er betydelig oppsprukket og det forekommer flere forkastninger i gruen. Det har vært flere ras i gruens sjakter og stoller.
- Sannsynlighet for rystelser fra jordskjelv i forbindelse med seismisk aktivitet langs Møre-Trøndelagsforkastningen.
- I tillegg til en betydelig grunnvannsgradient står gruen i forbindelse med et dagbrudd ca 300 moh og en kollapsstruktur i dagen (fra et ras i gruen). Dette kan føre til innlekkasje av grunnvann inn til et evt. deponi nede i gruen.
- Infrastruktur er fjernet og gruen er fylt med vann. Dette medfører store kostnader for gjenoppsettelse av tilgang til gruen inkl. pumping og vannbehandling, fjellsikring mm.

Fosdalen Øst

Gunstige aspekter:

- Ved avsluttet drift hadde gruen et estimert volum under havnivå på ca 5 mill.m³ (ned til 1150 muh) tilgjengelig for deponering av avfall.
- Ingen grunnvannsgradient i eller rundt et evt. deponi i Østgruen, men kun en innadvendt sjøvannsgradient etter deponering.
- Kort avstand til dypvannskai.

Mindre gunstige aspekter:

- Det volumet som er tatt ut ligger mellom 500 og 1100 muh, består av et kompleks nettverk av orter, sjakter og store magasin. Dette volumet er ikke sammenhengende men delt opp over fire 'blokker' som ligger fordelt over en avstand av 4-5 km fra Hovedsjakt V.
- Vertsbergartene (en blanding av granittisk gneis, amfibolitt, kalkholdige bergarter og grønnstein) inkl. betydelig innhold av sulfider har ikke gode kjemiske egenskaper med hensyn til det basiske avfallet.
- Bergartene er moderat oppsprukket og det forekommer flere forkastninger i gruen. En større forkastning (Fosdalen forkastning) skiller østgruen fra vestgruen med et vertikalt sprang på 700 m.
- Sannsynlighet for rystelser fra jordskjelv i forbindelse med seismisk aktivitet langs Møre-Trøndelagsforkastningen.
- Infrastruktur er fjernet og gruen er for det meste fylt med vann. Dette medfører store kostnader for gjenopprettelse av tilgang til gruen inkl. pumping og behandling av vannet, fjellsikring mm.

Stordø

Gunstige aspekter:

- Potensielt deponeringsvolum under havnivå.

Mindre gunstige aspekter:

- Totalt volum under havnivå er kun på ca 2 mill.m³.
- Nedlagt grue med sulfidmineralisering som er vannfylt opp til stollnivå. Vannet i gruen har en pH på ca 2,7.
- Ingen tilgang til dypvannskai i nærheten.

Glærum

Gunstige aspekter:

- Kalksteinen i Glærum grue er en forholdsvis homogen og massiv basisk bergart med gode kjemiske og fysiske egenskaper med hensyn til det basiske avfallet. Kalksteinen har ingen betydelig innhold av sulfider og har en lav-moderat grad av oppsprekning.
- God tilgang til dypvannskai.

Mindre gunstige aspekter:

- Gruen drives i dag godt over havnivå. Uttatt volum er på ca <1 mill. m³.
- Sannsynlighet for rystelser fra jordskjelv i forbindelse med seismisk aktivitet langs Møre-Trøndelagsforkastningen.

Vigsnes

Gunstige aspekter:

- Potensielt deponeringsvolum under havnivå.

Mindre gunstige aspekter:

- Totalt volum under havnivå er < 0,7 mill.m³.
- Nedlagte Vigsnes og Rødleiv gruvne med sulfidmineralisering er fylt med vann. Øvre del av Vigsnes grue er rast igjen.
- Ingen tilgang til dypvannskai i nærheten.

Tabell 9 Oppsummering av viktig informasjon for **lokaliteter som vurderes ikke aktuelle** for mulig deponi for uorganisk farlig avfall.

TEMA	BESKRIVELSE				
	Berakvam	Akselberg	Tellnes	Sløvåg	Sætrefjellet
Kommune	Suldal	Brønnøy	Sokndal	Gulen	Bremanger
Fylke	Rogaland	Nordland	Rogaland	Sogn og Fjordane	Sogn og Fjordane
Ressurs	Pukk – granitt	Mineral – kalkstein	Mineral – ilmenitt	Pukk – gneis	Pukk – sandstein
Klassifisering ressursverdi	Internasjonalt viktig	Internasjonalt viktig	Internasjonalt viktig	Internasjonalt viktig	Internasjonalt viktig
Uttak	Dagbrudd – åpen	Dagbrudd – åpen	Dagbrudd – åpen	Dagbrudd – åpen	Dagbrudd – åpen
Dagbrudd areal (ca m ²)	560 000	315 000	750 000	280 000	440 000
Beliggenhet inngang (m over havet)	25	20	240	25	425
Nær havn, avstand uttak-kai (ca km)	Ja, 0,5	Nei, 5	Nei, >5	Ja, 0,3	Nei, 2
Drift startet i	1988	1997	1960	1994	1987
Drift nedlagt i	-	-	-	-	-
I drift i 2020	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Forventet drift etter 2015 (år)	25	30	60	60-70	100
Infrastruktur fjernet	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei
Volum tatt ut v/avsluttet drift (mill. m ³)	109	30	>10	>>10	>>10
Uttatt volum under havnivå i dag	40	Nei	Nei	Liten del	Nei
Dypest planlagt nivå (m over havet)	-55	-135	?	?	?
Uttatt volum vannfylt i dag	Delvis	Nei	Nei	Delvis	Nei
Ras i uttaket	Nei	Nei	Ja	Nei	Nei
Potensielt deponivolum:					
Geometri	Krater	Krater	Krater	Krater	Krater
Vertsbergart	Granodioritt/granittisk gneis	Kalksteinmarmor	Anortositt, gabbro, noritt	Granittisk-granodiorittisk gneis	Sandstein
Betydelig innhold av sulfider	Nei	Nei	Ja	Nei	Nei
Forkastning(er)	Nei	Nei	?	Ja	?
Oppsprekningsgrad	Moderat	Lav-moderat	Moderat	Moderat	?
Volum under havnivå (ca mill. m ³)	<40	25	?	?	0
Grunnvannsgradient	Betydelig	Lav	Middels	Lav-middels	Middels-betydelig
Jordskjelv risiko (m/s ² , Figur 14)	1,0-1,1	0,7-0,8	0,6-0,7	1,3-1,4	>1,4
Landheving (mm/år, Figur 13)	0	3-4	0	0-1	0-1

Tabell 9 Oppsummering av viktig informasjon for **lokaliteter som vurderes ikke aktuelle** for mulig deponi for uorganisk farlig avfall. (forts.)

TEMA	BESKRIVELSE				
	Rødsand	Fosdalen Øst	Stordø	Glærum	Vigsnes
Kommune	Neset	Verran	Stord	Surnadal	Karmøy
Fylke	Møre og Romsdal	Nord-Trøndelag	Hordaland	Møre og Romsdal	Rogaland
Ressurs	Mineral – jernmalm	Mineral – jernmalm	Mineral – svovelkis	Mineral – kalkstein	Mineral – Cu- og svovelkis
Klassifisering ressursverdi	Lite viktig	Lite viktig	Lite viktig	Nasjonalt viktig	Lite viktig
Uttak	Gruve – under jord	Gruve – under jord	Gruve – under jord	Gruve – under jord	Gruve – under jord
Dagbrudd areal (ca m ²)	-	-	-	-	-
Beliggenhet inngang (m over havet)	0-300	25	25	100-200	10-20
Nær havn, avstand uttak-kai (ca km)	Ja, 0,1	Ja, 1	Nei, >3	Ja, <1	Nei, >3
Drift startet i	1899	1969	1865	1944	1866, 1910
Drift nedlagt i	1987 (gruve)	1997	1969	-	1972
I drift i 2020	Nei	Nei	Nei	?	Nei
Forventet drift etter 2015 (år)	-	-	-	?	-
Infrastruktur fjernet	Ja	Ja	Ja	Nei	Ja
Volum tatt ut v/avsluttet drift (mill. m ³)	5	5	2,3	<1	0,7
Uttatt volum under havnivå i dag	Ja	Ja	Ja	Nei	Ja
Dypest planlagt nivå (m over havet)	-600	-1150	-550	+10	-730
Uttatt volum vannfylt i dag	Ja	Ja	Ja	Nei	Ja
Ras i uttaket	Ja	Nei	?	Nei	Ja
Potensielt deponivolum:					
Geometri	Sjakter og stoller	Sjakter, orter, større magasin	Sjakt og stoller	Sjakt og stoller	Sjakter og stoller
Vertsbergart	Granittisk gneis, amfibolitt	Grønnstein, amfibolitt, kalkholdige bergarter, granittisk gneis	Grønnskifer (omdannet basalt)	Kalkstein og grønnskifer	Forskifret gabbro, basalt
Betydelig innhold av sulfider	Ja	Ja	Ja	Nei	Ja
Forkastning(er)	Ja	Ja, flere	Nei	Nei	Ja - 2
Oppsprekningsgrad	Betydelig	Moderat	Moderat	Lav-Moderat	Moderat
Volum under havnivå (ca mill. m ³)	<5	5	~2	0	?
Grunnvannsgradient	Middels-betydelig	Nei	Lav-Middels	Betydelig	Lav
Jordskjelv risiko (m/s ² , Figur 14)	0,5-0,6	0,6	1,2	0,5-0,6	1,0
Landheving (mm/år, Figur 13)	1-2	3-4	0	1-2	0

5. Beskrivelse av lokaliteter

5.1. Aktuelle lokaliteter

5.1.1. Dalen

Generelt

Dalen kalksteingruve ligger i Brevik ved Eidangerfjorden i Porsgrunn kommune i Telemark. Norcem AS eier og driver gruva og en sementfabrikk på et industriområde som ligger ved fjorden med direkte adgang til vei, jernbane og dypvannskai. Dalen gruve har underjordsdrift med gruveinngangen på ca 50 moh og ca 1 km fra kaianlegget. Topografien stiger vest-nordvestover fra industriområdet til en høyde av 100-145 moh rundt Dalen dagbruddet.



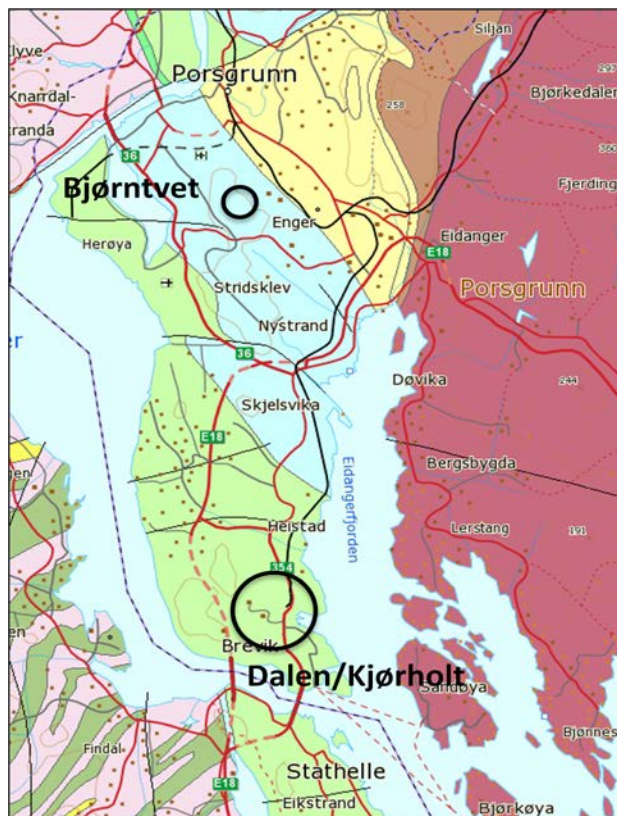
Figur 19 Kartutsnitt og luftfoto som viser beliggenhet av Dalen/Kjørholt gruve og Dalen dagbrudd i Brevik. Den røde ringen viser kollapsområdet etter raset i gruva i oktober 1976. (kilde: Kartverket).

I 1916 ble A/S Dalen Portland Cementfabrikk (DPC) etablert basert på kalkstein fra Dalen Kalksteinsbrudd i Brevik. Dagbruddsdriften fortsatte fram til 1960. Etter den tid ble det nødvendig med overgang til underjordsdrift. I 1968 fusjonerte DPC med de to andre store sementaktørene i Norge (A/S Christiania Portland Cementfabrikk på Slemmestad og A/S Nordland Portland Cementfabrik, Kjøpsvik i Nordland) og selskapet Norcem ble dannet. I 1988 overtok Norcem rettighetene til uttak av kalkstein fra Kjørholt-feltet fra Norsk Hydro. Dette resulterte i at gruvene på Dalen og Kjørholt ble slått sammen og samlet utgjør de i dag Norcems gruver på Dalen. I 1999 ble Norcem en del av Heidelberg cement group.

Produksjonen i Dalen foregår under Eidangerfjorden. I 2000 ble det produsert kalkstein fra områder 150 m utenfor strandlinjen og til et dyp på opp til 230 m under havoverflaten (Harstad, 2006). I 2015 er de dypeste rommene på kote -350 m (Norcems webside). Dalen gruver drives parallelt med Bjørntvet-forekomsten 7 km lengre nord som et dagbrudd i Porsgrunn. De mindre rene Bjørntvet-karbonater er av silur alder og benyttes som tilsats.

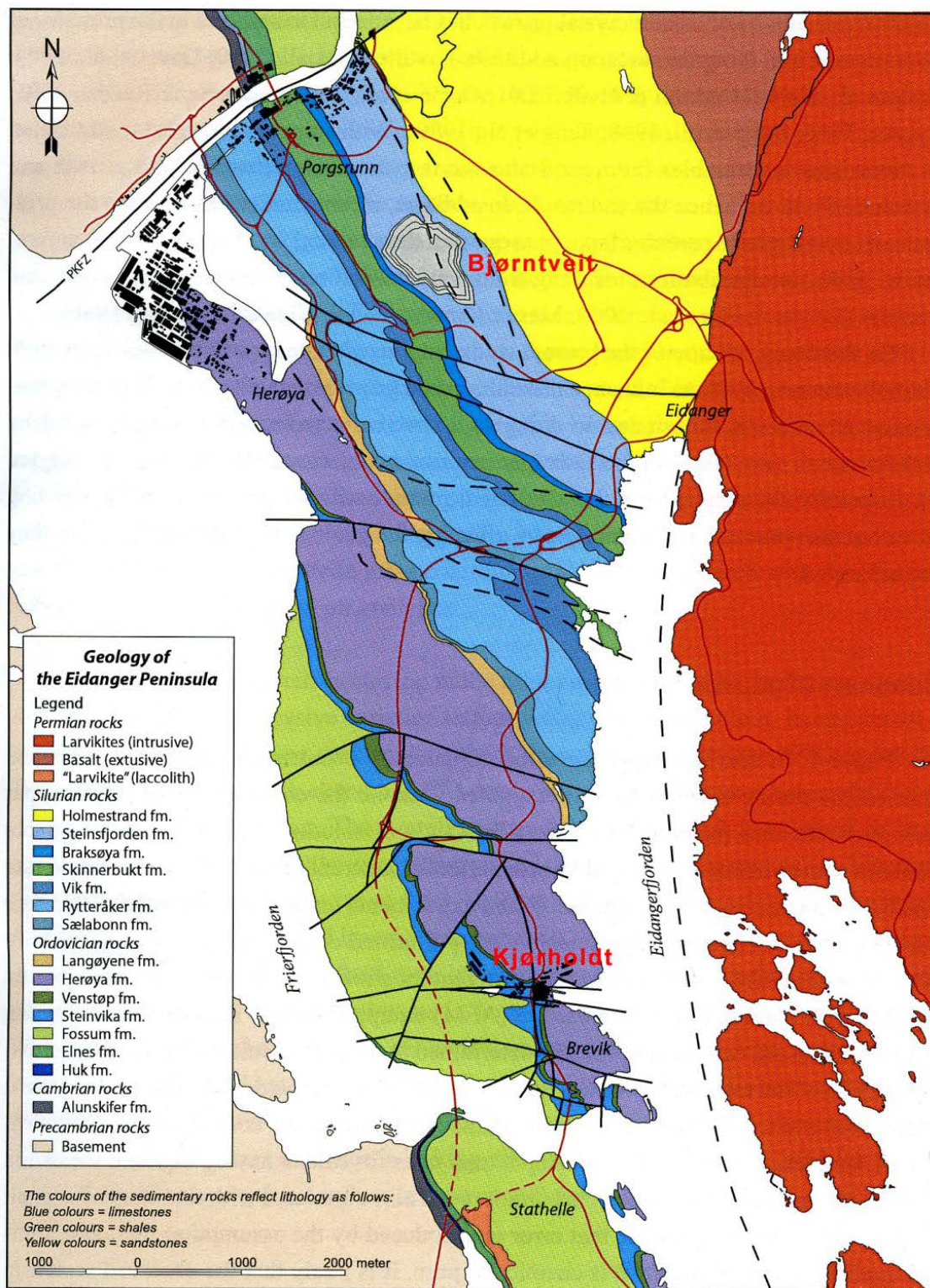
I dagbruddet ved Dalen gruve (Kjørholt område på bildet i Figur 19) er det drift på en hornfels forekomst av meget god mekanisk kvalitet. Kvaliteten sammen med at forekomsten er en viktig kilde for leveranse av byggeråstoff lokalt i Grenlands-regionen gjør at forekomsten er klassifisert som nasjonalt viktig.

Geologi



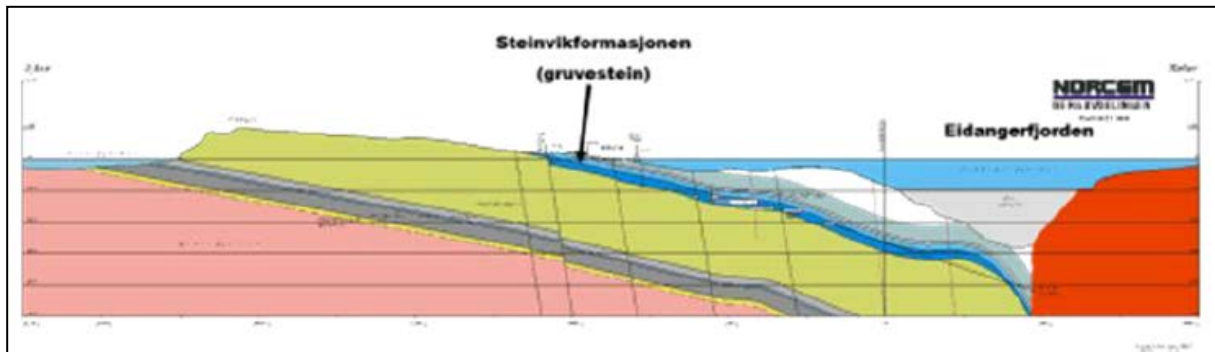
Figur 20 Berggrunnsgeologisk kart (1:250K) for Porsgrunn-Brevik område. Dalen/Kjørholt ligger i ordovisiske bergarter bestående av kalkstein og skifer (lys grønn) og Bjørntvet ligger i en enhet med silure kalksteiner og skifer (lys blå). “Brevikhalvøya” representerer den vestligste opptreden av Oslo-feltets kambro-silure bergartsserie. Kontakten mot de proterosoiske bergarter i Bamble-sektor går i Frierfjorden. Øst for Eidangerfjorden har vi larvikitt.

Gruvene på Dalen blir drevet på en høyverdig kalkstein av mellom-ordovicisk alder (ca 450 mill. år) som kalles Steinvikformasjonen (tidligere Enkrinitkalk). Steinvikformasjonen har i gjennomsnitt et CaCO_3 - innhold på 86%. Mektigheten på formasjonen er ca 40 m, hvorav de underste 30 m blir tatt ut til bruk i sementproduksjonen.



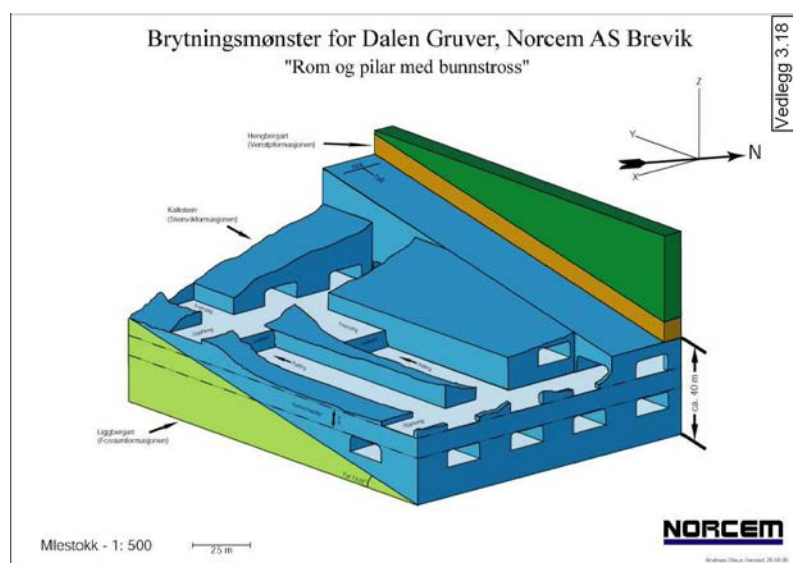
Figur 21 Berggrunnskart med forkastninger over Eidanger halvøya med Bjørntveit og Kjørholdt-Dalen gruver. Kartet er fra Figur 25 i rapporten til Gautneb 2006.

Strøket på bergarten er NNV og den heller mot øst med fall på 10 - 20 grader. De over- og underliggende bergartene er henholdsvis sorte skifre tilhørende Venstøpformasjonen (heng) og hornfels tilhørende Fossum-formasjonen (ligg). Ved Dalen opptrer Steinvikformasjonen som en grå til lysgrå, homogen og grovkornet kalkstein, med relativt lite interne strukturer. Steinvikformasjonens østlige begrensning er definert ved kontakten til de permiske larvikitt-bergartene. Forekomsten strekker seg under Eidangerfjorden. Produksjonen ved Dalen gruver skjer i dag hovedsakelig i områder under sjøen, og gruvas dypeste punkt er ca 350 m under havoverflaten. Årlig brytes det ca 1 mill. tonn kalkstein fra gruvene i Dalen, og det er antatt at reservene er tilstrekkelig for drift i 20 - 30 år fremover. Kalksteinen fra Dalen gruve går i hovedsak til produksjon av høykvalitets sement (lav-alkali sement) ved anlegget i Brevik.



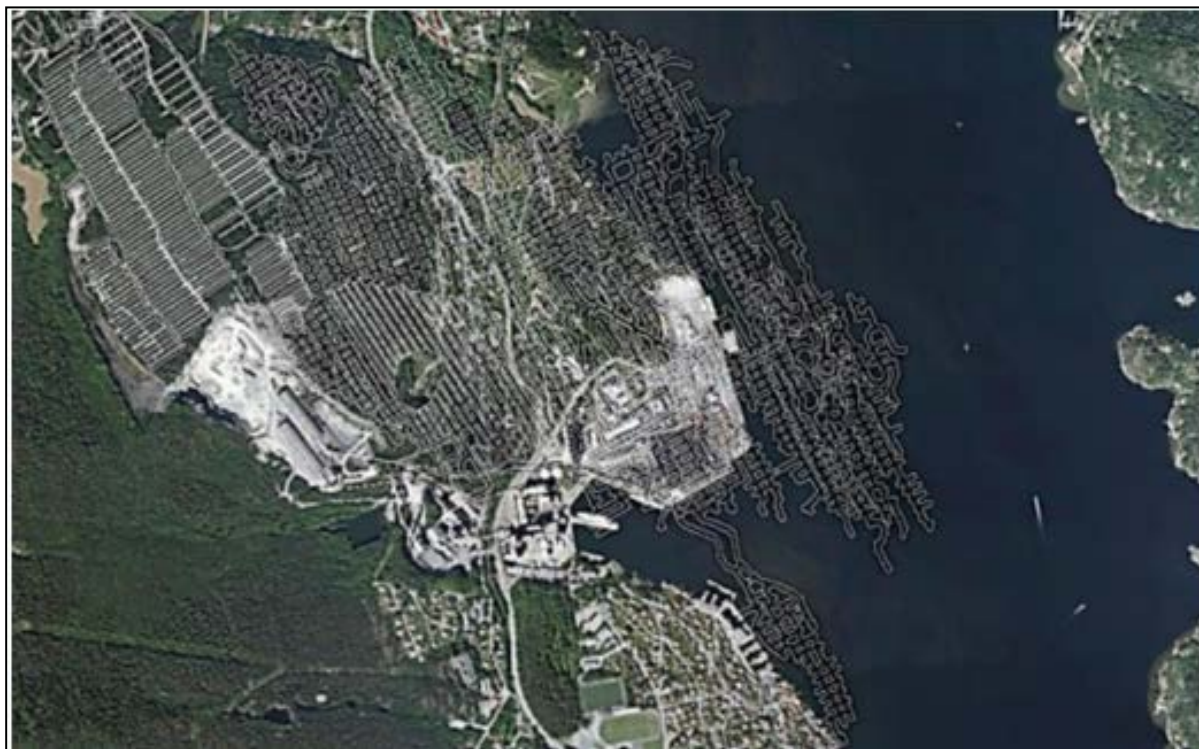
Figur 22 Geologisk profil gjennom Dalen gruve (fra www.norcem.no). Steinvikformasjonen er en mellom-ordovisisk, 40 m mektig homogen og grovkornet kalkstein. NNV strøk og 13-20° fall mot øst.

Steinvikformasjonens utbredelse mot øst er karakterisert av lavere kalkinnhold i kalksteinen, økende fall mot øst og regionale forkastninger i nærheten av kontakten med den permiske larvikitt under Eidangerfjorden. Driften foregår i dag omtrent 350 m under havoverflate og transportavstanden fra brytningsfronten til gruveinngangen er mer enn 3 km. Norcem vurderer dermed at gravedriften ikke lenger blir aktuelt om en del år på grunn av både tekniske og økonomiske aspekter. Ved avsluttet gravedrift anslås det at gruvens tilgjengelig volum for deponering under havnivå er ca 18 mill. m³.



Figur 23 Rom- og pilarmetoden som benyttes i brytning og uttak av kalkstein fra Steinvikformasjonen. De uttatte berggrommene har et tverrsnitt på 14 x 8 m.

Kalksteinsforekomsten (Steinvikformasjonen) drives i dag etter rom- og pilarmetoden med ca 30% utnyttelse av forekomsten. Denne metoden har vært i bruk etter at den tidligere uttaksmetode ('panelbryting' med ca 70% utnyttelse) førte til et ras i gruen i oktober 1976. Raset på ca 60 m dyp vises i dag som et tydelig kollaps i terrenget nordøst for inngangen til Dalen gruve (Figur 19).

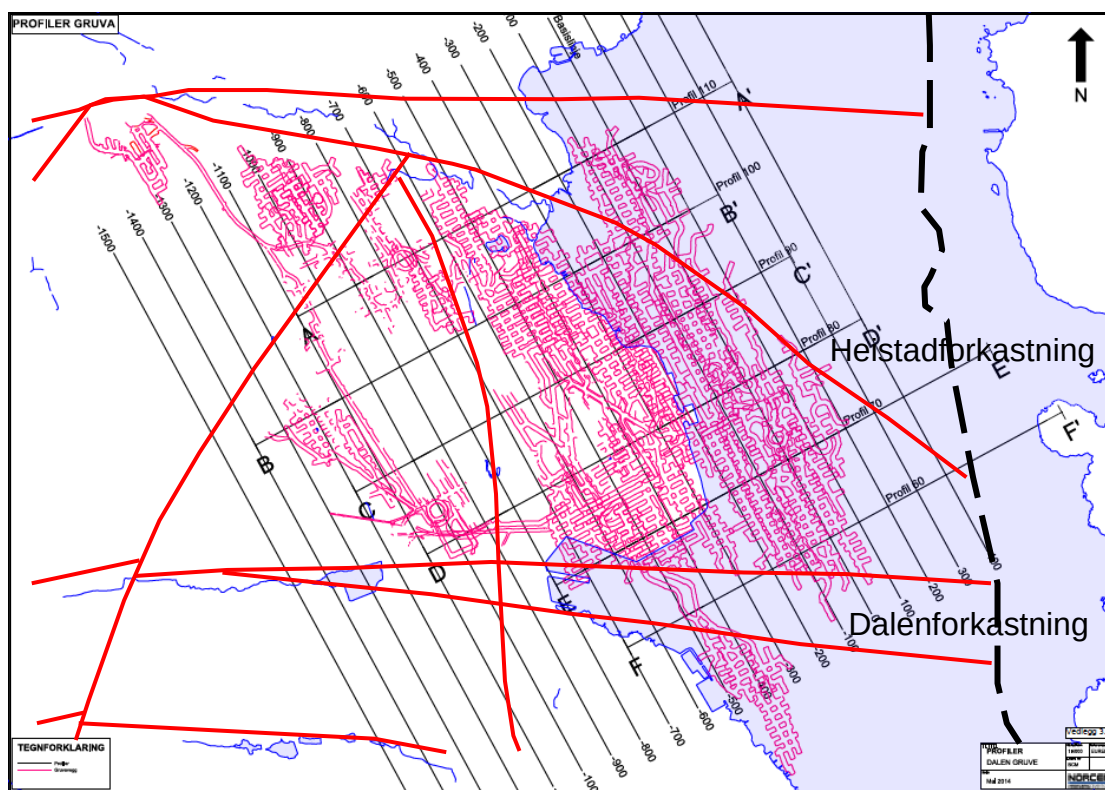


Figur 24 Flyfoto med projisert utbredelse av Dalen gruve som strekker seg mer enn 200 m utenfor strandlinjen til et dyp på opp til 350 m under havoverflaten. (fra www.norcem.no)

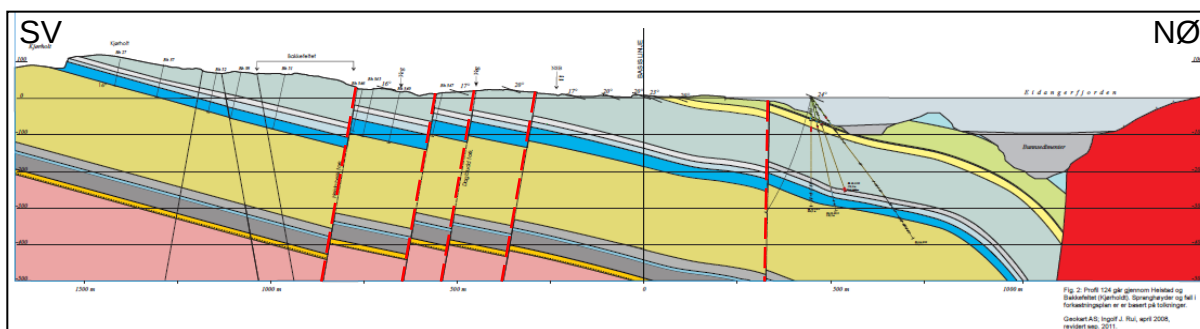
Strukturgeologi

Som det framgår av det geologiske kartet gjennomsettes halvøya utover mot Brevik av flere forkastninger der de fleste har øst-vest retning. Forkastningene har betydelige sprang slik at den opprinnelige lagfølgen blir forflyttet. Dessverre finnes svært sparsomt med skriftlige opplysninger om disse forkastningene. Harstad (2006) i sin Dr. Scient. oppgave omtaler dem som små til moderate forkastninger som alle har forkastningssprang på mindre enn 100m. Hovedforkastningene gjennom gruveområdet kommer også til syne på det geologiske profil gjennom gruveområdet vist i Figur 26, samt et tilsvarende profil vist i oppgaven til Harstad (2006) (hans Figur 14 side 106). Ut fra disse profilene får en inntrykk av at forkastningene kan høyst være noen få titalls meter store i dette området, og de fleste steder mindre, siden det ikke vises forflytninger av bergarten det forkastningene går.

Forkastningene er også kjent fra driften i gruen, og detaljerte driftsplaner som NGU har fått tilgang til (Norcem, 2012), viser også at noen av forkastningene har fått navn. Den sørligste som kommer ut ved Dalen Portland har fått navnet Dalenforkastningen, mens to forkastninger lenger nord har fått navnene Heistadforkastningen og Heistadbekkkforkastningen etter Heistad hvor de går ut i sjøen (Figur 25). Forkastningene slik de er tegnet i driftsplanene samsvarer ikke helt til slik de er tegnet på det geologiske oversiktskartet. Det er også kjent at det forekommer flere diabasganger med opptil 2 m tykkelse knyttet til forkastningene.



Figur 25 Plankart med projisert utbredelse av Dalen gruve som strekker seg mer enn 200 m utenfor strandlinjen til et dyp på opp til 350 m under havoverflaten (Norcems driftsplan for Dalen gruve). På kartet vises hovedforkastninger (røde linjer) og kontakt mot larvikitt i øst (svart stiplet linje) fra Harstad (2006) – se Figur 29.



Figur 26 Geologisk SV-NØ profil nr. 124 gjennom Heistad og Kjørholt som viser forkastninger (røde linjer) og borhull gjennom Steinvikformasjonen.

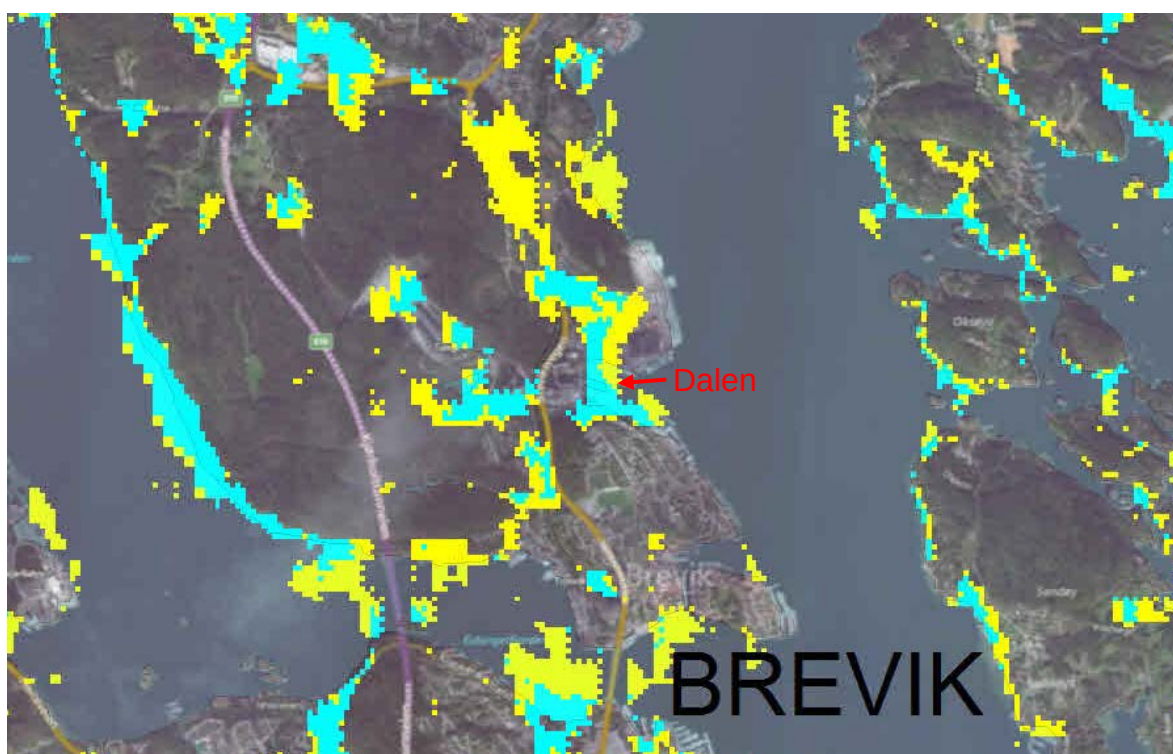
Forkastninger med retning øst-vest er relativt sjeldne i Oslofeltet der de fleste forkastninger er orientert tilnærmet nord-sør, parallelt med dannelsen av Osloriften (Gabrielsen et al. 2002). Det er derfor usikkert hva som forårsaker denne noe uvanlige retningen. Om en går vestover til det klassiske Bamblekomplekset, som er av prekambrisk alder, er det flere forkastninger med retning ØNØ–VSV der den mest kjente er Kristiansand–Porsgrunn-forkastningen (helt i nord på Figur 21). Det er også klart at det prekambriske grunnfjellet ikke ligger mange hundre meter under sedimentene som ligger på halvøya utover mot Brevik. Det kan derfor være forkastninger av denne generasjonen (ØNØ–VSV) som er blitt noe rotert. Det er antatt at disse forkastningene er av permisk alder. Om de Ø–V forkastningene som finnes utover halvøya mot Brevik er forkastninger av samme generasjon og type som de ØNØ–VSV forkastningene

lenger vest, så hevder Gabrielsen et al. (2002) at disse forkastningene generelt sett er karakterisert av duktil til sammenhengende (cohesive) sprø forkastninger i flere generasjoner.

Det finnes opplysninger om at det er knyttet lekkasjer til enkelte av disse forkastningene i forbindelse med gruvedriften. Som nevnt legger ikke Harstad (2006) særlig vekt på disse forkastningene i sin oppgave, men han nevner at en del av de dype forkastningene kan være mulige tilførsler av fluider fra de permiske intrusivene som gir innvirkning på isotopinnholdet når kalksteinen rekrystalliseres.

Dypforvitring

Aksomhetskartet for dypforvitring for området rundt Dalen gruve tyder på sannsynlighet for dypforvitring over deler av gruen (Figur 27). Dette må dog undersøkes nærmere på lokaliteten for å eliminere mulige effekter av selve gruen eller av gruvevirksomhet på de geofysiske observasjonene.



Figur 27 Aksomhetskart for dypforvitring i området omkring Dalen gruve i Brevik. De lysblå områdene indikerer størst sannsynlighet og de gule områder indikerer mindre sannsynlighet for dypforvitring.

Hydrologiske forhold

De hydrologiske og hydrogeologiske forholdene i nedbørsfeltet til Dalen gruver er sterkt påvirket av tidligere dagbrudd samt store sammenhengende underjordiske tunneler og gruveåpninger med betydelig horisontal utbredelse. Sentralt i nedbørsfeltet er det også et større rasområde fra 1970-tallet forårsaket av uforsvarlig gruvedrift, og som førte til bergmekanisk overlast av bergpilarer og kollaps av gruverom og brudd helt opp i dagen. Som følge av tidligere og pågående anleggsaktivitet er det uklart hvor stor andel av nedbøren som renner direkte inn i gruveåpninger og rasområdet og hvor stor andel som naturlig infiltrer grunnen.

Av hydrologisk betydning for infiltrasjon av nedbør, overflatevann og grunnvann inn i gruvesystemet er de subvertikale hovedforkastningene, tilhørende subparallelle forkastninger

og sprekker som er kartlagt på overflate og i gruen (Figur 26). I tillegg kan det forekomme infiltrasjon inn til Steinvikformasjonen gjennom karstsystemet (grotter) som ligger i denne kalksteinen i den nordlige delen av gruveområdet langs Heistadforkastningen, både over og under havnivå (Figur 29). Betydningen av grottene for infiltrasjon og bevegelse av grunnvann må videre undersøkes og utredes med hensyn til eventuell bruk av Dalen gruve til deponi.

Topografien rundt Dalen gruve stiger fra havnivå ved industrianlegget opp til 100-145 moh mot vest-nordvest rundt Dalen dagbrudd. Denne topografien medfører en hydraulisk gradient i fjellet ned mot havnivå og ut mot Eidangerfjorden i øst. Bergartsekvensen består her av, fra øverst til nederst, leirskifer (Venstøpformasjonen), kalkstein (Steinvikformasjonen) og knollekalk-hornfels (Fossumformasjon). Disse bergartene er forholdsvis massive og tette, men viser både lagdeling og oppsprekking (Figur 28) slik at bergartene kan forventes å ha en hydraulisk konduktivitet som varierer en del. Numerisk hydrogeologisk modellering er anbefalt for å vurdere nærmere de hydrauliske forholdene og grensen mellom ferskvann (grunnvann) og saltvann (sjøvann) i et eventuelt deponi i Dalen gruve. Sannsynligvis spiller bidraget fra grunnvann en neglisjerbar rolle i forhold til den innadvendte hydrauliske gradienten fra sjøvann i den delen av Dalen gruve som ligger under havnivå når den er fylt igjen som deponi.

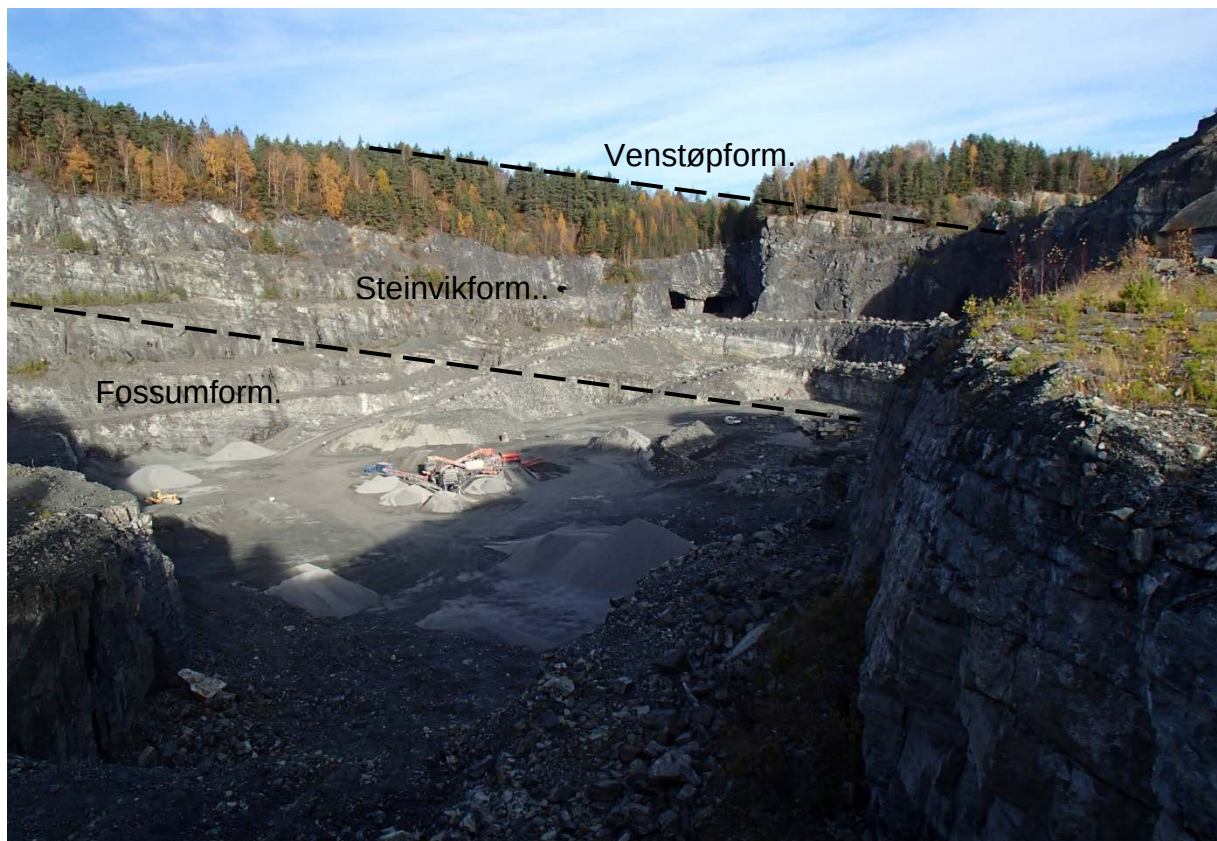
Det ble 23.10 gjennomført en befaring i Norcems anleggsområdet samt Dalen steinbrudd og Dalen gruve sammen med representanter fra Norcem. Som følge av tidsbegrensninger ble kun noen utvalgte områder befart. Ut fra observasjoner under befaringen framsto bergmassene generelt som massive, kompetente og med liten oppsprekning, og det ble ikke registrert innlekkasje av grunnvann av betydning. Unntaket fra dette generelle inntrykket er de få tilfellene der tunneler og gruverom krysser større forkastninger som gir økt oppsprekning av bergmassen og i noen tilfeller også innlekkasje av grunnvann. I disse forkastningssonene er det gjennomført systematisk sikring med fjellbolter, sprøytebetong og sementinjeksjon for å øke stabiliteten og redusere innlekkasje av grunnvann.

De største utfordringene med innlekkasje av grunnvann har vært registrert i den sørlige delen av gruveområdet i drift opp mot og krysning av Dalen-forkastningen på nivå ca -130, der det også forekommer flere mindre N-S gående sprekker og diabasganger. Vannet fra disse forkastningene og sprekkeene var preget av høyt saltinnhold noe som tyder på innlekkasje av overliggende sjøvann. Mindre innlekkasje av vann ble også registrert i den nordlige delen av gruen ved krysning av Heistad- og Heistadbekkforkastningene med tilhørende subparallel forkastninger og sprekker. Vannet som lekker inn fra sistnevnte forkastningene og sprekkeene har et lavt innhold av salt (befaring hos Norcem 23.10.2015) noe som tyder på at dette er hovedsakelig innlekkasje av grunnvann.

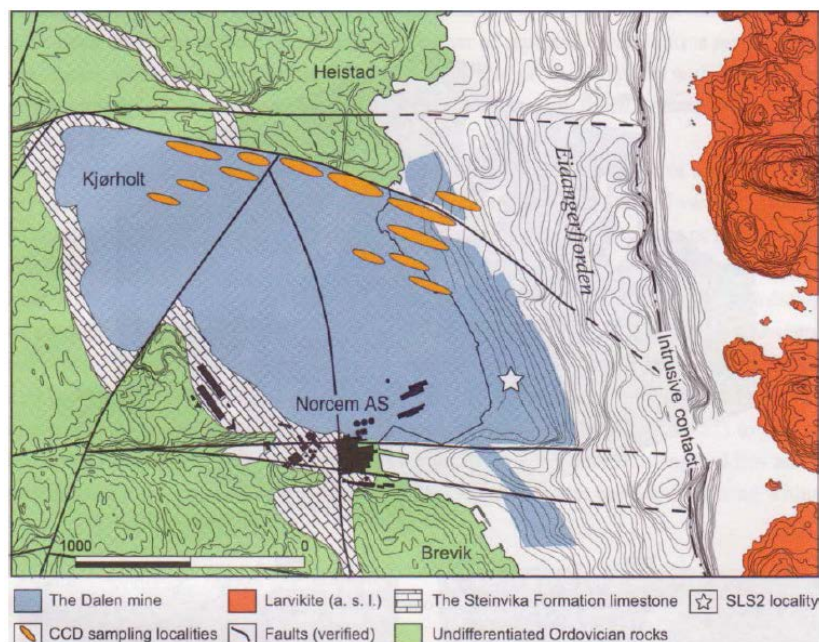
Det pumpes i dag ut vann fra gruvesystemet fra flere nivåer, og mest fra de øverste pumpestasjonene som er betydelig påvirket av innlekkasje av nedbør gjennom gruveåpninger og innlekkasje av infiltrert nedbør. Registrering av vann pumpet ut fra de ulike nivåer i gruva viser at innlekkasje av grunnvann er gjennomgående mindre i de dypere deler av gruen.

NGI har på oppdrag fra NOAH utført en miljørisikovurdering i forbindelse med deponering av farlig avfall i Brevik (NGI, 2015). I den forbindelse er det gitt hydrogeologiske vurderinger som er relevant for selve driftsfasen av avfallsdeponeringen men også etter av den operative driftsfasen er avsluttet. Disse faglige vurderingene er basert på et omfattende geologisk grunnlagsmateriale fra driften Kjørholt/Dalen gruver. I tillegg er det gjennomført egne målinger av vannmengder som pumpes ut av gruvesystemet, registreringer av punkt-kilder for

innlekkasje av vann samt noen registreringer av vannkjemi på innlekket vann. Basert på informasjon gjort tilgjengelig gjennom studien fra NGI, samt NGUs egne observasjoner kombinert med geologiske og hydrogeologisk faglige vurderinger, fremstår Dalen gruver som velegnet til deponi for farlig avfall.



Figur 28 Bilde mot nord av Dalen dagbrudd viser lagdeling og fall mot NØ av de tre bergartsformasjoner i området. I nordenden sees inngangen til gamle Kjørholt gruve.



Figur 29 Geologisk kart fra Harstad (2006) som viser forkastninger, kontakt mot larvikitt i øst og grotter (oransje ellipser).



Figur 30 Grotter i kalkstein tilhørende Steinvikformasjonen i nærheten av Heistad. (kilde Erik Jonsson; www.mindat.org).

Det bør fremskaffes en bedre oversikt over omfanget av innlekkasje av vann gjennom rasområdet, åpne gruveganger og de dagnære tunneler og bergrom, for å iver sette tiltak for å redusere innlekkasjen av vann i gruvesystemet. Det anbefales at det ikke deponeres farlig avfall over kote 0 samt at det resterende åpne gruvesystemet etter avsluttet deponering holdes drenert. Dette for å forhindre oppbygging av et fritt vannspeil i gruvesystemet over deponinivå som kan resultere i en hydraulisk gradient gjennom det deponerte avfallet og mulig lekkasje av forurensninger ut i sprekkesystemer i omliggende bergmasser.

Deponi

Dalen gruve vurderes som aktuell nå for videre utredning til mulig deponi for uorganisk farlig avfall på grunn av følgende aspekter:

Gunstige aspekter:

- Kalksteinen i Dalen gruve er en forholdsvis homogen og massiv basisk bergart med gode kjemiske og fysiske egenskaper med hensyn til det basiske avfallet. Kalksteinen og sidebergartene inneholder ikke betydelige mengder av sulfider og har en lav grad av oppsprekning.
- Dalen gruve har et volum til deponering på >10 mill. m^3 som ligger godt under havnivå. Dette volumet vil forbli under havnivå også ved forventede endringer i forholdet mellom landheving og havnivå på lang sikt.
- Et oppfylt deponi vil ha en innadvendt hydraulisk gradient, mens de lokale forholdene (topografi; bergartenes hydraulisk konduktivitet) gir en lav grunnvannsgradient nær overflaten.
- Forkastningene registrert i gruen er forholdsvis tette og kalksteinen er selvtettende i kontakt med grunnvann.
- Kort avstand til dypvannskai.

Mindre gunstige aspekter:

- Lokalisering i den seismisk aktive Osloriften og frekvensen av forkastninger i, og i nærheten av, gruen.
- Omfattende gruvevirksomhet med mange åpninger mot dagen krever omfattende tetting mot infiltrasjon av overflatevann.
- Avgassing fra avfallet under deponering kan bli potensielt utfordrende i denne dype og komplekse gruen, særlig hvis avfallet har en mer kompleks sammensetning (for eksempel innblanding av NORM-avfall).
- Sannsynlighet for dypforvitring over Dalen gruve må avklares nærmere.

5.1.2. Rekefjord Øst

Generelt

Rekefjord pukkverk ligger sør for tettstedet Rekefjord ved sørenden av Rekefjorden i Sokndal kommune i Rogaland. Se Figur 1 for lokalisering. Rekefjord Stone AS eier og driver to brudd på øst- og vestsiden av Rekefjord og et industriområde med knuse-/sikteverk og dypvannskai. Dagbruddet på østsiden (Rekefjord Øst) ligger på neset mellom Rekefjord og Hellevik, og innbefatter to forekomster, kalt henholdsvis Vallnes og Vedåsen. Det drives på en bergart med produksjonsnavn 'noritt' (Figur 8 og 36). Rekefjord Øst har direkte adgang til vei og dypvannskai. Topografien for Vallnes området er forholdsvis flat med maks. høyder opptil ca 30 moh, og mellom dette området og Vedåsen ligger det et NNV-SSØ forsenkning i terrenget som ender i Løgevig langs Hellevik. Et lavtliggende område finnes også mellom Vallnes og Varåsen mot nord. Varåsen og Vedåsen har maks. høyder av henholdsvis 101 og 115 moh.

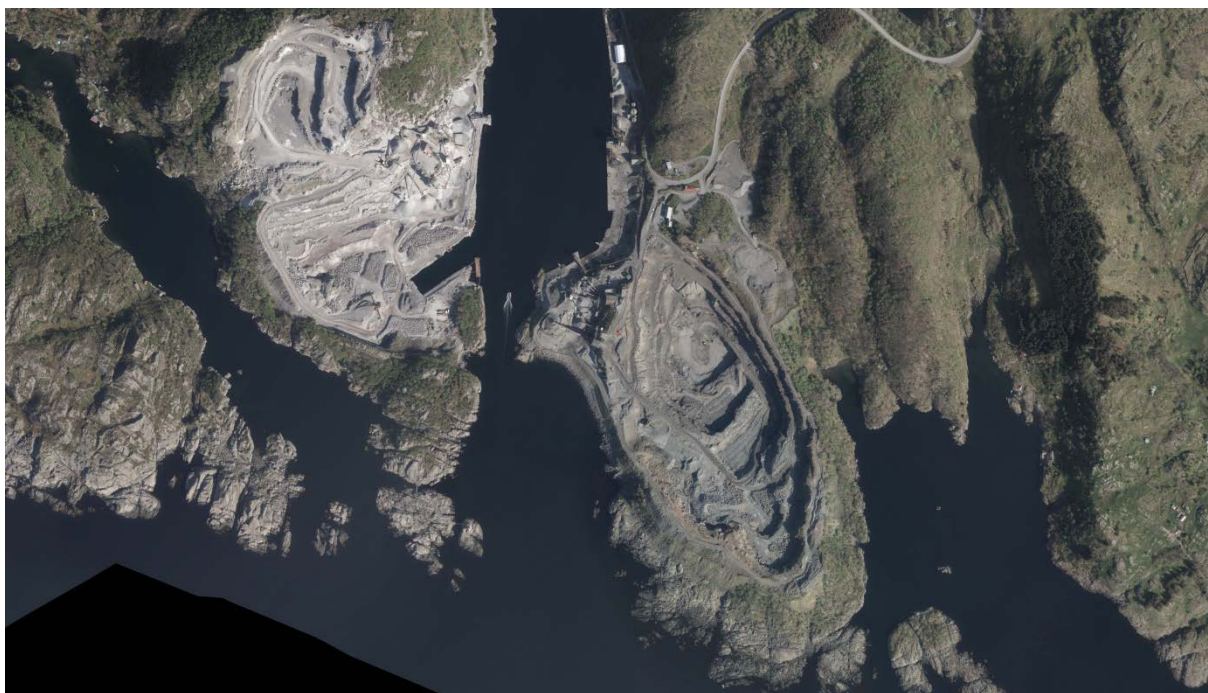


Figur 31 Oversiktskart over Rekefjord pukkverk (grå farget område) med to forekomster av noritt (Vallnes og Vedåsen) som utgjør Rekefjord Øst. (kilde: Kartverket).

Drift av pukkverk i Rekefjorden ble startet i 1964. Rekefjord Stone AS ble stiftet i 2006 og i 2008 overtok Rekefjord Stone AS eierskap og driften av Rekefjord Vest. Rekefjord Stone AS er i dag eid 50% av det svenske konsernet Thomas Cement Ab og 50% av det sveitsiske firmaet Hertig Natursteine.

Vallnes forekomsten drives som dagbrudd og store deler av bruddet er under havnivå. En stor andel av dagens produksjon eksporteres og forekomsten er klassifisert som internasjonalt viktig.

Gjenværende reserver for Vallnes er per 2014 på ca 2.5 mill. m³ og ligger under havnivå. Dagbruddet har et areal på ca 155 000 m². Driftsplanen er basert på uttak fra dagens nivå på -33 m ned til dybdekote -47 m, som ved et grovt overslag gir et volum på ca 6 mill. m³ under havnivå. Totalt disponibelt volum for gjenfylling er på ca 7 mill. m³. Noe avhengig av årlig produksjonsvolum vil Vallnes kunne være utdrevet i løpet 2020-21. Etter Vallnesbruddet er ferdig utdrevet flyttes uttaket til Vedåsen (se Figur 34).

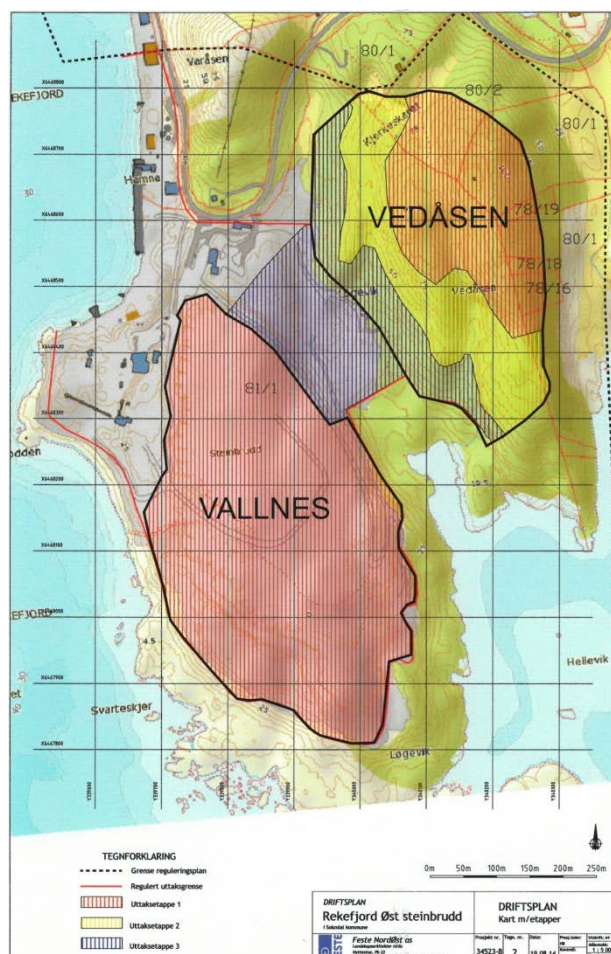


Figur 32 Oversiktbilde over Rekefjord pukkverk (øverst) og detaljbildet over Rekefjord Øst dagbrudd (nederst). (kilde: Kartverket).

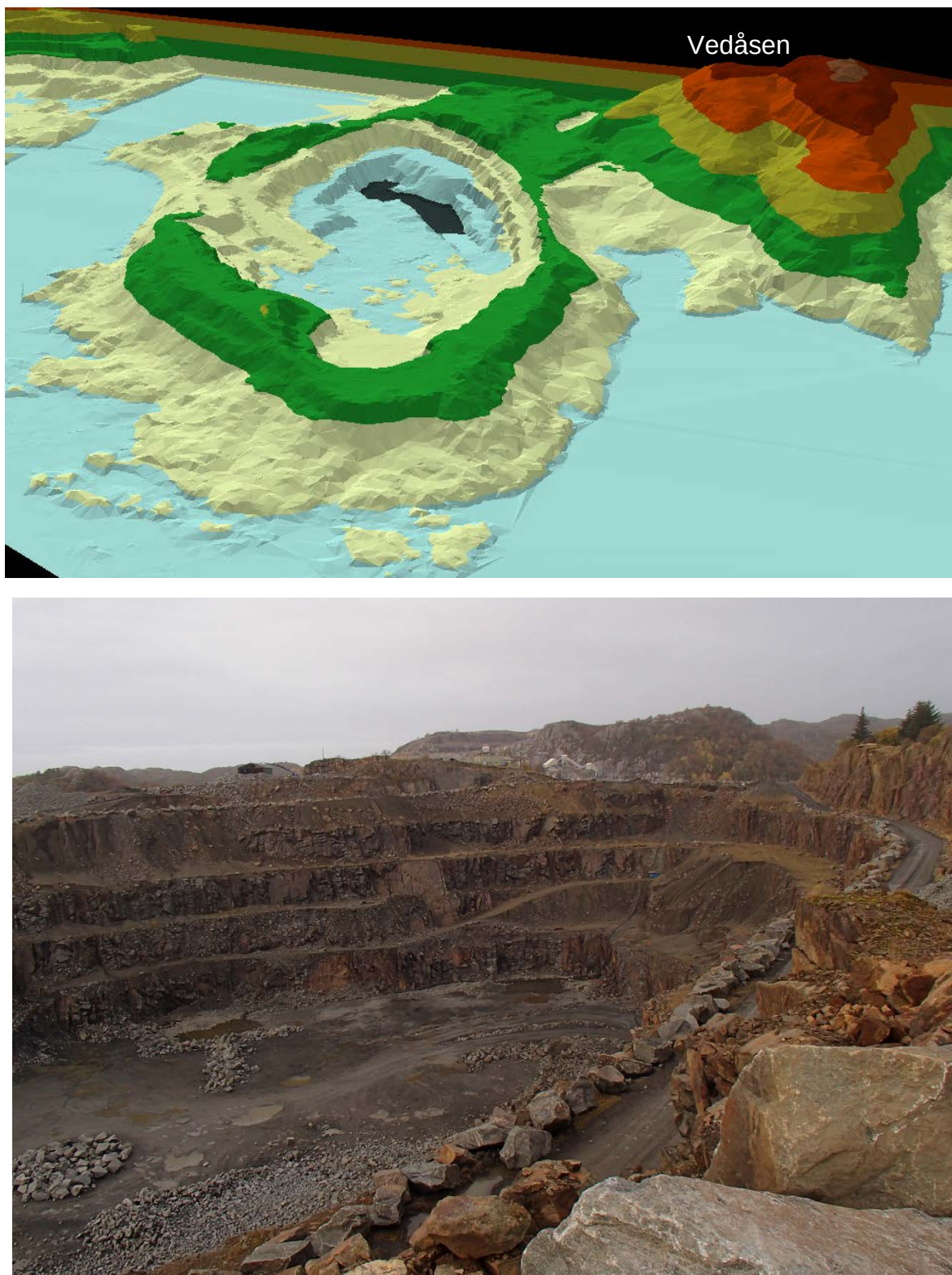


Figur 33 Bildet tatt fra Rekefjord Vest mot Rekefjord Øst viser dagbruddet på Vallnes forekomsten. (kilde: webside til Rekefjord Stone AS).

Figur 34 Kartfigur fra Rekefjord Stones driftsplan for Rekefjord Øst som viser de tre planlagte uttaksfaser på noritt-forekomsten.



Fremdriften for uttak av bergarten fra Vallnes dagbruddet vises godt i Figur 35 med to bilder fra henholdsvis 2009 og 2015.



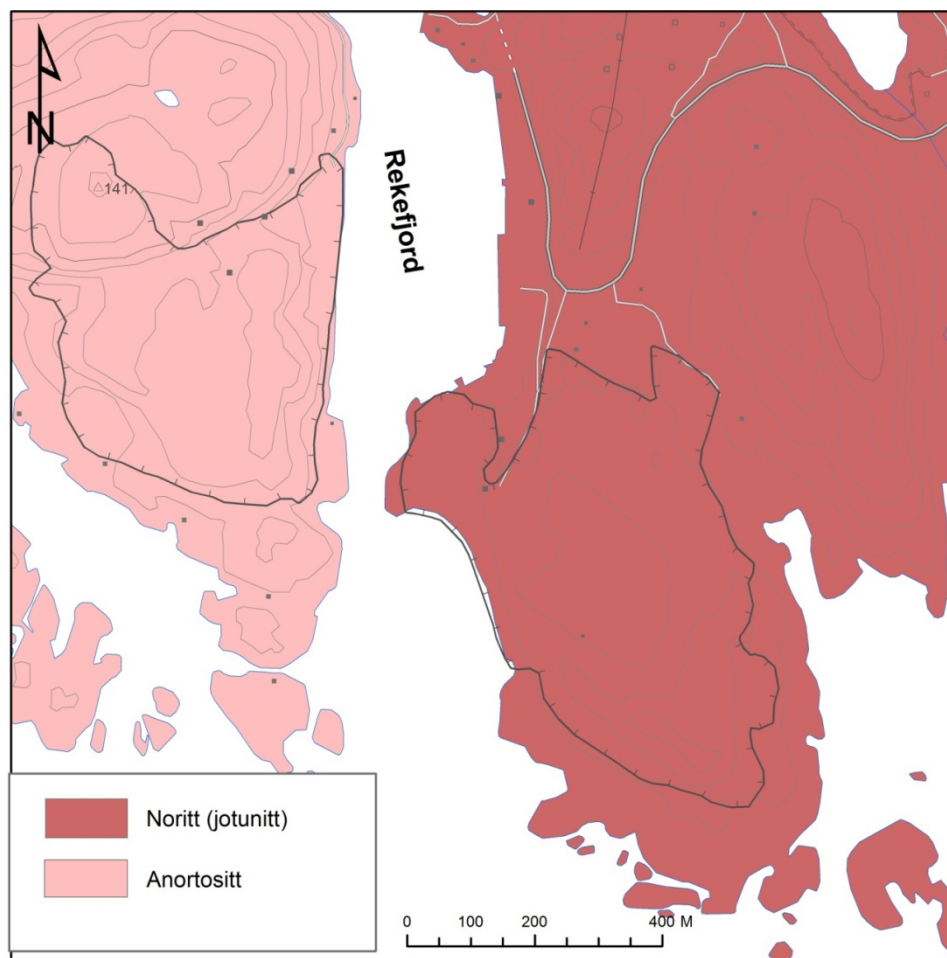
Figur 35 Det øverste bildet viser en høydemodell basert på laserdata fra 2009 over Vallnes og Vedåsen. Det nederste bildet ble tatt i oktober 2015 og viser dagbruddet på Vallnes med laveste nivå på kote -33 m. (Lidardata fra Kartverket).

Geologi

Kartet over Rekefjord pukkverk i Figur 36 er et utsnitt fra berggrunnskartet 1311-IV Sokndal i målestokk 1:50 000 (Marker 2013). Det blir utvunnet pukk fra et brudd på vestsiden av fjorden, der bergarten er ulike typer anortositt, mens det aktuelle bruddet på østsiden av fjorden består av en spesiell type gabbrolignende bergart som på fagspråket kalles jotunnitt eller monzonoritt. Det er en bergart som domineres av plagioklas, men har noe kalifeltspat og minimalt med kvarts. Det karakteristiske mørke mineralet er hypersten. Det er en av de seneste intrusjonene i Rogaland anortosittprovins og blir gjerne kalt Eia-Rekefjord Intrusjonen. Den er beskrevet av Marker et al. (2004) på følgende måte:

Intrusjonen opptrer først og fremst langs kontakten mellom den sørlige del av Bjerkreim-Sokndal Intrusjonen (Sokndal loben) og de underliggende Hellenen og Åna-Sira Anortositene, men skjærer (intruderer) også kvartsmangerittene på toppen av Bjerkreim-Sokndal Intrusjonen. Mindre legemer av antatt beslektet jotunnittisk bergart finnes i den østlige Mydland lobe og i Apofyse-intrusjonen. Jotunnitten i Eia-Rekefjord Intrusjonen er generelt mellomkornet og meget monoton.

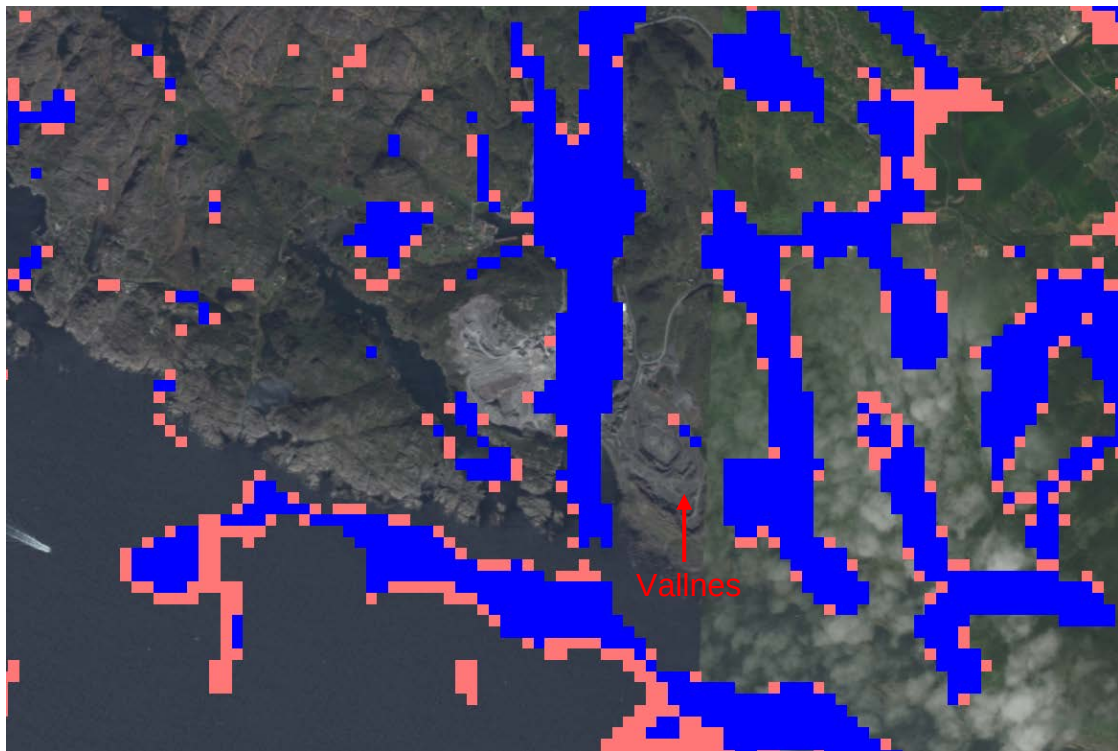
Bruddet i øst ligger innenfor en sone med middelskornet (1-5 mm) monzonoritt. Bergarten er forvitret i overflaten til 1-2 m dyp. Bergarten er massiv med en N-S'lig orientering, med moderate oppsprekning og med en orientering av hovedsprekker i retningene NV-SØ og SSV-NNØ. Det er ingen større forkastninger registrert i og rundt Vallnes bruddet.



Figur 36 Geologisk kart (NGUs Nasjonal Berggrunnsdatabase) over Rekefjord pukkverk der omrisset på bruddene er markert (Kartverkets data).

Dypforvitring

Aksomhetskartet for dypforvitring for området rundt Rekefjord viser ingen antydning på dypforvitring over Vallnes dagbrudd (Figur 37). Den blå sone gjennom fjorden mellom Rekefjord Vest og Øst kan være en artefakt.

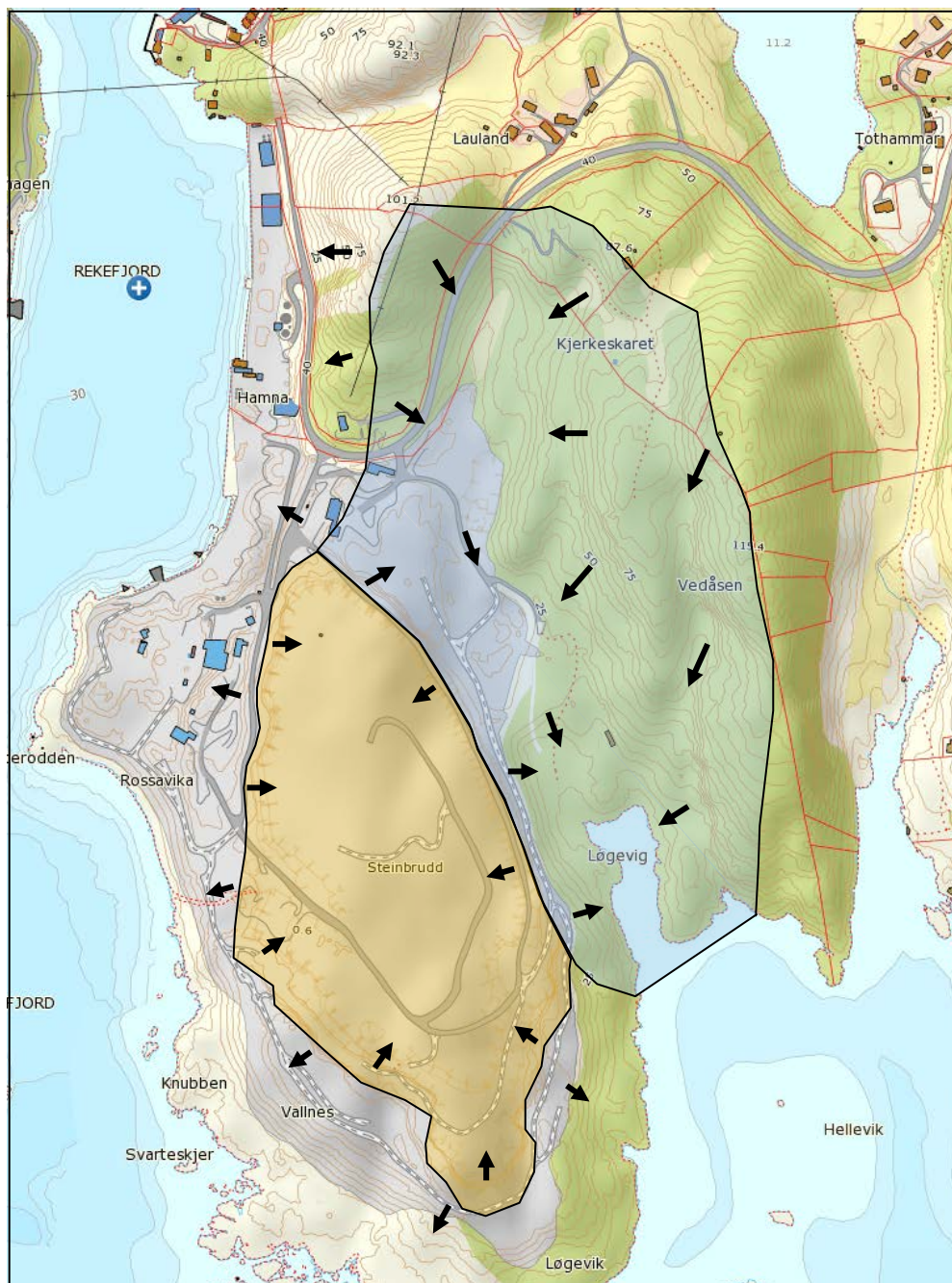


Figur 37 Aksomhetskart for dypforvitring rundt Rekefjord og dagbruddet på Vallnes. De blå områdene indikerer størst sannsynlighet og de rosa områdene indikerer mindre sannsynlighet for dypforvitring.

Hydrologiske forhold

Beliggenheten til steinbruddet i en åsrygg, på et nes ut i sjøen, gjør at bruddet har et meget begrenset nedbørsfelt og potensielt tilstrømningsområde for overflatevann (Figur 38). Gitt denne plassering, samt dagens utforming av steinbruddet, vil det bare være nedbør som faller innenfor steinbruddets grenser som bidrar til tilførsel av overflatevann. Infiltrasjon av nedbør i grunnen gjennom sprekker i omliggende bergmasser til steinbruddet kan gi et noe større tilstrømningsområde og et lite ekstrabidrag til vannfluksen inn i steinbruddet. Men selv ved betydelig oppsprekking vil dette være ubetydelig. Normalen for årlig nedbørsmengde for Jøssingfjord (ca 5 km øst for Rekefjord) i Sokndal kommune er ca 1 700 mm med hoveddelen om høsten.

Det er i Figurene 39 og 40 vist bilder av steinbruddet og fjellskjæringene i nedre del av bruddet som tydelig viser den tettheten av oppsprekning i bergmassene samt hovedretning på de dominerende sprekkeretninger. Sprekkefrekvens og sprekkorientering i fjellskjæringene vil være noe påvirket av sprengningsaktiviteten, men de opprinnelige hovedsprekkeretninger trer likevel tydelig fram. Det er ikke utført noen systematisk sprekkeregistrering men ut fra visuell bedømmelse varierer sprekkerekvensen langs fjellskjæringene fra lav til moderat. Orientering og den moderate frekvensen av sprekker gir en tilnærmet kubisk blokkdannelse av utsprengte masser. Det registreres også utfelling av sekundærmineraler som jernhydroksid (rust) på primære sprekkflater i bergmassene. Det er ikke registrert noen større forkastninger eller svakhetssoner i eller i nærområdet til steinbruddet.



Figur 38 Nedbørsfelt for Rekefjord Øst som viser adskilte nedbørsfelt for området Vallnes – Vedåsen. Retning for avrenning av nedbør er skjematisk fremstilt med svarte piler. (Kartgrunnlag fra Kartverket).

Det ble i forbindelse med befaringen registrert et vannspeil i bunnen av steinbruddet, og det er etablert en pumpe-sump i nordenden av bruddet for oppsamling og utpumping av overflatevann til overløp mot sjø. I følge operatøren Rekefjord Stone registreres det ikke per i dag når det pumpes eller hvor mye vann som pumpes ut, men det oppgis at behovet for å pumpe vann ut av bruddet hovedsakelig er styrt av nedbør. Det er heller ikke gjennomført noen analyser av utpumpet vann men operatøren hevder at vannet i pumpe-sumpen til tider er saltvannspåvirket, som kommer mest sannsynlig fra nedbør påvirket av sjøsprøyt.

Det ble under befaringen ikke registrert noen tydelig innlekkasje av vann i steinbruddet men kun fukting av enkelte bruddflater i fjellskjæringene. På grunn av betydelige nedbørsmengder i dagene før befaringen ble gjennomført, var det ikke mulig å avgjøre om dette skyldes lokal vanntransport gjennom overflatenære sprekker i selve bruddet eller innlekkasje fra et større område. Det er heller ikke mulig å avdekke eventuell innlekkingen av vann gjennom sålen da denne er dekket med et bærelag av pukk.

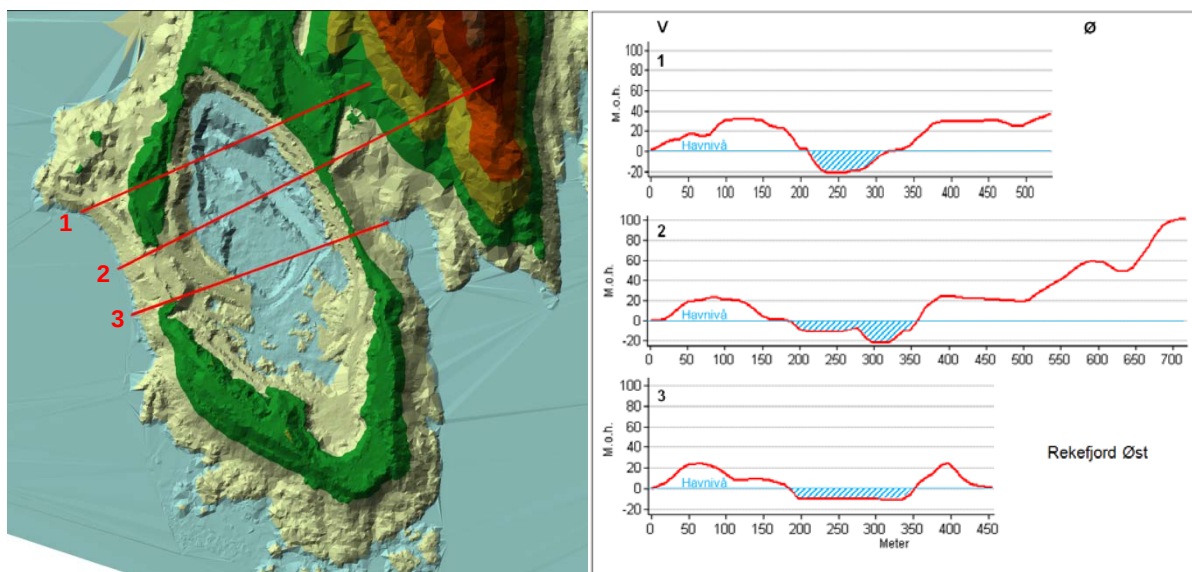


Figur 39 Bilde av oppsprukket massiv monzonoritt i østveggen av Vallnes dagbrudd.

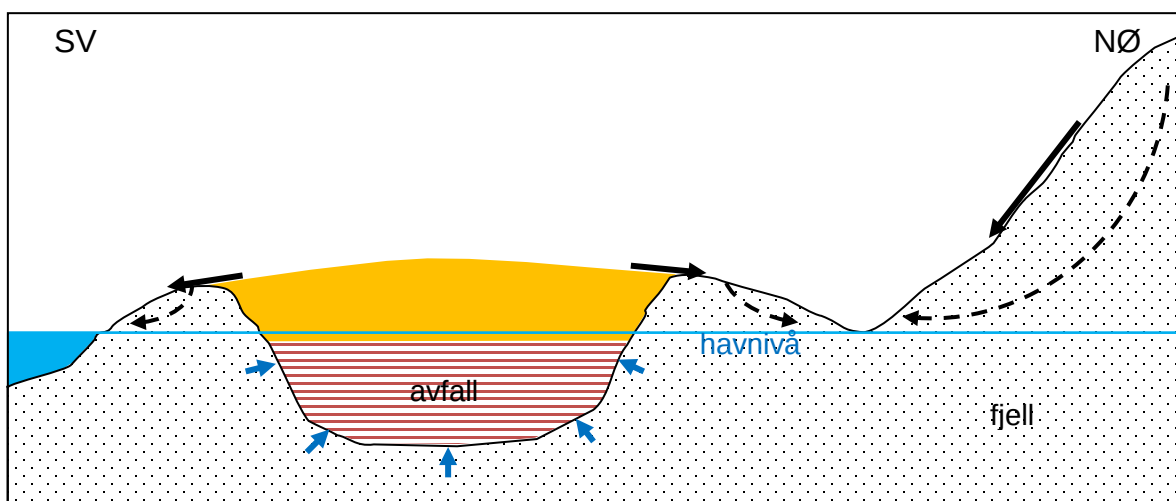


Figur 40 Bilde mot NV viser den dypeste delen av bruddet på dagens nivå -33 m i Vallnes dagbrudd med moderat oppsprukket massiv monzonoritt i vestveggen. Vannet i bruddet kommer i all hovedsak fra nedbør.

Det er i Figur 41 vist en terrengmodell samt tre høydeprofiler gjennom steinbruddet basert på Lidardata fra 2009. Disse fremstillingene viser tydelig det begrensede nedbørsfeltet til mulig framtidig deponi samt uttatt volum mellom havnivå og bunn av massetaket. Dette volumet vil være betraktelig større når masseuttaket avsluttes i 2020-21.



Figur 41 Til venstre: detaljkart med høydemodel basert på laserdata (Lidardata (2009) fra Kartverket) og som viser plassering av tre vest-øst høydeprofiler gjennom Rekefjord Øst dagbrudd. Til høyre: tre høydeprofiler.



Figur 42 Skissen viser en skjematisk profil gjennom et deponi i Vallnes dagbrudd og forholdene til overflate-/grunnvann (svarte hele/stiplete piler) og sjøvann (blått). Avfallet i deponiet er plassert under havnivå for å unngå hydrauliske gradienter gjennom eller i nærheten av avfallet. De små blå pilene representerer hydraulisk trykk av sjøvannet inn mot deponiet, noe som fører til at avfallet forblir vannmettet over tid.

Figur 42 viser skjematisk overflateavrenning i nedbørsfeltet etter avsluttet deponering og overflatetildekking, samt hydrauliske gradienter rundt deponerte masser kort tid etter avslutning av et deponi i Vallnes dagbruddet. Hvor raskt deponerte masser vannmettes, og gradientforskjellen mellom deponerte masser og omliggende havnivå utliknes, vil være gitt av

permeabilitet til de deponerte massene og omliggende bergmasser samt hydraulisk kommunikasjon med omliggende hav.

Det generelle inntrykket etter befaringen er at berggrunnen i området framstår som mekanisk sterk, moderat oppsprukket og med lav permeabilitet. Nærhet til omliggende sjø, en bruddsål som i dag ligger på kote 33 muh samt liten innlekkasje av sjøvann, viser at bergmassene i området har meget lav vannføringsevne. Til tross for dette vil ikke vertsbergarten, spesielt i fjellskjæring, ha tilstrekkelig lav permeabilitet til å etterkomme de *sensu stricto* krav gitt i deponiforskriften til å utgjøre en naturlig geologisk hydraulisk barriere. Det er også usikkert hvordan innlekkasje av sjøvann vil utvikle seg med videre drift av bruddet ned til avslutning på 47 muh.

Deponi

Rekefjord Øst vurderes som aktuell nå for videre utredning til mulig deponi for uorganisk farlig avfall på grunn av følgende aspekter:

Gunstige aspekter:

- Monzonoritt i Vallnes dagbrudd er en massiv basisk bergart med gunstige kjemiske og fysiske egenskaper med hensyn til det basiske avfallet. Det er ikke registrert betydelig innhold av sulfider i tilknytning til forekomsten på Vallnes.
- Vertsbergarten har en moderat grad av oppsprekning, det er ikke registrert forkastninger i eller i nærheten av Vallnes dagbrudd. Det er ikke registrert innlekkasje av sjøvann inn i dagbruddet.
- Ingen antydning til sannsynlighet for dypforvitring over Vallnes dagbrudd.
- Relativt lavt forhold mellom tildekkingsareal og avfallsvolum.
- Dagbruddet på Vallnes vil ha et volum på ca 6 mill. m³ under havnivå til deponering av avfall. Ved vesentlig stigning av havnivå vil hele deponiet ligge under havoverflaten på lang sikt.
- Dagbruddet ligger for det meste på en halvøy med lav topografi og et meget begrenset nedbørsfelt, slik at deponeringsvolumet vil kun bli utsatt for en innadvendt hydraulisk gradient fra havet.
- Et åpent dagbrudd er gunstig med hensyn til avgassing fra avfallet under og etter deponering. God mulighet for evt. ventilering av radon fra avfall med innblandet NORM.
- Kort avstand til dypvannskai.

Mindre gunstige aspekter:

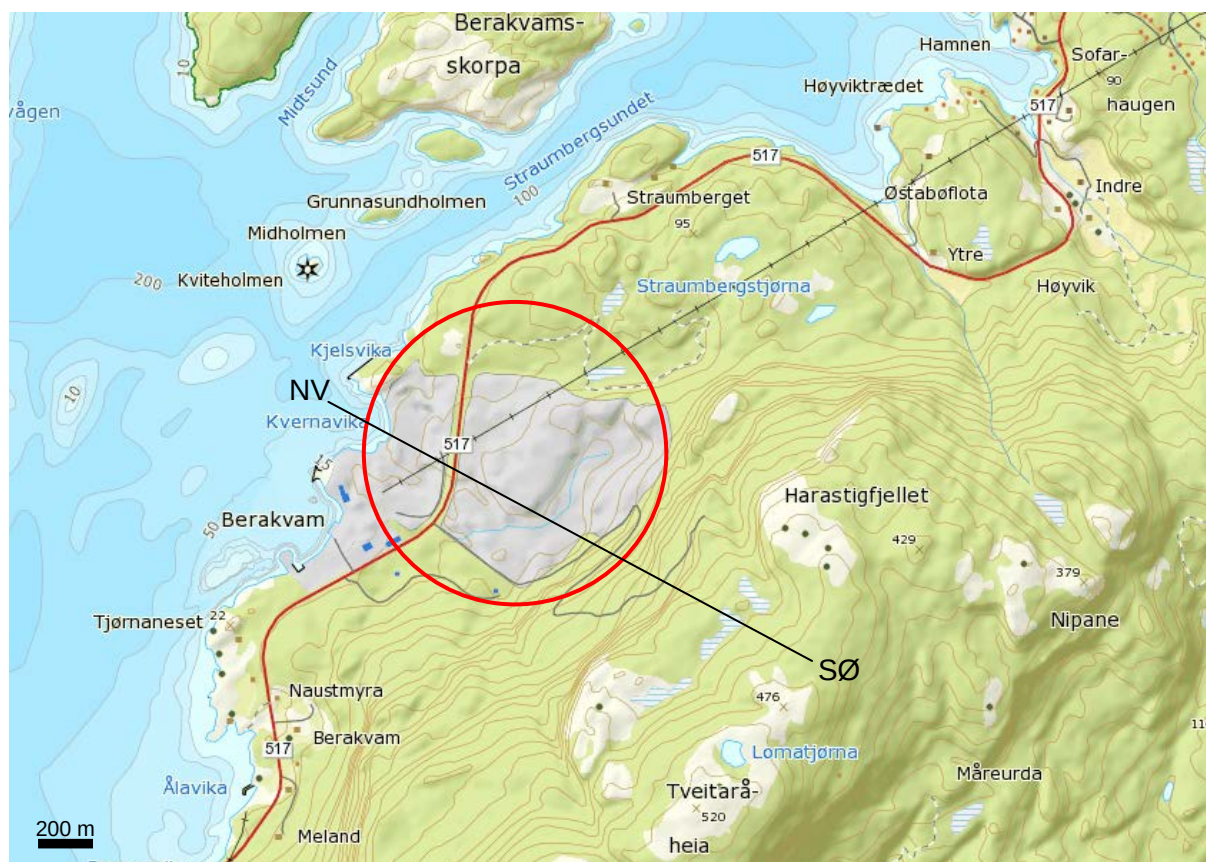
- Beliggenhet nær jordoverflaten er mer utsatt for rystelser fra seismisk aktivitet.

5.2. Ikke aktuelle lokaliteter

5.2.1. Berakvam

Generelt

Berakvam pukkverk ligger på østsiden av Sandsfjorden nord for tettstedet Jelsa i Suldal kommune i Rogaland. Se Figur 1 for lokalisering. Norsk Stein AS eier og driver et stort dagbrudd og pukkverk med to etablerte kai og stort areal for knuse-/sikteverk og lagerplass (Figur 43). Bergarten som tas ut består av en granitt/granodiorittisk gneis. Topografien er forholdsvis flat til småkupert (ca 10-30 moh) over området fra pukkverk til dagbrudd, men øst og sørøst for dagbruddet går terrenget bratt opp til mellom 400 og 500 moh (Figur 48). Pukkverket har direkte tilgang til vei og kai.



Figur 43 Kartutsnitt for Berakvam dagbrudd og pukkverk i Suldal kommune. NV-SØ linje er høydeprofilen vist i Figur 48. (kilde: Kartverket).

Norsk Stein AS ble etablert i 1987 og drift av pukkverket startet i 1988. Norsk Stein AS er heleid av det tyske selskapet Mibau Holding GmbH. Berakvam pukkverk er et av nord Europas største pukkverk ut fra produksjonsvolum (opp mot 10 mill. tonn årlig/ 2,7 mill. m³) og med betydelige reserver for fortsatt drift i mange år fremover. Dagbruddet har et areal på ca 560 000 m². Viktig produsent av byggeråstoff både innenlands, men ikke minst for eksport. Forekomsten er klassifisert som internasjonalt viktig.

Hvis de hydrogeologiske forholdene er gunstige kan forekomsten i uoverskuelig framtid bli en aktuell lokalitet for utnyttelse som deponi. Dagens driftsform som er dagbrudd, der et stort volum etter hvert blir liggende under havnivå, muliggjør ikke samdrift mellom uttaksvirksomhet og deponering i tidligere utdrevet areal. Norsk Stein AS har informert Miljødirektoratet at

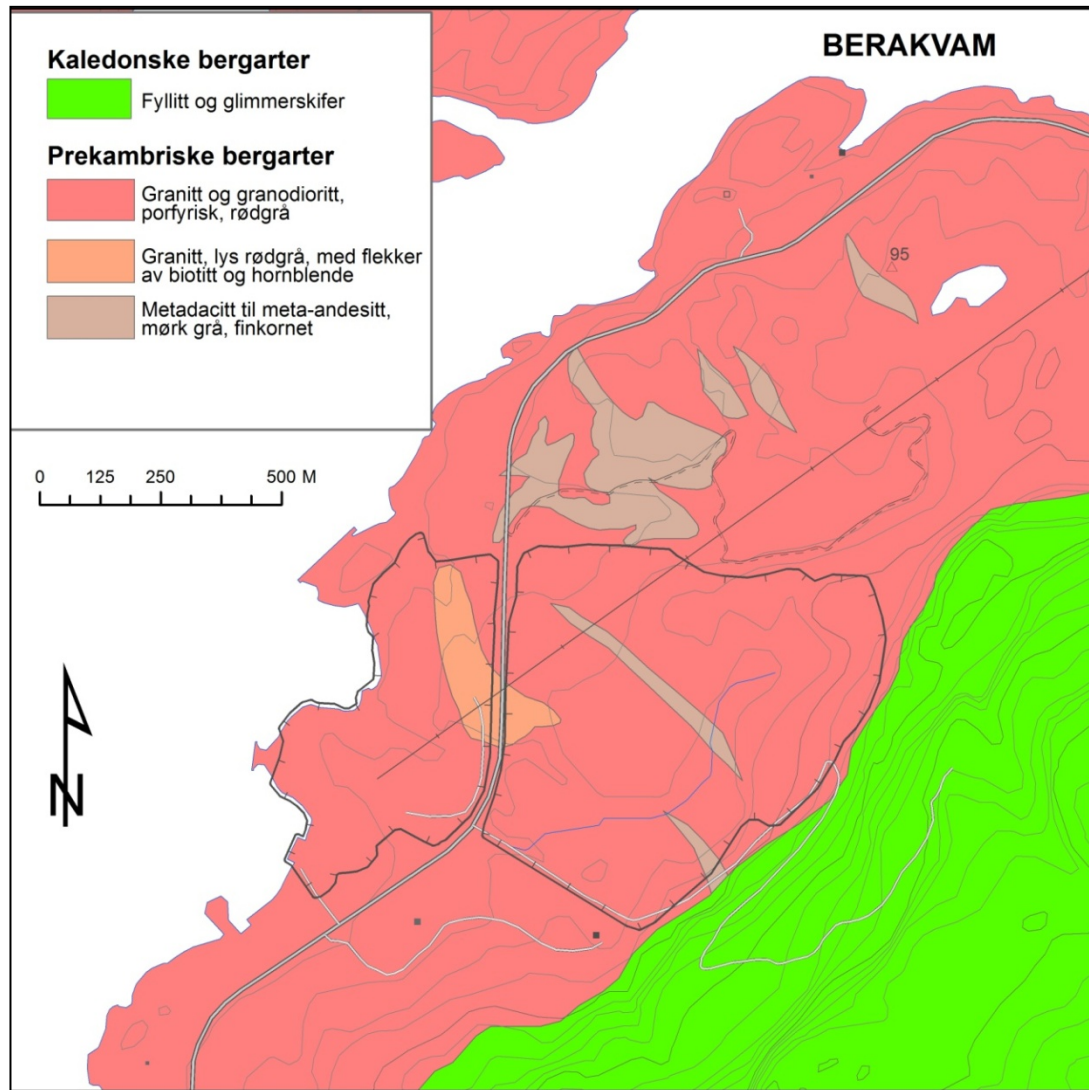
de ikke er interessert i mulighet for samdrift av et deponi i dag-bruddet før tidligst om 25 år. En illustrasjon utarbeidet av Norsk Stein AS i 2003 (Figur 44) viser en tenkt plan der deler av bruddet fylles med vann, mens videre driftretning fortsetter mot NØ. Etter endt uttaksvirksomhet vil et stort volum være tilgjengelig ($> 10 \text{ mill. m}^3$) der deponering av masser muligens kan være et alternativ.



Figur 44 Øverste bildet (fra 2003) viser Berakvam dagbrudd med pukkverk og kaianlegg. Nederste bildet viser planlagt utvidelse av dagbruddet mot NØ og den sørlige delen gjort om til vannbasseng.

Geologi

Forekomsten er detaljkartlagt av NGU i 2002 (Marker, 2003). Geologien innenfor det aktuelle uttaksområde kan deles inn i fire delsoner som har en NV-SØ'lig utstrekning (Figur 45). Bergartene har et fall mot NØ. Yttersonene henholdsvis mot SV og NØ består hovedsakelig av en porfyrisk granodioritt. De to sentrale sonene består i tillegg til porfyrisk granodioritt av partier med henholdsvis gneis granitt og en finkornet grå gneis. Underordnet opptrer også ganger med pegmatitt.



Figur 45 Berggrunnskart over Berakvam pukkverk. Dette er et utsnitt av berggrunnskart Vindafjord 1:50 000 (Marker et. al. 2013)

De eldste bergartene (brunlig på kartet) er finkornete grå gneiser av dacittisk til andesittisk sammensetning som danner lag og uregelmessige kropper i den dominerende granodioritten. Disse bergartene er tenkt opprinnelig å være av vulkansk opprinnelse. Den dominerende bergarten består av en porfyrisk granitt eller granodioritt som intruderer i de finkornete gneisene. Denne bergarten varierer i farge fra lys til mørk grå og kan være enten helt udeformert og massiv til foliert og lokalt nesten mylonittisk.

Den yngste gruppen av bergarter består av granitter, pegmatitter og diabaser som opptrer i små legemer og tydelig intruderer de andre bergartene. Bare den største granittkroppen er vist

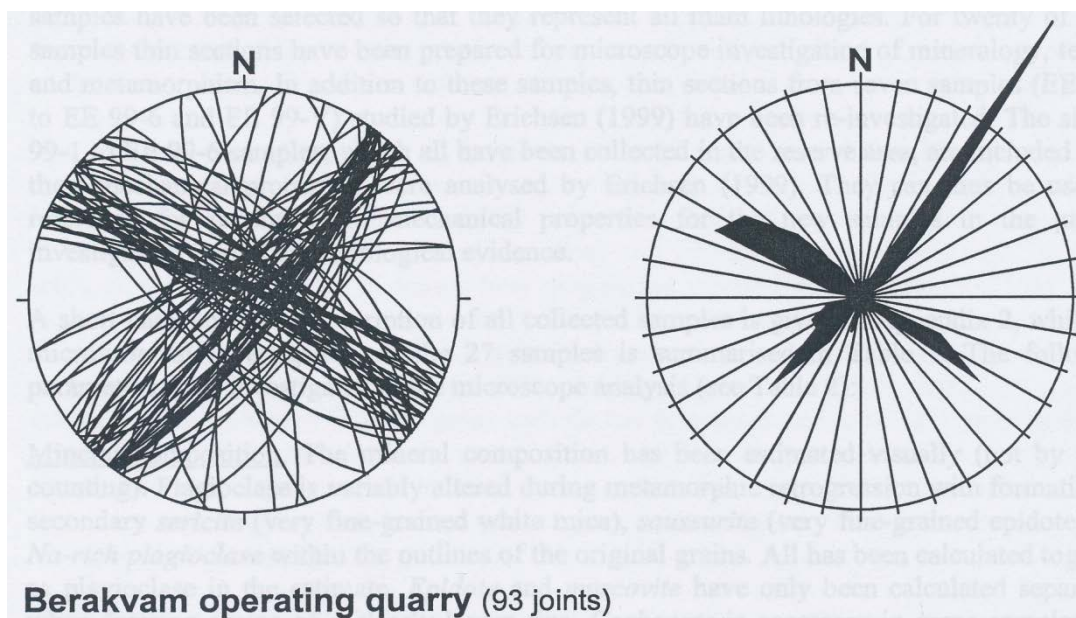
på kartet (oransje). Granitt og pegmatitt opptrer hyppigst i den sentrale delen av bruddet og nær veien SV i området som er pekt ut som reserve for pukkverket (kanskje i drift i dag?). Noen få diabaser fines helt i nord i bruddet. Alle bergartene i bruddet er noe omdannet. Dette er mest tydelig i plagioklasen som inneholder noe epidot.

Pukkverket ligger like under det kambriske peneplanet der glimmerskifer (grønn farge) ligger som et ganske flatt lag på toppen av gneisene.

Sprekker

Under den omfattende kartleggingen av pukkverket ved Berakvam ble det gjort en ganske detaljert observasjon av sprekke (se Marker 2003). Bergarten i og rundt dagbruddet regnes som moderat oppsprukket. I det eksisterende pukkverket ble det i 2003 målt 93 markerte sprekker, og disse målingene er vist de stereografiske projeksjonene i Figur 46. Det viser at steiltstående sprekker med retning NØ-SV og NØ-SV er de dominerende. Samme mønsteret er også registrert i det området som er tenkt som reserveområde for det eksisterende pukkverket, så dette må antas å være det regionale mønsteret. Det er ikke observert bevegelse langs noen av sprekke, og sprekkeretningen faller sammen med de eksisterende retninger på veggene i pukkverket.

De fleste sprekke viser verken omdanning eller at de er fylt med sekundære mineraler. Det er imidlertid noen sprekker som er fylt med karbonat og er rustne på vitrede flater. Karbonatfyllingene er fra noen få cm til opptil 20 cm og består av grovkornet karbonat i opptil 5-10 cm korn eller krystaller. Det er mulig at disse sprekke er vannførende og at de er det som har gjort at karbonatet er avsatt. Nesten alle de karbonatfylte sprekke har retningen NV-SØ og opptrer bare i begrensede områder. Disse sonene opptrer langs den sørøstre avgrensningen til bruddet og også i nordvest mot Riksvei 517 (Marker, 2003), slik som bruddet var i 2003.

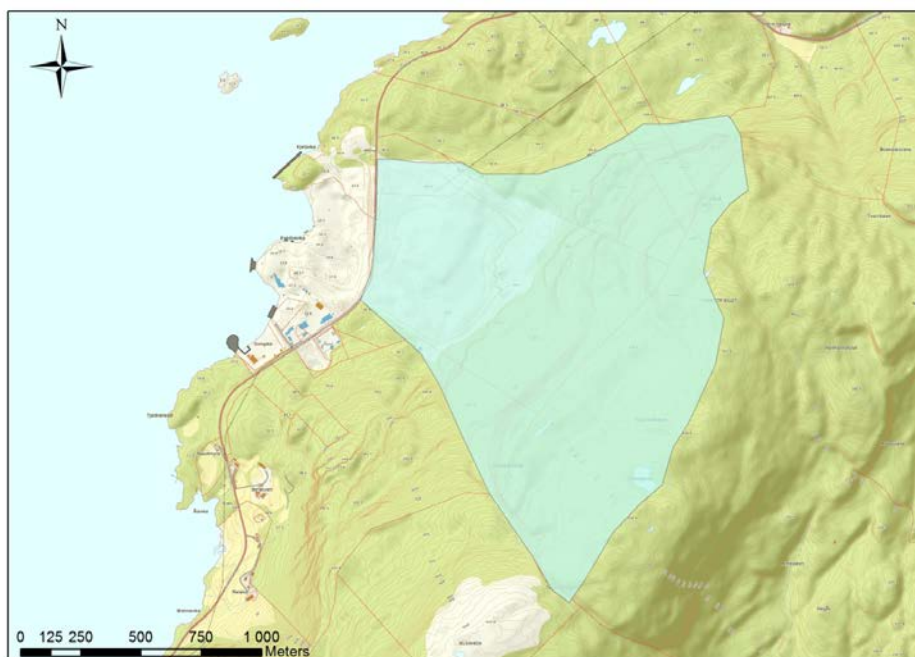


Figur 46 Stereografisk plott av 93 sprekker målt i det eksisterende pukkverket slik det var i 2003 viser to hovedretninger for sprekke: NØ-SV og NV-SØ. (Marker 2003).

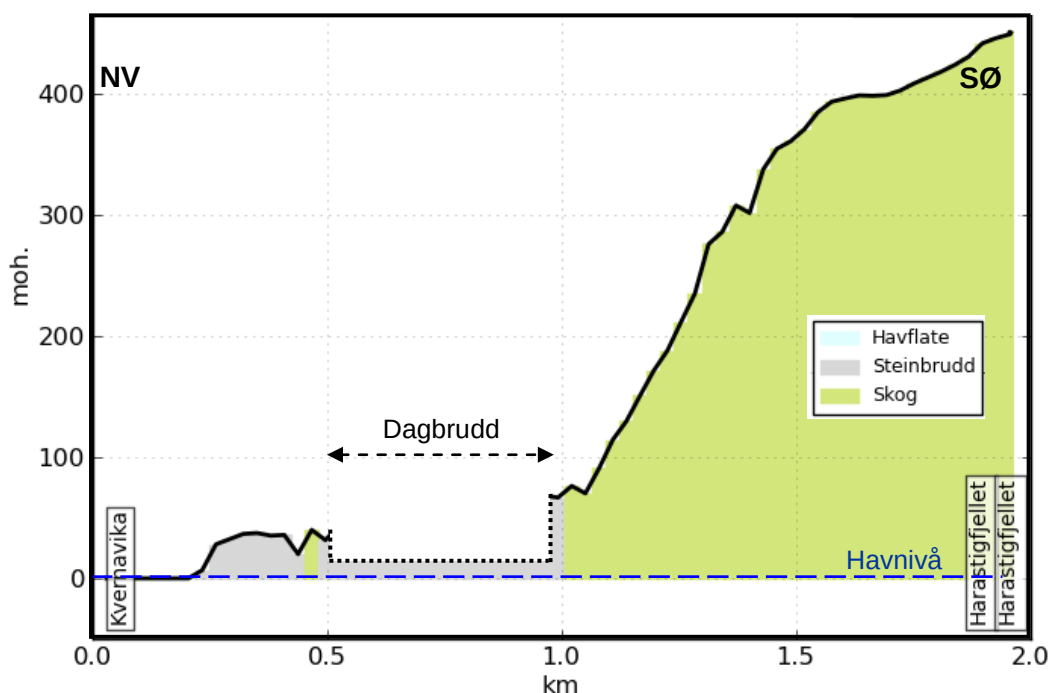
Hydrologiske forhold

Steinbruddet ved Berakvam ligger sjønært i foten av en fjellskråning som strekker seg opp mot fjellet Harastigfjellet-Tveiteråheia. Ut fra nåværende utbredelse på bruddet gir dette et

nedbørsfelt på ca. 1.9 km² hvor størstedelen av nedbørsfeltet ligger oppstrøms steinbruddet. En utvidelse av steinbruddet langs skråningsfoten i NØ-SV retning vil ytterligere øke nedbørsfeltet. Ønskes bruddet en gang i framtiden å bli benyttet til deponering av farlig avfall gir dette betydelige utfordringer med bortledning av overflatevann fra deponiområdet. Det er ikke utført hydrogeologiske undersøkelser i området så det er ikke mulig å anslå hvor stor andel av nedbøren som infiltrerer berggrunnen oppstrøm bruddet og som vil føre til innlekkasje av grunnvann i steinbruddet. Ut fra det betydelige nedsalgsfeltet og topografiske gradienter (Figur 47) må det likevel forventes at innlekkasje av grunnvann vil gi utfordringer i deponeringssammenheng.



Figur 47 Kartet viser nedbørsfelt ut fra nåværende utbredelse på steinbrudd ved Berakvam.



Figur 48 Høydeprofil gjennom Berakvam dagbrudd langs NV-SØ linjen vist i Figur 43. (kilde: Kartverket). Plassering og profil av dagbruddet er angitt skjematisk.

Deponi

Denne lokaliteten vurderes som ikke aktuell for videre utredning til deponi for uorganisk farlig avfall på grunn av følgende aspekter:

Gunstige aspekter:

- Ved avsluttet drift forventes et volum under havnivå på ca 40 mill. m³. Ved vesentlig stigning av havnivå vil hele deponiet ligge under havoverflaten på lang sikt.
- Granodioritt/granittisk gneis har gode fysiske egenskaper og er moderat oppsprukket.
- Det er ikke registrert betydelig innhold av sulfider i tilknytning til denne forekomsten.
- Kort avstand til dypvannskai.

Mindre gunstige aspekter:

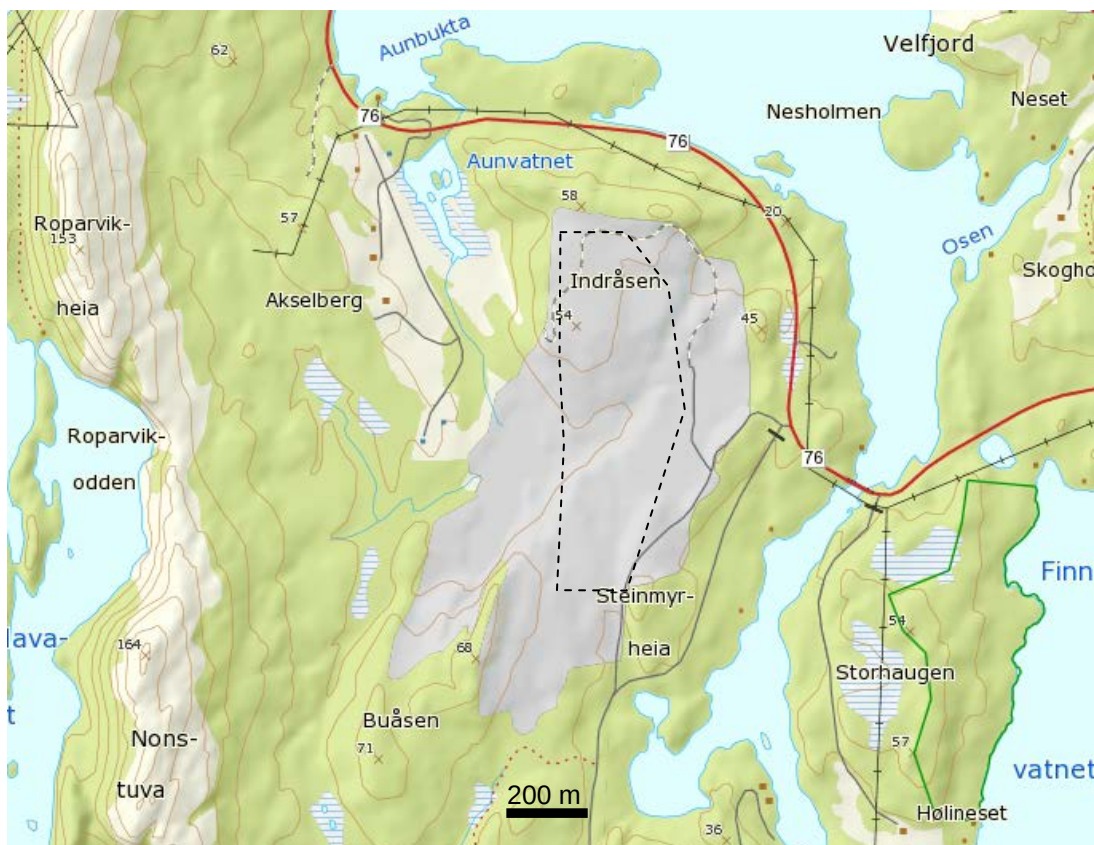
- Norsk Stein AS som eier og drifter pukkverket er ikke interessert i mulighet for samdrift av et deponi i dagbruddet før tidligst om 25 år.
- Vertsbergartene har mindre gunstige kjemiske egenskaper med hensyn til det basiske avfallet.
- Relativt høyt forhold mellom tildekkingsareal og avfallsvolum.
- Største delen av nedbørsfeltet med bratt topografi ligger oppstrøms steinbruddet. Dette gir betydelige utfordringer med bortledning av overflatevann fra et evt. deponiområde. I tillegg bidrar topografien til en betydelig grunnvannsgradient i deponeringssammenheng.
- Beliggenhet nær jordoverflaten er mer utsatt for rystelser fra seismisk aktivitet.

5.2.2. Akselberg

Generelt

Akselberg kalksteinbrudd ligger på sørsiden av Sørfjorden, på motsatt siden av tettstedet Velfjord i Brønnøy kommune i Nordland. Se Figur 1 for lokalisering. Akselberg kalksteinsbrudd drives av Brønnøy Kalk AS som er et heleid datterselskap av norskeide Hustadmarmor AS. Akselberg bruddet er hovedleverandør av råstoffet kalkstein/kalkspat til Hustadmarmor i Elnesvågen utenfor Molde. Brønnøy Kalk AS har kaianlegg i Remman i bunnen av Ursfjorden, ca 3 km sør for dagbruddet. Der finnes det også lager og knuseverk. Kalksteinen blir fraktet fra dagbruddet på Akselberg med tippsemi-trailere ned til Remman for knusing. Transportavstanden er på ca 5 km gjennom en tunnel som er ca 4 km lang, og innehar både kjernelager og verkstedhall. Etter knusing transporteres kalken med transportbånd ut på lager. Utskipningen foregår med lastebåt som går kontinuerlig mellom Remman og direkte ned til Molde der fabrikken til Hustadmarmor AS ligger.

Topografien rundt dagbruddet ved Indråsen er småkupert varierende i høyde mellom ca 45 og 70 moh. På vestsiden av bruddet åpner terrenget med en dal ned til Aunvatnet som ligger ca 5 moh (Figur 49). Det er ikke satt kotebegrensning i reguleringsplanen, men uttaket skal skje i henhold til driftsplan godkjent av Bergvesenet. Dagbruddet (Figur 50) har i dag et areal på ca 315 000 m², har kommet ned til ca K -20 og kan drives ned til K -135. Dagbruddet forventes avsluttet om ca 30 år og da vil totalt uttatt volum være ca 30 mill. m³.



Figur 49 Kartutsnitt viser beliggenhet av Akselberg kalksteinbrudd, med omriss av dagbruddet etter luftfoto i Figur 50. (kilde: Kartverket).



Figur 50 Luftfoto viser Akselberg dagbrudd. NV-SØ linjen er høydeprofilen vist i Figur 54. (kilde: Kartverket).

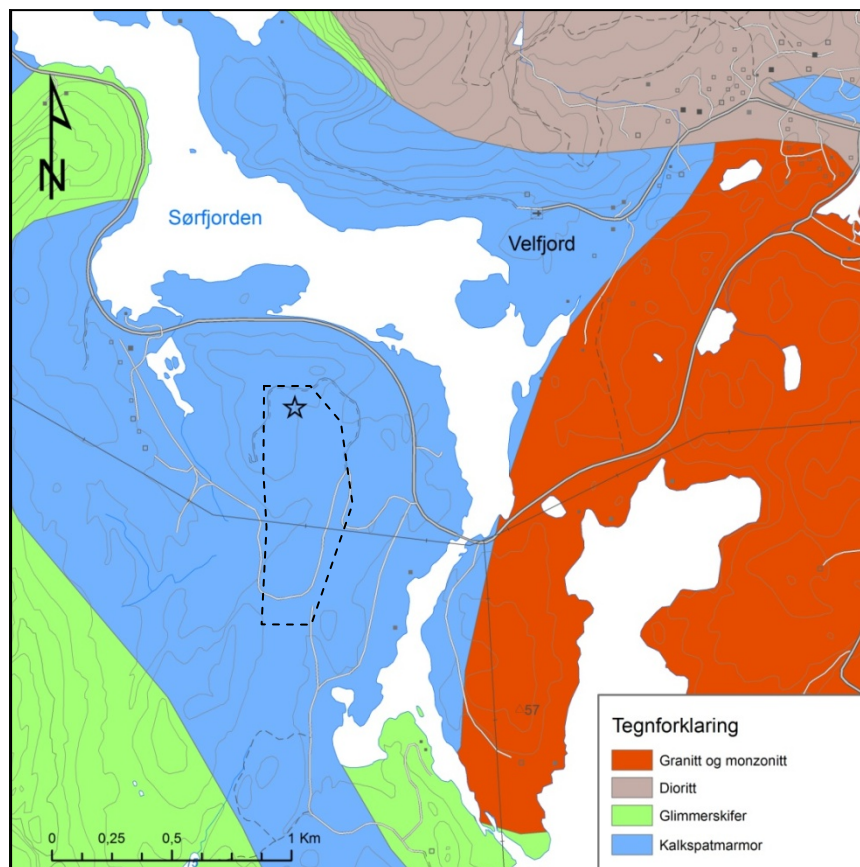


Figur 51 Bildet av Akselberg dagbrudd tatt mot sør. (kilde: www.bronnoykalk.no).

Geologi

Kalksteinen ligger i det såkalte Helgelandsdekket som domineres av ulike typer av glimmerskifre og marmor, trolig av senprekambrisk alder (Trønnes, 1994). Det blir intrudert av ulike typer kaledonske intrusiver som varierer i sammensetning fra gabbro til granitt slik som kartet i Figur 52 viser. Marmorsonene dekker betydelige arealer, men de fleste sonene er relativt urene. Kalkspatmarmor dominerer, men det finnes også dolomitt.

Kalksteinsmarmoren i bruddet ved Akselberg stryker NØ-SV, med fall som varierer mellom 20° og 40° mot NV. Den er av en relativt grovkornig type, med alternerende hvite og lysegrå bånd. Fargen skyldes ulikt innhold av grafitt. I bruddet finnes det også enkelte benker med kloritt og glimmer. De vanligste forurensningene i marmoren er grafitt, feltspat og kvarts. Det kan også forekomme slirer og ganger av kvarts, og enkelte steder opptrer det lag av glimmerskifer inne i kalksteinen.



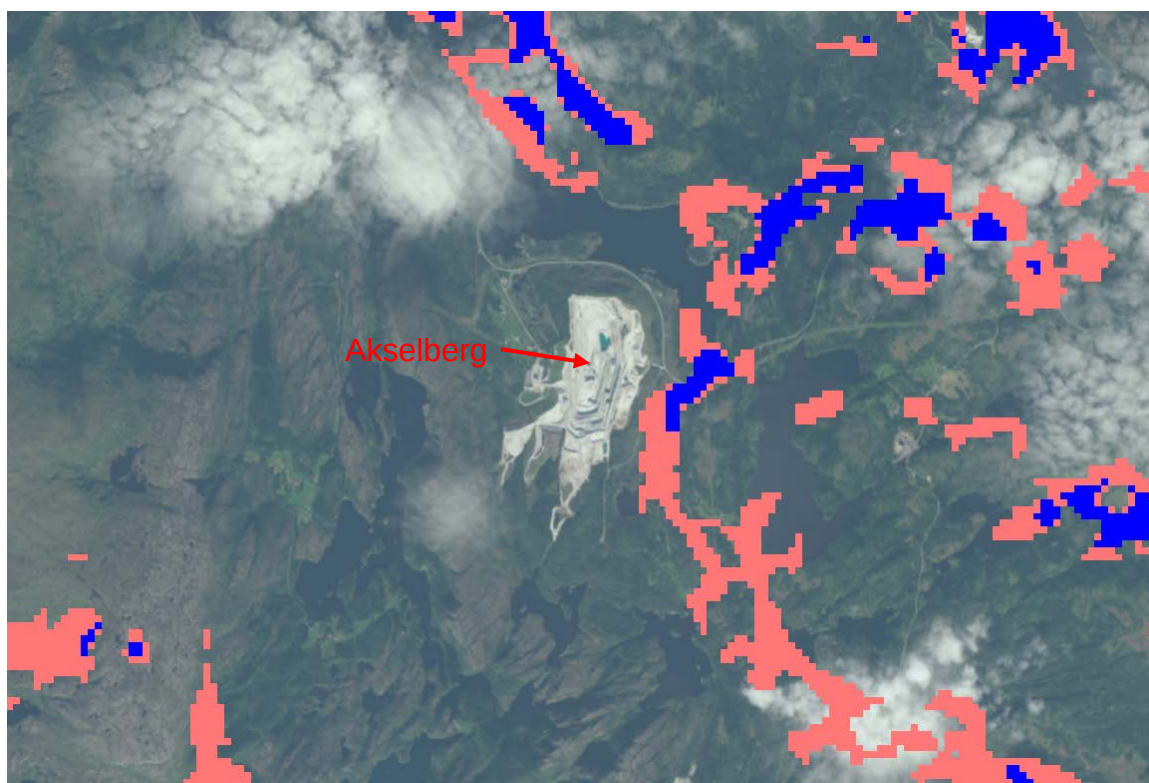
Figur 52 Geologien rundt Akselberg kalksteinsbrudd. Utsnitt av 1:250 000 kartblad Mosjøen (Gustavson, 1981). Omriss av dagbruddet etter luftfoto i Figur 50.

Sprekker

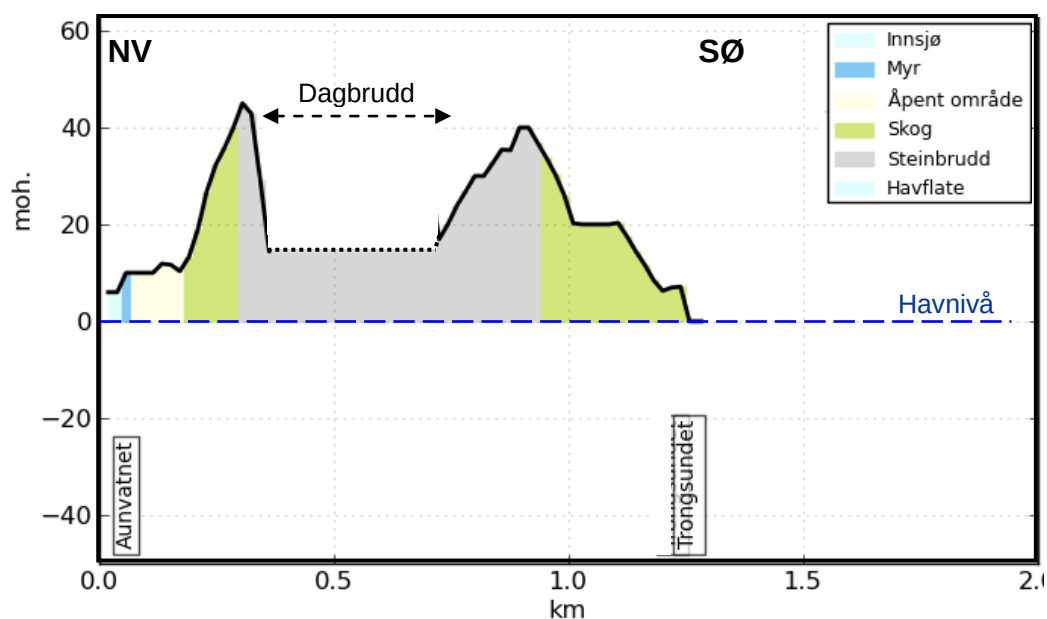
Det finnes svært få opplysninger om de tektoniske forholdene ved kalksteinsbruddet på Akselberg. I et utvidet abstract fra Fjellsprengningskonferansen i Oslo i 2007 nevner Watne (2007) at langs bruddets vestvegg finnes det sprekker langs foliasjonen med fall 30°-60° mot vest slik at det fører til stabilitetsproblemer. På vestveggen må det derfor avsettes 12 meter brede sikringshyller for hvert nivå. Samtidig nevnes det at alle andre veggene i bruddet ligger gunstig til med hensyn til oppsprekningen slik at en unngår dette problemet. I vestveggen er det derfor planlagt en dagbruddsvinkel på 45°, mens den er 60° i de andre veggene. Det er imidlertid ikke sagt noe om hvor sterk den generelle oppsprekningen er. Ut fra en vurdering av bildene på www.bronnoykalk.no estimeres at oppsprekningsgraden er lav-moderat.

Dypforvitring

Aktsomhetskartet for dypforvitring for området rundt Akselberg viser ingen antydning på dypforvitring over dagbruddet (Figur 53). De fargete områdene på kartet som sammenfaller med fjordene kan her være artefakt.



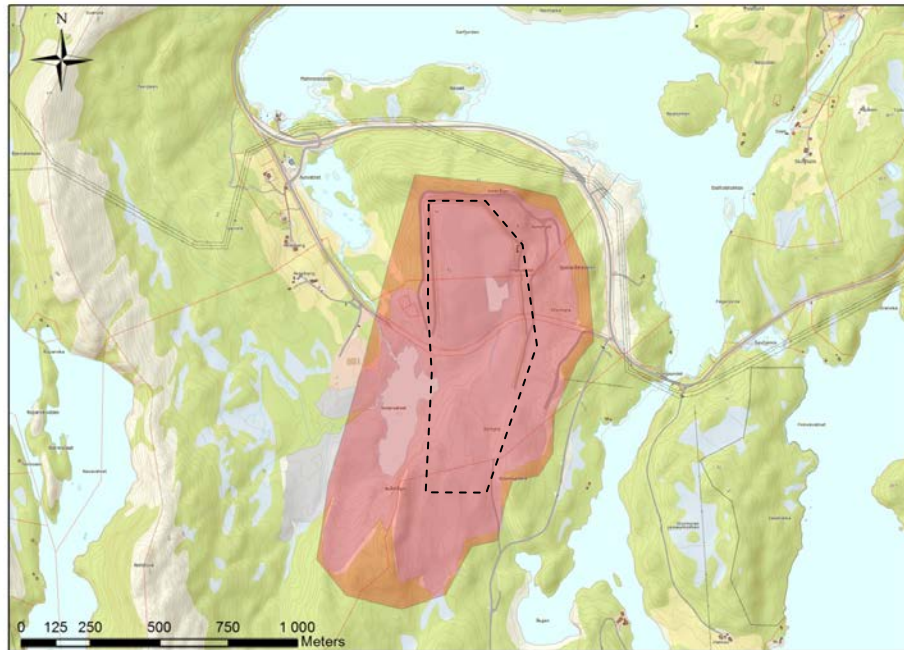
Figur 53 Aktsomhetskart for dypforvitring i området rundt Akselberg dagbrudd. De blå områdene indikerer størst sannsynlighet og de rosa områdene indikerer mindre sannsynlighet for dypforvitring.



Figur 54 Høydeprofil gjennom Akselberg dagbrudd langs NV-SØ linjen vist i Figur 50. (kilde: Kartverket). Plassering og profil av dagbruddet er angitt skjematisk.

Hydrologiske forhold

Kalksteinbruddet ligger i et småkupert område omsluttet av lave åsrygger (Figur 49 og 54). Ut fra nåværende utbredelse på bruddet gir dette et nedbørsfelt på ca. 1.0 km² hvor størstedelen ligger innenfor steinbruddets grenser (Figur 55). I deponeringssammenheng kan dette gi betydelig utfordringer med bortledning og utpumping av overflatevann. Det er ikke utført hydrogeologiske undersøkelser i området men ut fra bruddets beliggenhet er det forventet at innlekking av grunnvann vil være ubetydelig i forhold til overflatevann.



Figur 55 Kartet viser nedbørsfelt ut fra nåværende utbredelse på steinbrudd ved Akselberg.

Deponi

Denne lokaliteten vurderes som aktuell til videre utredning til deponi for uorganisk farlig avfall om ca 30 år når drift på dagbruddet er planlagt avsluttet.

Vurderingen av Akselberg kalksteinforekomst omfatter:

Gunstige aspekter:

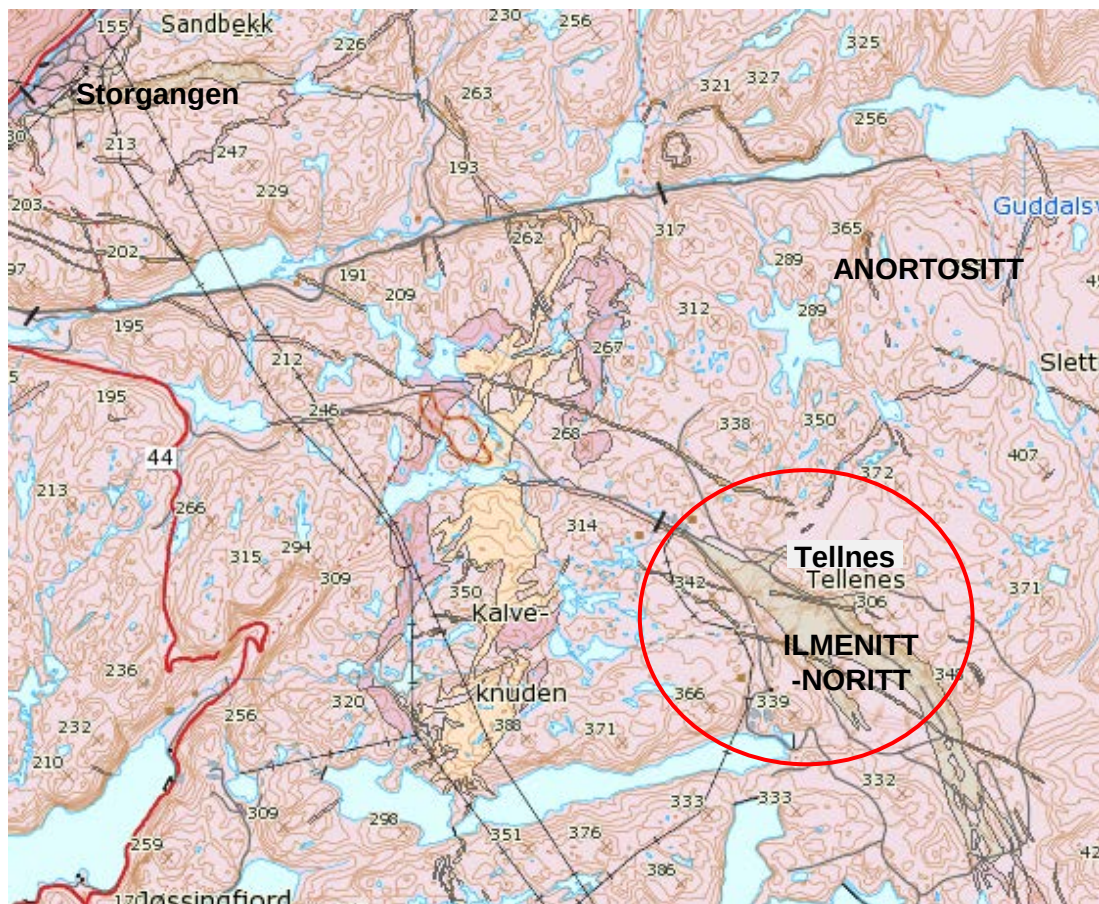
- Kalksteinmarmor i dagbruddet er en basisk-reaktiv bergart med gode kjemiske og fysiske egenskaper med hensyn til det basiske avfallet. Det er ikke registrert betydelig innhold av sulfider i tilknytning til denne forekomsten.
- Vertsbergarten har en lav-moderat grad av oppsprekning og det er ikke registrert forkastninger i eller i nærheten av Akselberg dagbrudd.
- Ved avsluttet drift vil dagbruddet ha et estimert volum under havnivå på ca 25 mill.m³ (ned til 135 muh) tilgjengelig for deponering av avfall. Dagbruddet ligger i et område med forholdsvis lav topografi slik at deponeringsvolumet vil ha en innadvent hydraulisk gradient og en lav grunnvannsgradient nær overflaten.
- Lokaliteten ligger i et område med lav seismisk aktivitet.
- Volumet under havnivå vil mest sannsynlig forbli godt under havnivå også ved forventede endringer i forholdet mellom landheving og havnivå.

Mindre gunstige aspekter:

- Relativt høyt forhold mellom tildekkingsareal og avfallsvolum.
- Lang avstand fra dypvannskai til dagbrudd.
- Beliggenhet nær jordoverflaten er mer utsatt for rystelser fra seismisk aktivitet.

Geologi

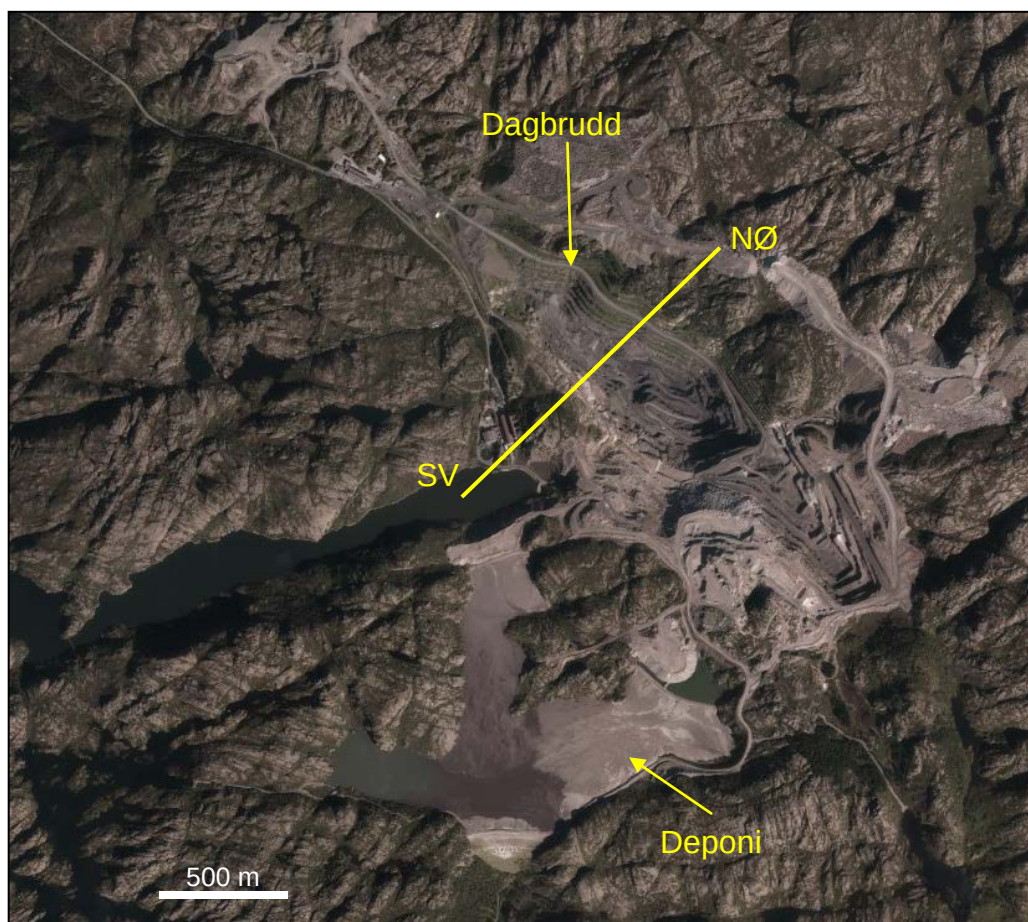
Ilmenittmalmen i Tellnes består av bergarten noritt. Noritten er imidlertid svært titanrik med et gjennomsnittlig TiO_2 innhold på 18% som gjør den økonomisk å drive. Tellnesforekomsten er en "intrusiv bergart" og har kommet på plass som en smelte som har trengt seg inn i de omgivende bergarter av "anortositt" (Figur 57). Det er flere betydelige titanforekomster i området som tidligere har vært i drift, og det er utallige små forekomster i hele regionen som på 1700- og 1800-tallet ble drevet primært som jernmalmer. Den siste aktive gruven i nærområdet var Storgangen, noen få km nordvest for Tellnes. Driften på Storgangen ble avsluttet i 1964 og gruven var på 1920-tallet verdens største titanmalmgruve. Vertsbergarten for alle de intrusive forekomstene er anortositt, en meget ensartet og spesiell bergart som dekker største-parten av den 40 km lange kyststrekningen mellom Flekkefjord i sør og Nærbø på Jæren-kysten i nord.



Figur 57 Geologisk kart (1:50 000) over området rundt Tellnes gruve (www.ngu.no).

Det er lite informasjon tilgjengelig om sprekker og forkastninger i noritt i dagbruddet og i den omkringliggende anortositt. Begge bergarter er nokså homogene og massive og ut fra tilgjengelig bildematerialet vurderes bergartene som moderat oppsprukket. DMF skriver følgende kommentar i Tabell 1: I den eldste delen av dagbruddet er det stabilitetsproblemer i den ene vegg.

Tellnes har egne utfordringer med deponering avgang. Fra 1960 til 1993 ble avgangssand fra gravedriften deponert i Jøssingfjorden og Dyngjadypet utenfor Jøssingfjorden. Etter 1993 har Tellnes benyttet et landdeponi (Figur 58), som antakeligvis vil være fullt rundt 2020.



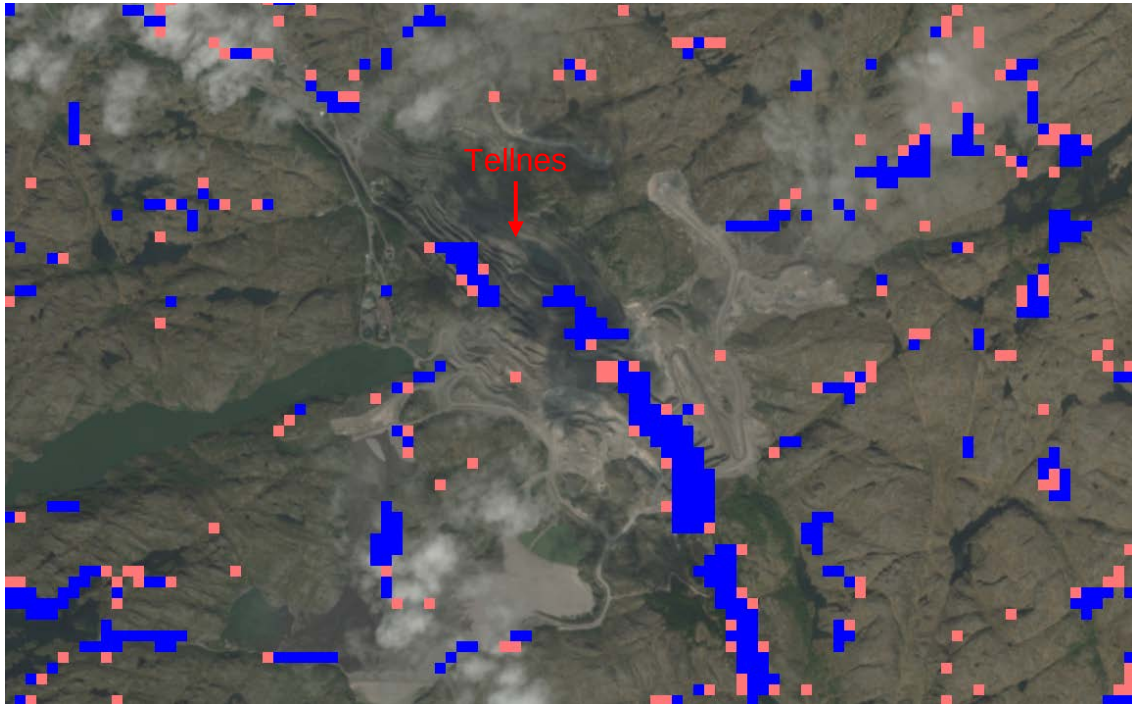
Figur 58 Luftfoto over Tellnes ilmenittgruve viser dagbrudd og deponi for avgangssand. SV-NØ linje er høydeprofilen vist i Figur 61. (kilde: Kartverket).



Figur 59 Tellnes ilmenittgruve (kilde: Mineralressurser i Norge i 2014. Mineralstatistikk og bergindustriberetning, NGU 2015).

Dypforvitring

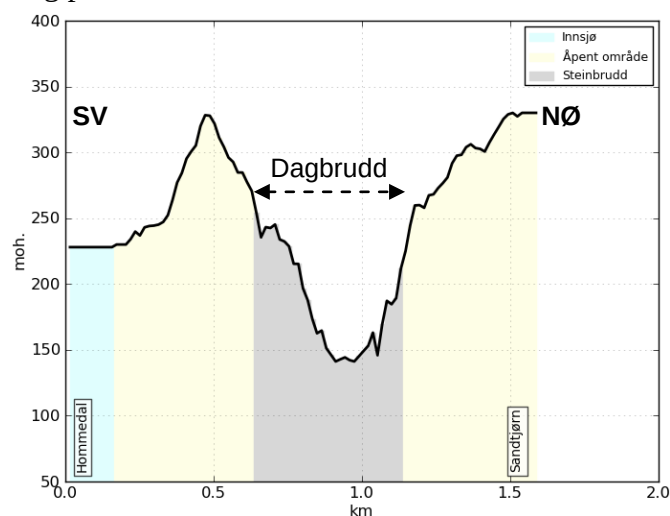
Aktsomhetskartet for dypforvitring for området rundt Tellnes gruve (Figur 60) viser at dagbruddet ligger langs en sprekkesone med stedvis høy sannsynlighet for dypforvitring. Hvis dypforvitring faktisk forekommer i dagbruddet vil dette være ugunstig for mulig bruk av bruddet til deponi.



Figur 60 Aktsomhetskart for dypforvitring rundt Tellnes titangruve. De blå områdene indikerer størst sannsynlighet og de røde områdene indikerer mindre sannsynlighet for dypforvitring.

Hydrologiske forhold

Normalen for årlig nedbørsmengde for Jøssingfjord er ca 1 700 mm med hoveddelen om høsten. Størstedelen av nedbøren vil forbli overflatevann fordi det kupert terrenget har mye bart fjell og lite overdekke med løsmasser, samt at vertsbjergartene anortositt og noritt har forholdsvis lav porøsitet og permeabilitet.



Figur 61 Høydeprofil gjennom Tellnes dagbrudd langs SV-NØ linjen vist i Figur 58. (kilde: Kartverket). Plassering av dagbruddet er angitt skjematisk.

Nedbørsfeltet til Tellnes dagbrudd er ikke nærmere kartlagt, men høydeprofilen over dagbruddet (Figur 61) tyder på at et evt. deponi nederst i et avsluttet dagbrudd vil ha både en betydelig grunnvannsgradient og utfordringer med bortledning og utpumping av overflatevann.

Deponi

Denne lokaliteten vurderes samlet sett som ikke aktuell for videre utredning til deponi for uorganisk farlig avfall på grunn av følgende aspekter:

Gunstige aspekter:

- Noritt og anortositt er massiv basisk bergarter med gunstige kjemiske og fysiske egenskaper med hensyn til det basiske avfallet.

Mindre gunstige aspekter:

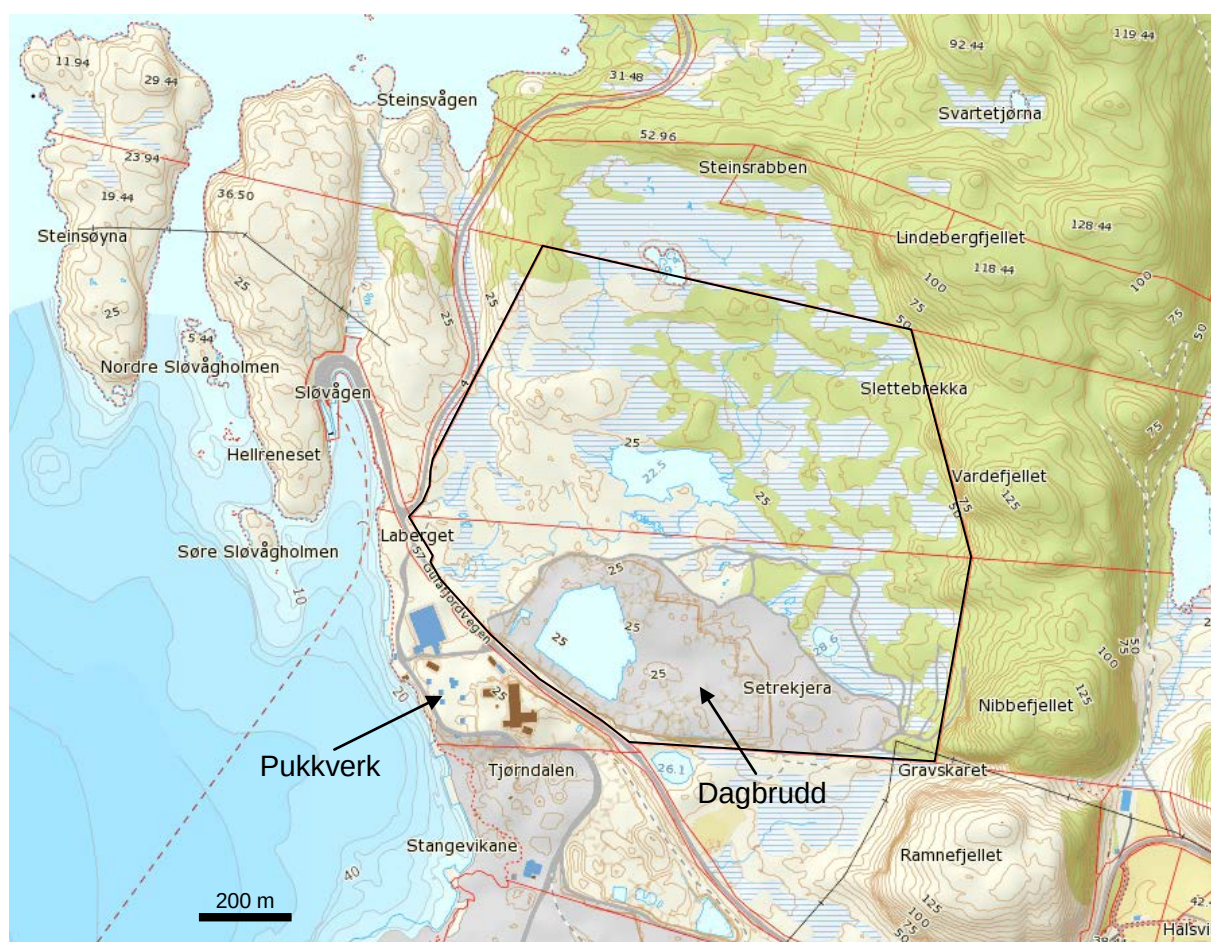
- Lang avstand fra dypvannskai til dagbrudd.
- Vertsbergarten inneholder sulfider.
- Forekomsten har store gjenværende ressurser som gir utsikten til mange ti-år med gruvedrift.
- Usikkert hvor betydelig volum som blir tatt ut under havnivå, gitt dybden og de bratte skråningene i dagbruddet per i dag. I tillegg er det stabilitetsproblemer i fjellveggen i den eldste delen av dagbruddet.
- Sterk kupert terreng som gir en betydelig grunnvannsgradient samt utfordringer med bortledning og utpumping av overflatevann.
- Beliggenhet nær jordoverflaten er mer utsatt for rystelser fra seismisk aktivitet.

5.2.4. Sløvåg

Generelt

Sløvåg pukkverk ligger på nordsiden av Fensfjorden, nord for tettstedet Halsvika i Gulen kommune i Sogn og Fjordane. Se Figur 1 for lokalisering. Yeoman Halsvik AS eier og drifter Sløvåg pukkverk som har en gunstig beliggenhet med tilgang til dypvannskai og vei. Pukkverket har et stort areal for knuse-/sikteverk og lagerplass. Fergekai med forbindelse til Mongstad på sørsiden av fjorden ligger ca 1 km nord for pukkverket (Figur 62).

På nordsiden av veien ligger det store dagbruddet som har i dag et areal på ca 280 000 m². Området med konsesjon til uttak av stein strekker seg fra dagbruddet mot øst og nord til topografiens naturlige vannskille. Største delen av dette området har forholdsvis flat topografi med høyder mellom ca 20 og 30 moh, mens terrenget stiger bratt i øst og nordøst til ca 130 moh og i nord til ca 50 moh. Sløvåg har ca 2 000 mm/år i nedbør med hoveddelen om vinteren.



Figur 62 Kartutsnitt viser beliggenhet av dagbrudd og pukkverk med dypvannskai i Sløvåg. (kilde: Kartverket).

Det norske firma Yeoman Halsvik AS er heleid av det britiske selskapet Aggregate Industries Ltd. som igjen er en del av det sveitsiske konsernet LafargeHolcim Ltd. Forekomsten av granittisk-til-granodiorittisk gneis drives som dagbrudd der en mindre del av det som er utdrevet per i dag ligger under havnivå. Store gjenværende reserver ned til et dybdenivå på 120 moh for mange års drift. En stor del av dagens produksjon (2,5 mill. tonn/år) eksporteres og forekomsten er klassifisert som internasjonalt viktig.

Etablering av samdrift mellom uttak av steinressurser og deponi for farlige avfall er neppe aktuelt. Eieren sier at kjernevirksomheten er uttak av pukk i de neste 60-70 årene der uttak i hele konsesjonsområdet nord for dagens dagbrudd (Figur 63) planlegges ned til 5-10 moh. Det estimeres at et stort volum blir tilgjengelig ved endt uttaksvirksomhet (> 10 mill. m³).



Figur 63 Luftfoto av Sløvåg dagbrudd og pukkverk med dypvannskai. Den stiplede gule linjen angir konsesjonsområdet for uttak av pukk. (kilde: Kartverket og Yeoman Halsvik AS).

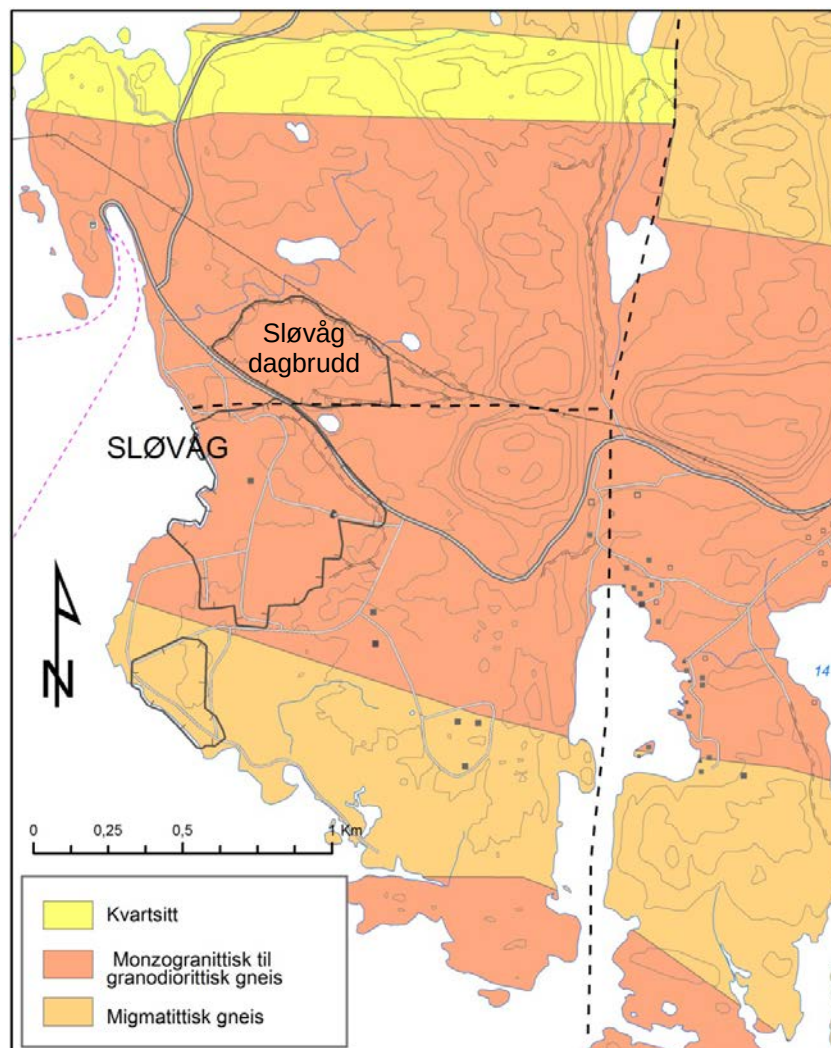
Geologi

Følgende beskrivelse av berggrunnen er basert på Ragnhildstveit og Helliksen (1997) og på Jansen og Neeb (1996):

Området domineres av gneiser av ulike slag (Figur 64). De migmatittiske bergartene er antatt å være de eldste og kan ha dannet underlaget for overflate bergartene i området slik som kvartsitten som finnes nord for bruddet. De varierer fra lyse, røde granittiske til biotitt og amfibolrike. Migmatittdannelsen antas å være knyttet til granittdannelse under den sveko-norvegiske fjellkjededannelsen for ca 1 050 mill. år siden. Den monzonittiske til granodiorittiske gneisen er stort sett mer homogen, men kan delvis også vise tegn til migmatittisering. Den er grå av farge og med en viss bånding. Det mørke mineralet er som regel biotitt. I tillegg finnes kloritt, epidot og kalkspat aksessorisk.

I området er det også kvarts-feltspat pegmatitter som varierer i tykkelse fra en til fem meter. Granittiske årer opptrer parallelt med foliasjon og bånding der denne finnes. Det finnes også en del amfibolittiske linser og ganger. Kvartsitt er ikke registrert i bruddområdet men finnes blant annet i en sone nord for bruddet

Gneisen opptrer ofte som temmelig massiv, men den kan ha en viss foliasjon definert av biotitt. Av og til er den også båndet. Både foliasjonen og båndingen er dominert av øst-vest trend. Fallet er som regel ganske steilt og varierer med både nordlig og sørlig fall.



Figur 64 Geologisk kart over Sløvåg. Kartet er et utsnitt at berggrunnskart Bergen 1:250 K, Ragnhildstveit og Helliksen (1997). Bruddområdene er markert ut fra Kartverkets data og ikke justert etter dagens brudd. Stiplede linjer er forkastninger.

Sprekker og forkastninger

I området finnes det både sprekker og forkastninger. Den gjennomgående regionale sprekketretningen er N-S. Nordøst for bruddet er en sone med kvartsitt avgrenset av en forkastning av denne generasjonen. Det er kjent at i Hordalandsområdet er det ganger av permo-triassisk alder som opptrer parallelt med denne retningen (for eksempel Fossen og Dunlap, 1999) slik at forkastningsbevegelsen kan ha opptrådt ganske sent i den geologiske utviklingshistorien. Det er ikke kjent noen slike forkastninger innenfor brytningsområdet for selve pukkverket.

I brytningsområdet finnes det derimot en øst-vest-gående vertikal forkastning på 10-20 m bredde der det finnes forkastningsbreksje med epidot og kloritt (Jansen og Neeb, 1996). Denne forkastningen er stort sett dekket av løsmasser. De dominerende sprekketretninger i området er N-S og Ø-V. Dette er åpne sprekker uten noen mineralisering. De opptrer stort sett overalt med fra en til noen meters mellomrom, og bare få steder er de tettere enn dette.

En nærmere geologisk beskrivelse av området er hentet fra konsekvensutredning for etablering av anlegg for deponering av lavradioaktivt avfall ved Stangneset: [<http://www.nrpa.no/dav/3d53241208.pdf>].

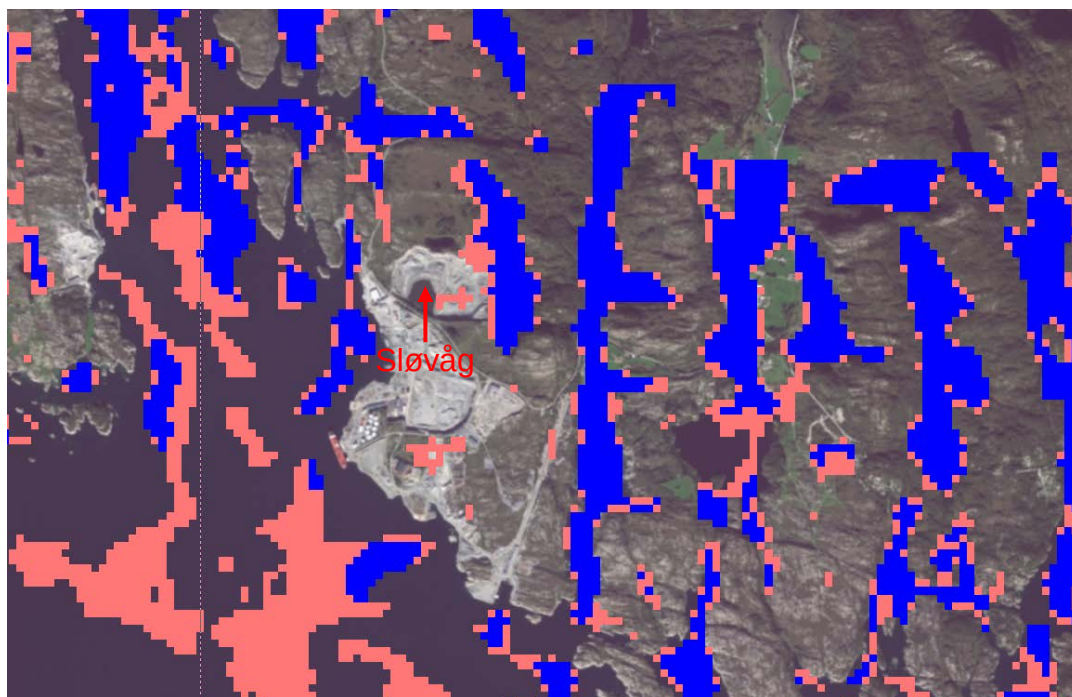
Sløvåg dagbrudd ligger ca 1km lenger mot nord i forhold til den siterte beskrivelsen fra Stangneset, men berggrunnen er tilsvarende innenfor bruddområdet (se Figur 64).

"Berggrunnen i området består av prekambriske gneiser med granittisk til migmatittisk mineralsammensetning der kvarts og feltspat, og i mindre grad glimmer og amfibol, utgjør de viktigste mineralene. Bergmassen er relativt massiv og har gode bergmekaniske egenskaper. Foliasjonen stryker rundt NV-SØ eller Ø-V med varierende fall. Den mest dominerende sprekkeretningen har strøk tilnærmet N-S og vertikalt fall. Disse sprekkene har stor utstrekning og sammenfaller med et regionalt oppsprekkingsmønster. Berget er i hovedsak intakt og har liten vanngjennomtrengningsevne. Det anses ikke som sannsynlig at rystelser fra den nærliggende steinbruddsvirksomheten vil øke vanninntrengningen i deponidelen av tiltaket".

"Gjennomsnittlig årsnedbør i Halsvik-Sløvåg-områder er ca 2 000 mm med hoveddelen i vinterhalvåret. Den underliggende bergarten er svært tett, og resultatet av tidligere utførte prøveboringer tyder på at også spreke- og sleppesoner i bergmassen er forholdsvis tette og lite vannførende. Generelt kjennetegnes området hydrogeologisk av at bare en svært liten del av nedbøren trenger ned i grunnen og blir magasinert som grunnvann (dypt og grunt grunnvann). Det som er av grunnvannstrøm i området er derfor forsvinnende lite i forhold til overflateavrenningen".

Dypforvitring

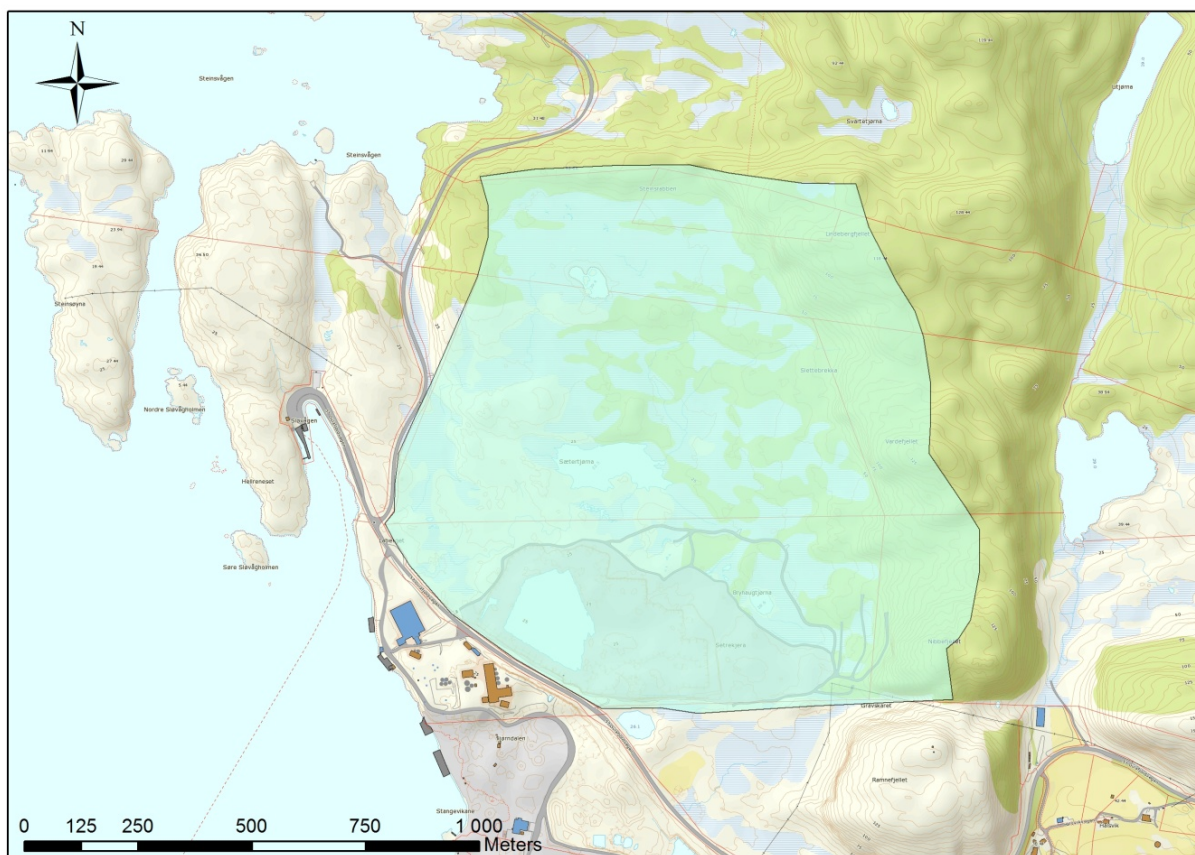
Aksomhetskartet for dypforvitring rundt Sløvåg (Figur 65) viser tydelig de N-S spreke-sonene i området, men ingen antydning til dypforvitring i selve dagbrudd.



Figur 65 Aksomhetskart for dypforvitring rundt Sløvåg pukkverk. De blå områdene indikerer størst sannsynlighet og de rosa områdene indikerer mindre sannsynlighet for dypforvitring

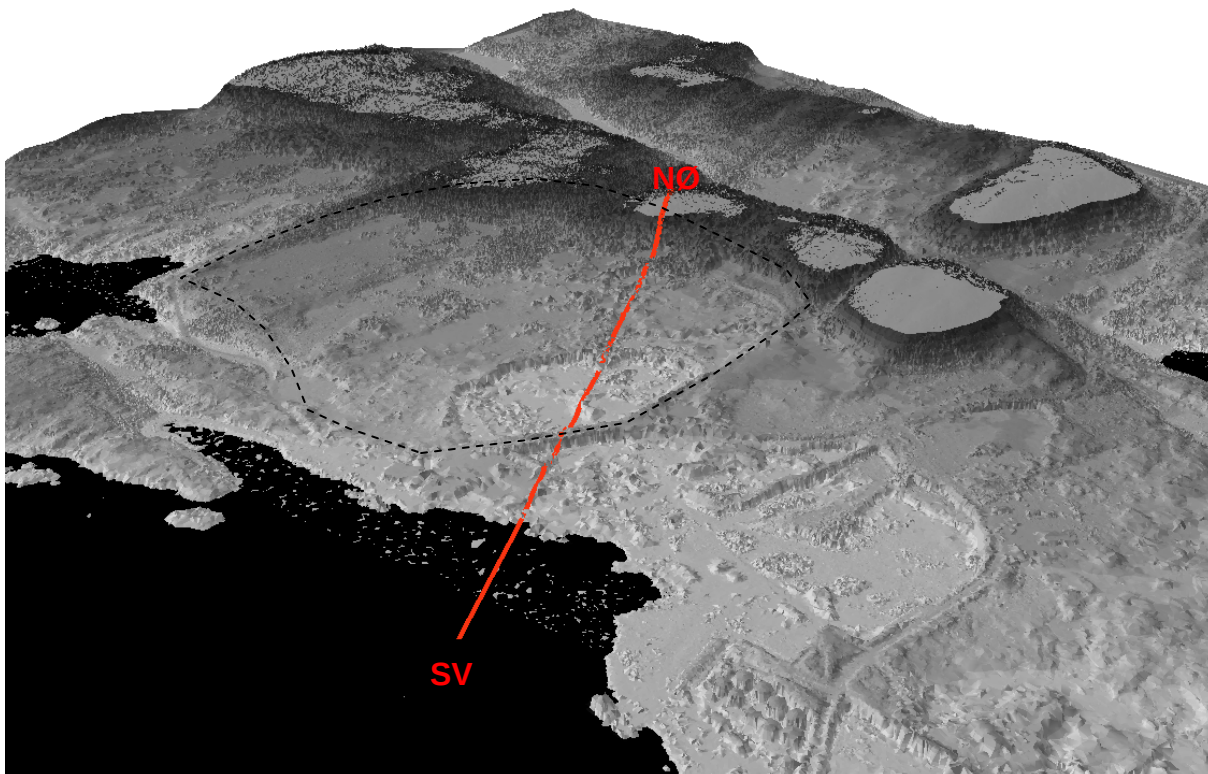
Hydrologiske forhold

Dagbruddet i Sløvåg ligger i en forhøyet strandflate omkranset av åsrygger i øst og nord. Bruddet har i dag en begrenset utstrekning men det forligger planer om mange års (60-70 år) videre drift med en betydelig horisontal og vertikal utvidelse. Det er i Figur 66 vist forventet nedbørsfeltet til dagbruddet etter avsluttet drift, der grensene er gitt ut fra de driftsplaner som foreligger for maksimal utnyttelse innefor gitte eiendomsgrenser. En slik maksimal utnyttelse vil gi et nedbørsfelt på ca 1,2 km² hvor størstedelen av feltet ligger innenfor dagbruddets grenser. I deponeringssammenheng kan dette gi utfordringer med bortledning og utpumping av overflatevann. Det er ikke utført hydrogeologiske undersøkelser i området men ut fra bruddets beliggenhet er det forventet at innlekking av grunnvann vil være ubetydelig i forhold til overflatevann.

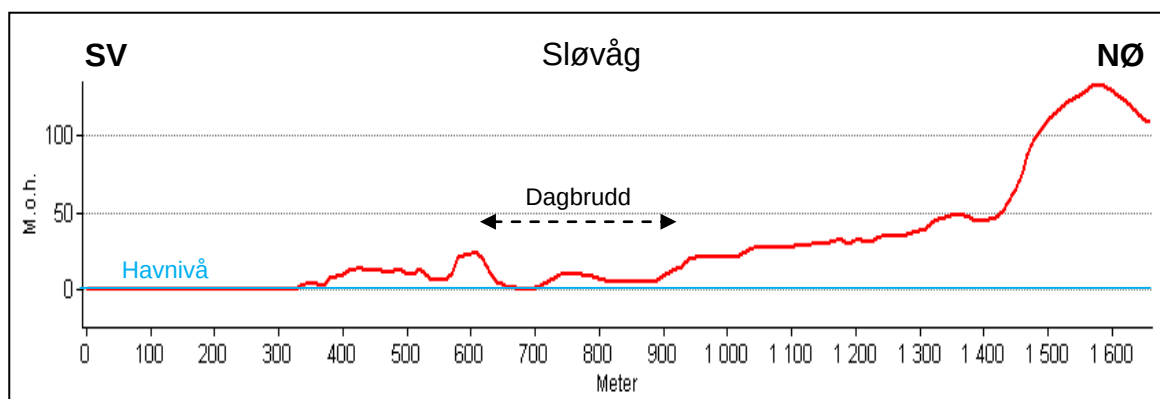


Figur 66 Kartet viser nedbørsfeltet til dagbruddet i Sløvåg etter avsluttet uttak.

Figur 67 viser et bilde av en detaljert terrengmodell for område rundt Sløvåg, basert på Laserdata samlet inn av Kartverket i 2011. I sentrum av bildet vises Sløvåg dagbrudd, og nedbørsfeltet etter avsluttet planlagt drift (jf. Figur 66) er også skissert inn. Et høydeprofil fra SV til NØ gjennom dagbruddet (som det var i 2011) viser en topografi som stiger bratt i øst fra ca 50 moh til ca 130 moh (Figur 68). Denne variasjon i topografi gjelder for nedbørsfeltets grense fra øst mot nordøst, og vil medføre en middels grunnvannsgradient i berggrunnen ned mot havnivå inn til og under dagbruddet.



Figur 67 Bilde viser høydemodel basert på laserdata fra 2011 (Kartverket) med omtrentlig grense (stiplet linje) for nedbørsfeltet etter avsluttet drift (se Figur 66), samt plassering av et SV-NØ høydeprofil gjennom Sløvåg dagbrudd (se Figur 68).



Figur 68 Høydeprofil langs linjen vist i Figur 67 med lokalisering av dagbruddet som det var i 2011.

Deponi

Denne lokaliteten vurderes samlet sett som ikke aktuell for videre utredning til deponi for uorganisk farlig avfall på grunn av følgende aspekter:

Gunstige aspekter:

- Ved avsluttet drift forventes et volum under havnivå på $>>10$ mill. m^3 . Ved vesentlig stigning av havnivå vil hele deponiet ligge under havoverflaten på lang sikt.
- Granittisk-granodiorittisk gneis har gode fysiske egenskaper og er moderat oppsprukket.
- Det er ikke registrert betydelig innhold av sulfider i tilknytning til denne forekomsten.
- Kort avstand til dypvannskai.

Mindre gunstige aspekter:

- Relativt høyt forhold mellom tildekkingsareal og avfallsvolum.
- Vertsbergartens kjemiske egenskaper regnes som mindre gunstig med hensyn til det basiske avfallet.
- Usikker om det blir et betydelig deponeringsvolum under havnivå gitt det store arealet med ressurser som er planlagt tatt ut de neste 60-70 år.
- En maksimal utnyttelse vil gi et nedbørsfelt på ca 1,2 km² hvorav størstedelen vil ligge innenfor dagbruddets grenser. I deponeringssammenheng kan dette gi betydelig utfordringer med bortledning og utpumping av overflatevann, også på grunn av svært høy årsnedbør. Topografien i nedbørsfeltet vil gi lave til middels grunnvannsgradienter inn til og rundt et evt. deponi.
- Sannsynlighet for rystelser fra jordskjelv er størst på Vestlandet, særlig langs kysten av Sogn og Fjordane. Beliggenhet nær jordoverflaten er mer utsatt for rystelser fra seismisk aktivitet.

5.2.5. Sætreffjellet

Generelt

Sætreffjellet pukkverk ligger opp på fjellet mellom Frøysjøen og Nordgulen i Bremanger kommune i Sogn og Fjordane. Se Figur 1 for lokalisering. Bremanger Quarry AS eier og driver Sætreffjellet dagbrudd og pukkverk. Dagbruddet ligger ca 500 moh med en styrtsjakt ("glory hole") ned til knuseanlegg inne i fjellet. Etablert utskipningshavn med dypvannskai ligger nede ved Dyrstad gård ca 2 km langs veien fra bruddområdet. All produksjon eksporteres til Nederland og forekomsten er klassifisert som internasjonalt viktig.

Det norske firma Bremanger Quarry AS er heleid av det nederlandske selskapet F. Bontrup Holding BV. I dagbruddet på Sætreffjellet tas det ut sandstein fra Hornelen devonbasseng som er det største av de devonske bassengene som ligger langs vestkysten av Norge. Det finnes svært få opplysninger om dette bruddet. I NGUs database for mineralressurser sies det at massene tas ut på toppen av fjellet (ca 500 moh) og transporteres til sjøen ved en styrtsjakt og stoll. Det produseres opp mot 2 mill. tonn pukk årlig, og gjenstående ressurser av $>10^9$ tonn er tilstrekkelig for mer enn 100 år med dagens produksjon (<http://en.bremanger-quarry.nl/>). Dagbruddets areal er på ca 440 000 m² og vil ved avsluttet drift ha et volum på $>>10$ mill. m³.



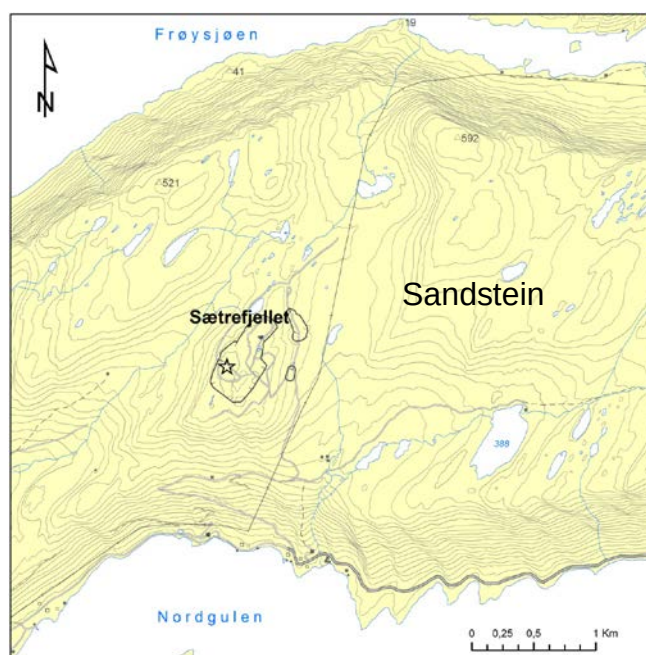
Figur 69 Kartutsnitt viser beliggenhet av Sætreffjellet dagbrudd og pukkverk med kai i Dyrstad i Bremanger kommune. (kilde: Kartverket).

Geologi

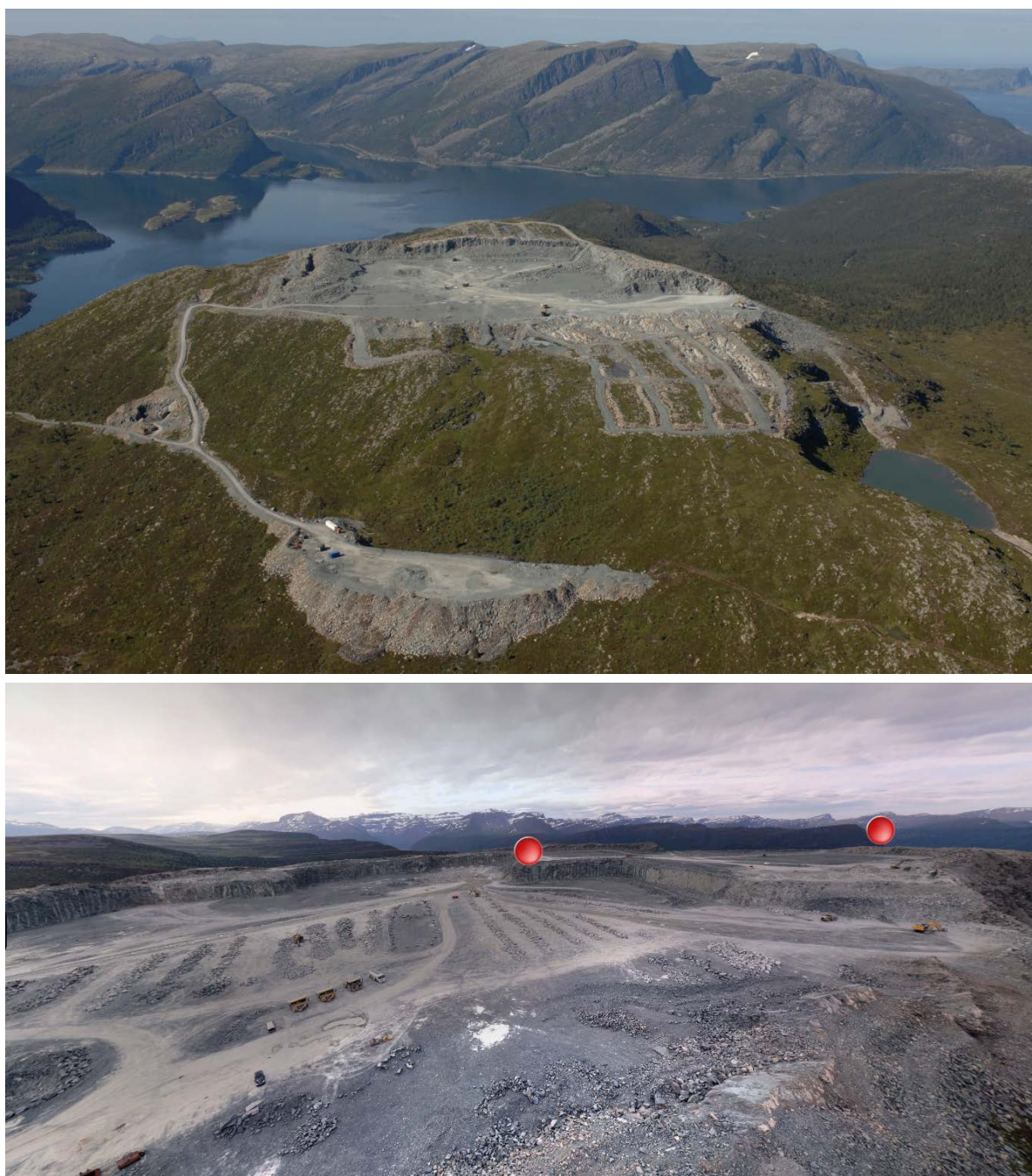
Hornelen devonbasseng har en utstrekning på ca 70 x 25 km. Sætreffjellet ligger i den nordvestlige delen av bassenget på halvøya mellom Nordgulen og Frøysjøen. Steel et al. (1985) gir her den beste beskrivelsen av bergartene. Det er anslått sedimentmektigheter på ca 25 km i bassenget. Ytterkantene av bassenget er dannet av forkastninger. Langs yttergrensene dominerer konglomeratbergarter som er tenkt dannet samtidig med forkastningene. Sentralt i bassenget, der også Sætreffjellet pukkverk ligger, dominerer bergartene av ulike typer arkoser (feltspatrike sandsteiner) med lagningen som faller mot øst. Mellom enkelte lag i arkosene er det innslag av siltstein. Hele sekvensen har et benket utseende slik som vist øverst i Figur 72. Sandsteinen på Sætreffjellet er en hard, porøs bergart med gode stabilitetsegenskaper.



Figur 70 Luftfoto viser dagbruddet på Sætfjellet og kaianlegg nede ved Dyrstad gård langs Nordgulen. (kilde: Kartverket).



Figur 71 Kart over Sætfjellet pukkeforekomst. Hele området mellom Nordgulen og Frøysjøen består av devonske sandsteiner som tilhører Hornelen devonfelt. Kartet er et utsnitt av geologisk kartblad Måløy 1:250 000 (Kildal, 1970).



Figur 72 Øverst: Oversikt over Sætrefjellet Pukkforekomst, sett mot sør. Bildet tatt omkring 2008 er hentet fra NGU Mineralressursdatabase. Nederst: Dagbruddet på Sætrefjellet – bildet hentet fra websiden til Bremanger Quarry (<http://en.bremanger-quarry.nl/>). Bildet er ikke datert.

Hydrologiske forhold

Berggrunnen i hele området består av sandsteiner, en hard sedimentær bergart som har en høyere porøsitet og hydraulisk konduktivitet sammenlignet med intrusive magmatiske bergarter (se også Kap. 3.1). Dagbruddet ligger på toppen av fjellet og topografien går forholdsvis bratt ned på alle sider av bruddet, slik at nedbørsfeltet blir likt dagbruddet (Øverste bildet i Figur 72). På grunn av de hydrauliske egenskaper av sandsteinen vil nedbør i det store bruddet stort sett ha en naturlig drenering gjennom dagbruddet, noe som medfører en betydelig hydraulisk gradient gjennom berggrunnen ned mot havnivå.

Deponi

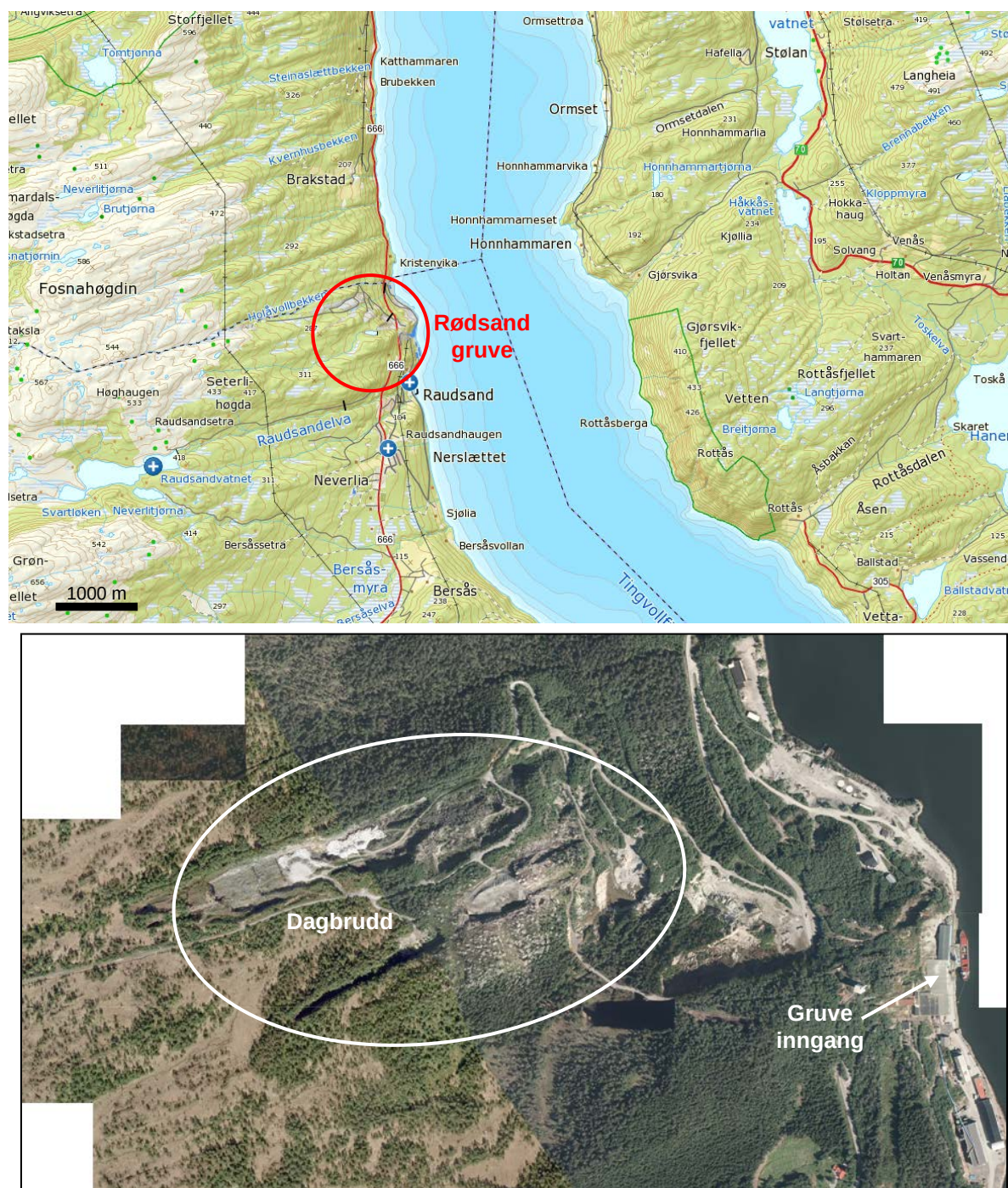
Denne lokaliteten vurderes som uegnet til deponi for uorganisk farlig avfall på grunn av følgende aspekter:

- Vertsbergartens kjemiske- og hydrauliske egenskaper er ikke gunstig med hensyn til deponering av det basiske avfallet.
- Dagbruddet, som er planlagt i aktiv bruk i ca 100 år fremover, vil ha et relativt høyt forhold mellom tildekkingsareal og avfallsvolum.
- Dagbruddet ligger høyt over havnivået, ca 2 km veiavstand og ca 425 m høyde-meter fra nærmeste dypvannskai. Ved avsluttet drift vil et evt. deponeringsvolum ligge godt over havnivå.
- Beliggenhet av dagbruddet og topografien rundt bruddet medfører middels til betydelige hydrauliske gradienter gjennom og rundt et evt. deponi.
- Sannsynlighet for rystelser fra jordskjelv er størst på Vestlandet, særlig langs kysten av Sogn og Fjordane. Beliggenhet nær jordoverflaten er mer utsatt for rystelser fra seismisk aktivitet.

5.2.6. Rødsand

Generelt

Rødsand jerngruve ligger rett ved Tingvollfjorden ved Raudsand i Nesset kommune i Møre og Romsdal. Se Figur 1 for lokalisering. Industiområde med dypvannskai og inngangen til underjordsgruve ligger langs fjorden. Fra fjorden stiger topografien bratt opp mot vest til 250-300 moh (Figur 73 og 79) hvor det ligger et dagbrudd der uttak av jernmalm ble drevet fra 1981 til 1987. I dag er dagbruddet i bruk til uttak av pukk.



Figur 73 Kartutsnitt og luftfoto som viser beliggenhet for Rødsand gruve og dagbrudd ved Raudsand i Nesset kommune. (kilde: Kartverket).

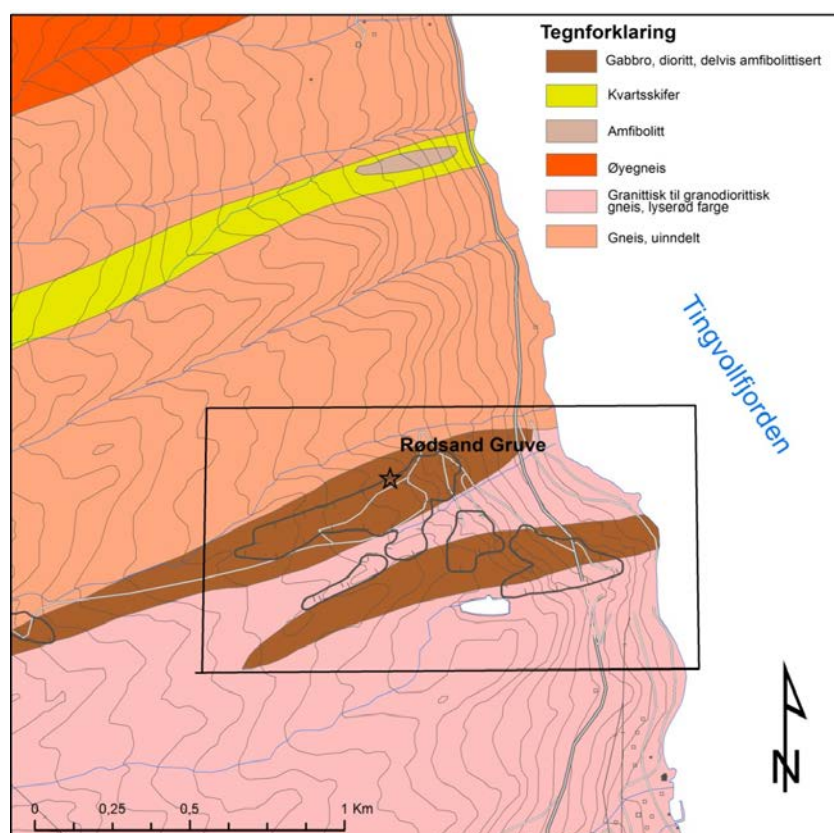
Jernmalmen ble oppdaget i 1850 og drift startet i 1899. Det er drevet på flere malmkropper. I 1960- og 1970-årene produserte gruven ca 120 000 tonn magnetittkonsentrat per år med 65% jern og 0,5% vanadium. Fram til 1981 var det underjordisk drift, mens det etter 1981 ble drevet i et åpent brudd. Gruven ble nedlagt i 1987, men bergvervskonsesjonen er opprett-holdt for uttak av pukke fra dagbruddet til produksjon av oljegrus og asfalt.

Den underjordiske delen av gruven er drevet ned til 600 m under havnivå og en god del av gruven ligger under fjorden. Det er totalt tatt et volum på ca 5 mill. m³. Infrastrukturen i gruven er fjernet og gruvegangene er i dag fylt med vann. Den underjordiske gruven eies i dag av den Norske staten, mens dagbruddet og området rundt det har forskjellige private eiere.

Geologi

Den følgende beskrivelsen av gruvene og de omkringliggende bergartene er basert på publikasjoner av Geis (1965) og Sanetra (1985).

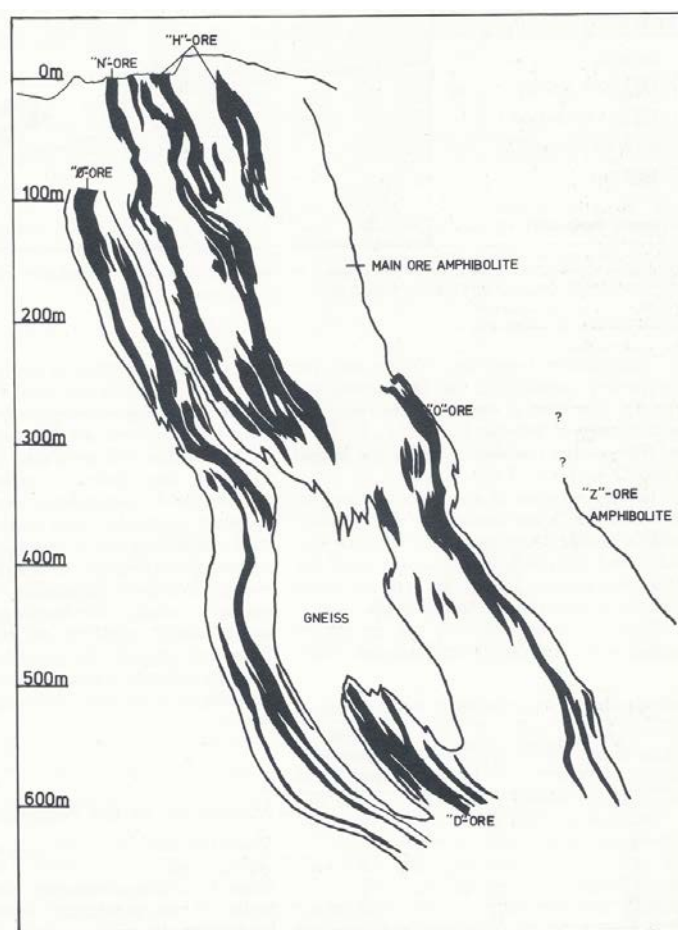
Bergartene i området domineres av røde og grå gneiser av prekambrisk alder. Disse ble tidligere gjerne ble omtalt som Raudsandgruppen (se f. eks. Råheim 1972). Nedfoldet i de prekambriske gneisene er belter av kvartsitt og kvartsskifer og også øyegneis (Figur 74). Malmene opptrer i det som er tolket som omdannede gabbroer eller dioritter, men som er deformert slik at de opptrer som amfibolitter. Amfibol, plagioklas og biotitt er de viktigste mineralene i denne bergarten, men det finnes også mindre mengder pyroksen, kvarts, kloritt, apatitt, granat, kalkspat og andre aksessoriske mineraler i amfibolitten. Det finnes også en del prekambriske granitt-pegmatitter som gjennomsetter både de omkringliggende gneisene, amfibolitten og malmen.



Figur 74 Geologisk kart over området rundt Rødsand Gruve. Etter Bryhni et al. 1990. Innrammet område viser utsnitt for Figur 75.



Figur 75 Kart som viser utgang av de forskjellige malmkropper i Rødsand Grube. (kilde: Geis, 1965; Fig. 3).



Figur 76 Snitt som viser kompleksiteten til malmkroppene i det området der det sist var drift. Generelt faller de steilt mot nord, og det viser drift ned mot 600 m under havnivå. (kilde: Sanetra, 1985).

Malmen består av ca 27% magnetitt, ca 10% ilmenitt og hematitt og ca 1% sulfider. Disse er hovedsakelig pyritt og noe kobberkis, se Sanetra (1985). Det er drevet på flere forskjellige malmkropper, slik det vises på kartet til Geis (1965), se Figur 75. Kroppene ligger spredt med en høydeforskjell fra nær havnivå til nesten 300 m over havet. Alle malmene har en svært irregulær form. De kan være både båndete og massive. De båndete veksler mellom bånd som er rike på Fe-Ti-oksider og amfibolitt. De kan ha en tykkelse fra 1 cm til 1 m, men er vanlig ca 20-30 cm. Ofte er de innfingret med amfibolitt og kontakten mot amfibolitten er ofte sterkt forskifret. Det er usikkert om vekslingen mellom amfibolitt og malm skyldes en primær lagning eller om det hele er tektonisk. Figur 76 viser et profil fra Sanetra (1985) gjennom de malmsone som ligger lengst nede ved sjøen i sydøst. Dette viser at gruvene er drevet ned til 600 m under havnivå.

Sprekker og forkastninger

Det er lite dokumentert om strukturgeologi i Rødsand gruve. Følgende opplysninger kommer fra et møte 11.11.2015 med tidligere Bergmesteren Per Zakken Brekke. Bergartene i gruen er moderat-betydelig oppsprukket og det forekommer flere forkastninger i gruen. Det har vært flere ras i gruvens sjakter og stoller, hvorav raset i 1974 (Geis, 1974) kom helt opp i dagen (Figur 77).

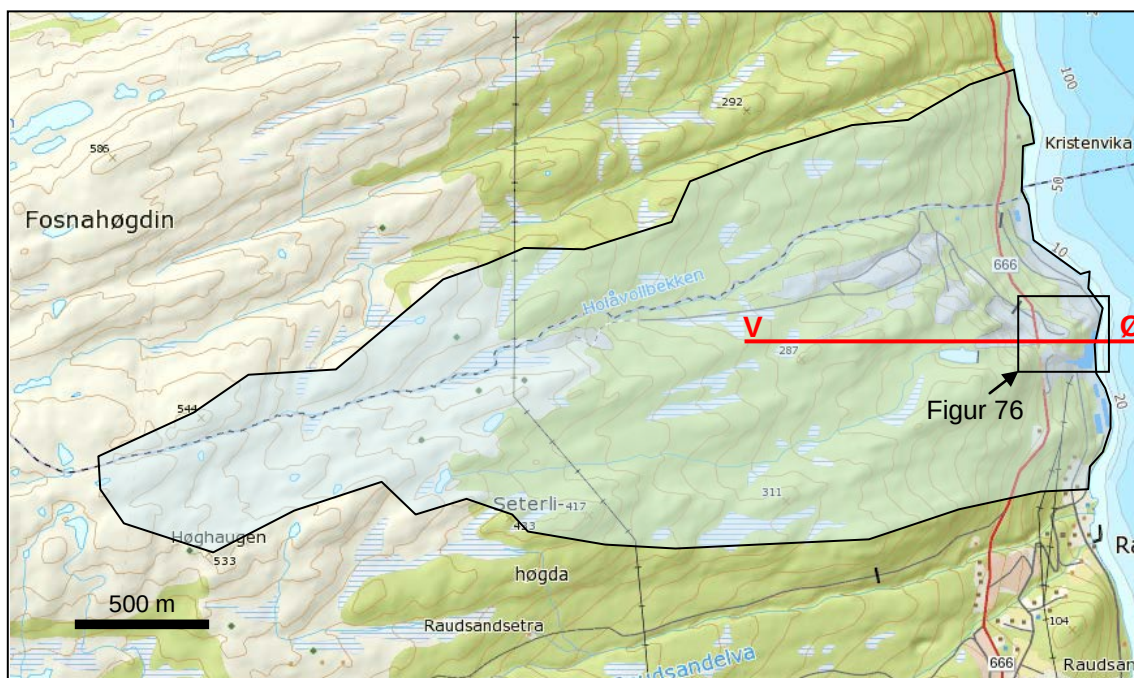
Beliggenhet av Rødsand med hensyn til den store Møre-Trøndelagsforkastningen (Figur 16) medfører sannsynlighet for rystelser fra jordskjelv i forbindelse med seismisk aktivitet.



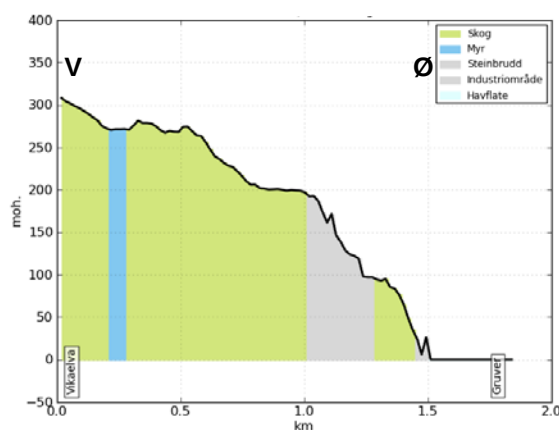
Figur 77 Luftfoto viser malmsjakt, oppredningsanlegg og dypvannskai. Den røde ringen viser kollapsområdet etter raset i gruen i 1974. Området dekket av bildet er avmerket på kartet i Figur 78.

Hydrologiske forhold

Topografien som bestemmer nedbørsfeltet rundt Rødsand gruve er karakterisert av en bratt stigning vestover fra sjøen opp til høyder rundt 500-550 moh, samt av rette elve- og bekkeløp som renner mot NØ ned til fjorden (Figur 78). Den årlige nedbørsmengden i dette området er ca 1 700 mm ut fra målinger i Eidsøra som ligger ca 5 km sør for Rødsand (www.nve.no). Nedbørsfeltet har et areal på ca 4,4 km² og ligger stort sett oppstrøms for dagbruddet og gruen. Den øverste delen av nedbørsfeltet består i all hovedsak av bart fjell mens resten av feltet har lite løsmasser, bestående av et tynn morene eller tynt humus-/torvdekke (NGUs Løsmassedatabase, www.ngu.no). Det er ikke utført hydrogeologiske undersøkelser i området, men det anslås at en stor del av nedbøren renner av som overflatevann basert på at fjellet består av bergarter som er forholdsvis tette. Det er ikke mulig å anslå hvor stor andel av nedbøren som infiltrerer berggrunnen oppstrøm i nedbørsfeltet og som vil føre til innlekkasje av grunnvann i bruddet og gruen. Ut fra den topografiske gradienten må det regnes med en betydelig grunnvannsgradient ned til havnivå i gruen, samt at det må regnes med innlekkasje av grunnvann i gruen fra infiltrasjon gjennom dagbruddet og kollapsstrukturen (fra raset på 1970-tallet), og langs forkastningene.



Figur 78 Topografisk kart som viser nedbørsfelt for området rundt Rødsand gruve. V-Ø linjen er lokalisering av høydeprofilen vist i Figur 79.



Figur 79 Høydeprofil langs V-Ø linjen vist i Figur 78. (kilde: Kartverket).

Deponi

Denne lokaliteten vurderes som ikke aktuell for videre utredning til deponi for uorganisk farlig avfall på grunn av følgende aspekter:

Gunstige aspekter:

- Kort avstand til dypvannskai.

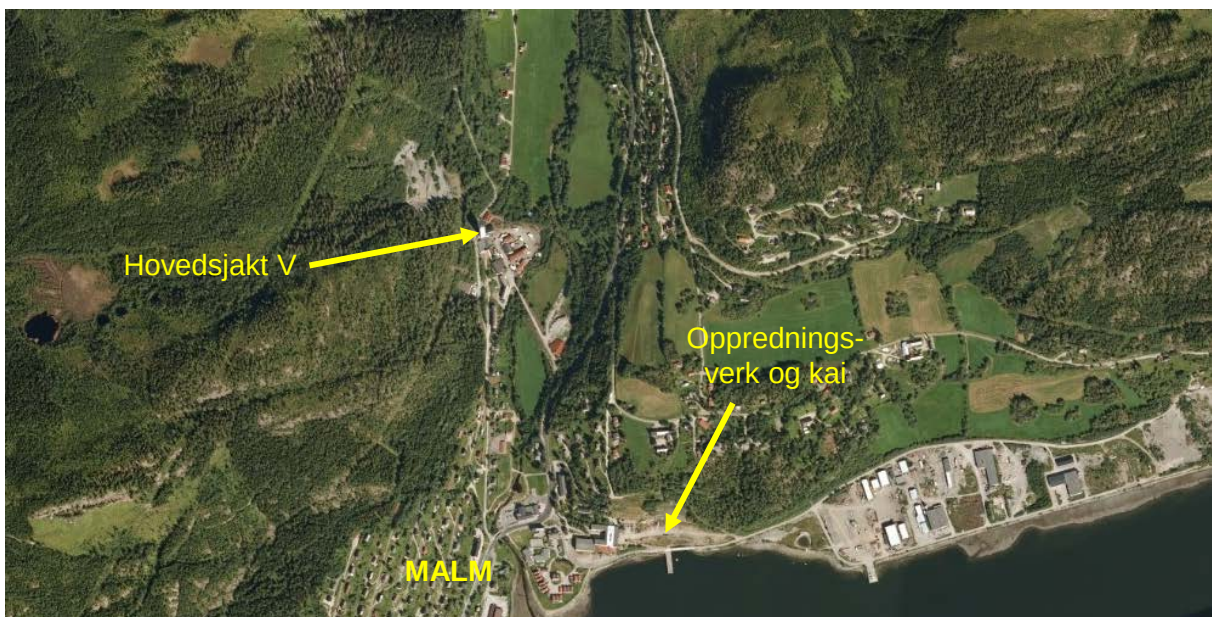
Mindre gunstige aspekter:

- Ved avsluttet drift hadde gruen et estimert volum under havnivå på $<5 \text{ mill.m}^3$ (ned til 600 moh) tilgjengelig for deponering av avfall.
- Granittisk gneis som hoved vertsbergart har ikke gode kjemiske egenskaper med hensyn til det basiske avfallet. I tillegg forekommer det betydelig innhold av sulfider.
- Bergartene er betydelig oppsprukket og det forekommer flere forkastninger i gruen. Det har vært flere ras i gruens sjakter og stoller.
- Sannsynlighet for rystelser fra jordskjelv i forbindelse med seismisk aktivitet langs Møre-Trøndelagsforkastningen.
- I tillegg til en betydelig grunnvannsgradient står gruen i forbindelse med et dagbrudd ca 300 moh og en kollapsstruktur i dagen (fra et ras i gruen). Dette kan føre til innlekkasje av grunnvann inn til et evt. deponi nede i gruen.
- Infrastruktur er fjernet og gruen er fylt med vann. Dette medfører store kostnader for gjenopprettelse av tilgang til gruen inkl. pumping og behandling av vannet, fjellsikring mm.

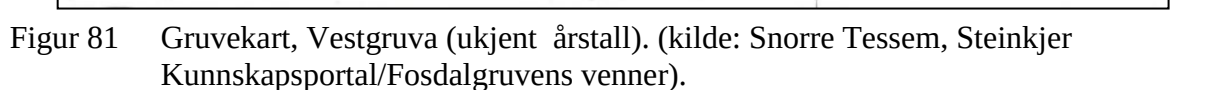
5.2.7. Fosdalen

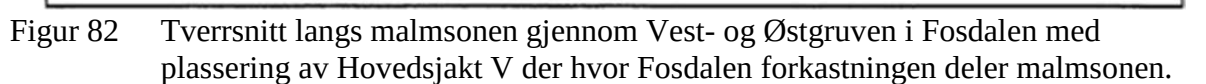
Generelt

Fosdalen jerngruve ligger i Malm langs Beistad sundet i Malm kommune i Nord-Trøndelag. Se Figur 1 for lokalisering. Fosdalen gruve består av en Vest- og Østgruve som ligger på hver sin side av Fosdalen forkastningen som går N-S med et bratt fall mot øst. Hovedsjakt V til gruva ligger på denne forkastningen langs vestkanten av dalen som følger Fosdalen-forkastningen. Det er ca 1 km fra hovedsjakten til området ved sjøen der det finnes dypvannskai og tidligere var her også et oppredningsverk som hadde en forbindelse til sjakten gjennom en tunnel (Figur 80). Topografien stiger bratt opp vest for sjakten til ca 300 moh, mens den stiger mindre bratt til ca 200 moh på motsatt side av dalen. Den norske staten eier i dag Vestgruven mens Malm kommune eier Østgruven.



Figur 80 Kartutsnitt og luftfoto over Malm viser lokalisering av Fosdalen gruva, samt Hovedsjakt V og tidligere oppredningsverk med dypvannskai. (kilde: Kartverket).





Vestgruva Hovedsforkastning

RESSEMÅSEN

Sea level

GJELMUNDGRUVA

No. 9 level

Østgruva

Sjakt nr. 17Ø

No. 1 shaft

Block no. 1

No. 14 level

Block no. 2

No. 18 level

Block no. 3

Hovedsjakt 5

1176,6 m dyp

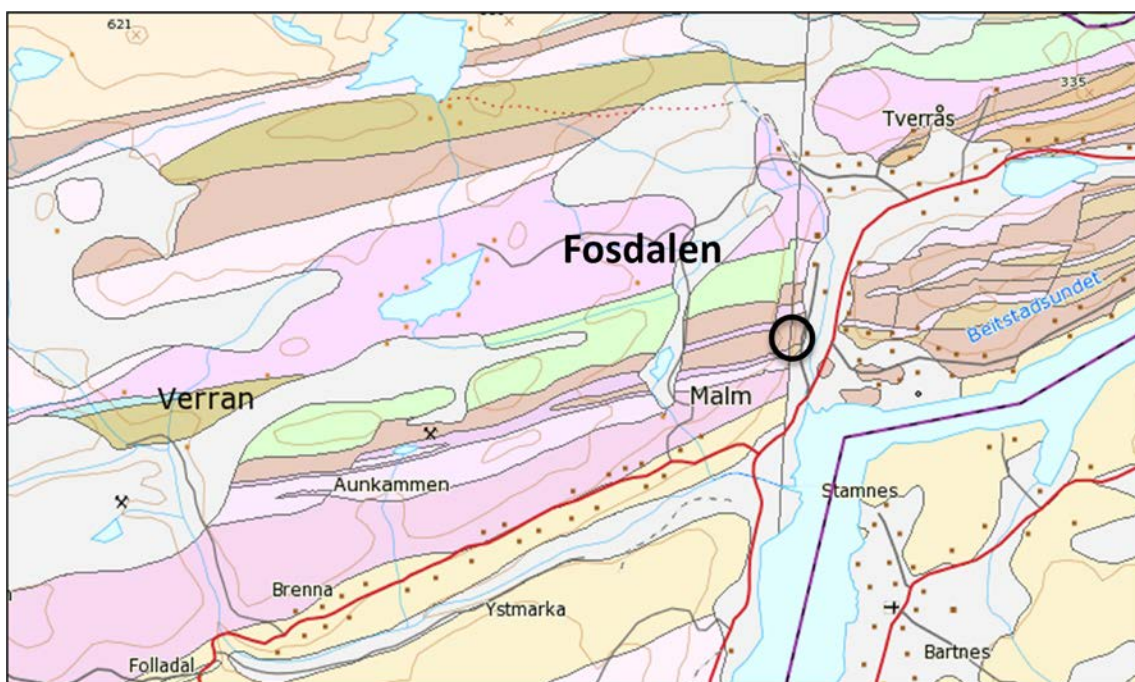
0 500 1000 1500 2000 2500 3000 m

96

Gruvens beliggenhet var logistisk sett svært gunstig. Malmen ble fraktet til kai med en kort togbane gjennom en tunnel. Da gruvedriften ble avsluttet ble heiskabelen kuttet, men heismaskineriet står fortsatt. Østgruven holder på å bli fylt opp med vann siden 1997, og nivået av grunnvann i gruen ligger i dag et par hundre meter under bakken. Gruven er i dag ikke tilgjengelig og ny tilgang med nødvendig infrastruktur vil medføre store kostnader inkl. pumping og behandling av vannet, fjellsikring mm.

Geologi

Fosdalsmalmen opptrer som lag i en malmførende enhet som har en kjent strøklengde (ØNØ) på ca 150 km, med en lang rekke tilsvarende mineraliseringer langs strøket. På nordsiden av malmen, i ligger, består sidebergartene av grønnstein og mindre mengder kalkspatmarmor samt kalkholdig kvartsitt. I hengen finnes hovedsakelig felsiske metavulkanitter (keratofyr) i veksling med porfyrisk grønnstein og biotittskifer. Selve malmsonen er ofte båndet, med lag av massiv magnetitt i veksling med magnetitt-hornblendeskifer og mer eller mindre pyrittrik magnetittmalm. Gangarten er hovedsakelig hornblende, kvarts, karbonat og epitdot, med små mengder granat, apatitt og titanitt. Kalkholdig eller kvartsrik magnetittmalm finnes også, og lokalt opptrer tynne lag av båndet granat-magnetittskifer med 2-3 mm store krystaller av spessartingranat. Malmsonen har ofte en relativt skarp liggkontakt og en mer gradvis overgang mot fattig magnetittmineralisering i en kvarts-glimmer-karbonatrik bergart mot hengen.



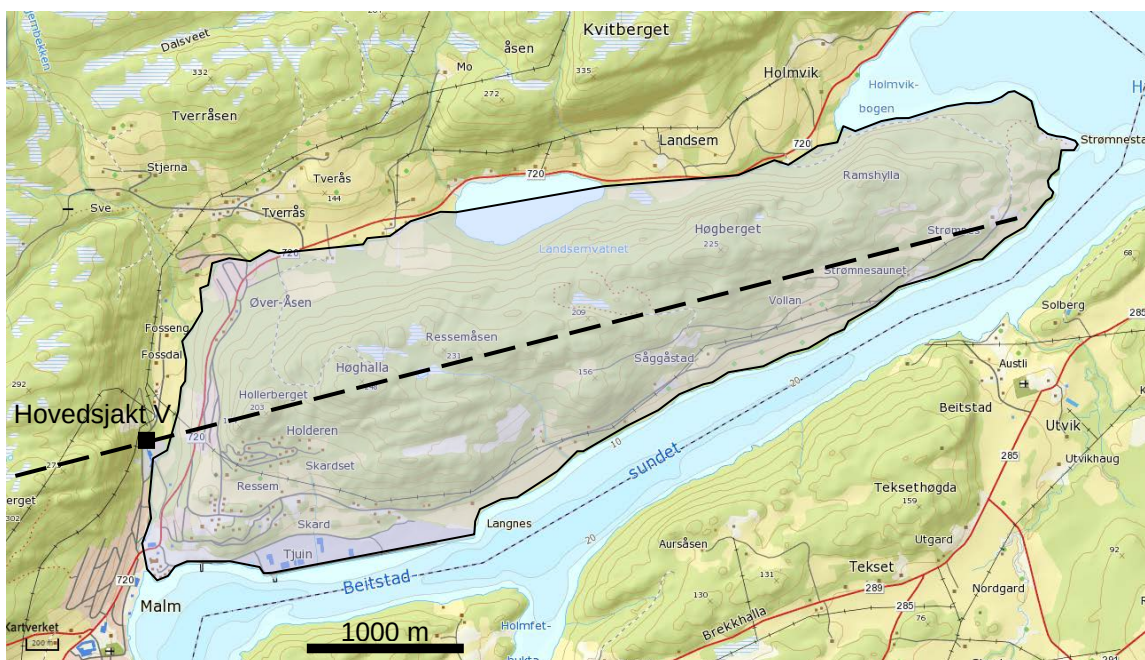
Figur 85 Geologisk kart (M 1:250 000) for området rundt Malm, Nord-Trøndelag. Lokaliteten for Fosdalen jernmalm gruve er avmerket med en svart sirkel.

Sprekker og forkastninger

Bergartene i Østgruven er moderat oppsprukket og det finnes mange forkastninger langs malmsonen (Figur 82) i tillegg til hoved forkastningen gjennom Fosdalen. Beliggenhet av Fosdalen gruve med hensyn til den store Møre-Trøndelagsforkastningen (Figur 16) medfører også sannsynlighet for rystelser fra jordskjelv i forbindelse med seismisk aktivitet.

Hydrologiske forhold

Østgruven følger malmsonen under en åsrygg i ØNØ-retning langs Beistadsundet. Høyden på ryggen ligger på ca 200 moh med tre mindre topper mellom 225 og 250 moh. Nedbørsfeltet (Figur 86) har et areal på ca 7,7 km² og består av lite bart fjell med det aller meste av feltet dekket av løsmasser, bestående av en tynn morene eller tynt humus-/torvdekke (NGUs Løsmassedatabase, www.ngu.no). Det er ikke utført hydrogeologiske undersøkelser i området, men det anslås at en stor del av nedbøren renner av som overflatevann basert på at fjellet består av bergarter som er forholdsvis tette.



Figur 86 Nedbørsfelt over Fosdalens Østgruve ligger omtrent symmetrisk over gruve som følger malmsonen (skjematisk avmerket med en stiplet linje) fra Hovedsjakt V i retningen mot ØNØ.

Fordi det volumet som er tatt ut i Østgruven ligger mellom ca 500 og 1100 m under havnivå, forventes at et evt. deponi i denne gruve ikke har en grunnvannsgradient etter at deponiet er fylt opp. Et evt. deponi nede i Østgruven vil ha i all hovedsak en innadvendt hydraulisk gradient fra det omkringliggende sjøvannet. Den antatte lave hydrauliske konduktiviteten av bergartene i gruveområdet synes å bli bekreftet av at det tar lang tid før gruve er fylt opp med vann til dagens havnivå siden nedleggelse i 1997.

Deponi

Fosdalen Øst jernmalmgruve vurderes som ikke aktuell for videre utredning til deponi for uorganisk farlig avfall på grunn av følgende aspekter:

Gunstige aspekter:

- Ved avsluttet drift hadde gruve et estimert volum under havnivå på ca 5 mill.m³ (ned til 1150 moh) tilgjengelig for deponering av avfall.
- Ingen grunnvannsgradient i eller rundt et evt. deponi i Østgruven, men kun en innadvendt sjøvannsgradient etter deponering.
- Kort avstand til dypvannskai.

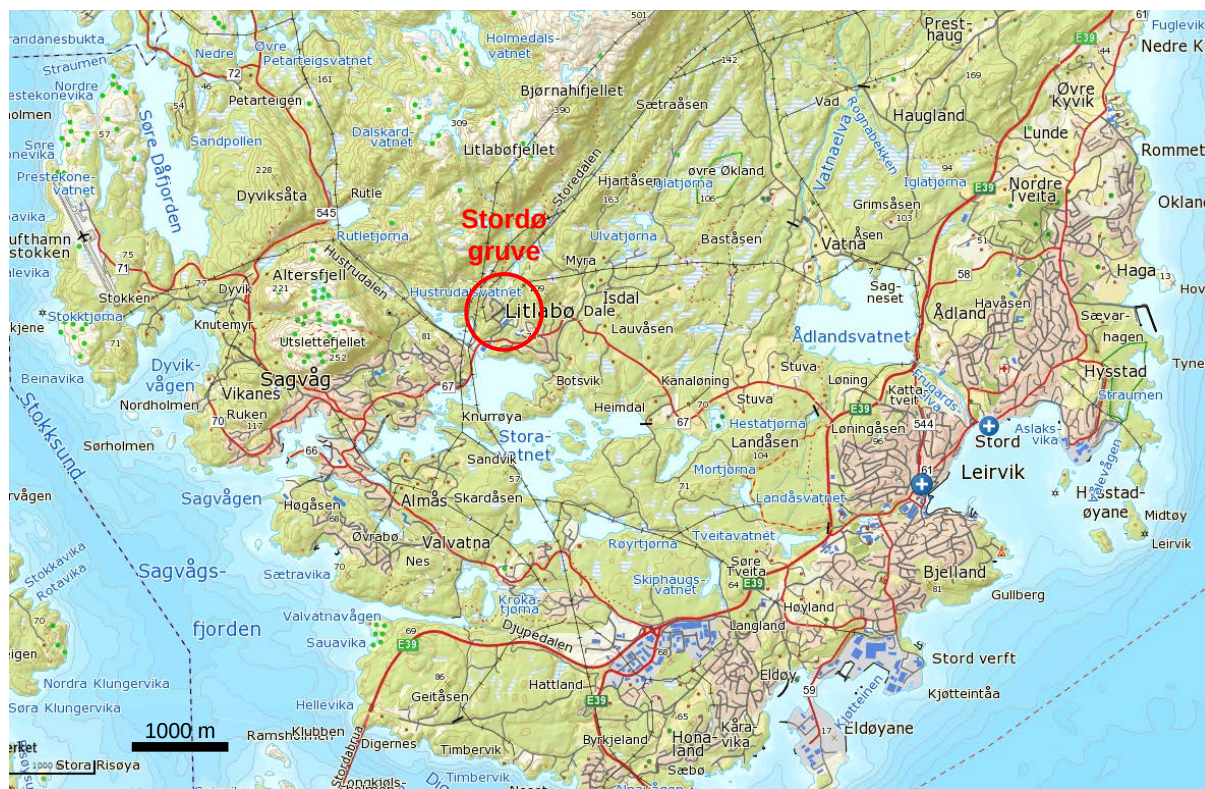
Mindre gunstige aspekter:

- Det volumet som er tatt ut ligger mellom 500 og 1100 muh, består av et kompleks nettverk av orter, sjakter og store magasin. Dette volumet er ikke sammenhengende men delt opp over fire 'blokker' som ligger fordelt over en avstand av 4-5 km fra Hovedsjakt V.
- Vertsbergartene (en blanding av granittisk gneis, amfibolitt, kalkholdige bergarter og grønnstein) inkl. betydelig innhold av sulfider har ikke gode kjemiske egenskaper med hensyn til det basiske avfallet.
- Bergartene er moderat oppsprukket og det forekommer flere forkastninger i gruen. En større forkastning (Fosdalen forkastning) skiller østgruen fra vestgruen med et vertikalt sprang på 700 m.
- Sannsynlighet for rystelser fra jordskjelv i forbindelse med seismisk aktivitet langs Møre-Trøndelagsforkastningen.
- Infrastruktur er fjernet og gruen er for det meste fylt med vann. Dette medfører store kostnader for gjenopprettelse av tilgang til gruen inkl. pumping og behandling av vannet, fjellsikring mm.

5.2.8. Stordø

Generelt

Stordø svovelkisgruve ligger på øya Stord i Stord kommune i Hordaland. Se Figur 1 for lokalisering. Den lettest tilgjengelige og beste informasjonen om gruva finnes i NGUs database for mineralressurser: <http://geo.ngu.no/kart/mineralressurser/>.



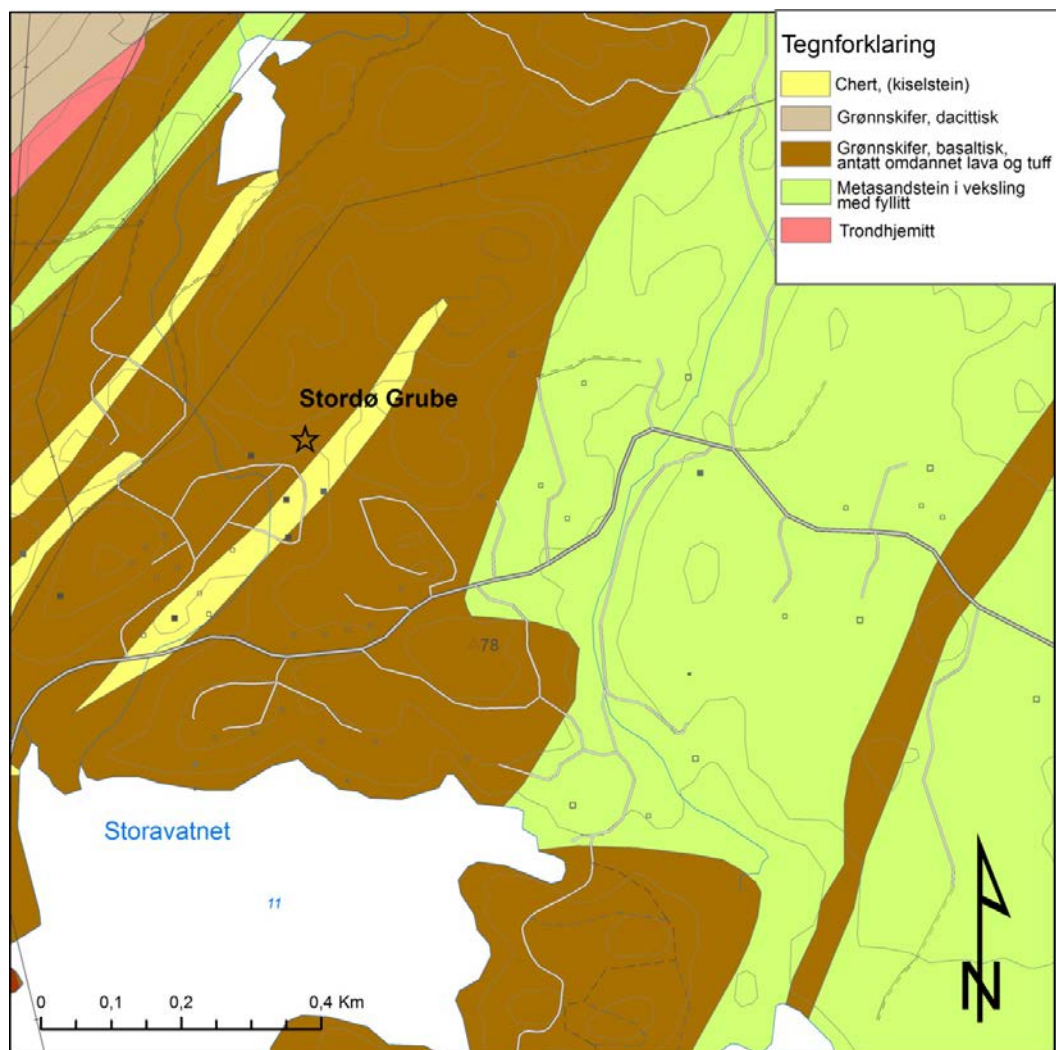
Figur 87 Kartutsnitt som viser beliggenhet for Stordø gruve på øya Stord i Stord kommune. (kilde: Kartverket).

Driften ved denne gruva startet allerede i 1865 og med unntak av noen få år var den i drift fram til 1969. Forekomsten består av flere linseformede malmkropper som ligger innenfor et belte på ca 150 m. Det var også drift på malmkropper som ligger ca 0,5 til 2 km sør for hovedgruva som ligger på Litlabø. Gruva er drevet fra en grunnstoll som skjærer malmsonen ca 55 m under utgående og en loddsjakt som ble drevet til ca 500 m under grunnstollen. Malmsonen varierer i mektighet fra 5 m opptil 50 m og med strøketning NNV-SSV slik som resten av bergartene, og fallet er steilt mot øst. Selve malmen består nesten utelukkende av svovelkis med veldig lave verdier av basemetaller som for eksempel kobber. Innimellom er det mellomlag av såkalt svartberg som består av magnetitt og stilpnomelan. Totalt skal det være tatt ca 9 mill. tonn malm, og med et volum på ca 2,3 mill. m³. Gruvene er nå vannfylt opp til grunnstollnivået, og vannet har en pH på ca 2,7.

Geologi

Figur 88 viser et geologisk kart over områdene rundt gruva. De regionalgeologiske forholdene er best beskrevet av Færseth (1982). Malmen opptrer i en grønnskifer tilhørende Sagvågformasjonen i Mundheimgruppen. Dette er tolket som omdannede basaltiske lavaer. Den består av mineralene albitt, kloritt, epidot, muskovitt, titanitt, kalkpat og litt kismineraler. Karakteristisk er små årer på ca 5 mm tykkelse av kvarts og kalkpat. I denne grønnskiferen

opptrer det også soner med chert eller kiselstein. Slike soner ser også ut til være nær knyttet til malmene. Øst for grønnskiferen ligger et belte med sedimenter som består av en veksling mellom sandstein og fyllitt (Agdesteinsformasjonen). Alle disse bergartene tilhører den kaledonske fjellkjeden og er antatt å ha en alder på ca 440 mill. år (silur).



Figur 88 Geologisk kart over området rundt Stordø svovelkisgrube. Kartet er et utsnitt av berggrunnskart Fitjar (Færseth et al. 1999).

Deponi

Fordi det er totalt tatt ut et volum i Stordø grube på ca 2,3 mill. m³ er denne lokaliteten, etter avtale med Miljødirektoratet, ikke nærmere vurdert. De viktigste aspekter oppsummeres som følgende:

Gunstige aspekter:

- Potensielt deponeringsvolum under havnivå.

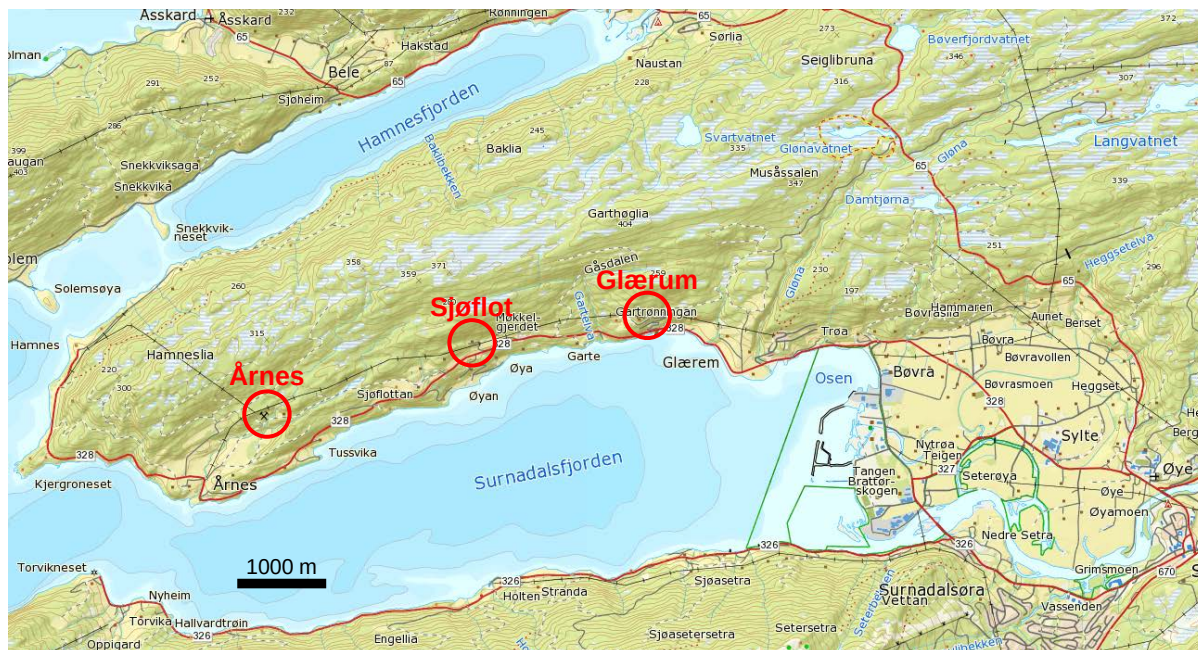
Mindre gunstige aspekter:

- Totalt volum under havnivå er kun på ca 2 mill.m³.
- Nedlagt grube med sulfidmineralisering som er vannfylt opp til stollnivå. Vannet i gruen har en pH på ca 2,7.
- Ingen tilgang til dypvannskai i nærheten.

5.2.9. Glærum

Generelt

Kalksteinsforekomsten ligger langs Surnadalsfjorden i Surnadal kommune i Møre og Romsdal. Se Figur 1 for lokalisering. Denne forekomsten finnes det svært få detaljerte opplysninger om. Opplysningene som er gitt nedenfor er hentet fra Mineralressursdatabasen ved NGU, fra en artikkel av Carstens (2010) og fra www.gkkalk.no.



Figur 89 Kartutsnitt som viser beliggenhet for kalksteingruvene Årnes og Sjøflot (begge nedlagt) og Glærum i Surnadal kommune. (kilde: Kartverket).

Forekomsten ligger i en ca 30-km lang og opp til 40-m mektig sone med kalkstein på nord-siden av Surnadalsfjorden (Figur 90) der det har vært flere kalksteinsbrudd. Lengst i vest ligger Årnesbruddet som trolig var det første området der kalkstein ble brutt med driftsstart i 1927. Litt lenger mot øst ligger Sjøflot som heller ikke er i drift i dag. Lengst øst ligger så Glærum som er eneste stedet med drift i dag. Utgangen i dagen på kalksteinen ligger ca 200 m over havet ved Glærum.

Glærum Kalksteingruve a/s er heleid av det norske selskapet Norock & Co AS (siden 2009) som driver gruven i dag. Uttak av kalkstein på Glærum startet i 1944. All drift foregår i dag underjordisk, og etter en første knusing inn i gruven blir steinen fraktet med transportbånd ned til sjøen der siloene ligger og en siste knusing blir gjort. Kalken har for høyt grafittinnhold til at den kan brukes ubehandlet til papirproduksjon, så all produksjon går til jordforbedringsmiddel eller lignende hovedsakelig i Midt-Norge.

Forekomsten er klassifisert som nasjonalt viktig. Produksjonen fra denne gruven går ikke til eksport. Årlig uttak er ca 25 000 tonn og beregninger av kalksonen har anslått at det kan finnes så mye som 150 mill. tonn i reserve. Totalt uttatt volum anslås per i dag til <1 mill. m³.

Følgende avsnitt er basert på selskapets webside www.gkkalk.no, som er udatert etter 2009: Gruven per dags dato er ca 3 km i utstrekning, der storparten av kalken over nivå 86 moh er tatt ut i form av magasinbryting. Men i begge ender av gruva planlegges nå å løse ut kalken ved flere nivåer opp mot dagen. Det vil si lengst vest i gruva drives det nå under den gamle

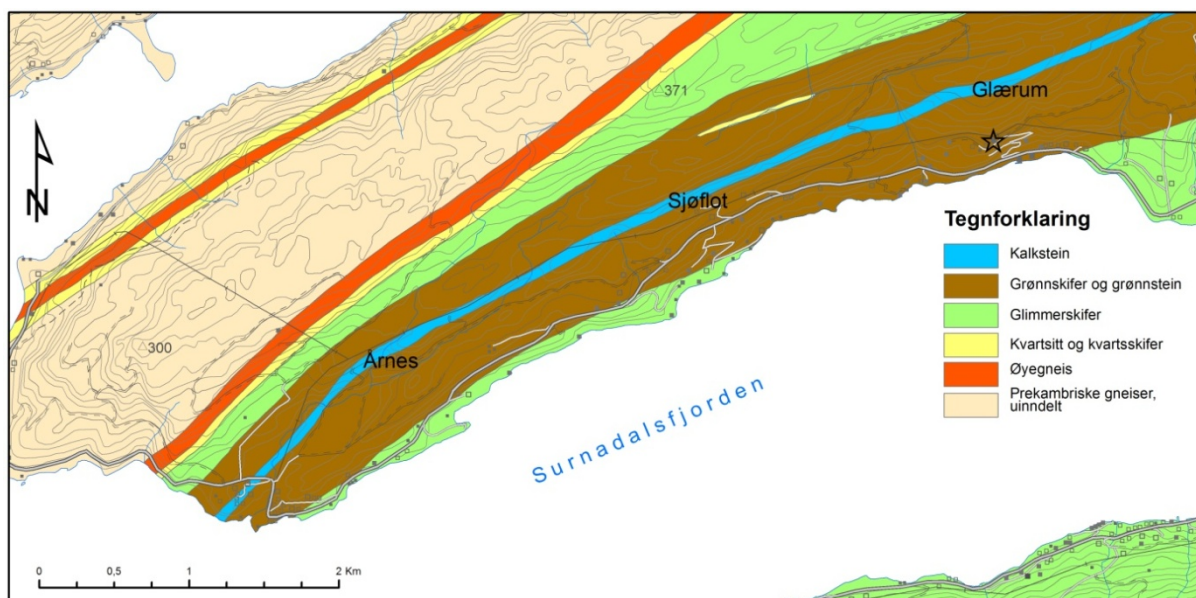
Sjøflotgruven som ligger på nivå 160 moh og er ca 1 km i utstrekning. Ved å løse ut ett nivå per 16 m blir begge gruvene drevet sammen etter hvert. Samtidig vil uttaket fortsette nedover for å løse ut nye nivåer ned mot 10 moh der kalken står urørt i dag i hele gruvens utstrekning. Hovedproduksjonen nå er således fokusert på uttak over hele forekomstens lengde ned mot 10 moh.

Geologi

Foruten det geologiske kartet utgitt av Krill (1987), er bergartene beskrevet av Hernes (1956) og Kollung (1984). Kalksteinsforekomstene ligger i det som kalles Surnadalssynklinalen. Kalksteinen ligger i bergarter som tilhører det kaledonske Trondheimsfeltet og er nedfoldet i det prekambriske grunnfjellet. Synklinalen strekker seg videre sørvestover helt forbi Molde.

Egentlig er dette pakke med tre forskjellige dekkeenheter: Rett over grunnfjellet ligger et dekke som består av kvartskifre (omdannede sandsteiner) og øyegneiser. Over det ligger et dekke som i denne delen av Norge kalles Surnadekket (det tilsvarer Blåhø- og Sevedekket andre steder i Norge). Det består her av en glimmerskifer som er ganske sterkt omdannet slik at den inneholder masse granater. Øverst ligger så bergartene i Størendekket som er langt mindre omdannet enn de bergartene som ligger under. Den dominerende bergarten her er en grønskifer som er antatt å være deformerte lavaer og tuffer. Den består av mineralene aktinolit, plagioklas, epidot, kloritt, kvarts og kalkspat, og den inneholder også en del sulfider. Det er i denne bergarten laget med kalkstein opptrer.

Laget med kalkstein er trolig overdrevet noe i tykkelse på kartet, siden det er sagt at det kan av og til være på bare noen meters tykkelse. I bruddet ved Glærum er det sagt at tykkelsen er på ca 20 m, og her faller laget ca 70° mot sør. Fargen er oftest hvit, men det kan også være svakt grå eller lyserød. Analyser av kalksteinen har gitt et CaCO_3 innhold på 97-98%.



Figur 90 Geologisk kart over kalksteinsforekomstene nord for Surnadalsfjorden. Kartet er et utsnitt fra berggrunnskart Stangvik, 1:50 000, Krill (1987). Symbolet for Glærumbruddet er ved oppredningsverket.

Deponi

Fordi det er totalt tatt ut et volum i Glærum kalksteingruve på <1 mill. m³ er denne lokaliteten, etter avtale med Miljødirektoratet, ikke nærmere vurdert. De viktigste aspekter oppsummeres som følgende:

Gunstige aspekter:

- Kalksteinen i Glærum gruve er en forholdsvis homogen og massiv basisk bergart med gode kjemiske og fysiske egenskaper med hensyn til det basiske avfallet. Kalksteinen har ingen betydelig innhold av sulfider og har en lav-moderat grad av oppsprekning.
- God tilgang til dypvannskai.

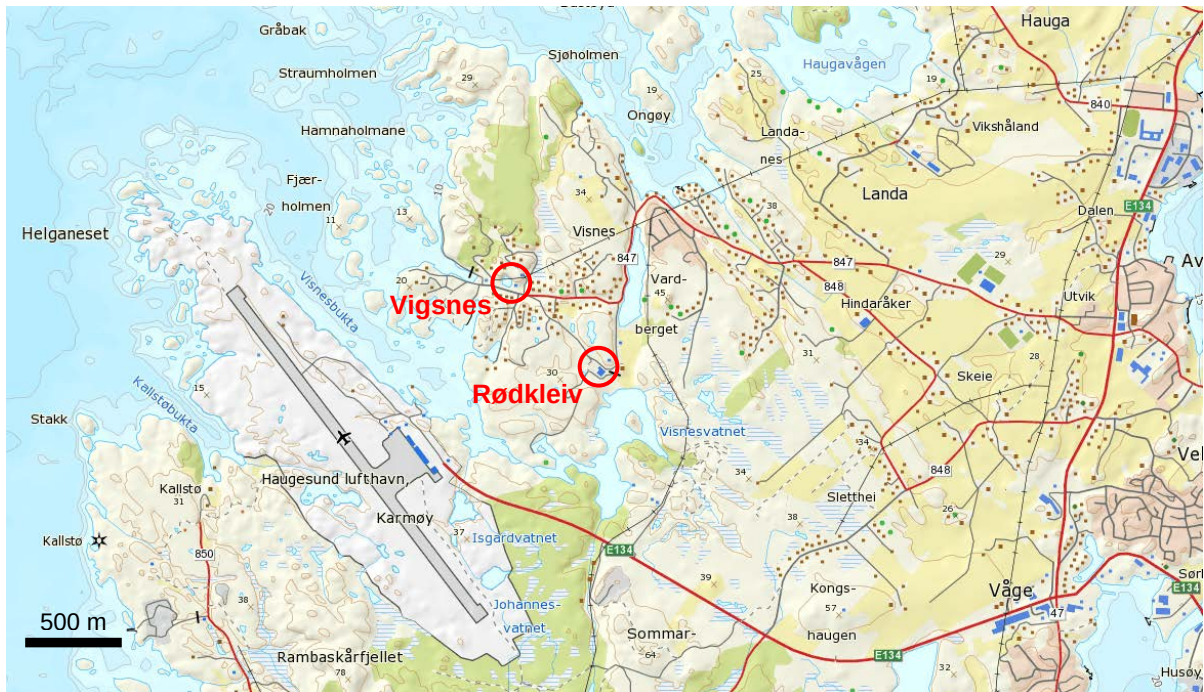
Mindre gunstige aspekter:

- Gruven drives i dag godt over havnivå. Uttatt volum er på ca <1 mill. m³.
- Sannsynlighet for rystelser fra jordskjelv i forbindelse med seismisk aktivitet langs Møre-Trøndelagsforkastningen.

5.2.10. Vigsnes

Generelt

Vigsnes gruve ligger på vestsida av Karmøy i Karmøy kommune i Rogaland. Se Figur 1 for lokalisering. De beste og lettest tilgjengelige opplysninger om gruvene finnes i NGU database for mineral-resurser, ref: <http://geo.ngu.no/kart/mineralressurser/>.



Figur 91 Kartutsnitt som viser Vigsnes og Rødkleiv gruvene i Karmøy kommune. (kilde: Kartverket).

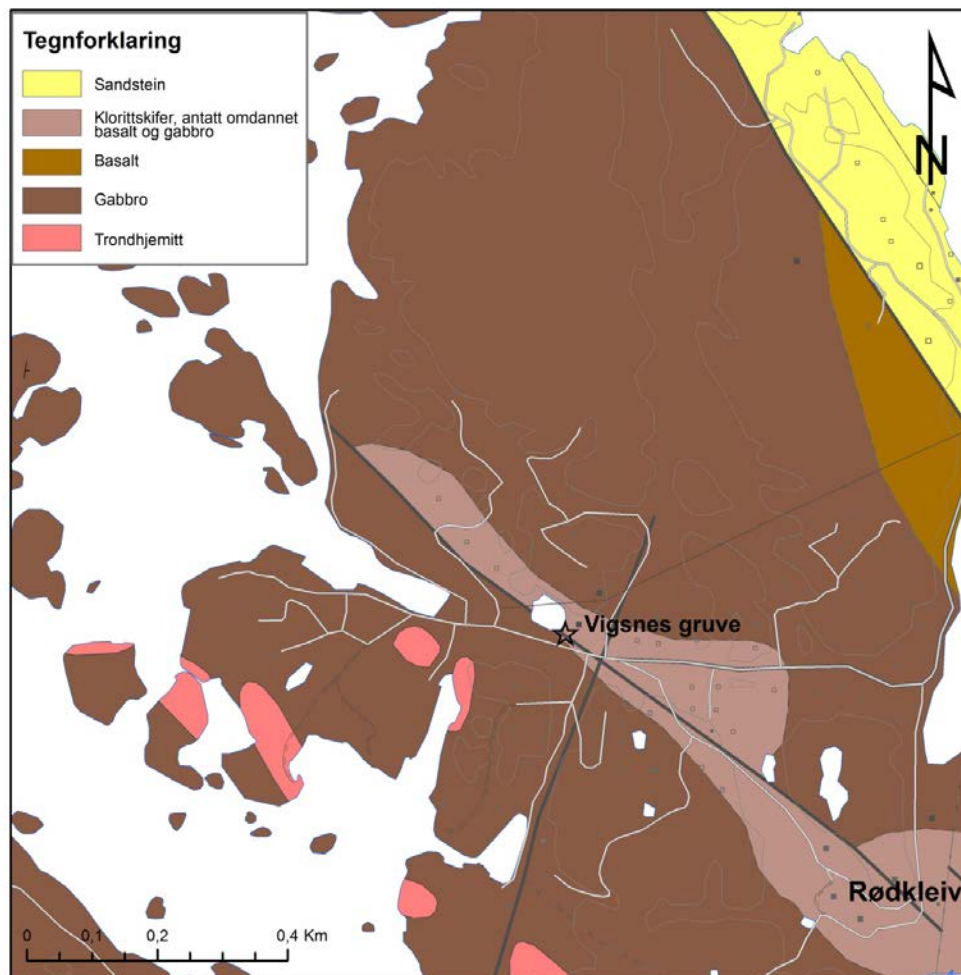
Prøvedriften startet i 1866 og gruen ble snart en av de største arbeidsplassene i Norge. Gruva ble drevet med en sjakt ned til 460 m og deretter en slepesynk nedover til ca 730 m dyp. Malmgehalten avtok nedover mot dypet, og i 1894 ble produksjonen stoppet. Geis (1957) har beregnet at 1,364 mill. tonn råmalm med et kobberinnhold på ca 1,6% ble produsert i denne perioden. Driften kom i gang igjen ca 1910, og i denne perioden ble drift også satt i gang ved Rødkleiv (Figur 91). Sistnevnte gruva er drevet ned til ca 400 m dyp. Det ble påbegynt en stoll fra Rødkleiv til Vigsnesgruva i nordvest, men det er usikkert om den ble fullført.

Produksjonen ved gruvene varte fram til ca 1970. Ved Rødkleiv gruve er det anslått at det ble tatt ut ca 1,4 mill. tonn malm med 0,8% kobber og 1,7% sink. De viktigste malmineralene i gruvene var kobberkis, svovelkis og sinkblende. Totalt er det anslått at det ble tatt ut masser på ca 700 000 m³ i gruvene. De øvre delene av Vigsnes gruve er rast igjen og danner et vannfylt basseng, og det er antatt at også Rødkleiv gruve står under vann.

Geologi

Vigsnes og Rødkleiv gruver ligger i det såkalte Karmøyofiolittkomplekset (Sturt et al. 1980, Menuge et al. 1989). Det er en relativt komplett ofiolittsekvens som består av serpentinit, gabbro, gangkompleks og overliggende grønnsteiner (basalter) som ble dannet i tidsrommet for 490–470 mill. år siden. I områdene rundt gruvene er det forskjellige typer gabbroer som dominerer (slått sammen til en type på kartet i Figur 92). Lokalt rundt gruvene opptrer en klorittskifer som i eldre litteratur er omtalt som Visnesskifer eller Vigsnesskifer, men som i

dag er tolket som forskifret gabbro, basalt og basaltiske ganger. Malmsonene ligger i denne bergarten og kan være fra ca 1 m til opptil 15 m mektige med et strøk nordvest-sørøst. Det ble drevet i opptil seks forskjellige malmsoner. Disse er oftest sigarformet og stuper steilt mot nordvest i dypet. Mellom Vigsnes gruve og Rødkleiv går det en forkastning eller skjærsone som er senere enn malmdannelsen og påvirker denne. Ved Rødkleiv går det også en forkastning med retning nord-sør som deler malmen i en 'østkis' og en 'vestkis'.



Figur 92 Kart over Vigsnes og Rødkleiv gruver, Karmøy. Kilde: Jorde, et al. 1999, kartblad Haugesund 1:50 000.

Deponi

Fordi det er totalt tatt ut et samlet volum i Vignes og Rødkleiv gruvene på ca 700 000 m³ er denne lokaliteten, etter avtale med Miljødirektoratet, ikke nærmere vurdert. De viktigste aspekter oppsummeres som følgende:

Gunstige aspekter:

- Potensielt deponeringsvolum under havnivå.

Mindre gunstige aspekter:

- Totalt volum under havnivå er < 0,7 mill.m³.
- Nedlagte Vigsnes og Rødkleiv gruvene med sulfidmineralisering er fylt med vann. Øvre del av Vigsnes gruve er rast igjen.
- Ingen tilgang til dypvannskai i nærheten.

6. Oppsummering

NGU har utført en vurdering av geologiske forhold ved potensielle lokaliteter til deponi for uorganisk farlig avfall. Utgangspunktet for vurderingen var en liste med 12 lokaliteter som var sammenstilt av Direktoratet for Mineralforvaltning på forespørsel fra Miljødirektoratet. NGUs vurdering omfatter geologiske-, hydrogeologiske- og ressursforhold for de utvalgte lokalitetene og er basert på eksisterende kunnskap og data.

I første omgang ble vurderingen tatt med hensyn til Miljødirektoratets kriterier for mulige lokaliteter. I dialog med Miljødirektoratet ble listen med 12 lokaliteter deretter redusert til 5 mulige lokaliteter. Etter en felles befarings med Miljødirektoratet på 3 av disse 5 lokaliteter i oktober 2015 ble én av lokalitetene tatt ut av listen over mulige lokaliteter.

De viktigste geologiske forhold i NGUs vurdering av en lokalitets egnethet for etablering av et permanent deponi for uorganisk farlig avfall er:

- Vertsbergart med gode kjemiske og fysiske egenskaper. Plassering av det basiske avfallet bør ligge i homogene syre-nøytraliserende bergarter med god styrke, lav hydraulisk konduktivitet og uten betydelig innhold av sulfider. Bergartene i og rundt et deponi bør ha så liten som mulig oppsprekking og større forkastninger bør helst være fraværende. Bergartens evne til selvtetting av mindre sprekker er også en gunstig egenskap.
- Ingen hydraulisk gradient gjennom og i nærheten av deponiet. Plassering av avfallet må ligge i massivt fjell godt under havnivå (≥ 5 m) der dybden under havnivå må vurderes med hensyn til raten for lokal landheving. Området over og rundt deponiet bør ha en forholdsvis flat topografi og ikke føre til en betydelig grunnvannsgradient mot dypet.
- Deponiet må ikke være påvirket av dypforvitring eller av store forkastninger som er utsatt for neotektonisk stress. Plassering av deponiet må vurderes med hensyn til jordskjelvrisiko og landheving (strekkspenninger) som kan medføre åpning av sprekker til grunnvann. Rystelsene fra jordskjelv er mindre på dypet sammenlignet med rystelsene på eller nær jordens overflate.
- Plassering av et permanent deponi må vurderes opp mot forholdet mellom landhevning og økning av havnivå som følge av forventet klimaendring. Et deponi under dagens havnivå må ikke ende opp over havnivå for å unngå påvirkning av grunnvannet.

Den endelige vurderingen konkluderer med at 2 lokaliteter er aktuelle nå for videre utredning som mulig deponi for uorganisk farlig avfall. Disse er Dalen kalksteingruve i Porsgrunn kommune i Telemark og Rekefjord Øst pukkverk i Sokndal kommune i Rogaland. Enkelte av de øvrige lokalitetene kan muligens på lang sikt bli aktuelle til videre vurdering og utredning, det vil si etter at virksomheten på disse lokalitetene blir avsluttet om 25-30 år fra nå.

I tillegg fremstår 2 lokaliteter, der det planlegges utgravning av nye fjellhaller, med potensielle gunstige geologiske forhold for et mulig deponi (se Vedlegg 1). På disse lokalitetene trengs det detaljerte forundersøkelser for å fremskaffe nødvendige data til utredning av de geologiske forhold og til videre planlegging. Disse 2 lokalitetene er henholdsvis Lervik i Kvinesdal kommune i Vest Agder og Raudsand i Nesset kommune i Møre og Romsdal.

7. Referanser

- Amdahl, T. (1975): *Fosdalens bergverks-aktieselskab*. Bergverk 1975, jubileumsskrift for Bergingeniørforeningen og Bergindustriforeningen, 48-59.
- Bakke, J., Dahl, S.O., Paasche, Ø., Løvlie, R. og Nesje, A. (2005a): *Glacier fluctuations, equilibrium-line altitudes and palaeoclimate in Lyngen, northern Norway, during the Lateglacial and Holocene*. The Holocene 15, 518-540.
- Bakke, J., Dahl, S.O. og Nesje, A. (2005b): *Lateglacial and early Holocene palaeoclimatic reconstruction based on glacier fluctuations and equilibrium-line altitudes at northern Folgefonna, Hardanger, western Norway*. Journal of Quaternary Science 20, 179-198.
- Bakke, J., Dahl, S.O., Paasche, Ø., Simonsen, J.R., Kvisvik, B., Bakke, K. og Nesje, A. (2010): *A complete record of Holocene glacier variability at Austre Okstindbreen, northern Norway: an integrated approach*. Quaternary Science Reviews 29, 1246-1262.
- Berger A. og Loutre M.F. (1991): *Insolation values for the climate of the last 10 million years*. Quaternary Sciences Reviews 10, 297-317.
- Bryhni, I., Austrheim, H., Bjørnstad, B., Kullerud, L. og Reksten, K. (1990): *Berggrunnskart Tingvoll 1320-I, M 1:50 000*, foreløpig utgave. Norges geologiske undersøkelse.
- Bungum, H., Lindholm, C.D., Dahle, A., Hicks, E., Høgden, H., Nadim, F., Holme, J.K. og Harbitz, C. (1998): *Seismic zonation for Norway*. Report for Norwegian Council for Building Standardization, NORSAR and NGI, Oslo, 196 s.
- Brönnner, M., Olesen, O. og Nasuti, A. (2013): *Onshore-offshore aeromagnetic interpretation*. I: Olesen, O., Brönnner, M., Ebbing, J., Elvebakk, H., Gellein, J., Koziel, J., Lauritsen, T., Lutro, O., Maystrenko, Y., Müller, C., Nauti, A., Osmundsen, P.T., Slagstad, T. og Storrø, G. (red.) Coop Phase I - Crustal Onshore-Offshore Project. NGU Rapport 2013.002, 112-134.
- Carstens, H. (2010): *Kortreist jordforbedringsmiddel*. GEO, oktober 2010, 26-29.
- Dahl, S.O. og Nesje, A. (1994): *Holocene glacier fluctuations at Hardangerjøkulen, central-southern Norway: a high resolution composite chronology from lacustrine and terrestrial deposits*. The Holocene 4, 269-277.
- Database for mineralressurser: <http://geo.ngu.no/kart/mineralressurser/>.
- Domenico, P.A. og Schwartz, F.W. (1990): *Physical and Chemical Hydrogeology*. John Wiley & Sons, New York, 824 p.
- Eldevik, T., Risebrobakken, B., Bjune, A.E., Andersson, C., Birks, H.J.B., Dokken, T., Drange, H., Glessmer, M., Li, C., Nilsen, J.E.Ø., Otterå, O.H., Richter, K. og Skagseth, Ø. (2014): *A brief history of climate – the northern seas from the Last Glacial Maximum to global warming*. Quaternary Science Reviews 106, 225-246.
- Fossen, H. og Dunlap, W.J. (1999): *On the age and tectonic significance of Permo-Triassic dikes in the Bergen – Sunnhordland region, southwestern Norway*. Norwegian Journal of Geology, 79, 169-178.
- Frengstad, B. (2002): *Groundwater quality of crystalline bedrock aquifers in Norway*. Doktor Ing. Avhandling 2002:53. Inst. for geologi og bergteknikk, NTNU, 389s+vedlegg.
- Fritz, P. og Frape, S.K., edit. (1987): *Saline water and gases in crystalline rocks*. Geological Association of Canada, Special Paper 33.
- Færseth, R.B. (1982): *Geology of the Southern Stord and the Adjacent Islands, Southwest Norwegian Caledonides*. Norges geologiske undersøkelse, 371, 57-112.
- Færseth, R.B., Andersen, T.B., Nielsen, P.E., Nordås, J. og Ragnhildstveit, R. (1999): *Berggrunnskart Fitjar 1114-1, M. 1:50 000*, foreløpig utgave. Norges geologiske undersøkelse.

- Gabrielsen, R.H., Braathen, A. Dehls, J. og Roberts, D. (2002): *Tectonic lineaments of Norway*. Norwegian Journal of Geology, 82, 153-174.
- Gautneb, H. (2006): *Oversikt over kalksteinsforekomster i GEOS-området*. (Geologi i Oslo regionen). NGU Rapport 2006.036
- Geis, H.-P. (1956): *Eisen-Titanlagerstätten bei Raudsand, Westnorwegen*. Norges geologiske undersøkelse, 234, 15-52.
- Geis, H.-P. (1974): *Raset ved Rødsand gruber, 2. februar 1974*. Proc. Fjellsprenningsteknikk og Bergmekanikk 1974, Red. E. Broch, A.M. Heltzen og O. Johannessen. Tapir, 22.1-22.5. <http://nff.no/wp-content/uploads/2015/09/1974-redusert-kvalitet.pdf>
- Greenland Ice Core Project Members (2004): *High-resolution record of Northern Hemisphere climate extending into the last interglacial period*. Nature 431, 147-151.
- Gudmundsson, A. (1999): *Post-glacial doming, stresses and fracture formation with application to Norway*. Tectonophysics 307, 407-419.
- Gustavson, M. (1981): *Geologisk kart over Norge, berggrunnskart Mosjøen – M 1:250 000*, Norges geologiske undersøkelse.
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E.J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J.E.Ø., Sandven, S., Sandø, A.B., Sorteberg, A. og Ådlandsvik, B. (Red.) (2015): *Klima i Norge 2100. Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015*. NCCS report no 2/2015, 204 s.
- Harstad A.O. (2006): *Dissolution, growth and recrystallisation of Calcite and Limestone: Effects of impurities*. Dr. Scient avhandling. Univ. Oslo.
- Hardie, L.A. (1967): *The gypsum-anhydrite equilibrium at one atmosphere pressure*. Am. Mineral., 52, 171-200.
- Hernes, I. (1956): *Surnadalssynklinalen*. Norsk geologisk tidsskrift, 36, 25-39.
- Hovland, A.B. (2014): *Driftsplan Rekefjord Øst*. Rekefjord Stone AS.
- Hughes, A. L. C., Gyllencreutz, R., Lohne, Ø. S., Mangerud, J., Svendsen, J. I. (2015): *The last Eurasian ice sheets – a chronological database and time-slice reconstruction, DATED-1*. Boreas. 10.1111/bor.12142.
- IPCC 2007: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (S. Solomon, D. Quin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor og H.L. Miller (red.)). Cambridge University Press.
- IPCC 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Jansen, Ø. og Neeb, P.R. (1996): *Bedrock mapping of aggregate in Halsvik and Hellenovfjellet*. NGU Report 96.090.
- Jorde, K., Naterstad, J. Pedersen, R.B., Solli, T. og Ragnhildstveit, J. (1999): *Berggrunnskart Haugesund 1113-I, M 1:50 000*, foreløpig utgave. Norges geologiske undersøkelse.
- Kildal, E.S. (1970): *Geologisk kart over Norge. Berggrunnskart Måløy 1:250 000*. Norges geologiske undersøkelse.
- Kollung, S. (1984): *The Surnadal syncline revisited*. Norsk geologisk tidsskrift, 64, 257-262.
- Krill, A.G. (1987): *Stangvik, berggrunnskart 1420-IV, M 1:50 000*, foreløpig utgave. Norges geologiske undersøkelse.
- Lambeck, K., Purcell, A., Funder, S., Kjær, K.H., Larsen, E. og Möller, P. (2006): *Constraints on the Late Saalian to early Middle Weichselian ice sheet of Eurasia from field data and rebound modeling*. Boreas 35, 539-575.

- Larsen, E., Andreassen, K., Fjeldskaar, W., Sejrup, H.P., Cyr, I., Haflidason, H., Hjelstuen, B.O.B., Jensen, M., Knies, J., Laberg, J.S., Lyså, A., Løtveit, I.F., Nygård, A., Riis, F. og Viola, R. (2010): *Ice ages. Subsidence, uplift and tilting of traps – the influence on petroleum systems. GlaciPet final report*. NGU Rapport 2010.11.
- Larsen, E., Fjeldskaar, W., Fredin, O., Lyså, A. og Ottesen, D. (submitted): *Causes for time-transgressive glacial maximum positions of the last Scandinavian Ice Sheet*. Norwegian Journal of Geology.
- Loutre, M. F. og Berger, A. (2000): *Future climatic changes: are we entering an exceptionally long interglacial?* Climatic Change 46, 61–90.
- Marker, M. (2003): *Geological investigations of the Berakvam quarry and reserve area for hard rock aggregats, Jelsa, Rogaland*. NGU Rapport 2003.012.
- Marker, M. (2013): *Berggrunnskart Sokndal 1311 IV, M 1:50 000*. Norges geologiske undersøkelse.
- Marker, M., Schiellerup, H., Meyer, G., Robins, B og Bolle, O. (2004): *Beskrivelse til geologisk kart over Rogaland Anortosittprovins, 1:75 000*. NGU Rapport 2004.007.
- Marker, M., Solli, A. og Slagstad, T. (2013): *Berggrunnskart Vindafjord 1213 I, M 1: 50 000*. Norges geologiske undersøkelse.
- Matthews, J.A. og Dresser, P.Q. (2008): *Holocene glacier variation chronology of the Smørstabbtinden massif, Jotunheimen, southern Norway, and the recognition of century- to millennial-scale European Neoglacial events*. The Holocene 18, 181-201.
- Menuge, J., Pedersen, R.B. og Furnes, H. (1989): *Seawater alteration of the Karmøy Ophiolite Complex, SW Norway: Nd and Sr isotopic evidence*. Norwegian Journal of Geology, 69 (3), 191-200.
- Nesje, A. (2009): *Latest Pleistocene and Holocene alpine glacier fluctuations in Scandinavia*. Quaternary Science Reviews 28, 2119-2136.
- NGI (2015): *Miljøriskovurdering – underjordisk deponering av farlig avfall i Brevik*. Rapport for NOAH AS og Norcem. NGI Rapport 20120726-02-R
- Norcem (2012): *Innrapportering av driftsplaner for Bergverksvirksomheten ved Norcem AS, Brevik for perioden 2012 – 2017*. Norcem Rapport, 16 s.
- Olesen, O. (2004): *Problemene skyldes dypforvitring*. GEO, 7-2004, 18-20.
- Olesen, O. (2007): *Tunnelproblemer, olje og dinosaurer – hva er sammenhengen?* GEO, 1-2007, 54-55.
- Olesen, O., Dehls, J.F., Ebbing, J., Henriksen, H., Kihle, O. og Lundin, E. (2007): *Aeromagnetic mapping of deep-weathered fracture zones in the Oslo Region – a new tool for improved planning of tunnels*. Norwegian Journal of Geology, 87, 253-267.
- Ragnhildstveit, J. og Helliksen, D. (1997): *Geologisk kart over Norge, berggrunnskart Bergen. M 1:250 000*. Norges geologiske undersøkelse.
- Rohr-Torp, E. (1994): *Present uplift rates and groundwater potential in Norwegian hard rocks*. Norges geologiske undersøkelse Bulletin 426, 47-52.
- Råheim, A. (1972): *Petrology of high-grade-metamorphic rocks of the Kristiansund area*. Norges geologiske undersøkelse, 279, 75s.
- Sanetra, S. (1985): *The Rødsand Fe-Ti-V deposits, Møre, Western Norway*. Norges geologiske undersøkelse, 402, 39-49.
- Simpson, M.J.R., Nilsen, J.E.Ø., Ravndal, O.R., Breili, K., Sande, H., Kierulf, H.P., Steffen, H., Jansen, E., Carson, M. og Vestøl, O. (2015): *Sea Level Change for Norway: Past and Present Observations and Projections to 2100*. Norwegian Centre for Climate Services report 1/2015, ISSN 2387-3027, Oslo, Norway, 156 s

- Steel, R., Siedlecka, A. og Roberts, D. (1985): *The Old Red Sandstone basins of Norway and their deformation: a review*. In: The Caledonide Orogen – Scandinavia and Related Areas. John Wiley & Sons Ltd. Editors: Gee, D.G. & Sturt, B.A., 293-314.
- Streckeisen, A. L. (1974): *Classification and Nomenclature of Plutonic Rocks*. Recommendations of the IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. Geologische Rundschau. Internationale Zeitschrift für Geologie. Stuttgart. Vol.63, p. 773-785.
- Stuckmeier W.F. og Margat J. (1995): *Hydrogeological maps – A guide and a standard legend*. IAH Volume 17. International contributions to hydrogeology.
- Sturt, B. A., Thon, A. og Furnes, H. (1980): *The geology and preliminary geochemistry of the Karmøy ophiolite, S.W. Norway*. In: Ophiolites - Proceedings International Ophiolite Symposium, Cyprus; 1979, 538-554.
- Trønnnes, R. G. (1994): *Marmorforekomster i Midt-Norge: geologi, isotopgeokjemi og industrimineralpotensiale*. NGU Rapport 94.042.
- Tzedakis, P.C., Channell, J.E.T., Hodell, D.A., Kleiven, H.F. og Skinner, L.C. (2012): *Determining the natural length of the current interglacial*. Nature Geoscience 5, 138–141.
- Ulvik, A., Marker, M. og Erichsen, E. (1998): *Pukkundersøkelser i Rekefjord*. NGU Rapport 98.129.
- Vasskog K., Paasche, Ø., Nesje, A., Boyle, J.F. og Birks, H.J.B. (2012): *A new approach for reconstructing glacier variability based on lake sediments recording input from more than one glacier*. Quaternary Research 77, 192-204.
- Vestøl, O. (2006). *Determination of postglacial land uplift in Fennoscandia from leveling, tide-gauges and continuous GPS stations using least squares collocation*. Journal of Geodesy 80, 248-258.
- Vorren, T.O., Mangerud, J., Blikra, L.H., Nesje, A. og Sveian, H. (2013): *Norge trer frem. I Ramberg, I.B., Bryhni, I., Nøttvedt, A. & Rangnes, K (Red) 2013: Landet blir til – Norges geologi. 2. utg. Trondheim. Norsk Geologisk Forening. 608 s.*
- Watne, T. (2007): *Produksjon av flytende marmor for papirindustrien*. I: Kristiansen, J., Braathen, A., Olsson, R. & Berg K. R. (red) Fjellspregningsdagen – Bergmekanikerdagen – Geoteknikkdagen. Norsk jord- og fjellteknisk forbund, Oslo 22.-23. november 2007.

8. Vedlegg 1

Vurdering av forslag om deponi for uorganisk farlig avfall i fjellhaller

Innledning

Høsten 2015 fikk Miljødirektoratet forespørsel fra to forskjellige aktører om å inkludere to nye lokaliteter i utredningen om ulike lokaliseringer for et nytt nasjonalt anlegg for mottak og deponering av uorganisk farlig avfall. Disse to aktørene foreslår hver et nytt anlegg for deponering basert på fjellhaller som er planlagt sprengt ut i henholdsvis Kvinesdal og Nesset kommune. Miljødirektoratet har bedt NGU om en kort vurdering av geologiske forhold ved disse to nye lokalitetene som et tillegg til arbeidet rapportert i NGU Rapport 2015.055.

Plassering av de to lokaliteter, Lervik og Raudsand, er vist i rapportens Figur 1 på side 3.

Eramet Norway Kvinesdal, som er en del av Eramet Norway AS, har tidligere vurdert å lage et deponi til eget avfall i fjellhaller nær Lervik, i et område de selv eier. En gruppe aktører, representert ved eiendomsselskap RHR, ønsker nå at området nord for Fedafjorden og vest for Lervik kan utvikles med fjellhaller til et større deponi for uorganisk farlig avfall.

Bergmesteren Raudsand AS (BMR AS), som er heleid av Envolution Norge AS, holder til ved den nedlagte Rødsand jernmalmgruve og driver med deponering av forurensede masser i det gamle dagbruddet til Rødsand gruve. BMR AS har planer om å utvikle et område sørvest for Tingvollfjorden ved Rødsand gruve med fjellhaller til et større deponi for uorganisk farlig avfall.

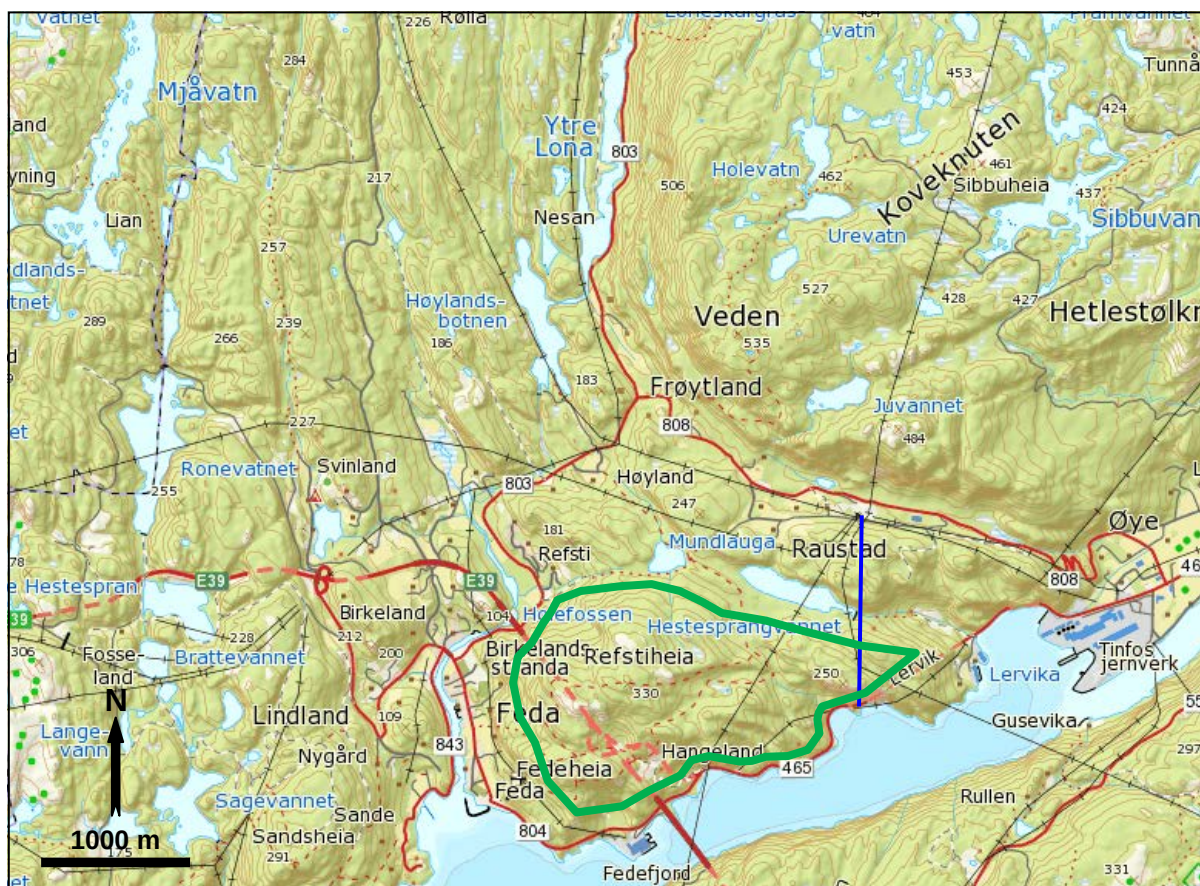
8.1 Lervik

Generelt

Lervik ligger ved bunnen av Fedafjorden på nordsiden av fjorden mellom Tinfos Jernverk og tettstedet Feda (Figur 8.1). Eramet har antydnet ett område som i første rekke kan være aktuelt for bygging av fjellhaller til deponering av større mengder farlig avfall. Dette området er avmerket med grønn strek på Figur 8.1. På figuren er også avmerket traseen for tunellen til Norned-kabelen. Traseen ble brukt i en befaring i forbindelse med utarbeidelse av Bergteknisk rapport til Myrvang og Smedberg (2007).

Innenfor det foreslåtte området stiger topografien fra fjorden i nordvestlig retning bratt opp mot ca 250-300 moh (Refstiheia) og terrenget er tydelig preget av de geologiske strukturer med massiv benkning av øyegneis med fall mot nord.

Området har tilgang med vei (inkl. E39) og med båt til dypvannskai i Lervika.



Figur 8.1 Kartutsnitt som viser området ved Lervik langs Fedafjorden som kan være aktuelt for anlegg av fjellhaller til deponi (grønn strek). Tunellen til Norned-kabel er avmerket med blå strek. (kilde: Kartverket).

Geologi

Den geologiske beskrivelsen er stort sett basert på en publikasjon av Falkum (1998) som har gjort omfattende regionale kartlegginger i området. Et oversiktskart som viser den regionale geologien er vist i Figur 8.2. Dette kartet er laget i målestokk ca 1: 200 000. Det er dette kartet som er utgangspunktet for de dataene som ligger i NGUs database og de kartene som er vist i Figur 8.3 og 8.5. Nøyaktigheten til bergartsgrensene kan derfor være noe usikre.

Området rundt bunnen av Fedafjorden er dominert av gneiser som Falkum (1998) kaller Flekkefjordgneisene eller Flekkefjordkomplekset. Det er tre forskjellige gneistyper som dominerer. Eldst er en type båndete gneiser som består av en veksling av mange typer bergarter. Der nest er det en enhet med granittiske gneiser, og yngst er en enhet som består av øyegneiser. Øyegneisen er en karakteristisk bergart som forekommer over store deler av Sørlandet og blir gjerne kalt Fedaoøyegneisen, eller Fedasuiten. De sterkt rødfargete enhetene på kartet i Figur 8.2 hører til Rogaland anortosittprovins og har ingen betydning for det området som er aktuelt for deponi.

Beskrivelse av bergartene

Båndet gneis består av svært varierende bergarter som veksler i cm til dm skala og har som navnet sier et båndete utseende med vekslende mørke og lyse lag. De enkelte båndene eller lagene kan følges over ganske lange avstander, og det er tydelig at denne gneisen har gjennomgått sterk deformasjon, og har en utpreget foliasjon eller skifrichet.

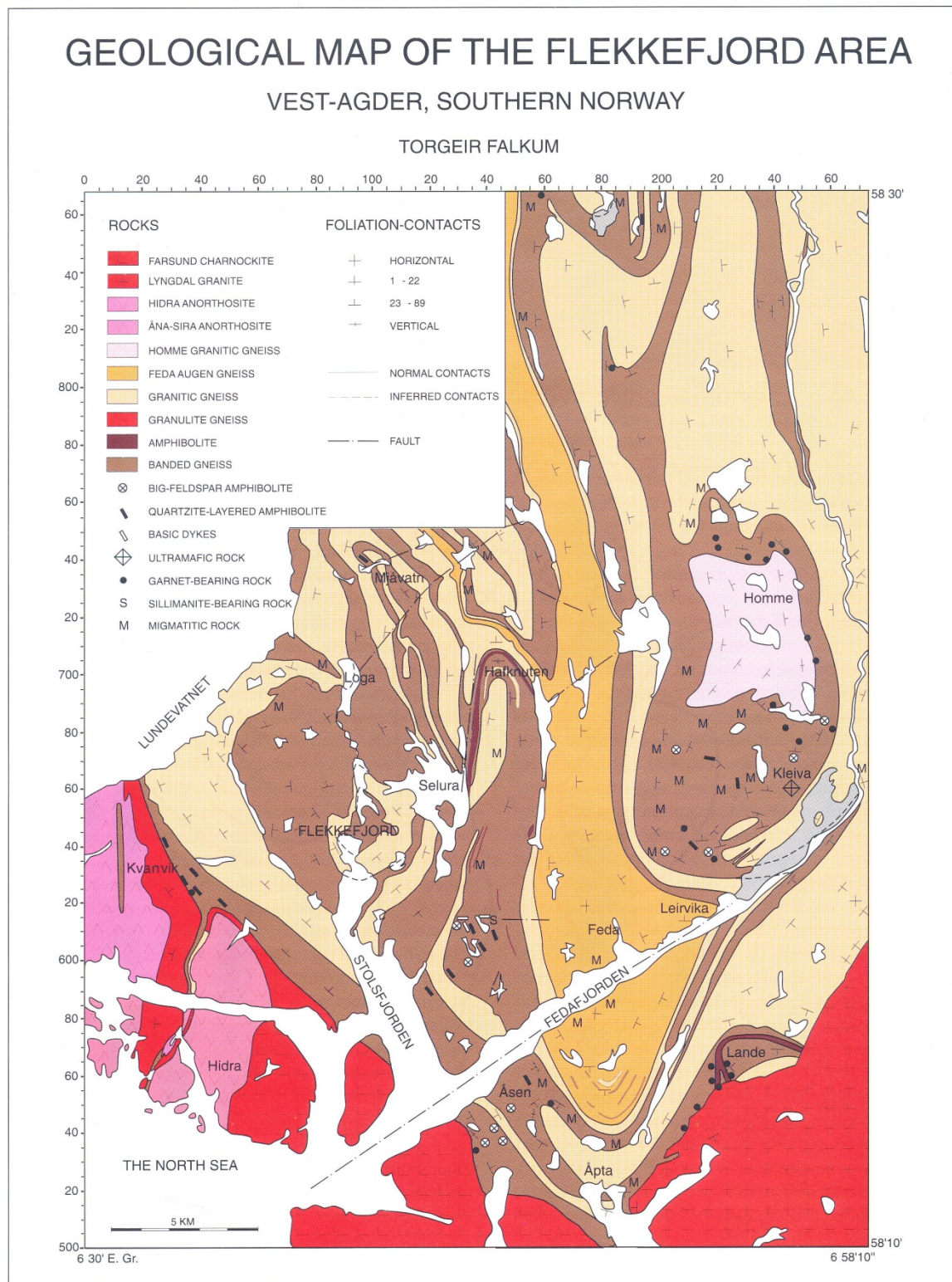


Fig. 2. Geological map of the Flekkefjord area.

Figur 8.2 Oversiktskart over de regionalgeologiske forholdene i områdene rundt Flekkefjord. Kartet er en kopi av Figur 2 i publikasjonen til Falkum (1998).

De mest dominerende båndene er en lys felsisk gneis som i hovedsak består av kvarts og feltspat (opptil 90%). Feltspaten domineres av ortoklas, men også plagioklas opptrer. I disse lagene er det også litt mørke mineraler, mest biotitt, men også mineraler som klinopyroksen, hornblende og ortopyroksen. Det finnes også en type lyse lag som består av kvarts og

kalifeltspat, og der det i tillegg opptrer granat og sillimanitt i store mengder, og av og til også cordieritt. De mørke lagene i den båndete gneisen kan være fra noen cm til noen meters tykkelse. De består av de mafiske mineralene pyroksen, amfibol og biotitt, mens plagioklas kan utgjøre opptil 50% av bergarten. I noen av de mafiske lagene er det millimeter-tynne lag av kvartsitt i veksling med mafiske lagene. Andre typer mafiske lag består av amfibolitt med opptil dm-store krystaller av plagioklas, det er også lag som domineres av ortopyroksen, og også noen få linser av ultramafiske bergarter.

Granittisk gneis utgjør en ganske stor enhet innenfor Flekkefjordgneisene. Det består av en ganske homogen middels- til grovkornet homogen gneis med granittisk sammensetning. Fargen er rødgrå på vitret flate, mens den er mørk grå på friskt brudd. I de mest leukokratiske (lyse) delene er det vanskelig å se noen foliasjon i det hele tatt, mens de områdene som har større innslag av mørke mineraler er det en viss bånding. Mineralogisk består den granittiske gneisen av kvarts og mesoperthittisk alkalifeltspat, som er en blanding av alkalifeltspat og plagioklas. Det forekommer også en del plagioklas som enkelt-krystaller enkelte steder. Som mørkt mineral er det biotitt som dominerer, og en kan ofte se at den erstatter klino- eller ortopyroksen. Hornblende forekommer sjelden.

Fedaøyegneisen (Fedasuiten) er en svært karakteristisk bergart som består av store alkalifeltspat-krystaller som er deformert til ovale 'øyne' ('augen' på engelsk) som kan være opptil 15-20 cm tverrmål. Opprinnelig har dette vært en porfyrisk granitt som har intrudert i de andre bergartene og blitt deformert slik at feltspatkrystallene er blitt avrundet. I tillegg til alkalifeltspat inneholder bergarten kvarts og plagioklas. De mørke mineralene som omslutter "øynene" domineres av en blanding av biotitt, amfibol, klinopyroksen samt en del andre mineraler som bare forekommer i små mengder. Øyegneisen (Fedasuiten) intruderte i de omkringliggende bergartene for 1051 ± 3 mill. år siden (Bingen og van Bremen, 1998). Alle bergartene i området ble så foldet og deformert og omdannet i granulittfacies. Dette medførte at enheten med Fedaøyegneis på Figur 8.2 ligger i kjernen av en stor antiklinal fold som de andre bergartene bøyer seg rundt slik at på vestsiden faller lagene mot vest, og på østsiden har lagene østlig fall.

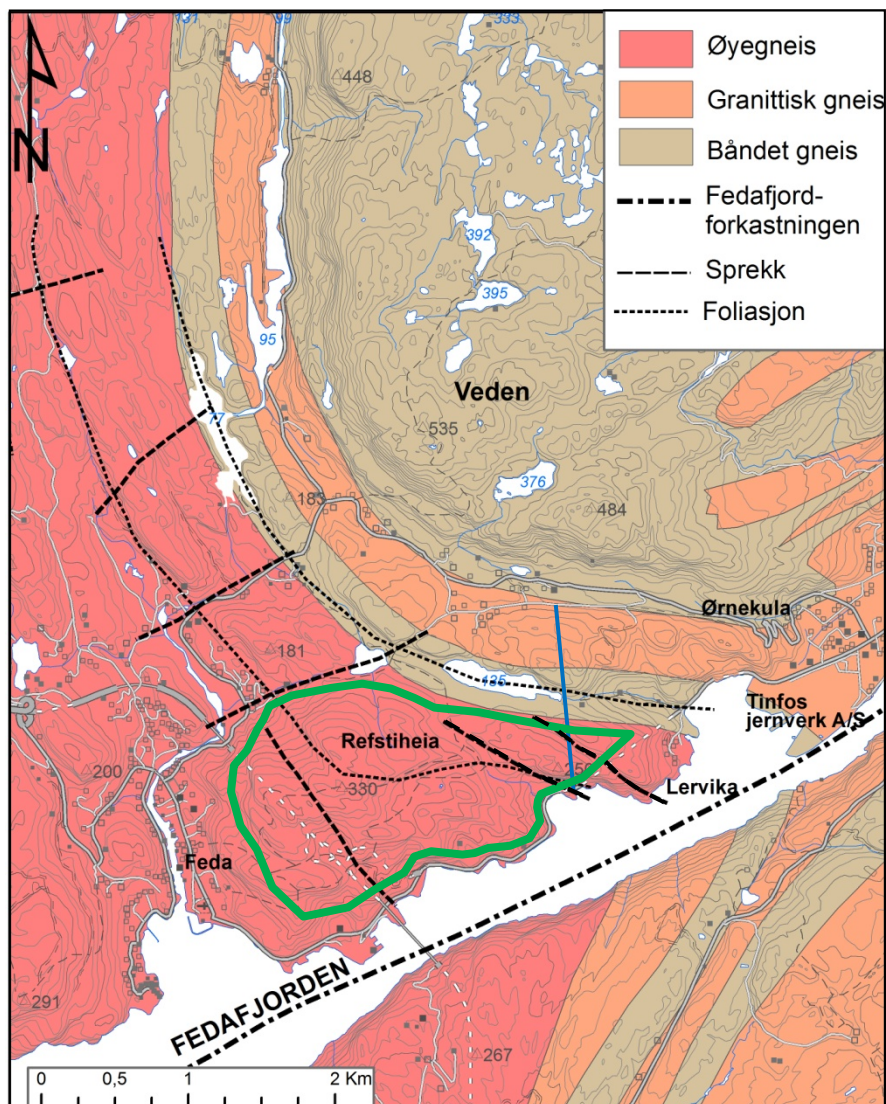
På Figur 8.3 er området som er tenkt brukt til deponi vist med grønn farge. Hele området ser etter dette kartet ut til å ligge innenfor øyegneisen. Dette synes å være gunstig, for etter et notat fra Myrvang og Smedberg (2007) ser dette ut til å være en langt mer massiv bergart enn både den båndete gneisen og den granittiske gneisen. For å få et inntrykk av areal/omfang for et ca 10 mill. m³ stort deponi basert på 27 fjellhaller (hver 25(B)x50(H)x300(L) m) viser Figur 8.7 en mulig plassering av et slikt deponi innenfor øyegneisen i den sørlige delen av området.

Sprekker og forkastninger.

Heller ikke i dette området finnes det gode beskrivelser av sprekker eller forkastninger. Falkum (1998) har en omfattende beskrivelse av deformasjonen i bergartene i området, som han mener har skjedd i seks ulike faser, men alle disse fasene har skjedd mens bergartene ennå var plastiske, og har derfor lite å si for oppsprekningen.

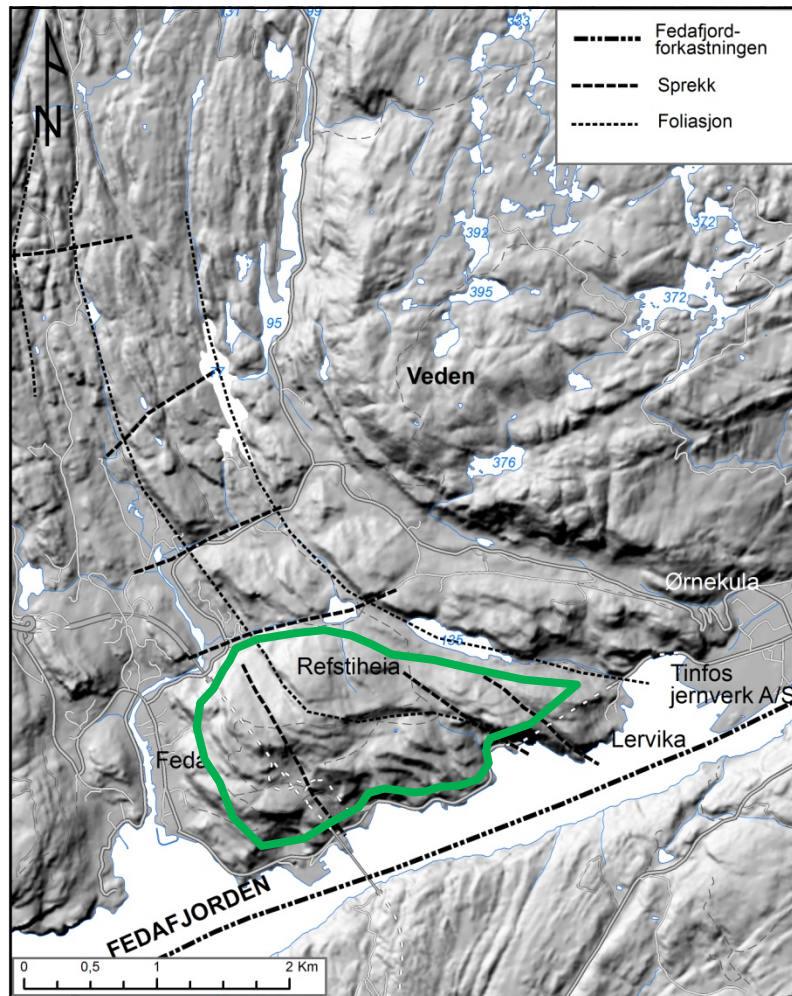
Ellers er det kjent at langs Fedafjorden går det en stor forkastning (Fedafjordforkastningen), og Figur 8.2 viser tydelig at bergartsenhetene på hver side av Fedafjorden er flyttet flere hundre meter i forhold til hverandre. I følge Gabrielsen et al. 2002 har denne forkastningen en bredde på opptil 30 m der hvor den er blottet, og linser av grønn og rød kataklasitt (knusningsbergart) er funnet i 10-30 cm tykke soner. Etter granskning av kart og flybilder kan

en knapt si at dette er en særlig markant sprekkeretning i området der deponiet er planlagt. Men høydemodellen som er vist i Figur 8.4 viser flere markerte dalsøkk nord for Refstiheia som kan være svakhetssoner som knyttet til samme generasjon forkastninger som Fedafjordforkastningen. Det samme er tilfellet med en ganske markert sprekk helt nord i området som er aktuelt for deponi.



Figur 8.3 Geologisk kart over området som er foreslått brukt til deponi, vist med grønn strek. Kartet er hentet fra NGUs database for kart i målestokk 1:250 000, men dette er igjen basert på kartet i Figur 8.2. På kartet er også tegnet inn tunnelen til Norned-kabel (blå strek; fra Eramets områdekart).

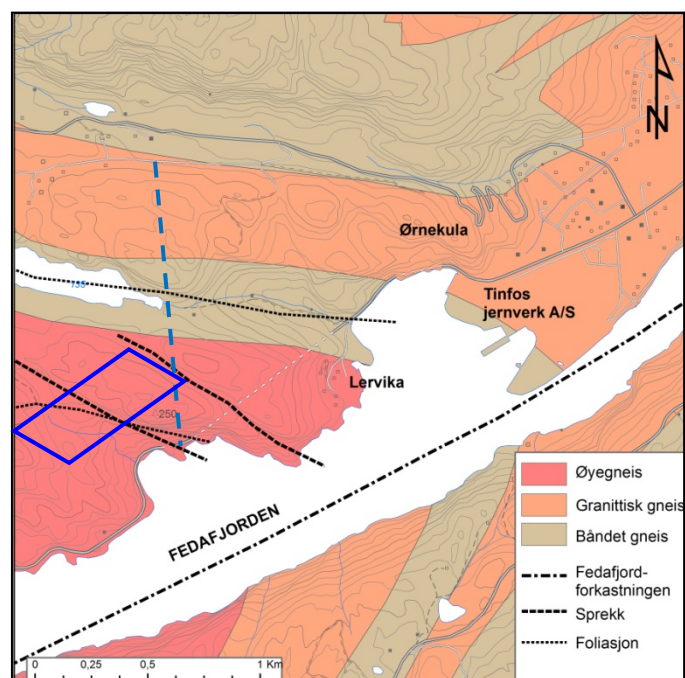
Om en ser på det geologiske kartet (Figur 8.3) er det helt opplagt at selve egenskapen til bergartene har en god del å si for hvordan landskapet ser ut. Alle enhetene bøyer seg rundt fjellet Veden og både elver og daler følger dette mønsteret. Også innenfor Fedayegneisen er det søkk i terrenget som synes å følge samme mønsteret. Disse er tolket som en del av foliasjonen i øyegneisen og tegnet med svak stiplet linje i Figur 8.3 og 8.4. En rimelig tolkning av disse er at de er dannet tidlig i deformasjonshistorien mens bergarten ennå var plastisk og derfor ikke er åpne bruddsoner, men det siste kan selvsagt ikke utelukkes før en har sjekket dem i felt. Den nevnte foliasjon synes også å komme godt fram som en benkning på Figur 8.6.



Figur 8.4 Høydemodell over samme område som vist i Figur 8.3. Her vises det tydelig at foliasjonen som bergartene følger er parallelt med bergartsgrensene. Kartet er et utsnitt fra Kartverkets høydemodell med 10 m ruter (www.kartverket.no).

De største sprekker eller lineamenter som er funnet ved granskning av flyfoto og høydemodellen er vist i Figur 8.3 og 8.4, og de bør opplagt tolkes som sprø bruddsoner. En av disse antatte bruddsonene er vist i mer detalj på Figur 8.5 og 8.6. Dette er sprekker eller forkastninger med retning NV-SØ. Figur 8.5 viser med blå firkant området som er foreslått av eiendomsselskap RHR til utbygging av fjellhaller til deponi. I følge kart og flyfoto ser området lenger vest under Refstiheia ut til å være mindre oppsprukket, men en endelig vurdering om dette ikke kan gjøres før en eventuell feltbefaring er gjort.

Ellers nevner Myrvang og Smedberg (2007) at den båndete gneisen er langt mer oppsprukket enn øyegneisen. I følge beskrivelsen til Falkum (1998) er gneisen særlig tektonisert eller forskifret langs grensen til øyegneisen, så derfor er det særlig viktig at et eventuelt deponi blir anlagt godt unna denne grensen.



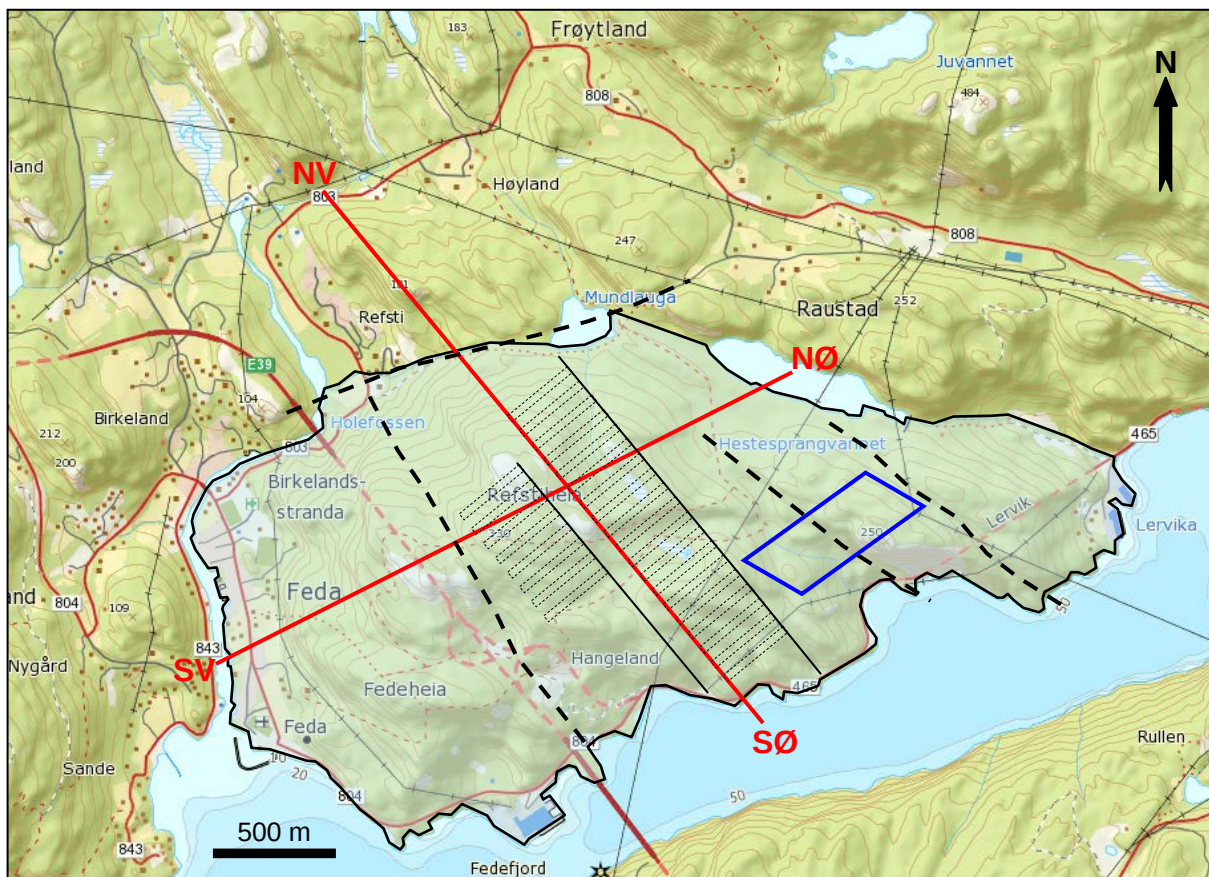
Figur 8.5 Detaljkart over området ved Lervika vest for Tinfos jernverk der området for mulig deponi som er foreslått av selskap RHR er merket med blå firkant. Blå stiptet strek er tunellen til Norned-kabel. Geologisk kart fra NGUs database i målestokk 1:250 000. De geologiske grensene kan derfor være noe unøyaktige.



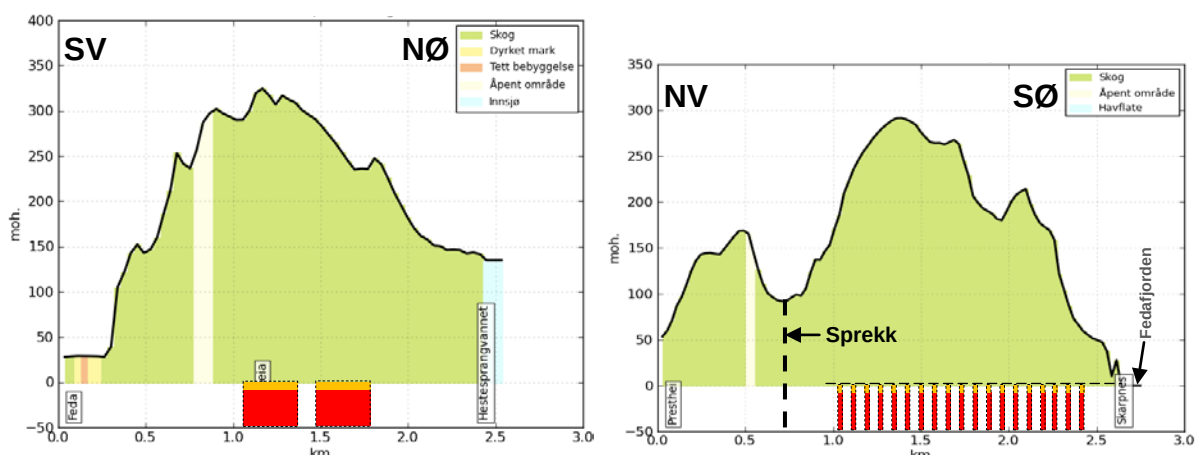
Figur 8.6 "3D bilde" av området som ble foreslått som deponi av Myrvang og Smedberg (2007) sett mot nordvest tatt fra Norgei3D (www.norgei3d.no). Den markerte sprekken/forkastningen som også er vist på Figur 8.4 til venstre. Bildet viser også en ganske tydelig benkning i bergartene med fall mot nord. Dette er antatt å være identisk til den foliasjonen i øyegneisen som er beskrevet i rapporten.

Hydrologiske forhold

Kartet i Figur 8.7 viser nedbørsfeltet for det området tenkt til mulig deponi. Nedbørsfeltet har et areal på ca 4,6 km² og har litt over halvparten av grensen ned mot havnivå. På kartet vises en skjematisk plassering av et mulig deponi i forhold til større sprekker i dette området. Figuren viser også plassering av to høydeprofiler som vist i Figur 8.8.



Figur 8.7 Topografisk kart som viser nedbørsfelt for det området tenkt til mulig deponi. Som et eksempel vises skjematisk også en mulig plassering av et deponi basert på 27 fjellhaller (stiplede linjer er større sprekker). De to røde linjer viser plassering av to høydeprofiler som vist i Figur 8.8. Blå firkant er samme som i Figur 8.5.



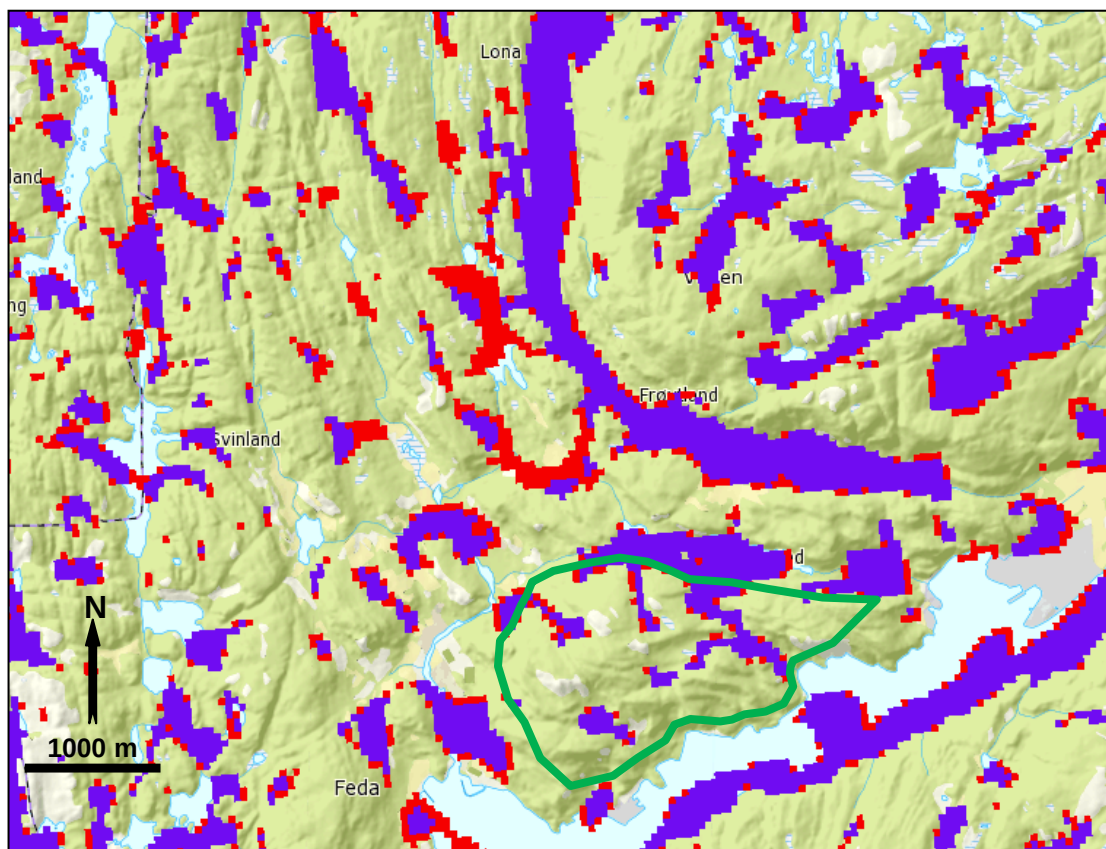
Figur 8.8 Høydeprofiler langs to linjer som vist i Figur 8.7. Skisse for et mulig deponi basert på fjellhaller er tegnet inn med plassering som i Figur 8.7 og i forhold til havnivå. (Rødt er deponert avfall og oransje er tildekning/tetting).

Nedbørsfeltet består i stor grad av bart fjell mens resten av feltet har lite løsmasser, bestående av et tynn morene eller tynt humus-/torvdekke (NGUs Løsmassedatabase, www.ngu.no). Det er ikke utført hydrogeologiske undersøkelser i området, men det anslås at en stor del av nedbøren renner av som overflatevann basert på at fjellet består av bergarter som er forholdsvis tette. Det er ikke mulig å anslå hvor stor andel av nedbøren som infiltrer ned i berggrunnen og som vil føre til innlekkasje av grunnvann til et evt. deponi. Ut fra den topografiske gradienten må det regnes med en betydelig gradient for grunnvann ned til havnivå.

Gneis er en bergart med gode fysiske egenskaper med hensyn til mekanisk styrke og hydraulisk konduktivitet. Gneis har en nokså lav hydraulisk konduktivitet (Figur 3, side 10), og bevegelse av grunnvann gjennom denne bergarten vil derfor være kontrollert i all hovedsak av sprekker. En optimal plassering av et deponi er her med fjellhallene gravd ut under havnivå, slik at det deponerte avfallet vil ligge godt under havnivået. Som et eksempel, vil det med en plassering av deponiet som skissert i Figur 8.7 og 8.8, med god avstand til kjente sprekker, være mulig å unngå (vesentlige) hydrauliske gradienter gjennom eller i nærheten av deponiet.

Dypforvitring

Aktsomhetskartet for dypforvitring (se Kap. 3.4 i denne rapporten) rundt Lervik viser at noen arealer innfor det området til eventuelt deponi (markert med grønn strek i Figur 8.9) kan være berørt av dypforvitring. Dette bør nærmere undersøkes i felt.



Figur 8.9 Aktsomhetskart for dypforvitring i Lervik område langs Fedafjorden. De blå områdene indikerer størst sannsynlighet og de røde områdene indikerer mindre sannsynlighet for dypforvitring. Den grønne streken angir området som kan være aktuelt for anlegg av fjellhaller til deponi.

Egnethet til deponi

Øyegneisen i området som er pekt ut av Eramet som aktuelt for utgraving av et større deponi er en forholdsvis massiv bergart med lav til moderat oppsprekking (se også Myrvang og Smedberg, 2007). Med en god mekanisk styrke og riktig orientering med hensyn til spenningsforhold i fjellet, vil denne bergarten antagelig egne seg godt til utgraving av større fjellhaller. Detaljene må dog utredes geoteknisk for å optimalisere dimensjonene og orientering av et anlegg med mange fjellhaller og nødvendige driftstuneller. Her anbefales det først å utføre en detaljert kartlegging av strukturgeologi, et boreprogram, måling av bergspenninger og hydrogeologiske undersøkelser for en best mulig kvalitetssikret karakterisering av volumet i fjellet der deponiet skal graves ut. Det er mulig at relevante og representative geotekniske data for fjellet under Refstiheia er tilgjengelig fra konstruksjonen av E39-tunellen og tilgangsveier i området like vest for Refstiheia.

Plassering av et deponi i størrelsesorden 10 mill. m³ med , for eksempel, dimensjoner på 25(B)x50(H)x300(L) m for hver av de 27 fjellhaller, ansees som mulig innenfor det området pekt ut av Eramet. For å unngå utgraving gjennom flere kjente sprekkesoner foreslås det her å flytte inngangen av deponi-anlegget fra Lervika til Hangeland fra veien lenger sør langs fjorden. Den endelige utformingen og plasseringen vil dog bli bestemt av resultatene fra ovennevnte karakteriseringsprogram, blant annet for orientering av fjellhallene med hensyn til spenningsforhold i fjellet.

En viktig forutsetning for en god plassering av deponiet med hensyn til grunnvann er at volumet til deponering ligger godt under havnivå. Dermed unngås hydrauliske gradienten gjennom eller i nærheten av det deponerte avfallet. Og det vil da kun være et hydraulisk trykk inn mot avfallet, noe som fører til at avfallet forblir vannmettet over tid.

Øyegneis, som vertsborgart i hele området tenkt til mulig deponi, har mindre gode kjemiske egenskaper med hensyn til det basiske avfallet, slik at, for eksempel, verdiene av pH for grunnvann, som eventuelt kommer i kontakt med avfallet, er <8. Det er lite sannsynlig at øyegneisen lokalt inneholder et betydelig innhold av sulfider, og dette bør eventuelt bekreftes gjennom karakteriseringsprogrammet.

Lokaliteten ligger i et område uten signifikant landheving (Figur 14, side 23) og med middels risiko for jordskjelv (Figur 15, side 24). Plassering av deponiet et par hundre meter under jordoverflaten betyr at anlegget vil være forholdsvis godt beskyttet mot rystelser fra eventuelt seismisk aktivitet.

Gunstige aspekter:

- Øyegneis er en forholdsvis massiv bergart med lav til moderat oppsprekking og uten kjent mineralisering.
- Potensielt stort deponeringsvolum i fjellhaller under havnivå.
- Deponi i fjell gir forholdsvis god beskyttelse mot rystelser fra jordskjelv.
- Ingen signifikant landheving og middels risiko for jordskjelv.
- Kort avstand til dypvannskai.

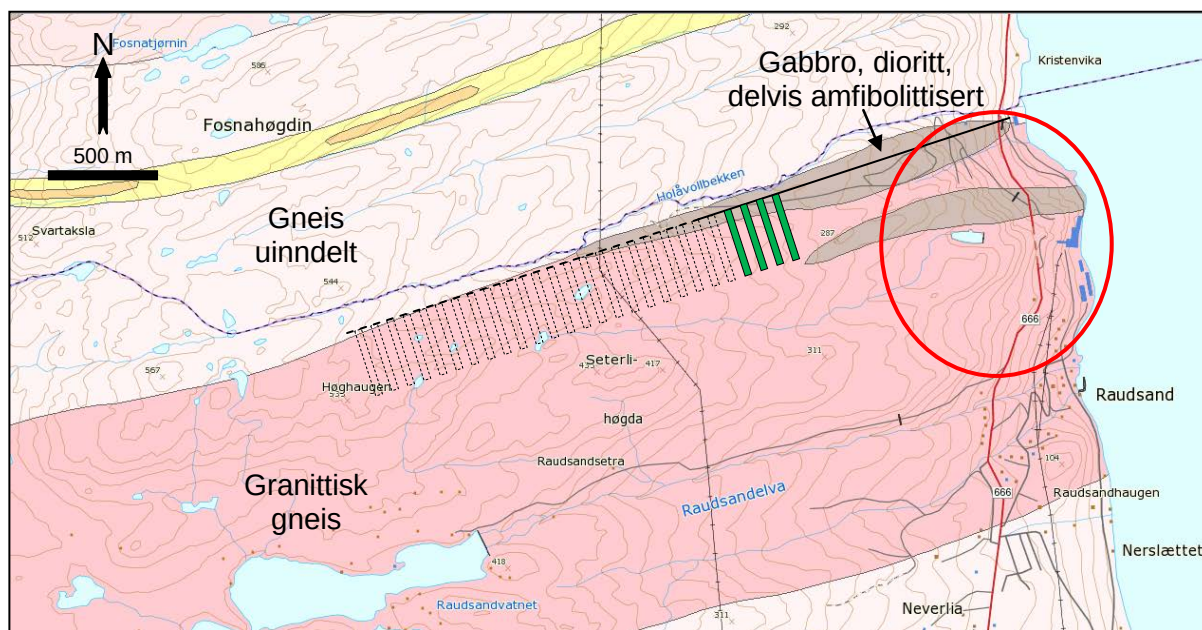
Mindre gunstige aspekter:

- Øyegneis har mindre gode kjemiske egenskaper med hensyn til det basiske avfallet.
- Sprekkeakviferer er utfordrende å kartlegge med hensyn til grunnvannsbevegelse i fjell.
- Betydelig grunnvannsgradient ned til mulig deponi.

8.2 Raudsand

Generelt

BMR AS har foreslått utgraving av et deponi basert på fjellhaller i fjellet vest for den nedlagte Rødsand gruve (Figur 8.10). Hver fjellhall er tenkt med dimensjonene 25(B)x50(H)x300(L) m som gir et volum på 375 000 m³. Dette betyr at ca 27 fjellhaller må graves ut for et deponi med et tilgjengelig volum på 10 mill. m³. Mens adkomsttunellen vil ligge litt over havnivå, vil fjellhallene bli liggende under havnivå.



Figur 8.10 Utsnitt av det geologiske kartet over området ved Raudsand (www.ngu.no). Den nedlagte Rødsand gruve er angitt med rød sirkel. Plassering av adkomsttunell med fire fjellhaller (hele svarte og grønne strek) er fra BMRs forslag til nasjonalt deponi for farlig avfall. NGU skisserer her antall haller utvidet til 27 (stiplede strek) som tilsvarer tilsammen et volum på ca 10 mill. m³ til deponering.

Geologi

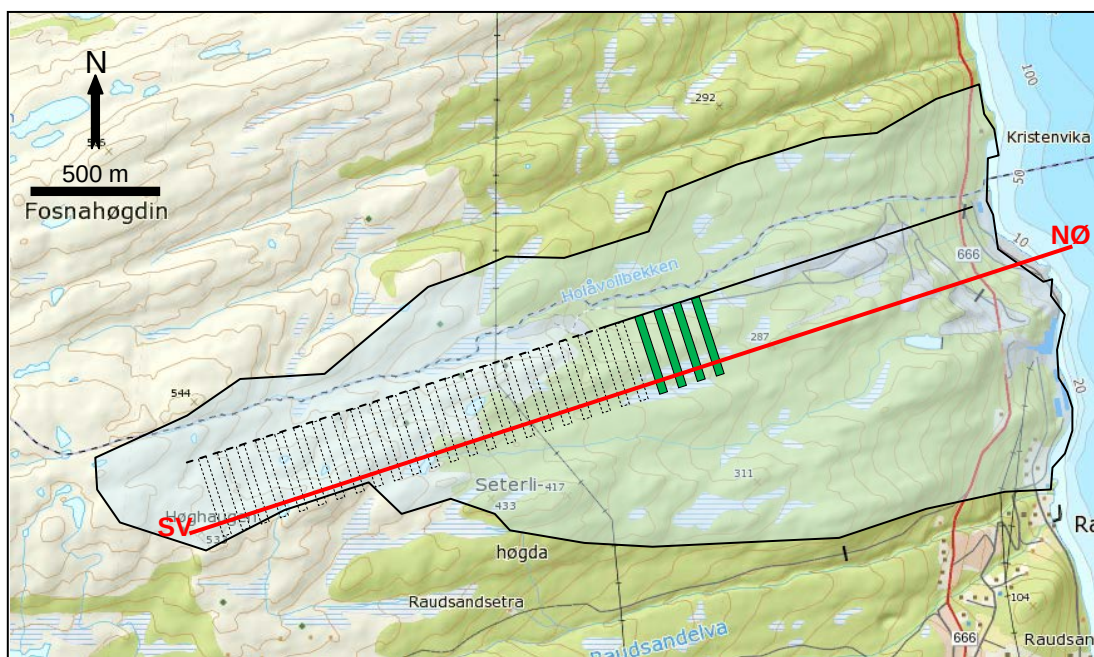
Denne lokaliteten er nærmere beskrevet i forbindelse med geologisk vurdering av Rødsand gruve til mulig deponi, og det henvises til Kapittel 5.2.6 i denne rapporten for generelle aspekter, samt geologiske- og hydrologiske forhold.

Fjellhallene til Raudsand deponi er planlagt gravd ut i en rødlig granittisk gneis som har en foliasjon med retning VSV-ØNØ og fall mot nord. Foliasjonen går parallell med bergartsgrensen mot den (uinndelte) gneisen mot nord. Som vist i Figur 8.10 har de langstrakte innslagene av amfibolittiserte bergarter en orientering parallell med denne foliasjonen, noe som også er observert underjord i Rødsand gruve. I både gruen og dagbruddet er jernmalmen med tilhørende sulfidanrikning knyttet til slike amfibolitter.

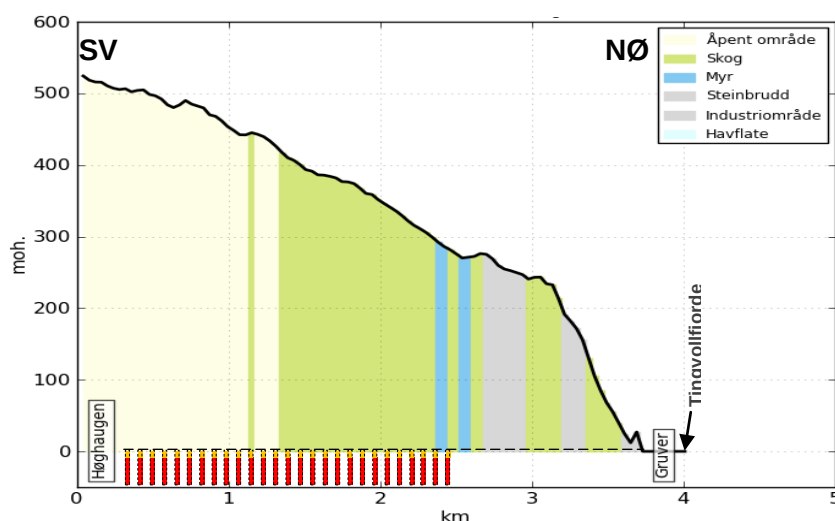
Det er derfor viktig å undersøke målvolumet for utgraving av fjellhaller i den granittiske gneisen for å unngå en vertsbegart med mineralisering, særlig av sulfider. Granittisk gneis som vertsbegart har ikke gode kjemiske egenskaper med hensyn til det basiske avfallet, slik at, for eksempel, verdiene av pH for grunnvann, som eventuelt kommer i kontakt med avfallet, er <8. I tillegg kan pH verdiene bli enda lavere hvis grunnvannet kommer i kontakt med betydelige mengder av sulfider.

Hydrologiske forhold

Figur 8.11 viser det samme kartbildet som i Figur 78 (side 92) med nedbørsfeltet for det aktuelle området til et evt. deponi. Figuren viser også plassering av deponiet basert på fjellhaller som foreslått av BMR (hel svart og hel grønn strek) som her er utvidet (stiplet strek) til å omfatte i alt 27 fjellhaller. Høydeprofilen i Figur 8.12 med skissert plassering av fjellhallene viser at det foreslåtte deponiet vil ligge flere hundre meter under nedbørsfeltet på overflaten, og at det deponerte avfallet (rødt) er plassert godt under havnivå. En slik plassering er både gunstig med hensyn til fravær av hydrauliske gradienter og at anlegget vil være forholdsvis godt beskyttet mot rystelser fra eventuelt seismisk aktivitet.



Figur 8.11 Topografisk kart med nedbørsfelt for området vest for Rødsand gruve der BMR AS foreslår plassering av et deponi basert på fjellhaller (se også Figur 8.10). Rød strek er plassering av høydeprofilen vist i Figur 8.12.



Figur 8.12 Høydeprofil langs SV-NØ linje vist i Figur 8.11. I profilen vises en skisse for det foreslåtte deponiet med adkomsttunell litt over havnivå og avfallet (rødt) deponert godt under havnivå. Tildekking/tetting av avfallet i fjellhallene er markert med oransje.

Egnethet til deponi

Den granittiske gneisen er forholdsvis massiv med lav til moderat oppsprekking i arealer uten innslag av amfibolitter og/eller jernmineralisering. Gneis har en nokså lav hydraulisk konduktivitet (Figur 3, side 10), og bevegelse av grunnvann gjennom denne bergarten vil derfor være kontrollert i all hovedsak av sprekker. Med en god mekanisk styrke og riktig orientering med hensyn til spenningsforhold i fjellet, vil denne bergarten, der den er fri for mineralisering, antagelig egne seg godt til utgraving av større fjellhaller. Detaljene må dog utredes geoteknisk for å optimalisere dimensjonene og orientering av et anlegg med mange fjellhaller og nødvendige driftstuneller.

Her anbefales det først å utføre en karakterisering av volumet i fjellet der deponiet skal graves ut ved bruk av et boreprogram for kartlegging av bergartsenheter og –sammensetning (særlig innhold av sulfider), strukturgeologi, måling av bergspenninger og nærmere hydrogeologiske undersøkelser. En slik forundersøkelse er særlig viktig der den granittiske gneisen er også vertsbergarten til den kjente mineraliseringen av jern og sulfider lateral mot NØ langs den regionale strukturen.

En viktig forutsetning for en god plassering av deponiet med hensyn til grunnvann er at volumet til deponering ligger godt under havnivå. Dermed unngås hydrauliske gradienten gjennom eller i nærheten av det deponerte avfallet. Og det vil da kun være et hydraulisk trykk inn mot deponiet, noe som fører til at avfallet forblir vannmettet over tid. Med en betydelig hydraulisk gradient, fra nedbørsfeltet ca 300-500 m overfor deponiet, er det viktig å få en god forståelse av grunnvannsforhold gjennom hydrogeologisk modellering.

Beliggenhet av Raudsand område med hensyn til den store Møre-Trøndelagsforkastningen (Figur 16) medfører sannsynlighet for rystelser fra jordskjelv i forbindelse med seismisk aktivitet. Samtidig gir plassering av deponiet dypt i massiv fjell god beskyttelse mot jordskjelv og er mindre utsatt for rystelser sammenlignet med jordens overflate.

For denne lokaliteten har NGU ikke de relevante geofysiske dataene for å kunne lage aktsomhetskart for dypforvitring. Som en del av forundersøkelse bør kartlegging av nedbørsfeltet og det forslåtte boreprogrammet se nærmere på antydning/mulighet for lokal dypforvitring.

Gunstige aspekter:

- Granittisk gneis er en forholdsvis massiv bergart med lav til moderat oppsprekking.
- Potensielt stort deponeringsvolum i fjellhaller under havnivå.
- Deponi i fjell gir forholdsvis god beskyttelse mot rystelser fra jordskjelv.
- Lite landheving og middels risiko for jordskjelv.
- Kort avstand til dypvannskai.

Mindre gunstige aspekter:

- Granittisk gneis har mindre gode kjemiske egenskaper med hensyn til det basiske avfallet.
- Sprekkeakviferer er utfordrende å kartlegge med hensyn til grunnvannsbevegelse i fjell.
- Betydelig grunnvannsgradient ned til mulig deponi.

Referanser for Lervik og Raudsand

- Bergmesteren Raudsand AS (2015): *Fjellhaller på Raudsand – Forslag til nasjonalt deponi for farlig avfall*. BMR AS Brosjyre, 4 s.
- Bingen, B. og van Bremen, O. (1998): *Tectonic regimes and terrane boundaries in the high-grade Sveconorwegian belt of SW Norway, inferred from U-Pb zircon geochronology and geochemical signature of augen gneiss suites*. Journal of the Geological Society, London 155, 143-154.
- Buen, B. (2015): *Lagerhaller i berg for problemavfall – Vurdering av konsept for lagring ved Raudsand i Nesset kommune*. Notat til BMR AS, 2 s.
- Falkum, T. (1998): *The Sveconorwegian magmatic and tectonometamorphic evolution of the high-grade Proterozoic Flekkefjord complex, South Norway*. Norges geologiske undersøkelse, Bulletin 434, 55-33.
- Gabrielsen, R.H., Braathen, A. Dehls, J. og Roberts, D. (2002): *Tectonic lineaments of Norway*. Norwegian Journal of Geology, 82, 153-174.
- Myrvang, A. og Smedberg, P. (2007): *Notat vedrørende lagringshaller for filterstøv fra Tinfos Jernverk A/S, Øye Smelteverk, Kvinesdal*. Upublisert notat, 9sider.



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