

Prosjekt:	<b>E39 Rogfast</b>	Geode Consult AS
Tema:	<b>Tredjepartsgransking : Geokjemisk vurdering av tunnelmateriale entreprise E2</b>	Org. nr. 994 551 000
Skrevet av:	David C. Ettner, Elisabeth H. Sanne	Pb 97
Dato:	09.04.18	N-1378 NESBRU
		Tlf +47 99 70 02 65

## 1. Innledning

Hensikten med rapporten: E39 Rogfast, Geokjemisk vurdering av tunnelmateriale entreprise E2 (SARB, 2018) er å:

1. ”Vurdere utlekkingspotensialet fra grønnstein, grønskifer, og svartskifer med tanke på fylling i sjøvann og over havvannflaten med fokus på arsen, bly, kadmium kobber, krom kvikksølv nikkel og sink”
2. “Vurdere syredannende og nøytraliserende potensiale av tunnelmaterialet”

Målet med denne tredjepartskontrollen har vært å foreta en vurdering av valgte mineralogiske og geokjemiske metoder, se på innsamling og bruk av data, og gjennomgå tolkning av resultatene. En har også gjort en vurdering av innholdet i rapporten sett opp mot nasjonale forskrifter.

## 2. Metodikk i SARB rapporten

For å modellere utlekkingspotensialet valgte SARB Consulting å fokusere på følgende:

- Geologi, mineralogi og kjemi for å identifisere hvilke mineraler som kan resultere i frigjøring av tungmetaller, og mineraler som kan endre pH.
- Muligheten for utvasking i saltvann, og potensielle utslipp av tungmetaller i steinfyllinger plassert under havnivå.
- Muligheten for utvasking i ferskvann under oksiderende forhold, og potensielle utslipp av tungmetaller i steinfyllinger plassert over havnivå.

Metodikken som ble valgt av SARB Consulting er den samme som benyttes av gruveindustrien når en planlegger avhending av mineralavfall.

NGU og Norconsult har tidligere sett på sammensetningen av bergarter i området og funnet granittisk gneis, fylitt, grønnstein, grønskifer og gabbro (Saintot og Solli, 2011, Norconsult i 2017). Under den geokjemiske vurderingen ble det valgt 62 representative prøver fra borekjernene som den gang ble tatt ut. Mineralogi og tekstur ble beskrevet for hver prøve.

Total element konsentrasjoner og total organisk karbon ble analysert. Det ble også utført syre-base analyser for å avgjøre om steinmaterialet har et potensiale til å generere syre eller inneha en buffringseffekt.

Detaljerte mineralogiske analyser ble gjort med XRF. Det ble også utført sekvensiell kjemisk ekstraksjon på steinprøver for å identifisere mulige tungmetaller i mineraler som kan forårsake miljøforurensning.

SARB har brukt kinetisk testing for å bestemme potensialet for utlekking av tungmetaller. Disse metodene er utviklet for å undersøke eventuell korrosjon og utlekking av tungmetaller over en lengre periode i saltvann, og for oksidasjon og utlekking av sulfidmineraler over lengre tid i ferskvann.

SARB har valgt å ikke benytte Miljødirektoratets Veileder M-411/2015 (Testprogram for tildekkingsmasser) da denne ikke tar hensyn til kjemiske endringer over tid eller variasjoner på grunn av grove steinmasser.

**Vurdering, Geode Consult:** Metoder utviklet for mineralavfall fra gruvedrift er også anvendelige for testing av steinmasser generert fra bygging av tunneler. Disse testmetodene er vesentlig bedre egnet for testing av steinmateriale enn ristetester og oppstrøms kolonnetesting.

Karakterisering av geologi, mineralogi og kjemi ble gjennomført etter en grundig prosess. Innsamlede data viser variasjoner i mineralogi og kjemi mellom de ulike bergartene. Det viser også potensiell forurensning som sannsynligvis vil bli frigjort ved oksidasjon eller korrosjon. Gjennomførte analyser ga et godt grunnlag for å avgjøre hvilke bergarter som har størst potensiale for syreproduksjon og utslipp av tungmetaller.

Plassering av prøvepunkt for uttak av borekjerter ble valgt for å sikre en oversikt over representative bergarter langs det planlagte tunnellopet. Som SARB anfører i rapporten kan det bli nødvendig med ytterligere undersøkelser hvis en finner betydelige mengder andre bergarter under anleggsarbeidet.

### 3. Gjennomgang av data/ databehandling

En oversikt over mineralogiske og geokjemiske data er oppsummert i tabellen under.

**Vurdering, Geode Consult:** Alle innsamlede data omhandlet i rapporten er gjennomgått. Det er ikke registrert signifikante "data gaps". En finner heller ikke datamateriale som avviker vesentlig fra det som kan forventes. Som drøftet i SARB-rapporten ble det ikke utført sekvensiell ekstraksjon på svartskifer på grunn av mangel på prøvemateriale. En regner ikke med at en slik prosedyre ville ha endret tolkninger eller konklusjoner i rapporten.

Tabell 1: Sammendrag av mineralogiske og geokjemiske data

	Grønnstein	Grønnskifer	Svartskifer	Knusingssone
Mineralogi	Kloritt Aktinolitt Epidot	Kvarts Kloritt Aktinolitt Epidot Muskovitt	Kvarts Illit Kaolin Muskovitt	Kloritt Aktinolitt Kvarts Muskovitt
Observerte svovelkis	Aksessoriske mengder	Aksessoriske mengder (0,5 – 1,5 %)	1 – 5 %	Aksessoriske mengder
Totalt element konsentrasjoner				

Kadmium	Under deteksjonsgrense	Under deteksjonsgrense	Under deteksjonsgrense	Under deteksjonsgrense
Bly	Under deteksjonsgrense	1 sample over deteksjonsgrense	Under deteksjonsgrense	Under deteksjonsgrense
Arsen	Fleste under deteksjonsgrense	"Noe høyere konsentrasjoner"	"Noe høyere konsentrasjoner"	"Noe høyere konsentrasjoner"
Kvikksølv	1/3 prøver 1-3 ganger deteksjonsgrense	"Noe høyere konsentrasjoner"	"Noe høyere konsentrasjoner"	"Noe høyere konsentrasjoner"
Kobber	"Stor variasjon" 30 – 140 ppm	"Stor variasjon" 30 – 140 ppm	"Stor variasjon" 30 – 140 ppm	"Stor variasjon" 30 – 140 ppm
Krom	Todeling i krom-konsentrasjoner			
Sink	Høyeste konsentrasjoner	"Stor variasjon" 25 - 200 ppm	"Stor variasjon" 25 - 200 ppm	"Stor variasjon" 25 - 200 ppm
Nikkel	"Stor variasjon" 30 – 150 ppm	"Stor variasjon" 30 – 150 ppm	"Stor variasjon" 30 – 150 ppm	"Stor variasjon" 30 – 150 ppm
Total Organisk Karbon	> deteksjonsgrense	Nest laveste innhold	Høyeste innhold	Nest høyeste innhold
Total Uorganisk karbon	laveste		Laveste	
Syre-base analyser				
Jord pH	pH 7,5 til 9,5 (Høyeste pH)	pH 7,5 til 9,5	pH 7,5 til 9,5	pH 7,5 til 9,5
Syre-base analyser	3 x NP relativt til AP (ikke syredannende)	Plotter i alle tre felt.	BP/AP < 1	Plotter i alle tre felt.
Svovel analyser	< Sulfat	Sulfat (gips eller anhydritt)	Sulfat (gips eller anhydritt)	Sulfat (gips eller anhydritt)
Sekvensiell ekstraksjon -				
Kadmium	Lave	Lave		Lave
Arsen	Lave	Lave		Lave
Kvikksølv	Lave	Lave		Lave
Bly	Lave	Lave		Lave
Kobber	> Organisk faser, Sekundær kobberminerale / sulfider, lettløselig silikater	> Organisk faser, Sekundær kobberminerale		> Organisk faser, Sekundær kobberminerale
Nikkel	> Sulfider, lettløselig silikater & restfaser silikatminerale	> Sulfider, lettløselig silikater & restfaser silikatminerale		Leireminerale, kalkspat, sekundær Fe/Mn-oksider, organiske faser, kobberminerale
Sink	> Sulfider, lettløselig silikater & restfaser silikatminerale	> Sulfider, lettløselig silikater & restfaser silikatminerale		Leireminerale, kalkspat, sekundær Fe/Mn-oksider, magnetitt, hematitt, organiske faser, kobberminerale, sulfider, lettløselige silikater & restfaser silikatminerale
Svovel	> Organisk faser,	> Organisk faser,		> Organisk faser,

	Sekundære kobberminerale /	Sekundære kobberminerale / sulfider		Sekundær kobberminerale / sulfider
Kalsium	Leireminerale, kalkspat / silikatminerale	Leireminerale, kalkspat		Leireminerale, kalkspat
<b>Saltvannslaktester</b>				
Observert	Jernhydroksid	Hvite flytende korn, jernhydroksid	Leireminerale & sorte partikler som fløt, oljefilm	Leireminerale & sorte partikler som fløt
Nikkel	Rask økning i første timene / kontinuerlig økning i en måned	Konsentrasjonene konstante etter 10 – 15 dager	Figur 28	Figur 28
Kobolt	Rask økning i første timene / kontinuerlig økning i en måned	Konsentrasjonene konstante etter 10 – 15 dager	Figur 28	Figur 28
Sink	Rask økning i første timene / sank kraftig etter de første dager	Avtagende etter de første timene	Rask økning i første timene / sank kraftig etter de første dager	Rask økning i første timene / sank kraftig etter de første dager
Kadmium	Rask økning i første timene / sank kraftig etter de første dager / potensiell økning de siste to måneder	Konsentrasjonene konstante etter 10 – 15 dager	Lite sammenlignet med grønnskifer, men høyere enn grønnstein	Figur 29
Kobber	Lav	Lav	Lav	Lav
Utekkingsrate		Høyeste		
<b>Kinetiske tester med ferskvann</b>				
pH	Nøytral til basisk	Nøytral til basisk	Svakt surt	Nøytral til basisk
Alkalinitet	Høyeste	Ca. 30 mg/L HCO <sub>3</sub>	Liten	ca. 30 mg/L HCO <sub>3</sub>
Arsen	Lite utlekking (< 1 ug/L)	Svak økning over de første 7-8 ukene	Nær deteksjonsgrense	Figur 37: lav
Kobber	Lite utlekking (< 1 ug/L)	Lite utlekking	Økende etter syv uker	Figur 37: lav
Nikkel	Lite utlekking (< 1 ug/L)	Tydelig utlekking den først prøvetakingen	Jevnt økende i alle 10 uker	Figur 38: lav
Sink	Distinkt utlekking den først uken	Tydelig utlekking den først prøvetakingen	Jevnt økende i alle 10 uker	Figur 38: lav

## 4. Geokjemisk modellering

For å avgjøre om det vil bli dannet nye minerale under deponering har en modellert geokjemi i vannet ved bruk av dataprogrammet PHREEQC. Modelleringen identifiserte ikke noe potensiale for dannning av nye minerale.

Utekkingshastighetene under deponering av steinmasser fra Boknafjordtunnelen ble beregnet på bakgrunn av innsamlede data. Datagrunnlaget for beregningsmodellen er vist i tabellen under.

Beregningene viste at metallene som eventuelt frigjøres fra deponiet i hovedsak vil bestå av nikkel og sink både over og under havnivå. Potensialet for utlekking av arsen, bly, kadmium, krom, kvikksølv og kobber vil være vesentlig lavere.

95% av nikkelutlekking kommer fra svartskifer, selv om svartskifer bare utgjør 5% av de totale steinmassene. SARB påpeker at endringer i den faktiske mengden svartskifer vil ha betydelig innvirkning på mengden av nikkel som kan lekke ut i ytre miljø.

Tabell 2: Data og forutsetninger for valgt geokjemisk modell

Faktorer	Data eller forutsetninger
Totalt volum av steinmasser (inkludert granitt og fyllitt)	2,15 million m <sup>3</sup> fast fjell (Statens vegvesen)
Totalt volum grønnstein-grønnskifer-svartskifer	1.795 million m <sup>3</sup> fast fjell (estimert av Statens vegvesen vest)
Egenvekt	2,8 tonn/m <sup>3</sup>
Total tonnasje: grønnstein-grønnskifer-svartskifer	2,8 million tonn grønnstein 2,6 million tonn grønnskifer 0,2 million tonn svartskifer (5%)
Mengden steinmasser deponert over havnivået	15 %
Mengden steinmasser deponert underhavnivået	85 %
Antall år	5 år
Finere knust materiale – hoveddelen av utlekking	30% (estimat, Norconsult 2017)

Mineralogiske data er benyttet til å identifisere svovelkilder, anslå mineralenes bufringspotensiale, og avgjøre hvilke metaller som frigjøres under kinetisk testing. En oppsummering er gitt i tabellen under.

Tabell 3: Svovelkilder, bufringspotensiale, og metaller som frigjøres under kinetisk testing

	Grønnstein	Grønnskifer	Svartskifer	Knusingssone
Svovel	Ingen sulfat	Sulfat (gips)	Sulfat (gips)	>> Sulfat (gips)
Kalsium	> Kalsiumkarbonat (kalkspat)	Lavt innhold av kalkspat		
Nikkel - kilder	Sulfidmineralene (+ jernhydroksider og absorbert til leireminerale)	Sulfidmineralene (+ jernhydroksider og absorbert til leireminerale) *Mer løselig enn i grønnstein	Sulfidmineralene (+ jernhydroksider og absorbert til leireminerale)	Sulfidmineralene (+ jernhydroksider og absorbert til leireminerale)
Sink – kilder	Absorbert til mineraler eller fra oppløsning av kalkspat	Absorbert til mineraler eller fra oppløsning av kalkspat	Absorbert til mineraler eller fra oppløsning av kalkspat	Absorbert til mineraler eller fra oppløsning av kalkspat
Kadmium – kilder	Absorbert til mineraler eller fra oppløsning av kalkspat	Absorbert til mineraler eller fra oppløsning av kalkspat	Absorbert til mineraler eller fra oppløsning av kalkspat	Absorbert til mineraler eller fra oppløsning av kalkspat
Kobolt – kilder	Sulfidmineralene	Sulfidmineralene *Mer løselig enn i grønnstein	Sulfidmineralene	Sulfidmineralene

**Vurdering, Geode Consult:** PHREEQC er et mye benyttet program for å forutsi mineralreaksjoner i vann. Resultatene fra modelleringen ligger innenfor det som er forventet. Imidlertid ble hvite partikler observert under utlekkingstester for saltvann, noe som ikke ble fanget opp av PREEQC.

Valg av modell for beregning av utlekkingshastigheter under bygging av steinfyllingen anses å være velbegrunnet og hensiktsmessig. En antar at metaller vil bli frigjort fra omlag 30% av bergartene da dette vil være finknuste steinmasser som er mer tilgjengelige for utlekking.

Basert på det tilgjengelige geologiske underlagsmaterialet har undersøkelsen og beregningene blitt benyttet til å produsere en god, prediktiv modell for frigjøring av metaller under bygging av steinfyllingen. Som påpekt er den største variabelen de potensielle endringene i typen bergarter som vil bli tatt ut under konstruksjon av tunnelen. Andre variabler vil være prosentandel av henholdsvis knust stein og vann i steinfyllingen. Dette vil variere avhengig av klima, påvirkning fra havstrømmer og av steinmassenes permeabilitet.

Kinetiske tester viser at det hovedsakelig er nikkell og kobolt som frigjøres ved oksidasjon av sulfider. Fra kalkspat og leirepartikler frigjøres det mest sink og kadmium. Testresultatene anses å gi et korrekt bilde.

## 5. Klassifisering i forhold til Miljødirektoratets tilstandsklasser for jord og sedimenter/ Testprogram for tildekkingsmasser

Analyser viser at tungmetallinnholdet i bergartene ligger innenfor tilstandsklasse 1 og 2 (forurenset grunn). Nikkelinnholdet ligger i tilstandsklasse 3 for klassifisering av sedimenter. SARB påpeker at en betydelig mengde nikkell er bundet i silikatminerale.

SARB har konvertert de kinetiske dataene i denne undersøkelsen til L / S 10-verdier for å kunne sammenligne data mot grenseverdiene gitt i Miljødirektoratets testprogram for tildekkingsmasser (M-411/2015). De beregnede L / S 10-verdiene er generelt lave. Ved kortvarig svartskifer-testing i saltvann overstiger utvasking av nikkell imidlertid verdiene for MAC EQS. Ved langvarig testing i ferskvann finner en at utvasking av nikkell overstiger AA EQS.

**Vurdering, Geode Consult:** SARB påpeker at det er usikkert om bruk av tilstandsklasser for knuste bergmasser er riktig tilnæringsmåte. Vanndirektivet lister nikkell som et EU-prioritert stoff. Det er derfor viktig å vurdere målte nikkellverdier mot tilstandsklasser. Noe nikkell er bundet i silikatminerale og vil derfor ikke være biotilgjengelig. Med lave nikkellkonsentrasjoner i bergartene er det svært liten risiko for at oksidasjon av steinmasser vil resultere i forurenset jord.

Det er hensiktsmessig å vurdere metallinnholdet i bergartene som bakgrunnsverdier da grønnstein og grønnskifer forekommer naturlig på Kvitsøy. På grunn av lokale geologiske forhold er det også mulig at nikkellkonsentrasjoner i sedimentene er relativt høye.

Når det gjelder testprogrammet for tildekkingsmasser kan det være noe usikkerhet i konvertering av kinetiske data til L / S 10. Tolkningen av L / S 10-verdiene bør derfor benyttes med forsiktighet. Utlekking av nikkell anses å være det mest negative aspektet med deponering av steinmasser.

## 6. Konklusjon

Rapporten "E39 Rogfast, Geokjemisk vurdering av tunnelmateriale, Enterprise E2 (SARB, 2018) presenterer en grundig analyse av utlekkingspotensialet i steinmassene som vil bli tatt ut under det planlagte anleggsarbeidet.

Den valgte metodikken gir en meget god forståelse av mineralogi og geokjemi. Metoden forutsier også hvordan avsetning av steinmasser kan påvirke pH og utvasking av tungmetaller. Kinetiske tester gir et godt innblikk når det gjelder korrosjon av metallholdige mineraler som skyldes saltvann og oksydasjon av sulfider over tid.

Det anses at konklusjonene som trekkes i rapporten er korrekte.