



24.09 | 21

E6 Roterud–Storhove

Dokumentasjon på syrepotensialet i Brøttumsformasjonen



Nye Veier AS | Tangen 76
4608 Kristiansand
nyeveier.no

Oppdragsnummer:	5195019
Oppdragsnavn:	E6 Roterud–Storhove
Dokumentnummer:	RAPP-geo-015
Dokumentnavn:	Dokumentasjon på syrepotensialet i Brøttumsformasjonen

Versjonsoversikt

Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet av	Kontrollert av	Godkjent av
A01	14.09.2021	For intern bruk hos utgivende part	Ruth Vingerhagen/Lena Evensen/Andreas Ongstad	Eivind Halvorsen	Rune Westgaard
C02	16.09.2021	For kontroll hos eksterne parter	Ruth Vingerhagen/Lena Evensen/Andreas Ongstad	Eivind Halvorsen	Rune Westgaard
C03	24.09.2021	Til behandling hos myndigheter	Ruth Vingerhagen/Lena Evensen/Andreas Ongstad	Eivind Halvorsen	Rune Westgaard

SAMMENDRAG

For å sørge for økt trafiksikkerhet, bedre fremkommelighet og stimulere til vekst og utvikling i Innlandet og tilgrensende regioner har nå Nye Veier AS utarbeider reguleringsplan for ny E6 mellom Roterud i Gjøvik kommune og Storhove i Lillehammer kommune.

Reguleringsplanen og prosjektutviklingen av strekningen utføres av AF Gruppen sammen med Norconsult, i samarbeid med Nye Veier.

Berggrunnen langs den planlagte veilinen består av sedimentære bergarter tilhørende Brøttumformasjonen. Brøttumformasjonen er minst 3000 meter tykk og dekker et areal på ca. 6000 km² i Mjøsområdet. Formasjonen inneholder svart leirskifer som er en bergart som kan være syredannende ved eksponering til vann og luft.

Tidligere undersøkelser av bergarts- og kjerneprøver utført av blant annet Nye Veier og NGU viste at svart leirskifer i Brøttumformasjonen var klassifisert som potensielt syredannende i henhold til veileder M-310 [1]. Iht. Forurensningsforskriften §2-3 er grunn som danner syre eller andre stoffer som kan medføre forurensning i kontakt med vann og/eller luft, regnet som forurenset grunn dersom ikke annet blir dokumentert [2].

Det er behov for å benytte steinmassene fra dagskjæringer og Vingnestunnelen som byggemateriale i prosjektet. Mekaniske tester viser at massene er av en slik kvalitet at de er godt egnet til veibygging. Utfyllingstiltakene i prosjektet er avhengig av masseoverskuddet, og erstatter behovet for å kjøre inn masser fra andre områder. Å benytte sprengstein fra prosjektet til bygging av selve veien er dermed ansett som nyttiggjøring av masser.

På vegne av Nye Veier har Norconsult, i samarbeid med AF vurdert syrepotensialet i Brøttumformasjonen. Vurderingene er basert på en omfattende ingeniørgeologisk kartlegging av geologien på strekningen. Resultatene fra arbeidet er presentert i følgende rapport. Rapporten inkluderer resultater fra et samarbeid med Universitet i Oslo, som har utført en rekke geokjemiske tester på berget. Det er også utført en miljørisikoanalyse for bruk av steinen i prosjektet, som viser at restrisikoen etter planlagte avbøtende tiltak er lav.

Prosjektet har gjennom en rekke geologiske og geokjemiske undersøkelser dokumentert at berget i sin helhet ikke er syredannende og dermed ikke medfører en risiko for ytre miljø ved bruk av sprengstein til bygging av ny E6 mellom Roterud og Storhove.

INNHold

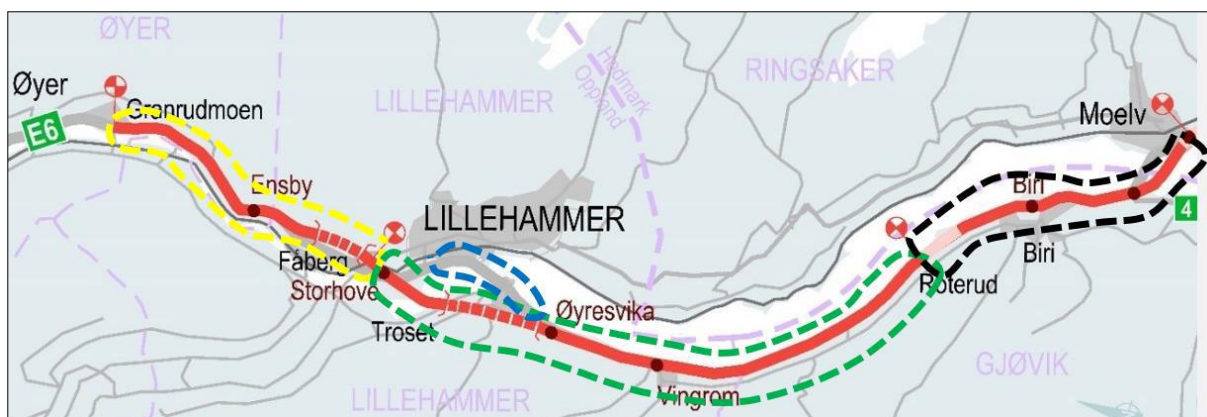
1	INNLEDNING	5
1.1	Bakgrunn	5
1.2	Hensikt med rapport	5
1.3	Gjeldende veiledere og regelverk.....	6
1.4	Nyttiggjøring av masser	8
1.5	Massebudsjettet i prosjektet	8
1.6	Bruk av steinmassene	9
1.7	CO ₂ regnskap	9
1.8	Samarbeid med Universitetet i Oslo	10
2	GEOLOGI	11
2.1	Overordnet geologisk beskrivelse	11
2.2	Utførte geologiske undersøkelser.....	12
2.3	Bergartsfordeling	13
2.4	Mineralogi	18
3	FORURENSNINGSNIVÅET OG SYREPOTENSIALET	20
3.1	Innledning	20
3.2	Generelle observasjoner	21
3.3	Analyser og klassifisering i henhold til M-310	22
3.4	Analyser og klassifisering i henhold til ABA og NAG.....	23
3.5	Utlekkingstester etter avfallsforskriften.....	23
3.6	Stedsspesifikke utlekkingsstester.....	24
3.7	Geokjemisk modell	25
3.8	Oppsummerende vurdering av geokjemien	26
4	MILJØRISIKOVURDERING.....	28
4.1	Metoden.....	28
4.2	Akseptkriterier og risikomatrise	28
4.3	Sannsynlighet- og konsekvenskategorier.....	29
4.4	Syredannende forhold	30
4.5	Foringelse av vannkvalitet i nedstrøms resipienter	31
4.6	Mellomlagring	33
4.7	Geologiske undersøkelser i anleggsfasen	33
4.8	Overvåkning.....	34
4.9	Beredskapsplan	34
4.10	Uønskede hendelser og avbøtende tiltak	35
5	KONKLUSJON.....	38
6	REFERANSER.....	39
7	VEDLEGG	41

1 INNLEDNING

1.1 Bakgrunn

E6 er Norges viktigste riksvei og hovedforbindelse mellom sørlige og nordlige landsdeler. Selskapet Nye Veier AS bygger nå ny E6 fra Moelv til Øyer i Innlandet. Hele veistrekningen blir 43 km og skal bygges som firefelts motorvei med fartsgrense 110 km/t. Veistrekningen er delt inn i 3 delstrekninger Moelv-Roterud, Roterud-Storhove og Storhove-Øyer. Denne rapporten omhandler delstrekningen Roterud-Storhove.

Hensikten med prosjektet er å sørge for økt trafiksikkerhet, bedre fremkommelighet og stimulere til vekst og utvikling i Innlandet og tilgrensende regioner. Det er også viktig for å knytte regioner tettere sammen og forbedre transport fra Osloområdet, mot Nord-Vestlandet og Trøndelag. Oversiktsskisse over prosjektet er vist i Figur 1 under.



Figur 1: Oversiktsskart over E6 Moelv-Øyer. E6 Roterud-Storhove er vist med grønn stiplet linje.

Nye Veier har utarbeidet reguleringsplan som legger til rette for utbygging av ny E6 mellom Roterud i Gjøvik kommune og Storhove i Lillehammer kommune. Strekningen er ca. 23 km lang, hvorav 8 km i Gjøvik og 15 km i Lillehammer.

AF Gruppen er sammen med Norconsult valgt til å utføre regulering og prosjektutvikling i samarbeid med Nye Veier for E6 Roterud-Storhove.

1.2 Hensikt med rapport

Berggrunnen langs den planlagte veilinen mellom Roterud og Storhove består av sedimentære bergarter tilhørende Brøttumformasjonen. Brøttumformasjonen inneholder svart leirskifer som er en bergart som kan være syredannende ved eksponering til vann og luft.

Det er behov for å benytte steinmassene fra dagskjæringer og Vingnestunnel som byggemateriale i prosjektet. Mekaniske tester viser at massene er av en sånn kvalitet at de er godt egnet til veibygging. Utfyllingstiltakene i prosjektet er avhengig av masseoverskuddet,

og erstatter behovet for å kjøre inn masser fra andre områder. Å benytte sprengstein fra prosjektet til bygging av selve veien er dermed ansett som nyttiggjøring av masser.

Tidligere undersøkelser av bergarts- og kjerneprøver utført av blant annet Nye Veier og NGU viste at svart leirskifer var klassifisert som potensielt syredannende i henhold til veileder M-310 [1]. Iht. Forurensningsforskriften §2-3 er grunn som danner syre eller andre stoffer som kan medføre forurensning i kontakt med vann og/eller luft, regnet som forurenset grunn dersom ikke annet blir dokumentert [2].

Norconsult AS, i samarbeid med AF Gruppen har på vegne av Nye Veier undersøkt syrepotensialet i Brøttumsformasjonen. Prosjektet har gjennom en rekke geologiske og geokjemiske undersøkelser dokumentert at berget i sin helhet ikke er syredannende og dermed ikke medfører en risiko for ytre miljø ved bruk av sprengstein til bygging av ny E6 mellom Roterud og Storhove.

1.3 Gjeldende veiledere og regelverk

1.3.1 Gjeldende lovverk for syredannende bergarter

I forskrift om begrensning av forurensning (forurensningsforskriften) kapittel 2 § 2-3 er syredannende berg regnet som forurenset grunn dersom ikke annet blir dokumentert. Gjeldende veileder for forurenset grunn er veileder TA-2553/2009 [3], men denne veilederen definerer ikke grenseverdier for syrepotensialet. Tilstandsklasser for tungmetaller er gjengitt i vedlegg 1 til forurensningsforskriften og i veileder TA-2553/2009 «Helsebaserte tilstandsklasser for forurenset grunn» (Tabell 1). Fastsettelse av klassegrenser er basert på en vurdering av helserisiko knyttet til antropogen forurensning og tar ikke hensyn til økt utlekking av tungmetaller forårsaket av et surt forvitringstilstandsmiljø. Likevel kan tilstandsklasse for tungmetaller brukes for å sammenligne prøvene og gi en pekepinn på forventet utlekkingspotensiale av tungmetaller.

Tabell 1: Tilstandsklasser for forurenset grunn og beskrivelse av tilstand [3].

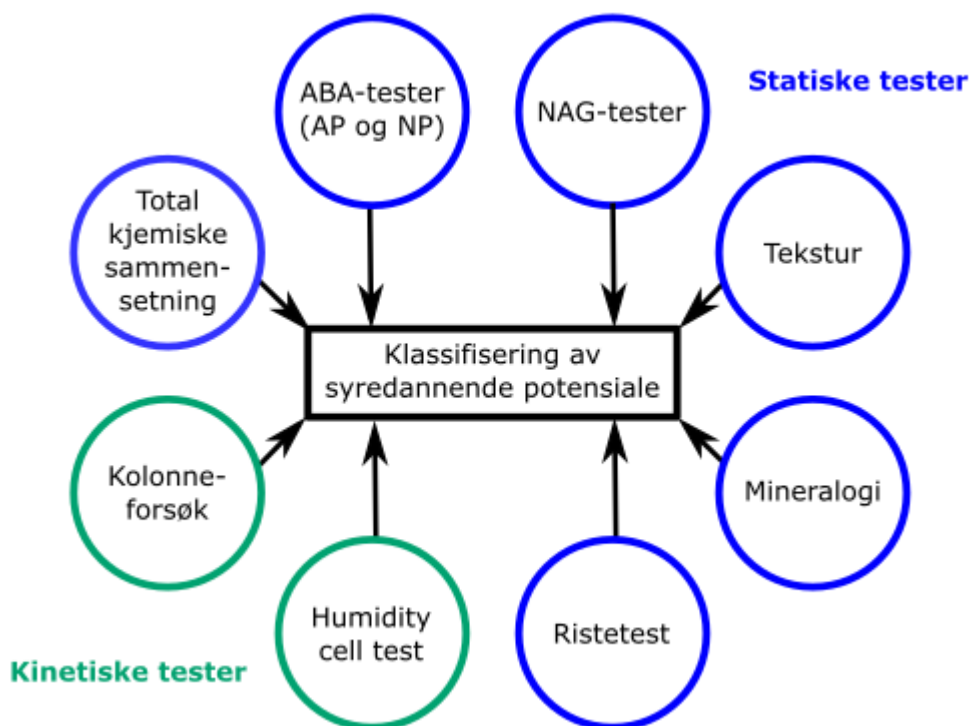
Tilstandsklasse	1	2	3	4	5
Beskrivelse av tilstand	Meget god	God	Moderat	Dårlig	Svært dårlig
Øvre grense styres av	Normverdi	Helsebaserte akseptkriterier	Helsebaserte akseptkriterier	Helsebaserte akseptkriterier	

1.3.2 Gjeldende veiledere for identifisering av syredannende bergarter

I Norge er følgende veiledere gjeldende for identifisering og håndtering av syredannende bergarter:

- M-310/2015 Identifisering og karakterisering av syredannende bergarter [1]
- M-385/2015 Deponering av syredannende bergarter [4]
- RIF (2019) Bygging på alunskifer og andre svarte og grå leirskifere [5]
- Prosjektgruppen for kontroll på svovelholdig avrenning i Agder (2021) Retningslinjer for tiltak i områder med syredannende gneis [6]

Det er viktig å understreke at det ikke er fastsatt grenseverdier, kun gitt veiledende grenseverdier. Dette på grunn av at syredannende potensiale kontrolleres av flere faktorer som er unike for hver bergart, for eksempel mineralogi og kornstørrelse. Alle veilederne understreker behov for flere tester og innsamling av en rekke geokjemiske data for å underbygge konklusjonen om bergartens syredannende potensiale (Figur 2).



Figur 2: Klassifisering av bergartens syredannende potensiale bør baseres på flere tester, både statiske tester og kinetiske tester. Figur adaptert fra GARD-veileder [7]. Forkortelser er definert i Tabell 2.

Tabell 2: Forklaring av forkortelse brukt i Figur 2 og i tekst.

ABA	Acid-base accounting
AP	Syredannende potensiale
NP	Nøytraliserende potensiale
NAG	Net acid generation
NAG-pH	Indikasjon på forventet pH i eluatet
NAPP	Net acid generation potential (AP-NP)

1.3.3 Gjeldende regelverk for radioaktivt berg

Uranrike, svarte leirskifre kan være en kilde til radongass. Masser med en total aktivitet på ≥ 1 Bq/g (~80 mg/kg uran) defineres som radioaktivt avfall og skal håndteres i henhold til avfallsforskriftens regelverk for radioaktivt avfall [8]. Selv om masser defineres som ikke radioaktive bør fare for avrenning med høyt innhold av radionuklider vurderes.

1.3.4 Vannforskriften

Vannforskriften [9] har som hovedformål å gi rammer for fastsettelse av miljømål som sikrer en mest mulig helhetlig beskyttelse og bærekraftig bruk av vannforekomstene. Miljømålet for naturlige vannforekomster av overflatevann er at tilstanden ikke skal forringes, og at de skal ha minst god økologisk og kjemisk tilstand. Det er utarbeidet grenseverdier for en rekke stoff hvorav grenseverdiene for 8 tungmetaller er mest relevant for vurdering av sur avrenning. I tillegg er det utviklet indekser for biologiske kvalitetselementer som er egnet til å måle responsen på forsurening.

1.3.5 Naturmangfoldloven

Formålet med naturmangfoldloven [10] er at naturen med dens biologiske, landskapsmessige og geologiske mangfold og økologiske prosesser tas vare på ved bærekraftig bruk og vern, også slik at den gir grunnlag for menneskenes virksomhet, kultur, helse og trivsel, nå og i fremtiden, også som grunnlag for samisk kultur.

1.4 Nyttiggjøring av masser

Jord- og steinmasser som ikke er forurenset, er ofte egnet for gjenvinning som byggeråstoff eller fyllmasser. Bruk av jord- og steinmasser, som er avfall, er gjenvinning dersom massene enten materialgjenvinnes eller erstatter materialer som ellers ville blitt brukt. Gjenvinning reduserer behovet for å utvinne nytt byggeråstoff. Bruk av jord- og steinmasser som fyllmasser er også gjenvinning dersom massene erstatter materialer som ellers ville blitt skaffet og brukt til formålet. Dette forutsetter at utfyllingstiltaket ville blitt gjennomført uavhengig av tilgangen på overskuddsmasser. Det er behovet for fyllmasser som er avgjørende for om bruken av jord- og steinmasser erstatter bruk av annet byggeråstoff. Hvis utfyllingstiltaket er planlagt på forhånd, uavhengig av masseoverskuddet, peker det i retning av at avfallsmassene erstatter materialer som ellers ville blitt brukt [11].

For å avgjøre om bruk av jord- og steinmasser som fyllmasser erstatter bruk av andre materialer, er det relevant å se hen til om:

1. Tiltaket er planlagt gjennomført uavhengig av tilgangen på overskuddsmasser,
2. Mengden masser som brukes står i forhold til behovet, og
3. Overskuddsmassene har egenskaper som gjør dem egnet til formålet

Tilrettelegging for gjenvinning handler både om hvordan arbeidet gjennomføres, hvor grundig arbeidene planlegges i forkant og om planleggingen starter tidlig nok. Tilrettelegging kan for eksempel omfatte god karakterisering av bergarter og grunn på forhånd, for å vurdere aktuelle bruksområder og for å skille mellom stein eller andre masser av god og mindre god kvalitet [11]. Jord- og steinmasser med opphav i syredannende bergarter, anses alltid som forurenset dersom ikke annet blir dokumentert.

1.5 Massebudsjettet i prosjektet

Hoveddelen av steinmassene i prosjektet kommer fra Vingnestunnelen, men det vil også tilkomme bergmasser fra fjellskjæringer i linja. Prosjektet har behov for alle bergmassene til veifyllinger samt knuste masser til grøftepukk og veioppbygging.

Grovt sett fordeles massene iht. Tabell 3.

Tabell 3: Fordeling av steinmaterialer.

Tilgang på steinmaterialer:		
Vingnestunnelen	975.000*	pfm3
Fjellskjæringer (inkl. forskjæringer)	450.000	pfm3
Total tilgang på steinmasser	1.425.000	pfm3
Omregnet til tonn (2,65 t/m3)	3.775.000	tonn
Forbruk av steinmaterialer:		
Vegfyllinger inkl. tursti etc.	1.130.000	pam3
Vegoppbygging, grøfter etc	700.000	pam3
Anleggveger etc	100.000	pam3
Totalt forbruk	1.930.000	pam3
Omregnet til tonn (2,00 t/m3)	3.860.000	tonn

(*inkl. 15% ekstra fra sprengning)

Denne oversikten viser at det med stor sannsynlighet vil være behov for alle steinmassene i prosjektet.

1.6 Bruk av steinmassene

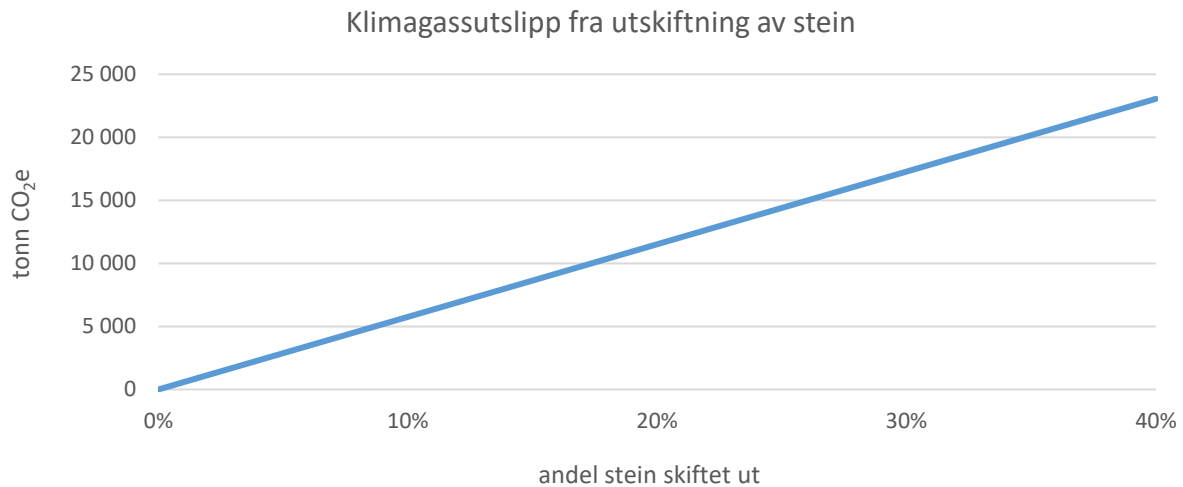
Steinmassene er i sin helhet planlagt benyttet på anlegget, hovedsakelig gjelder dette i selve veilinjen. Over evt. fyllingen vil vi legge den planlagte veioverbygningen som i toppen har flere lag med asfalt. Denne asfalten på de tilnærmet horisontale overflaten vil bli helt vanntett.

Skråningene utenfor asfaltflatene på veien vil bli kledd med løsmasser av morene som dekkes med vekstjord og såes til. Dette vil også bli relativt tett for vanninntrengning. Selv om massene ikke er å betrakte som syredannende vil prosjekt allikevel unngå å benytte steinmasser som ikke inneholder svartskifer i nærheten av spesielt sårbare og små resipienter.

1.7 CO₂ regnskap

Klimagassutslipp er beregnet for transport av syredannende masser til deponi, produksjon av nye masser og transport av disse massene til anleggsplass. For beregning av mengde syredannende masser er det tatt utgangspunkt i utsprengt volum for tunnel og i dagsone. Dette utgjør i underkant av 1,4 millioner pfm³. Andel masser som må skiftes ut antas å være mellom 0-40 %. Resultatene oppgis derfor som et intervall. Alle nøkkeldata for beregningene er oppsummert og presentert i vedlegg 4.

Klimagassutslippene fra produksjon av nye masser, samt transport av masser til og fra anlegget, er beregnet til mellom 6 200 og 25 000 tonn CO₂e, gitt at 10-40 % av de utsprengte massene må skiftes ut. Unngåtte utslipp som følge av lavere drivstofforbruk på anleggsplassen (knuseverk) er beregnet til mellom 420 og 1 700 tonn CO₂e. Figur 3 viser netto klimagassutslipp for ulike andeler av stein som skiftes ut.



Figur 3: Beregnede klimagassutslipp for utskiftning av syredannende steinmasser, vist for andel stein som må skiftes ut.

Det er tidligere gjennomført klimagassberegninger for hele anleggsfasen (dieselforbruk, sprengning og massetransport) hvor utslippene ble beregnet til omtrent 60 000 tonn CO₂e. Hovedandelen av disse klimagassutslippene er direkte utslipp forbundet med anleggsgjennomføringen. Ved utskiftning av andelen masser som angitt i figuren, vil klimagassutslippene fra anleggsfasen øke med mellom 9 og 39 %, og dermed medføre en betydelig økning av prosjektets klimagassutslipp.

1.8 Samarbeid med Universitetet i Oslo

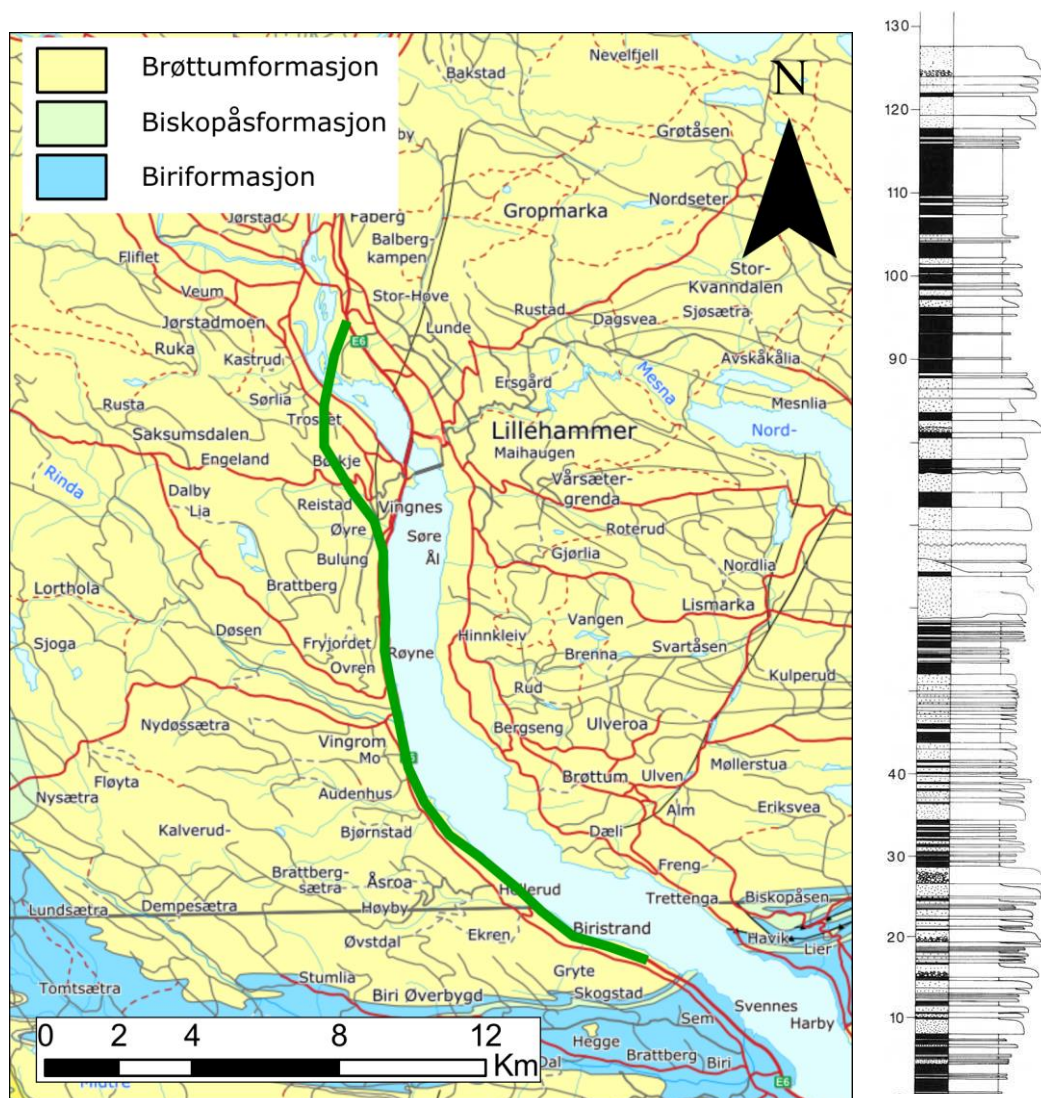
For å få utført en grundig geokjemisk vurdering av syre- og nøytraliseringspotensialet i Brøttumsformasjonen ble det etablert et samarbeid med Universitetet i Oslo (UiO). UiO har utført en rekke kjemiske analyser av steinmateriale fra kjerneborhull K1 som er tatt fra den nordligste delen av Vingnestunnelen. Det ble blant annet kjørt stedsspesifikke utlekkingsforsøk for å se på pH-endringer og utlekking av metaller fra forskjellige bergarter i Brøttumsformasjonen. UiO har også utført geokjemisk modellering av pH verdier i avrenningen fra svart leirskifer som er benyttet til fyllinger på land og i Mjøsa. Den geokjemiske rapporten fra UiO er vedlagt i sin helhet i vedlegg 1. Resultatene og konklusjonene i denne rapporten er benyttet for vurderinger og konklusjoner i denne rapporten.

2 GEOLOGI

2.1 Overordnet geologisk beskrivelse

Berggrunnen i tiltaksområdet består av Brøttumformasjonen (Figur 4).

Brøttumformasjonen er minst 3000 meter tykk og dekker et areal på rundt 6000 km² i Mjøsområdet. Den er den eldste formasjonen i Hedmarksgruppen og ble dannet mellom ca. 740 og 670 millioner år siden. Formasjonen består av vekslende lag med sandstein og svart/grå leirskifer, hvor de enkelte lagene varierer i tykkelse fra noen cm til titalls meter (Figur 4). Sedimentene er avsatt i en omfattende sekvens av undervannsvifter (og andre systemer som følge av undersjøiske ras og massestrømmer) som turbidittavsetninger. Skiferen (alle typer) utgjør ca. 25 % av det totale bergartsvolumet i formasjonen [13].



Figur 4: Venstre: Berggrunnskart over tiltaksområdet. Veglinje er markert med en grønn linje. Høyre: Eksempel av stratigrafisk sekvens fra Brøttumformasjon ved Lillehammer [13]. Leirskifer (vist med svart skravur) varierer i tykkelse og opptrer vekselvis med sandstein (hvit stiplede skravur).

Grunnet Brøttumsformasjonens utbredelse dekker den følgelig et stort område i det sentrale Norge. Det er tidligere utført en rekke berganlegg i formasjonen. Både Hundorptunnelen (E6) og Øyertunnelen (E6) går gjennom Brøttumformasjonen. Mesna kraftverk i Lillehammer sentrum er også bygget i formasjonen.

Utbygging av ny E6 Roterud- Storhove vil i sin helhet foregå innenfor Brøttumsformasjonen. Mesteparten av steinen som vil bli tatt ut vil komme fra utbyggingen av Vingnestunnelen.

2.2 Utførte geologiske undersøkelser

For å få dokumentert de geologiske og hydrogeologiske forholdene langs tunneltraseen er det gjennomført grunnundersøkelser i form av hammerhullsboring, kjerneboring og kartlegging av bergblotninger i dagen langs traseen for ny E6. Det er totalt utført 7 hammerborhull og 5 nye kjerneborhull. I tidligere planfase var det utført et borehull K1 der kjernemateriale har vært tilgjengelig og blitt benyttet i forbindelse med undersøkelsene. Plassering av borehull fremgår av Figur 5.

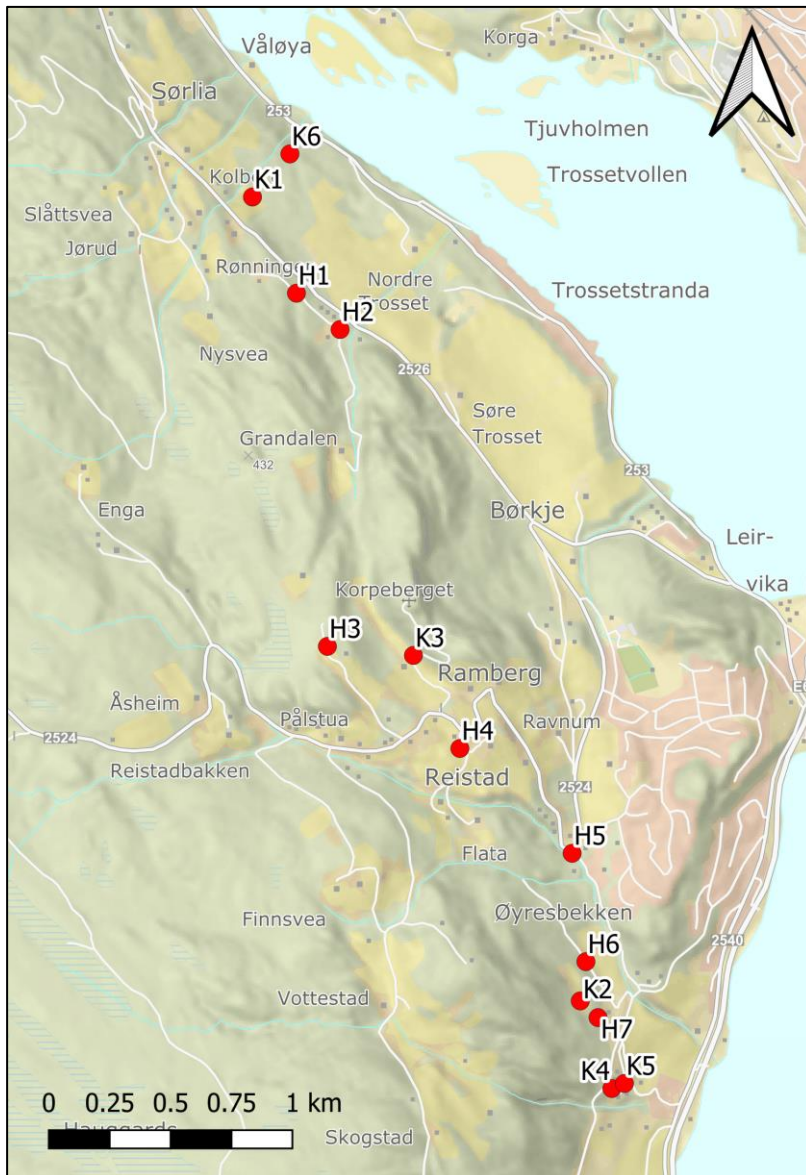
Ved hammerhullsboringen er det tatt prøver av borkaks for hver 10. meter ned til et nivå som tilsvarer 30 m over prosjektert tunnelnivå. For de siste 30 m nærmest tunnelnivå er det prøvetatt borkaks for hver 3. meter. Borkakset er tørket, vurdert visuelt i forhold til bergartstype og undersøkt med XRF.

Det er utført borehullslogging av hammerborhullene H1–H7 samt kjerneborhull K3 med et utvalg av ulike undersøkelsesmetoder. Ved å sammenstille resultater fra flere undersøkelsesmetoder er det gjort en vurdering av bergartsfordelingen i borehullene.

Det er utført kjernelogging av bergkjerner fra kjerneborhullene K2–K6 med blant annet bestemmelse av bergartsfordeling. Kjernemateriale er undersøkt med XRF og prøver er også sendt for videre laboratorieundersøkelser.

Det er utført prøving av steinmateriale av lys sandstein og mørk leirskifer fra seks ulike lokaliteter for å undersøke steinmaterialenes egnethet for bruk i vegbyggingen. Steinmaterialet har blitt undersøkt ved metodene Los Angeles (LA) og Micro-Deval (M_{DE}) på standard-fraksjonen (10–14 mm) for undersøkelse av steinmaterialets motstand mot henholdsvis nedknusing og abrasiv slitasje. Undersøkelsene som er utført viser at alle prøvene som er undersøkt oppfyller kravene til Los Angeles-verdi som stilles til steinmaterialer for bruk i vegkroppens forsterkningslag, mens kun deler av prøvene oppfyller kravet som stilles til Micro-Deval verdi. Resultatene er rapportert i *NOTA-geo-005 Prøving av steinmaterialer for bruk i vegbygging* [14].

Resultater fra hammerborehull og kjerneborehull er rapportert i datarapporter RAPP-geo-009 *Datarapport hammerhullsboring og borehullslogging* [15] og RAPP-geo-010 *Datarapport kjernelogging* [16]. Se kapittel 3.2 for resultater fra XRF-undersøkelsene.



Figur 5: Plassering av hammerhull (Hx punkter) og kjernehull (Kx punkter) langs traseen til Vingnestunnelen. Resultater fra K1 er tidligere beskrevet i Fagrapport geokjemisk vurdering av Brøttumformasjonen (RAPP-geo-005) [17].

2.3 Bergartsfordeling

Forenklet kan Brøttumformasjonen deles inn i tre ulike bergarter: Sandstein, grå leirskifer/siltstein og svart leirskifer (Figur 6).

Grunnet avsetningsforholdene som bergartene er dannet under, er det stor variasjon i hvordan de forekommer. Basert på vurderinger gjort ved loggingen av hammer- og kjerneborhullene kan sandsteinen og skiferen forekomme som rene, tydelig avgrensede bergartslag, der bergartstypene forekommer uten synlig innslag av andre fraksjoner. Bergartslag kan opptre i tykkere benker på inntil 5–10 meter på enkelte lag. I borehull er det også registrert et par enkelttilfeller med massive sandsteinsbenker med tykkelse over 15 m.

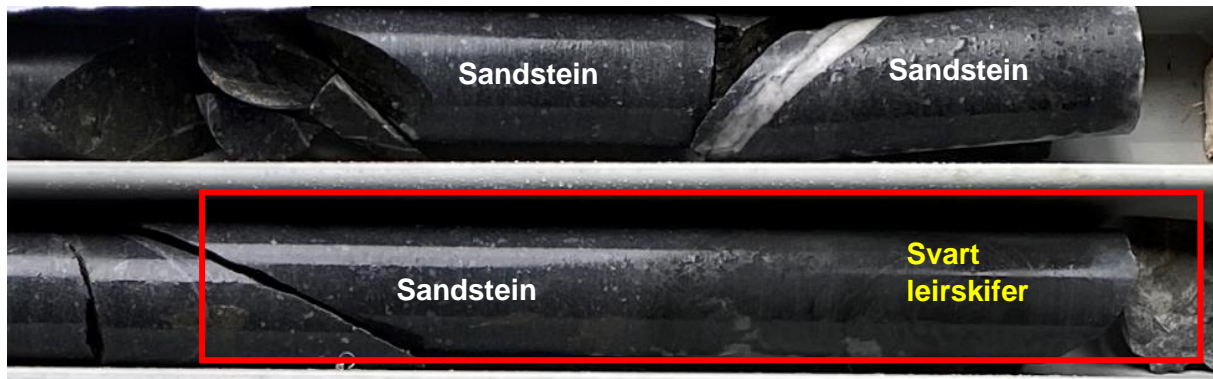
Oftere er det imidlertid registrert blandingsberg der skifer og sandstein forekommer sammen i et eller annet blandingsforhold f.eks. uren sandstein med synlige innslag av leir/siltfraksjon, eller der lagene forekommer som tynnere lag eller som sekvenser som omfatter både leirskifer og sandstein. Dette utydelige skillet mellom de ulike bergartstypene er også observert i forbindelse med kjernelogging.



Figur 6: Lagdelt bergmasse med sandstein og skifer i veksling

Sandstein observert i bergkjerner er mørk grå og middelskornet. Ved borehullslogging og ved kartlegging av berg i dagen er det også observert gule og rødlige til rødbrune varianter av sandstein. Sandsteinen er ofte gjennomvatt av kvartsårer med tykkelser på opptil flere centimeter.

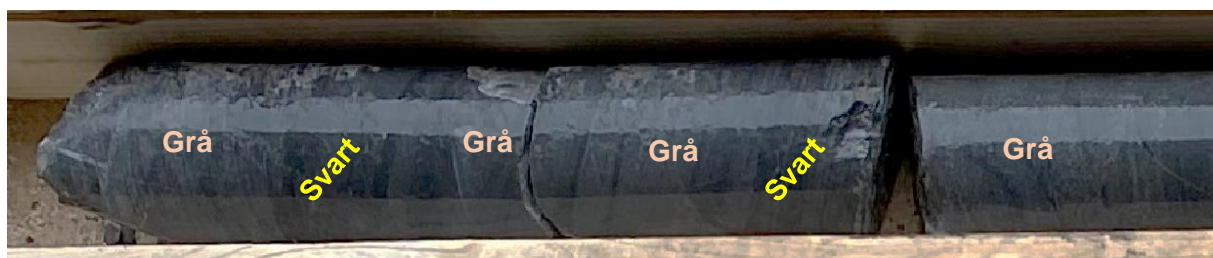
Ved kjerneloggingen er det også registrert hyppige overganger/vekslinger mellom sandstein og skifer. Det vil si strekningen i kjernematerialet der hvor veksling fra en bergart til en annen skjer. Her kan grovere sandstein fremstå å være blandet med finkornet skifer, se Figur 7.



Figur 7: Overgang/veksling mellom grovkornet sandstein og finkornet skifer er ofte registrert i borkjerner. Bildet tatt fra kjerne hull K5 ved ca. 27 m.

Overganger/vekslinger mellom ulike leirskifere forekommer også, og gjerne hyppigere enn det gjør mellom leirskifer og sandstein. Det er ofte vanskelig å skille grå leirskifer fra de svarte. Som det vises i Figur 8, fremstår leirskifer ofte som en blanding av mørkt og lyst bergartsmateriale med hyppig lagdeling eller veksling ned mot dm til cm-nivå.

Ved kjerne loggingen av borehull K2–K5 er det påvist at de fleste kjerne hullene består av en mørkere variant av leirskifer, utenom K6 hvor leirskiferen fremstår som noe lysere i farge (se også Figur 8).



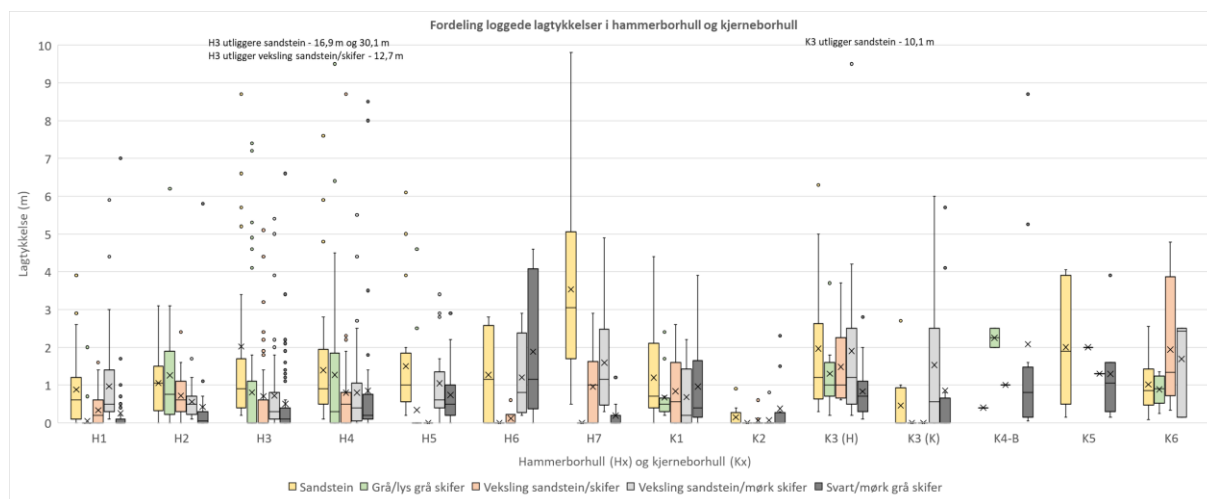
Figur 8 Hyppige vekslinger mellom mørk grå/svart og grå leirskifer er ofte registrert i borkjerner. Bildet tatt fra kjerne hull K6 ved ca. 22 m. Skiferbergarten her er kartlagt som «grå leirskifer» grunnet liten andel med innslag av mørk skifer i blandingen.

Sprekker langs lagdelingen eller i vekslings-/overgangssoner mellom bergarter forekommer ofte. Disse sprekkeflatene er ofte glatte med siltig/leirig belegg. På noen sprekkeflater i de mørkere båndene av skifer kan sprekkematerialet kjennes som grafitt.. Det er registrert pyritt som sprekketrylling i leirskifer, der pyritt ofte er sammenvokst med kalkspat som sekundær sprekketrylling, se Figur 9.

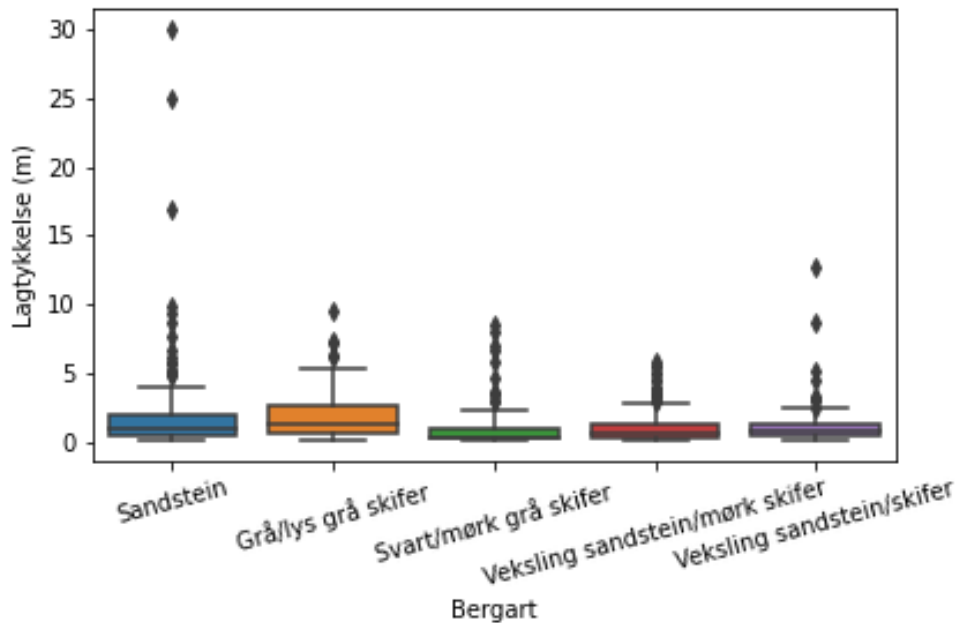


Figur 9: Synlig pyritt (merket med rødt) er ofte registrert som sprekkefylling, der kism mineralene ofte er sammenvokst med kalkspat.

Basert på utførte undersøkelser er det gjort en klassifisering av bergartstyper i alle borehullene langs tunneltraseen. Statistikk over bergartsfordelingen og variasjon på lagtykkelser fremgår av Figur 10 og Figur 11. Da fall på hvert enkelt bergartslag ikke er kjent, og det heller ikke er gjort strukturmåling i kjerneborhullene, er ikke lagtykkelser korrigert for fallhelning i forhold til retning på borehull. Lagtykkelser vil derfor, om det er boret med spiss vinkel i forhold til lagretningen, fremstå som større enn hva som faktisk er tilfelle. Figuren gir imidlertid en god indikasjon på spredningen i lagtykkelser for de ulike bergartstypene, samt at hovedandelen av bergartslag har en begrenset tykkelse.



Figur 10: Boksdiagram med oversikt over fordeling av lagtykkelser kartlagt i de 7 hammerborhullene og 6 kjerneborhullene. Grunnet flytende overganger mellom bergartstypene antas grå/lys grå skifer å være noe underrepresentert til fordel for kategoriene «veksling sandstein/skifer» og «sandstein/mørk skifer». Detaljeringsgrad mellom de ulike borehullene kan også være noe forskjellig.



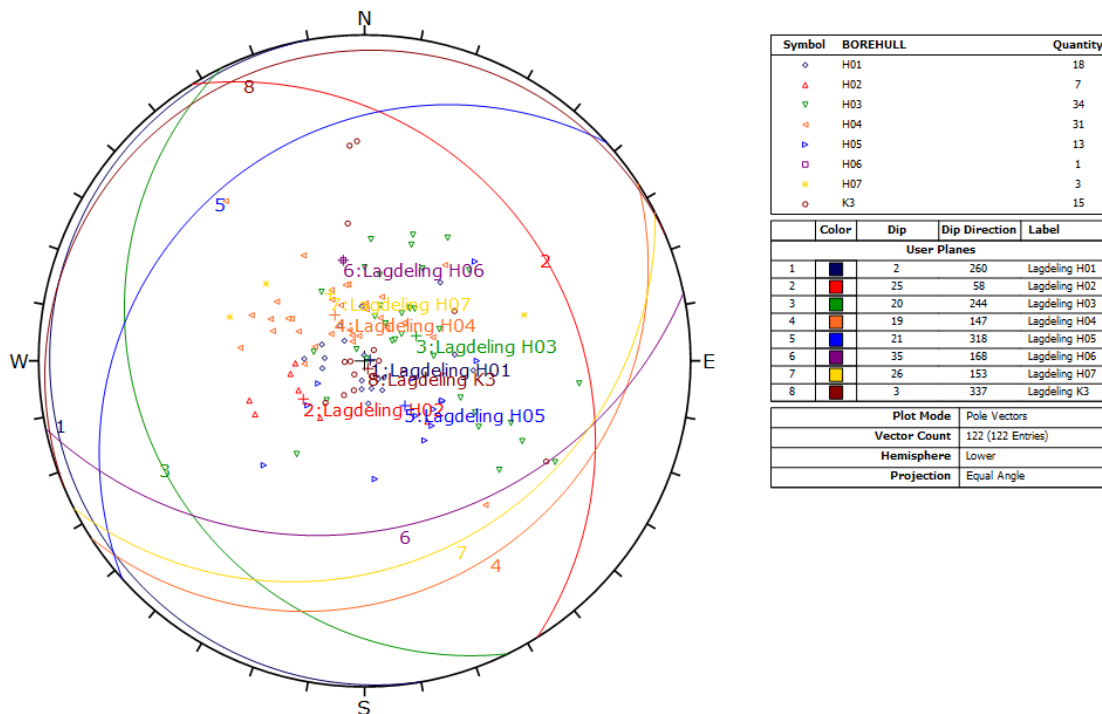
Figur 11: Boksdigram over lagtykkelse samlet over alle hammerhullene.

I forbindelse med innskyvingen av Hedmarksgruppens bergarter fra nordvest under den Kaledonske fjellkjededannelsen gjennomgikk bergartsformasjonen tektonisk aktivitet og folding. Bergartslagene ligger i hovedsak subhorisontalt lagret, men de har grunnet den tektoniske forhistorien noe varierende fall og fallretning både langs tunneltraseen og videre sørover forbi Vingrom og mot Roterud.

Strukturmålinger gjort i borehull H1–H7 og K3 viser en variasjon i fall på bergartslagene langs tunneltraseen som spenner fra tilnærmet horisontalt ($1\text{--}10^\circ$) til forholdsvis steilt ($65\text{--}70^\circ$). Hovedandelen av målinger viser imidlertid et fall som ligger mellom 10 og 40° , med et gjennomsnitt på 28° . Fallretning på lagene varierer både fra et borehull og til det neste, og også til en viss grad langs de enkelte borehullene. Et polplott med alle målinger og gjennomsnittlig fall og fallretning for hvert borehull fremgår av Figur 12.

Tilsvarende observasjoner av variasjon på fall og fallretning til bergartslagene er gjort i de få bergskjæringene som finnes på strekningen mellom Øyresvika og Roterud. Det er foldede bergartslag i flere av skjæringene med varierende fallvinkel og fallretning på bergartslagene. Hovedsakelig faller bergartslagene mot nord eller sør.

Basert på strukturmålingene utført av Norconsult, samt strukturmålinger vist på NGU sitt Berggrunnsgeologiske kart 1817 II M 1:50.000 er det vurdert at bergmassen er foldet i flere anti- og synklinaler langs traseen. Tolkning av lagretninger antyder at foldene i området er forholdsvis slake og langstrakte. Foldeakslene er orientert i Ø-V retning, men med variasjoner. Det er antatt at variasjonen i fall og fallretning også skyldes at overskyvninger mellom bergartslag (inverterte folder med eller uten underliggende horisontalforkastninger).



Figur 12: Polplott med strukturmålinger på lagdeling i borehull H01–H07 og K3. Nummererte linjer er tolkede gjennomsnittlige fallvinkler på lagdeling pr. borehull. Figuren illustrerer at det er stor variasjon i både fall (helning fra horisontalt) og fallretning på bergartslagene.

Det er ikke ut fra kartleggingen og borehullsloggingen funnet noen klar trend som gir en sikker stedfesting av retning og plassering av de enkelte bergartslagene langs tunneltraseen. Sammenstillingen av strukturmålingene bekrefter at hovedtrenden er at bergartslagene langs traseen har en fallretning som veksler mellom nord eller sør, men det er også registrert fall mot øst og vest i enkelte borehull som indikerer et noe mer komplisert tektonisk bilde.

Skiferen har i begrenset grad godt utviklet skifrihet. Flakdannelser («flattbrødstruktur») i skiferen er i svært liten grad registrert, begrenset til enkelte tynne lag/slepper. Skiferen som helhet fremstår mer som en tett og kompakt siltstein med noe avstand mellom lagdelingssprekker.

Skiferen har generelt noe dårligere materialtekniske egenskaper enn sandsteinen. De testene som er utført på antatt representative bergartsprøver av sandstein og skifer indikerer imidlertid at motstand mot nedknusning av bergartsmaterialet ligger innenfor håndbøkenes krav til forsterkningslag for alle prøver.

2.4 Mineralogi

Mineralogien i Brøttumformasjonen er avhengig av bergartstypen (Tabell 4). Sandstein består hovedsakelig (> 90 %) av kvarts, plagioklas og K-feltspat. Karbonatmineraler (ankeritt / jernholdig dolomitt) utgjør 2–4 % og noen prøver har mindre mengder pyritt (ca. 1%). Sammenlignet med sandstein har svart leirskifer mer sjiktsilikatmineraler (muskovitt, kloritt og biotitt – ca. 40%) og leirmineraler (illitt, kaolonitt). Andel pyritt i de analyserte prøvene var

mellom 6 og 15%. Prøve #17 er forvitret som forklarer forhøyet andel illitt (forvittringsprodukt). Prøven av leirskifer har en sammensetning mellom sandstein og svart leirskifer.

Tabell 4: XRD (mineralogi) analyse av prøver fra K1.

Prøve	Mineral											
	Kvarts	Muskovitt	Plagioklas	Pyritt	Kloritt	K-Feltspat*	Biotitt	Ankeritt / jernholdig dolomitt	Illitt	Sideritt	Kaolonitt	Andre leirmineraler
Svart leirskifer												
K1-SA	22	24	17	6	14	4	7		1		3	2
K1-SB	24	23	14	15	4	5	10		2	1	1	1
K1-SC	19	30	13	13	7	3	10		2	1	2	1
#8	46	14	13	14	12	2						
#17	28	8	21	7	4				33			
Leirskifer												
K1-GS1	37	5	27	3	7	16	2		<1		2	1
Sandstein												
K1-SS	53	1	29	1	1	10	1	4	<1			<1
#9	81		11		5			3				
#13	48		30	1		11	9	2				
#16	81		9			7		3				
Sandstein/skifer												
#2	33	27	27	3	10							

*kan også være rutil i svart leirskifer prøvene.

3 FORURENSNINGSNIVÅET OG SYREPOTENSIALET

3.1 Innledning

For å danne et godt grunnlag for vurdering av bergartens egenskaper, ble det igangsatt et omfattende program av grunnundersøkelser og laboratorieundersøkelser som bygger på tidligere undersøkelser utført i Brøttumformasjon (Tabell 5).

Fagrapport geokjemisk vurdering av Brøttumformasjon (RAPP-geo-005) oppsummerer tidligere undersøkelser og undersøkelser utført i 2020 [17]. RAPP-geo-005 inngikk som en del av reguleringsplanen for E6 Roterud–Storhove. Grunnundersøkelser utført i 2021 langs tunneltraseen omfatter 5 kjerne hull (K2-K6) og 7 hammerhull (H1-H7). Data fra borehullslogging og kjernelogging er oppsummert i egne rapporter (se kapittel 2.2) og de geokjemiske dataene er oppsummert i dette kapittelet.

Resultater fra forskningsprosjekt «Syredanningspotensiale i svartskifer og sandstein fra Brøttumformasjon» utført av Universitetet i Oslo (UiO) er vedlagt denne søknaden i sin helhet i vedlegg 1.

Dette kapittelet sammenstiller kunnskap om det syredannende potensialet til Brøttumformasjonen. **For detaljer se de underliggende rapportene (vedlegg 1 og 2).**

Tabell 5: Oversikt over prøver som danner grunnlag til vurdering av forurensningsnivået av stein fra Brøttumformasjonen.

Prøveserie	Antall prøver	Analyse	Type	Analyseår	Rapport og analyse
Nx	9	Alunskiferpakke*	Berg i dagen	2014	Nye Veier / ALS
LH-x	9	Alunskiferpakke*	Berg i dagen	2017	NGU
Fåberg	13	Alunskiferpakke*	Kjerne	2017	NGU
K1	7	Alunskiferpakke*	Kjerne	2019	Asplan Viak / ALS
K7, K4, K1 (Fåberg)	8	Alunskiferpakke*	Kjerne	2019	COWI / ALS
K1	6	ABA/NAG	Kjerne	2020	Norconsult / ALS
Befaring	37	XRF	Berg i dagen	2020	Norconsult
K1-K6	102	XRF	Kjerne	2020-2021	Norconsult
K2 og K4	2	Alunskiferpakke*	Kjerne	2021	Norconsult / ALS
H1-H7	154	XRF	Borekaks	2021	Norconsult
K3 og K4B	2	Utlekkingstester iht. avfallsforskriften	Kjerne	2021	Norconsult/Eurofins
#1-#17	17	Statiske og kinetiske forsøk	Kjerne	2020-2021	UiO

* «Alunskiferpakke» er navnet på en analysepakke og betyr ikke at prøven er alunskifer. Analyser inkluderer konsentrasjoner av hovedoksider, sporelementer, total uorganisk karbon og total svovel.

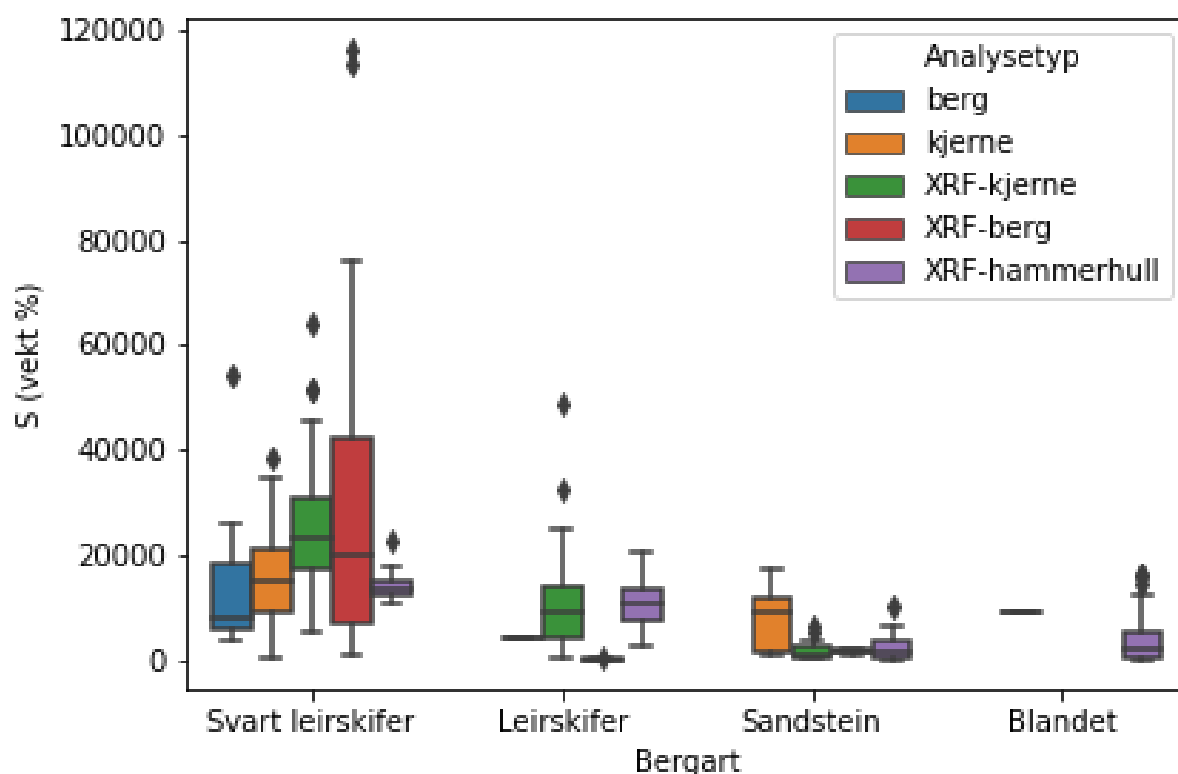
3.2 Generelle observasjoner

3.2.1 Syredannende potensiale

Analyse av sulfat- og sulfidinnhold viser at mer enn 97% av svovel forekommer i sulfidmineraler. XRD analyse bekrefter at sulfid i Brøttumsformasjon er pyritt. Det høyeste pyrittinnholdet er i svart leirskifer (opptil 15%), men pyritt forekommer også i sandstein, spesielt i kontaktområder med leirskifer. I svart leirskifer forekommer pyritt både som enkeltkrystaller og som større aggregater. For en gitt mengde pyritt har større aggregater mindre overflateareal sammenlignet med finfordelt pyritt og er dermed mindre reaktiv.

3.2.2 Svovelinnhold

Data fra dette prosjektet viser at svovelkonsentrasjon målt med XRF på kjerneoverflaten har stor spredning i forhold til laboratorieresultater og prøver av borkaks (pulverisert materiale) (Figur 13). Dette er fordi overflateprøver ikke er homogenisert og resultat er avhengig av om man tilfeldigvis treffer en pyrittkrystall eller ikke.



Figur 13: Boksplot av svovelkonsentrasjoner analysert i et laboratorium (blå og oransje) og med XRF (grønn, rød og lilla). «Berg» er prøver fra berg i dagen, «Kjerne» er kjerneprøver og «Hammerhull» er borkaks fra hammerhull.

Tabell 6 oppsummerer statistiske data om svovelkonsentrasjon i borkaks og i kjerneprøvene analysert i laboratorium. Erfaring fra anleggsarbeid i Osloområdet er at en svovelkonsentrasjon mindre enn 10 000 mg/kg (i alunskifer) er lav nok til at de syredannende reaksjonene ikke vil igangsettes [5].

Tabell 6: Statistiske data for svovelinhold av hver bergartstype (borkaksprøver og prøver analysert i laboratorium).

Bergart	Svart leirskifer	Leirskifer	Sandstein
Antall prøver	60	35	38
Gjennomsnitt (mg/kg)	15100	10400	3290
Median (mg/kg)*	13600	10600	1420
Standardavvik (mg/kg)	9830	4300	3980
90. prosentil (mg/kg)**	27600	15300	9320

*50% av data er under denne verdien.

**90% av data er under denne verdien.

3.2.3 Nøytraliserende potensiale

Karbonatmineraler finnes nesten utelukkende i sandstein og er finfordelt (små krystaller spredt gjennom hele steinen). Karbonat er rik på jern (enten ankeritt $\text{Ca}(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Mn})(\text{CO}_3)_2$ eller jernholdig dolomitt $\text{Ca}(\text{Fe}, \text{Mg})(\text{CO}_3)_2$). Det er også noe kalsitt, men i mindre mengder. Jernrike karbonater reagerer noe saktere enn kalsitt. Silikatmineraler vil også kunne bidra til det nøytraliserende potensialet.

3.2.4 Tungmetaller

Totalt innhold av tungmetaller tilsvarende tilstandsklasse 1 og 2 iht. veileder TA 2553 [3], [17]. Konsentrasjoner er lave sammenlignet med andre svarte leirskifer fra Norge.

3.2.5 Uran

Masser med en total aktivitet på ≥ 1000 Bq/kg (~80 mg/kg uran) defineres som radioaktivt avfall og skal håndteres i henhold til avfallsforskriftens regelverk for radioaktivt avfall. Urankonsentrasjon i svartskifer fra Brøttumsformasjonen er $5,8 \pm 1,8$ mg/kg (n=39). Dette tilsvarende en spesifikk aktivitet på 72 Bq/kg som er langt under grenseverdi for radioaktivt avfall (1000 Bq/kg).

3.3 Analyser og klassifisering i henhold til M-310

Klassifisering av sedimentære bergarter i henhold til norske veiledere er vist i Tabell 7. Metoden er basert på totalmengden svovel (syredannende potensiale, AP) og totalmengden uorganisk karbon (nøytraliserende potensiale, NP) i prøven.

Tabell 7: Klassifisering av NP:AP [1].

NP:AP	Beskrivelse
<1	Potensielt syredannende
1-3	Usikker
>3	Ikke syredannende

Basert på en NP:AP klassifisering (M-310) er 27 av 30 av de prøvetatte svarte leirskiferprøvene i Brøttumformasjonen klassifisert som potensielt syredannende¹.

Det er kun prøver av svart leirskifer som har blitt klassifisert etter M-310 metodikken. Da nøytraliseringspotensialet ligger i sandsteinen kan dette forklare hvorfor hovedandelen av prøvene er klassifisert som syredannende.

3.4 Analyser og klassifisering i henhold til ABA og NAG

ABA og NAG tester er statiske tester. ABA ligner på NP:AP metoden beskrevet i M-310. Forskjell er at NP er beregnet ut fra en titrasjon med tilsatt syre istedenfor å bruke totalt innhold av uorganisk karbon.

NAG-tester (Net acid generation) er også basert på titrasjon og måler syredannelse og nøytralisering samtidig.

Paste pH gir en indikasjon på hvor lett tilgjengelig syrepotensialet er.

Prøvene klassifiseres ved å sammenligne NAPP (AP-NP) og NAG pH etter Tabell 8. Paste pH kan brukes sammen med NAG pH til å finfordele PAF kategorien inn til 3 risikokategorier. Lav risiko i denne konteksten betyr at den syredannende potensiale ikke utløses umiddelbart på grunn av en saktere kjemiske reaksjon.

Tabell 8: Klassifisering basert på NAPP, NAG pH og paste pH.

Beskrivelse	NAPP	NAG pH	Paste pH
Potensielt syredannende (PAF)	>0	<4,5	>6 lav risiko
			>4 middels risiko
			<4 høy risiko
Usikker	Hverken PAF eller NAF		
Ikke syredannende (NAF)	<0	>4,5	

Resultater er vist i Figur 13 og Tabell 8 i UiO rapport (vedlegg 1) og er oppsummert under:

- 3 av 3 svarte leirskiferprøver og 1 skifer/sandsteinprøve er klassifisert som potensielt syredannende med lav risiko.
- 3 av 3 sandsteinprøver er klassifisert som ikke syredannende.
- 3 blandprøver er klassifisert som «usikker» (NAPP>0, NAG pH>4,5)

3.5 Utlekkingstester etter avfallsforskriften

Det ble utført utlekkingsstester etter avfallsforskriften på to svarte leirskiferprøver fra kjerner. Resultater er vist i vedlegg 3 og oppsummert i Tabell 9.

¹ Flere prøver har vært prøvetatt, men ikke alle hadde riktig kjemisk analyse for å kunne beregne AP og NP.

Ristetest – indikasjon på korttidsutlekkingspotensiale.

- Ingen parameter overskred grenseverdier for deponering av lett forurensede masser i et inert avfallsdeponi.

Kolonnetest – indikasjon på langtidsutlekkingspotensiale

- Molybden, selen og sulfat overskred grenseverdier for deponering av lett forurensede masser i et inert avfallsdeponi.
- Nikkel overskred grenseverdi for ordinært avfall og farlig avfall som deponeres sammen på et deponi for ordinært avfall.

Tabell 9: Parameter fra kolonnetest som hadde overskridelse av grenseverdier for deponering av lett forurensede masser i et inert avfallsdeponi. «A» er analyseresultatet. «1» er grenseverdier for deponering av lett forurensede masser i et inert avfallsdeponi. «2» er grenseverdi for ordinært avfall og farlig avfall som deponeres sammen på et deponi for ordinært avfall. Overskridelse av «1» er fremhevet med oransje og overskridelse av «2» er fremhevet med rødt.

Stoff	Mo (mg/l)			Ni (mg/l)			Se (mg/l)			SO ₄ (mg/l)		
	A	1	2	A	1	2	A	1	2	A	1	2
K3-2	0,25 ±0,1	0,2	3,5									
K4B-2				3,1 ±1,2	0,12	3	0,17 ±0,07	0,04	0,2	2200 ±880	1500	7000

Samlet viser resultatene generelt lav utlekking av tungmetaller med unntak av nikkel fra én prøve.

3.6 Stedsspesifikke utlekkingstester

UiO gjorde utlekkingstester med både gjennomstrømmingskolonner og batchkolonner. Resultater er beskrevet i vedlegg 1 og oppsummert under.

Gjennomstrømmingskolonner

I gjennomstrømmingskolonneforsøket strømmes det vann over en knust prøve med en hastighet på ca. 260 ml per døgn. pH på vannet var ca. 4,8. Forsøket gir en indikasjon på forventet utlekking og pH utvikling over tid. Vann med lav pH er brukt for å akselerere forvitningsprosessen.

Det var 4 kolonner og oppsett er beskrevet i Tabell 10.

Tabell 10: Oppsett av gjennomstrømningskolonneforsøkene og pH etter endt forsøk.

	Kolonne 1	Kolonne 2	Kolonne 4	Kolonne 5
Bergart	Sandstein	Forvitret svart leirskifer	50% svart leirskifer 50% sandstein	Svart leirskifer
Prøve	#13	#17	#8 og #9	#8
Svovel (%)	0,14	3,3	2,2*	3,4
pH etter endt forsøk	7,2	3,7	7,2	4,5

*Gjennomsnitt av svovel i prøver #8 og #9.

Etter 39 dager med gjennomstrømming av pH 4,8 vann, var det ingen forskjell i pH mellom sandstein (kolonne 1) og en 50:50 blanding av sandstein og svart leirskifer (kolonne 4). Begge to hadde pH 7,2. Utlekking av tungmetaller var også veldig lik mellom de to kolonnene.

Uforvitret og forvitret svarte leirskiferprøver hadde lik svovelkonsentrasjon. pH i begge kolonner var nedadgående og slutt pH var under 5 på begge, men lavest for den forvitrede svarte leirskiferen. Utlekking av tungmetall var også høyere for den forvitrede svarte leirskiferen.

Batchkolonner

Forskjell mellom gjennomstrømningskolonner og batchkolonner er at vannet (pH 4) i batchkolonner er stillestående med et forhold mellom stein og væske på 1:1. Kontaktid var 2 timer og nytt vann ble tilsatt hver uke i 3 uker.

Tabell 11: Oppsett av batch kolonner og pH målinger gjennom forsøket.

Parameter	Kolonne 6	Kolonne 7	Kolonne 8	Kolonne 9
Bergart	30% forvitret svart leirskifer 70% grå leirskifer	Svart leirskifer	Svart leirskifer	Sandstein
Prøve	#17 og #10	#1	#6	#15
Svovel (%)	1,2	0,9	2,7	1,7
pH (n=3)	5,22 – 6,54	7,58 – 9,70	6,86 – 8,31	7,81 – 8,96

Sandstein og en svart leirskifer med lavt svovel innhold (0,9%) opprettholdt pH over 7, mens en svart leirskiferprøve med høyere svovelinnhold (2,7%) hadde en lavere pH. Kolonnen med forvitret svart leirskifer hadde lavest pH. Denne kolonnen også hadde høyest utlekkning av tungmetaller. I de andre tre kolonnene var det ikke noen tydelig trender mellom pH og utlekkning av tungmetaller.

3.7 Geokjemisk modell

For å undersøke syredannende reaksjoner nærmere ble det utviklet to forskjellige modeller med geokjemi-programmet Phreeqc. Begge to modeller tar utgangspunkt i ren svart leirskifer. Det understrekes at modellene representerer en ekstrem case da vi har kun få

prøver med så høyt svovelinnhold og antar det er lite sannsynlig at en hel salve vil bestå av kun svart leirskifer.

Simulering regnvann reaksjon med svartskifer i sprengmasser

Målet med modellen var å undersøke forvitring av stein lagret i et 1m tykt lag i f.eks. en veifylling. Simuleringen viser at den begrensede mengden pyritt som sitter på overflaten løses ganske raskt opp, og at resterende overflater som anses som ikke-reaktive vil stå igjen. pH synker, men det er en kortvarig hendelse (100 dager i modellen). Varighet vil være avhengig av mengde regnvann som infiltrerer, mengde reaktiv pyritt og tykkelsen på skiferpakken.

1D diffusjon av oksygen ned i sublakustrine svartskiferavsetninger

Målet med modellen var å undersøke endring i pH i Mjøsa som følge av bruk av stein til turveien. Konklusjon er at hvis vannet skiftes ut hver dag vil pH endring være minimalt, med kun en pH nedgang på 0,01.

3.8 Oppsummerende vurdering av geokjemien

De samlede resultatene fra undersøkelsene viser at svart leirskifer fra Brøttumformasjonen har et syredannende potensiale og at utlekkingen er størst fra forvitret svart leirskifer. Norconsult mener likevel at det er misvisende å kun se på svart leirskifer isolert sett, da den kun utgjør en begrenset del av bergmassen som skal tas ut. Hele Brøttumformasjonen bør vurderes som en helhet. Det er en rekke faktor som tilsier at det forventede syredannende potensialet er lavt og kun av midlertidig karakter.

- Stein i Brøttumformasjonen er tett, så å si uten porøsitet. Dette betyr at vann ikke kan trenge inn i bergarten og forvittringsreaksjoner vil være begrenset til overflaten. Det er mulig at det kan oppstå noen synlige rustfargete utfellinger, men reaksjonen vil ikke fortsette innover i steinen og vil være selv-begrensende. Eventuelle syredannende reaksjoner vil være kortvarige.
- Alle forsøk er utført på finknust materiale (< 63 µm). Sprengstein har større partikler og vil dermed reagere saktere fordi overflatearealet er mindre.
- Pyritt forekommer ofte som store aggregater. Disse har mindre overflateareal sammenlignet med finfordelt pyritt (jf. alunskifer) og er dermed mindre reaktive.
- Laboratorieundersøkelser og modellering har tatt utgangspunktet i svart leirskifer med en svovelkonsentrasjon som ligger innenfor de øverste 10 % av alle svarte leirskifer prøver som er analysert. Det vil si at mesteparten av prøvene har mindre svovel og dermed mindre syredannende potensiale enn det som er forutsatt ved undersøkelsene.
- Median svovelkonsentrasjon i svart leirskifer er lav (1,36%) sammenlignet med alunskifer i Oslo-området (>2,5%). Fordi steinen er tett, pyrittkrystallene store, forekommer i begrenset antall og heller ikke like fordelt i skiferen som er tilfelle i alunskifer, anses steinen å ha lavt potensiale for syredannelse.
- Geokjemiske forsøk har vist at sandsteinen har nok bufferkapasitet til å nøytralisere syredannelse fra svart leirskifer.

- Modellering tyder på at selv med ren svart leirskifer, vil eventuell syredannelse være av midlertidig karakter, og i stor grad styrt av hvor mye vann som strømmer gjennom den knuste bergarten.
- Brøttumformasjonen har lave tungmetall- og urankonsentrasjoner og utlekking er lav.
- Det er hyppig veksling mellom sandstein og leirskifer (grå og svart) med lag av varierende mektighet (Figur 11). 64% av lag i hammerhullene hadde mektighet 1 m eller mindre, og kun 4% mer enn 5 m.

Norconsult vurderer at stein fra Brøttumformasjonen ikke vil føre til langvarig syredannelse og dermed trygt kan nyttiggjøres i prosjektet.

4 MILJØRISIKOVURDERING

I dette kapitlet drøftes det kjente problemstillinger knyttet til syredannende bergarter og dens påvirkning på ytre miljø både i anleggs- og driftsfasen.

Miljørisikovurderingen oppsummeres i Tabell 17. Identifiserte uønskede hendelser er systematisert med risikovurdering før og etter at tiltak er gjennomført.

4.1 Metoden

4.1.1 Introduksjon

Miljørisikovurderingen er basert på overordnede prinsipper og metode for risiko- og sårbarhetsvurdering beskrevet i veileder: *Samfunnssikkerhet i kommunens arealplanlegging. Metode for risiko- og sårbarhetsanalyse i planleggingen* [18], utarbeidet av Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap. Strukturen og gjennomføringen av analysen er i tillegg basert på Norsk Standard 5814 *Krav til risikovurderinger* [19]. Risiko for en bestemt uønsket hendelse er en funksjon av sannsynligheten for at hendelsen inntreffer og konsekvensen av at hendelsen inntreffer:

Risiko = sannsynlighet x konsekvens

Risikonivået er knyttet til akseptkriteriene (Tabell 12) og er presentert i en risikomatrix for sannsynlighet- og konsekvenskategorier (Tabell 13).

4.2 Akseptkriterier og risikomatrixe

Akseptkriterier gitt i Tabell 12 under er benyttet i analysens risikomatrixe (Tabell 13). Tiltak som reduserer sannsynlighet vurderes først. Om dette ikke gir ønsket effekt, vurderes tiltak som begrenser konsekvens.

Tabell 12. Akseptkriterier for miljørisiko.

Høy risiko	Risiko må reduseres – gjennomføring av forebyggende tiltak eller beredskapstiltak er nødvendig
Middels risiko	Aktiv risikohåndtering – gjennomføring av forebyggende tiltak eller beredskapstiltak skal vurderes. Tiltak vurderes etter kost/nytte.
Lav risiko	Forenklet risikohåndtering – opprettholdelse av forebyggende tiltak, med internkontroll og avviksbehandling

Tabell 13. Risikomatrix for sannsynlighet og konsekvens.

		Konsekvens			
		K1 - Ubetydelig	K2 - Mindre alvorlig	K3 - Alvorlig	K4 - Svært alvorlig
Sannsynlighet	S1 - Lite sannsynlig	1	2	3	4
	S2 - Mindre sannsynlig	2	4	6	8
	S3 - Sannsynlig	3	6	9	12
	S4 - Svært sannsynlig	4	8	12	16

4.3 Sannsynlighet- og konsekvenskategorier

Sannsynlighet- og konsekvenskategorier er vurdert etter kriterier gitt i Tabell 14 og Tabell 15.

Tabell 14. Kategorier for konsekvens benyttet i miljørisikovurderingen.

Kategori	Beskrivelse av konsekvens	Beskrivelse/omdømme
K1	Ubetydelig Liten miljøskade. Tiltak ikke nødvendig. Gjeldende utslippskrav overholdes.	Omfatter som regel ikke brudd på lovkrav, lite oppmerksomhet.
K2	Mindre alvorlig Miljøskade. Tiltak bør vurderes. Restaureringstid < 1 år Brudd på gjeldende utslippskrav. Noe påvirkning på biologisk mangfold. Kortvarig miljøpåvirkning på grunn av f.eks.: <ul style="list-style-type: none"> • Tilførsel av partikler (tilslamming av resipient) • Tilførsel av miljøgifter • Akutt pH-endring (mulig skade på fisk og bunndyr). 	Brudd på lovkrav, kan gi negativ oppmerksomhet.
K3	Alvorlig Betydelig miljøskade. Tiltak skal vurderes. Restaureringstid 1-3 år. Betydelig påvirkning på biologisk mangfold. Alvorlig miljøpåvirkning på grunn av f.eks.: <ul style="list-style-type: none"> • Forurenset grunn som krever oppgraving. • Påvirkning på naturmiljø som beskrevet over for <i>alvorlig konsekvens</i>, men i så stor grad og over så lang tid at tilførselen kan forårsake langvarig endring i vannkvalitet og forhold for organismer i utslippsområdet. 	Brudd på lovkrav, vil gi pålegg/bøter. Negativ oppmerksomhet.
K4	Svært alvorlig Alvorlig og langvarig miljøskade. Tiltak er nødvendig. Lokale og regionale konsekvenser. Restaureringstid 3-10 år. Svært alvorlig miljøpåvirkning på grunn av f.eks.: <ul style="list-style-type: none"> • Langvarig negativ påvirkning på biologisk mangfold. 	Alvorlig brudd på lovkrav, vil gi bøter/påtale. Svært negativ oppmerksomhet.

Tabell 15. Kategorier for sannsynlighet benyttet i miljørisikovurderingen.

Kategori	Sannsynlighet	Beskrivelse
4	Svært sannsynlig	Kan skje regelmessig. Forholdet er kontinuerlig tilstede.
3	Sannsynlig	Kan skje av og til. Periodisk hendelse.
2	Mindre sannsynlig	Kan skje, men lite sannsynlig.
1	Lite sannsynlig	Hendelsen er ikke kjent fra tilsvarende situasjoner/forhold, men det er en teoretisk sjanse.

4.4 Syredannende forhold

Brøttumsformasjonen har stor lateral utbredelse og dekker store deler av Innlandet med en tykkelse på mer enn 3000 m. Brøttumsformasjonen består av turbidittavsatte sedimentærbergarter med tett veksling mellom sandstein, silt- og leirskifer. De tette vekslingene mellom lagene medfører at det vil være praktisk umulig å skille ut og deponere den potensielt syredannende skiferen. Den tektoniske forhistorien til området har også medført at bergartslagene har et fall og en fallretning som ventes å variere langs traseen. Dette vanskeliggjør en sikker prognose for hvor de enkelte bergartslag forekommer på tunnelnivå.

Resultatet fra de geokjemiske testene viser at svartskiferlagene i bergarten inneholder pyritt og iht. veileder M-310 er definert til å være potensielt syredannende. Svartskiferen har lav eller ingen porøsitet, noe som medfører at vann ikke kan trenge inn i skiferen. Mangelen på porøsitet medfører at det kun er pyrittminerale på overflaten av partiklene som har et potensiale for syreproduksjon. Dette reduserer det faktiske syrepotensialet i steinen drastisk ift. det syrepotensialet som beregnes på totalt svovelinnhold slik beregningene i veileder M-310 gjøres. Geokjemisk modellering utført av UiO (se vedlegg 1) viser at syreproduksjonen fra svartskiferen er av midlertidig karakter. Modelleringene er utført på utelukkende svartskifer og inkluderer ikke nøytraliseringspotensialet i sandsteinen.

Sandsteinen i formasjonen har vist seg å ha nøytraliserende mineraler med kapasitet for å nøytralisere syrepotensialet i svartskiferlagene. De geokjemiske testene som er utført viser at sandsteinen har potensiale til å nøytralisere svartskiferen. Sprengstein med tilstrekkelig innhold av sandstein er derfor ikke definert som syredannende iht. M-310. De tette vekslingene mellom skifer og sandstein gjør at det vil være nøytraliserende sandstein tilgjengelig kontinuerlig gjennom hele tunnelen og i den dagsprengte steinen.

Risiko for syredannende reaksjoner øker med tilgang til luft og oksygenrikt vann. Det er planlagt å bruke stein i områder hvor tilgang til vann er betydelig redusert. I veikroppen vil det være tett dekke som reduserer infiltrasjon. Det anbefales at fyllinger er prosjektert med et dreneringslag i bunnen for å unngå at vann trekkes oppover. Sannsynlighet for syredannende reaksjoner kan reduseres ytterligere med å unngå knusing av den svarte leirskiferen.

Det er tidligere drevet en rekke tunneler og utført andre sprengningsarbeider i området uten at dette har medført kjente miljøproblemer. Dette tyder på at Brøttumformasjonen har et lavt syredannende potensiale.

Risiko for syredannende forhold er dermed vurdert lav basert på den lave porøsiteten til skiferen kombinert med sandsteinens nøytraliserende egenskaper.

4.5 Forringelse av vannkvalitet i nedstrøms resipienter

4.5.1 Bakgrunnstilstand

Det er kartlagt 32 vannobjekter i tiltaksområdet i rapport «Forundersøkelser i vannforekomster og Lågendeltaet» [20]. Hvert vannobjekts sårbarhet i henhold til vannforskriften og naturmangfoldloven er vurdert samt behov for undersøkelser før, i og etter anleggsfasen. I tillegg til overvåking av Lågendeltaet, anbefales det overvåking av åtte bekker/elver hvorav seks av disse vil være direkte påvirket av anleggsaktivitet og to vil fungere som referansevannforekomster. Disse vannforekomstene er vurdert som mest sårbare (Tabell 16).

Tabell 16: De 9 vannobjekter som er vurdert relevant for overvåking gjennom tiltaket fordi de er mest sårbare (Norconsult, 2021b).

#	Navn	Vannforekomst ID
6	Finstadbekken	002-367-R
7	Kalverudelva	002-367-R
10	Bjørnstadelva	002-1127-R
11	Rinda	002-1134-R
15	Øyresbekken	002-1128-R
18	Kollefall	002-1128-R
20	Skvalabekken (Referanse)	002-1128-R
25	Bæla (Referanse)	002-4761-R
30	Lågendeltaet	002-118-1-L (Mjøsa)

Mjøsa

Mjøsa (vannforekomst ID: 002-118-1-L) er definert som en svært stor, moderat kalkrik innsjø. pH er 7,3 og samlet klassifisering av forsurningsparametere er «svært god» [21]. Mjøsa var lite påvirket av sur nedbør i 80-tallet og anses å ha god bufringskapasitet basert på pH, kalsiumkonsentrasjon og alkalinitet. Det vurderes dermed at nyttiggjøring av stein fra Brøttumformasjonen ikke vil påvirke forsurningsparametere i klassifiseringsverktøyet. Utlekkingstester tyder på lite utlekking av tungmetaller. På grunn av Mjøsas størrelse, vil et eventuelt bidrag raskt fortynnes.

Bekker og elver

De fleste bekkene har ikke årssikker vannføring, er delvis lagt i rør eller har andre faktorer som gjør at de er ikke egnet for fisk i dag. Det er anbefalt at elvene og bekkene som er vurdert mest sårbare overvåkes (Tabell 16).

Det var ingen pH-data fra de 32 kartlagte vannobjekter og nesten ingen vannkjemiske data registrert i vann-nett før dette oppdraget begynte. For å innhente kunnskap om bakgrunnstilstand foregår det kartlegging av vannobjektene.

Preliminære resultater av bekkene etter en runde med prøvetaking (juli 2021) viser at pH på bekkene varierer fra 7,5 til 7,7 og vannkjemien er dominert av bikarbonat (ca. 75% av anionbudsjett) og kalsium (ca. 70% av kationbudsjett). Andre bekker og elver utenfor tiltaksområdet som drenerer Brøttumformasjonen har også en pH større enn 7. Vannkjemien er primært påvirket av den lokale geologien og en høy pH er forventet på grunn av sandsteinen. Selv om det forekommer forvitring av sulfidmineraler, er forvitring av karbonatmineraler dominerende og bekkene har god bufferkapasitet.

4.5.2 Utlekking av radionuklider og tungmetaller

Andre typer svartskifer, som for eksempel alunskifer, er kjent for å ha forhøyede konsentrasjoner av tungmetaller og uran. Dette er ikke tilfelle for svartskiferlagene i Brøttumformasjonen. Alle kjemiske analyser av tungmetaller og uran viser lave konsentrasjoner. Det var også observert generelt lave tungmetallkonsentrasjoner i utlekkingsforsøk (se vedlegg 1 og 3). I en kolonnetest utført etter avfallsforskriften ble det påvist høy utlekking av nikkel (Tabell 9). UiO konkluderte, basert på sine egne kolonnetester, at utlekking av nikkel vil kun være aktuelt ved $\text{pH} < 4,5$ og vil være lavere enn for f.eks. sink og kobber som ikke var over grenseverdi for deponering av lett forurensede masser i et inert avfallsdeponi.

«Ved pH over 4,5 er det hovedsakelig aluminium, sink og kobber som vil kunne utgjøre et problem... Ved sure forhold ($\text{pH} < 4,5$) så vil også jern, kobolt, nikkel og bly kunne lekke ut av svartskiferen» (side 41)

Basert på alle utførte kolonnetester vurderes det at utlekking av tungmetaller (inkludert nikkel) fra rene svarte leirskifre kan oppstå, men vil være betydelig redusert når sandstein er til stede og partikkelstørrelsen er betydelig større.

Ved $\text{pH} > 6$ vil tungmetallene som regel felle ut og det er dermed ikke forventet høye løste konsentrasjoner. De første resultatene fra bakgrunnskartlegging av bekkene bekrefter denne påstanden. Metallkonsentrasjoner var enten i tilstandsklasse 1 eller 2 iht. M-608/2016 (rev. 2010) [22]. Vannobjektets tilstand basert på vannkjemie vil dermed oppnå miljømål om god økologisk og kjemisk tilstand iht. 02:2018 [23]. Urankonsentrasjon var mellom 0,02 og 0,06 $\mu\text{g/l}$ som er langt under verdens helseorganisasjonens anbefalte grenseverdi for uran i drikkevann som er 30 $\mu\text{g/l}$.

Det vurderes at miljømål (ref. 02:2018) med tanke på tungmetallbelastning vil kunne overholdes både gjennom og etter anleggsperioden. Det er derfor ikke knyttet risiko for tungmetaller eller radioaktivitet i uakseptable mengder i avrenning fra fyllinger.

4.5.3 Vurdering

De nøytraliserende mineralene i sandsteinen medfører at resipienter i området har god bufringskapasitet (pH i bekker er rundt 7,6). Om det skulle forekomme sur avrenning fra fyllinger vil den naturlige bufringskapasiteten i resipienten raskt øke pH-en til naturlige nivåer så fort avrenning treffer en resipient. Dette medfører at bruk av svartkifer i fyllinger vil medføre minimal risiko for en betydelig pH reduksjon i resipient.

4.6 Mellomlagring

For å sikre at det ikke forekommer sur avrenning fra stein i anleggsfasen anbefales det å redusere tiden for mellomlagring av stein. Det anbefales også å begrense andel stein som mellomlagres, dette kan løses ved at sprengstein kjøres direkte fra uttaksstedet til bestemmelsesstedet. Det må opprettes et system for automatiske pH målinger i avrenningsvannet fra mellomlagret stein. Det er uavhengig av syrepotensialet i berget prosjektert rensiltak for tunnelvann. Skulle det forekomme uakseptabel pH reduksjon må situasjonen håndteres med kalking av avrenningsvannet. Det skal etableres en beredskapsplan som beskriver hvordan en slik situasjon håndteres. Det skal oppbevares tilstrekkelige mengder kalk til å raskt kunne håndtere en eventuell situasjon med uakseptabel pH reduksjon.

4.7 Geologiske undersøkelser i anleggsfasen

God ingeniørgeologisk oppfølging med kartlegging av geologien fortløpende underveis i tunneldrivingen og ved uttak av bergskjæringer, er viktig for prosjektet av flere hensyn. Å innhente kunnskap om bergartsfordelingen og hvordan bergartslagene forløper i områder der det skal skje sprengningsarbeider vil være viktig for å kunne planlegge mellomlagring og bruk av kommende steinmasser fra stoff.

Å innhente geologisk kunnskap underveis i tunneldrivingen er vanlig praksis ved moderne tunnelbygging. Det er planlagt følgende tiltak under tunneldrivingen:

- Det skal utføres sonderboring gjennomgående foran stoff for kartlegging av geologi (bergartsfordeling, strukturgeologi) og grunnvannsforhold, og ved behov planlegge for tetting av tunnel ved injeksjon. Sonderhull bores 21-27 m foran stoffen, og vurdering av bergartsfordeling basert på borkaks og farge på borvann vil her inngå som en av flere parametere som registreres underveis. Tidlig identifisering og utsortering av sandsteinsrike lag for bruk i vegbygging som kvalitetsmasser er her viktig.
- Det skal være tett oppfølging av ingeniørgeologer på stoff der geologien ved hver salve kartlegges. Omfang på stabilitetssikringen i tunnelen bestemmes og tilpasses basert på kartlagt geologi (bergartsfordeling, bergmassens oppsprekking m.m.) i tunnelen. Den geologiske kartleggingen vil gi en god dokumentasjon av bergforholdene som er påtruffet langs tunnelen.

4.8 Overvåkning

I tillegg til overvåkning av mellomlagrede masser beskrevet i kapittel 4.6 er det beskrevet omfattende overvåkning inkludert pH og tungmetaller av resipienter i det foreslåtte vannovervåkningsprogrammet i rapporten RAPP-mil-004 [20].

4.9 Beredskapsplan

Det skal utarbeides en beredskapsplan som detaljerer rutiner for håndtering av uønskede hendelser.

4.10 Uønskede hendelser og avbøtende tiltak

Tabell 17: Miljørisikoanalyse - oppsummering av uønskede hendelser i anleggs- og driftsfasen. Kun risiko knyttet til syredannende forhold er tatt med.

Forklaringer til risikomatriksen: S = sannsynlighet; K = konsekvens; R = risiko; RR = restrisiko etter tiltak

Fareidentifikasjon			Før tiltak			Prosjektering av tiltak			Etter tiltak		
ID	Uønsket hendelse	Beskrivelse/årsak	S	K	R	Vurdering / forslag til tiltak	Ansv.	S	K	RR	
ANLEGGSPHASE (midlertidige løsninger)											
R1A	Salve med utelukkende svart leirskifer	Store mengder svart leirskifer som ikke har nøytraliserende kapasitet.	3	2	6	Basert på geologiske undersøkelser er hendelsen vurdert som mindre sannsynlig. <ul style="list-style-type: none"> Begrense mellomlagring - kjøre sprengstein rett fra tunnel og ut til endelig bestemmelsessted. God masseplanlegging 		3	1	3	
R2A	Sur avrenning fra mellomlagrede masser	Stein i et mellomlager kan bli eksponert til luft og oksygenrikt vann. Under disse forhold kan syredannende reaksjoner oppstå. Avrenning kan ha lav pH og forhøyede tungmetallkonsentrasjoner.	4	2	8	<ul style="list-style-type: none"> Holde mellomlagringstid så kort som mulig. Avrenning fra mellomlager skal overvåkes og kalk skal beholdes i beredskap. 		3	2	6	
R3A	For dårlig mellomlagringskapasitet	Ikke nok kapasitet i mellomlager fører til at tunnelstein er lagret på uegnede steder.	3	2	6	<ul style="list-style-type: none"> Sikre at det er alltid overkapasitet. 		1	2	2	
R4A	Spredning av støv anrikt med svart leirskifer	Støv anrikt med svart leirskifer kan reagere raskt på grunn av små partikkelstørrelse og forårsake suravrenning.	3	2	6	<ul style="list-style-type: none"> Unngå knusing av store mengder svart leirskifer. Utarbeide rutiner for feiing av anleggsområde. 		2	2	4	
R5A	Sur avrenning fra tunnel	Syredannende forhold oppstår i tunnelen. Vurdert som lite sannsynlig fordi grunnvannet i dypt fjell vil ha lavt oksygeninnhold og bufrende egenskaper.	1	2	2	<ul style="list-style-type: none"> Rensrutiner for tunnelvann med mulighet for pH-justering. 		1	2	2	

R6A	Sur avrenning langs den nye veien og fra fyllinger	Vann som infiltrerer gjennom massene brukt i veikroppen og i fyllinger får redusert pH og forhøyede tungmetallkonsentrasjoner.	3	2	6	Veifyllingene vil i stor grad ligge tørt under tett asfaltdekke med redusert mulighet for infiltrasjon og vanngjennomstrømning i fyllingene <ul style="list-style-type: none"> Regelmessig overvåkning av bekker i tiltaksområdet. Ha kalk i beredskap. 		2	2	4		
R7A	Foringelse av kjemisk og økologisk tilstand i bekker	Økologisk og kjemisk tilstand i bekker er forringet på grunn av sur avrenning fra anleggsarbeid.	2	3	6	<ul style="list-style-type: none"> Regelmessig overvåkning av bekker i tiltaksområdet. Ha kalk i beredskap. 		2	2	4		
R8A	Foringelse av kjemisk og økologisk tilstand i Mjøsa	Økologisk og kjemisk tilstand i Mjøsa er forringet på grunn av utfylling med syredannende berg.	2	1	2	Tiltak ikke nødvendig.		2	1	2		
R9A	Lokal pH-reduksjon under utfylling i Mjøsa og Lågen som medfører negativ konsekvens for økosystemet	Utfylling i Mjøsa og Lågen kan føre til en lokal pH-reduksjon rundt utfyllingsmassene og kan dermed påvirke økosystemet negativt. En eventuell pH-reduksjon vil være lokal og kortvarig.	3	3	9	Utfyllinger utføres utenom gyteperiodene.		3	2	6		
R10A	Avrenning med radioaktive nuklider	Strålingsskader på organismer	1	2	2	Lite risiko. Veldig lave urankonsentrasjoner.		1	2	2		
DRIFTSFASE (permanente løsninger)												
R1D	Sur avrenning	Vann som infiltrerer gjennom massene brukt i veikroppen og i fyllinger får redusert pH og forhøyede tungmetallkonsentrasjoner som igjen fører til forringet vannkvalitet i nedstrøms resipienter. En eventuell pH reduksjon vil sannsynligvis være over i driftsfasen	2	2	4	Hvis en pH-reduksjon oppstår forventes det å være kortvarig. Dersom det er vedvarende, må kilde undersøkes nærmere og behov for nøytraliserende tiltak vurderes. <ul style="list-style-type: none"> Regelmessig overvåkning av bekker i tiltaksområdet i noen år etter at anleggsarbeid er ferdig. 		2	2	4		

DOKUMENTASJON PÅ SYREPOTENSIALET I BRØTTUMSFORMASJONEN

R2D	Lokal pH-reduksjon som medfører negativ konsekvens for økosystemet Mjøsa	Utfylling i Mjøsa kan føre til en lokal pH-reduksjon rundt utfyllingsmassene og kan dermed påvirke økosystemet negativt. En eventuell pH-reduksjon vil være lokal og kortvarig. En eventuell pH reduksjon vil sannsynligvis være over i driftsfasen.	1	2	2	Tiltak ikke nødvendig.		1	2	2
-----	--	--	---	---	---	------------------------	--	---	---	---

5 KONKLUSJON

Gjennom arbeidet med reguleringsplanen for ny E6 fra Roterud til Storhove er det utført et omfattende geologisk og geokjemisk arbeid for å kartlegge det totale syre- og nøytraliseringspotensialet for Brøttumsformasjonen.

Resultatene fra miljørisikoanalysen viser at det er lav restrisiko etter at prosjektet har gjennomført planlagte avbøtende tiltak med bruk og nyttiggjøring av steinen i prosjektet.

Vurderingen av syrepotensialet til Brøttumsformasjonen viser at det er knyttet akseptabel risiko for ytre miljø ved bruk og nyttiggjøring av stein fra formasjonen til å bygge ny E6.

Den samlede vurderingen basert på miljørisikovurderingen, CO₂ beregninger og kostnytte vurderinger er at prosjektet bør nyttiggjøre seg av sprengstein fra tunnelen og dagsprengninger til bygging av E6.

6 REFERANSER

- [1] Norges Geotekniske Institutt, «Identifisering og karakterisering av syredannende bergarter. Veileder for Miljødirektoratet. M-310/2015». 2015.
- [2] Forurensingsforskriften, «Forskrift om begrensning av forurensning (FOR-2004-06-01-931)», 2004. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931>
- [3] Klima- og miljødepartementet, «Helsebaserte tilstandsklasser for forurenset grunn, TA-2553/2009». 2009.
- [4] Norges Geotekniske Institutt, «Deponering av syredannende bergarter, M-385/2015». Miljødirektoratet, 2015.
- [5] E. Endre, «Bygging på alunskifer og andre svarte og grå leirskifere. RIF Veileder.» Rådgivende Ingeniørers Forening, 2019.
- [6] Prosjektgruppen for kontroll på svovelholdig avrenning i Agder, «Retningslinjer for tiltak i områder med syredannende gneis». 2021.
- [7] The International Network for Acid Prevention (INAP), «Global Acid Rock Drainage Guide (GARD)». 2014.
- [8] Forskrift om radioaktiv forurensning og avfall, «Forskrift om forurensningslovens anvendelse på radioaktiv forurensning og radioaktivt avfall (FOR-2010-11-01-1394)». 2010. [Online]. Tilgjengelig på: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2010-11-01-1394>
- [9] Vannforskriften, «Forskrift om rammer for vannforvaltningen. (FOR-2006-12-15-1446)», 2006. https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2006-12-15-1446/KAPITTEL_9-1#KAPITTEL_9-1
- [10] Naturmangfoldloven, «Lov om forvaltning av naturens mangfold (LOV-2009-06-19-100)». 2009. [Online]. Tilgjengelig på: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2009-06-19-100>
- [11] Miljødirektoratet, «Mellomlagring og sluttdisponering av jord og steinmasser som ikke er forurenset. M-1243/2018». 2018.
- [12] J. P. Nystuen, «Synthesis of the tectonic and sedimentological evolution of the late Proterozoic - early Cambrian Hedmark Basin, the Caledonian Thrust Belt, southern Norway», *Norsk Geologisk Tidsskrift*, bd. 67, s. 395–418, 1987.
- [13] Norconsult, «Prøving av steinmaterialer for bruk i veibygging (NOTA-geo-005)». 2021.
- [14] Norconsult, «Datarapport hammerhullsboring og borehullslogging (RAPP-geo-009)». 2021.
- [15] Norconsult, «Datarapport kjernelogging (RAPP-geo-010)». 2021.
- [16] Norconsult, «Fagrapport geokjemisk vurdering av Brøttumformasjonen (RAPP-geo-005)». 2021.
- [17] Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, «Samfunnssikkerhet i kommunens arealplanlegging. Metode for risiko- og sårbarhetsanalyse i planleggingen». 2017.
- [18] Standard Norge, «Krav til risikovurderinger NS 5814:2021». 2021.
- [19] Norconsult, «Forundersøkelser i vannforekomster og Lågendeltaet». 2021.
- [20] NIVA og NINA, «Økostor 2018. Basisovervåking av store innsjøer. M-1464/2019». 2019.
- [21] Miljødirektoratet, «Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota. M-608/2016». 2016.

[22] Direktoratgruppen vanndirektivet, «Klassifisering av miljøtilstand i vann. Veileder 02:2018». 2018.

7 VEDLEGG

Vedlegg 1

H. Hellevang og L.-A. Erstad, «Syredanningspotensiale i svartskifer og sandstein fra Brøttumformasjonen». Universitetet i Oslo, 2021.

Vedlegg 2

Norconsult, «Fagrapport geokjemisk vurdering av Brøttumformasjonen (RAPP-geo-005)». 2021.

Vedlegg 3

Resultater fra utlekkingstester etter avfallsforskriften

Vedlegg 4

Grunnlagsdata og nøkkeltall for beregning av klimagassutslipp