

E6 Roterud–Storhove

30.11 | 21

Fagrapport geokjemisk vurdering av Brøttumformasjonen

Oppdragsnummer:	5195019
Oppdragsnavn:	E6 Roterud–Storhove
Dokumentnummer:	RAPP-GEO-005
Dokumentnavn:	Fagrapport geokjemisk vurdering av Brøttumformasjonen

Versjonsoversikt

Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet av	Kontrollert av	Godkjent av
C04	26.03.2021	Til behandling hos planmyndighet	RutVin	LeEve, AnOng	RuWes
C05	30.11.2021	Til behandling hos planmyndighet	RutVin	LeEve, AnOng	RuWes

SAMMENDRAG

Nye Veier utarbeider reguleringsplan for bygging 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. Den nye E6 skal bygges som firefelts motorvei med skiltet fartsgrense på 110 km/t.

Berggrunnen langs den planlagte veilinjen består av sedimentære bergarter tilhørende Brøttumformasjonen. Brøttumformasjonen inneholder svart leirskifer som er en bergart som kan være syredannende ved eksponering til vann og luft. Analyseresultater viser at de svarte leirskiferprøvene som er prøvetatt er potensielt syredannende. Det merkes at syrepotensiale er mye lavere enn alunskifer. Tungmetallkonsentrasjoner er lave og urankonsentrasjon er under grenseverdi for radioaktivt avfall.

Norconsult AS, i samarbeid med AF Gruppen, har levert en rapport som dokumenterer det totale syrepotensialet for stein fra Brøttumsformasjonen basert på utdypende undersøkelser til Statsforvalteren. Rapporten er per. 23.11.2021 til behandling hos Statsforvalteren i Innlandet.

Følgende rapport er en oppsummering av innledende geokjemisk kartlegging av de sedimentære bergartene i Brøttumformasjonen. Komplette rapporter med all dokumentasjon behandles av Statsforvalteren.

INNHOOLD

1	INNLEDNING	5
1.1	Tiltaksbeskrivelse	5
1.2	Syredannende bergarter	7
2	GEOLOGI	7
3	VURDERINGSGRUNNLAG	10
3.1	Gjeldende lovverk for syredannende bergarter	10
3.2	Gjeldende veiledere for identifisering av syredannende bergarter	10
3.3	Gjeldende regelverk for radioaktive berg	12
4	RESULTATER	13
4.1	Tidligere undersøkelser av Brøttumformasjon	13
4.2	Nye undersøkelser av Brøttumformasjon	17
5	DISKUSJON	21
5.1	Syredannende forhold	21
5.2	Tungmetaller	22
5.3	Radioaktivitet	23
5.4	Avrenning	23
5.5	Oppsummering	24
6	NYTTEGJØRING AV STEIN	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
7	KONKLUSJON	25
8	REFERANSER	26
9	VEDLEGG	27

1 INNLEDNING

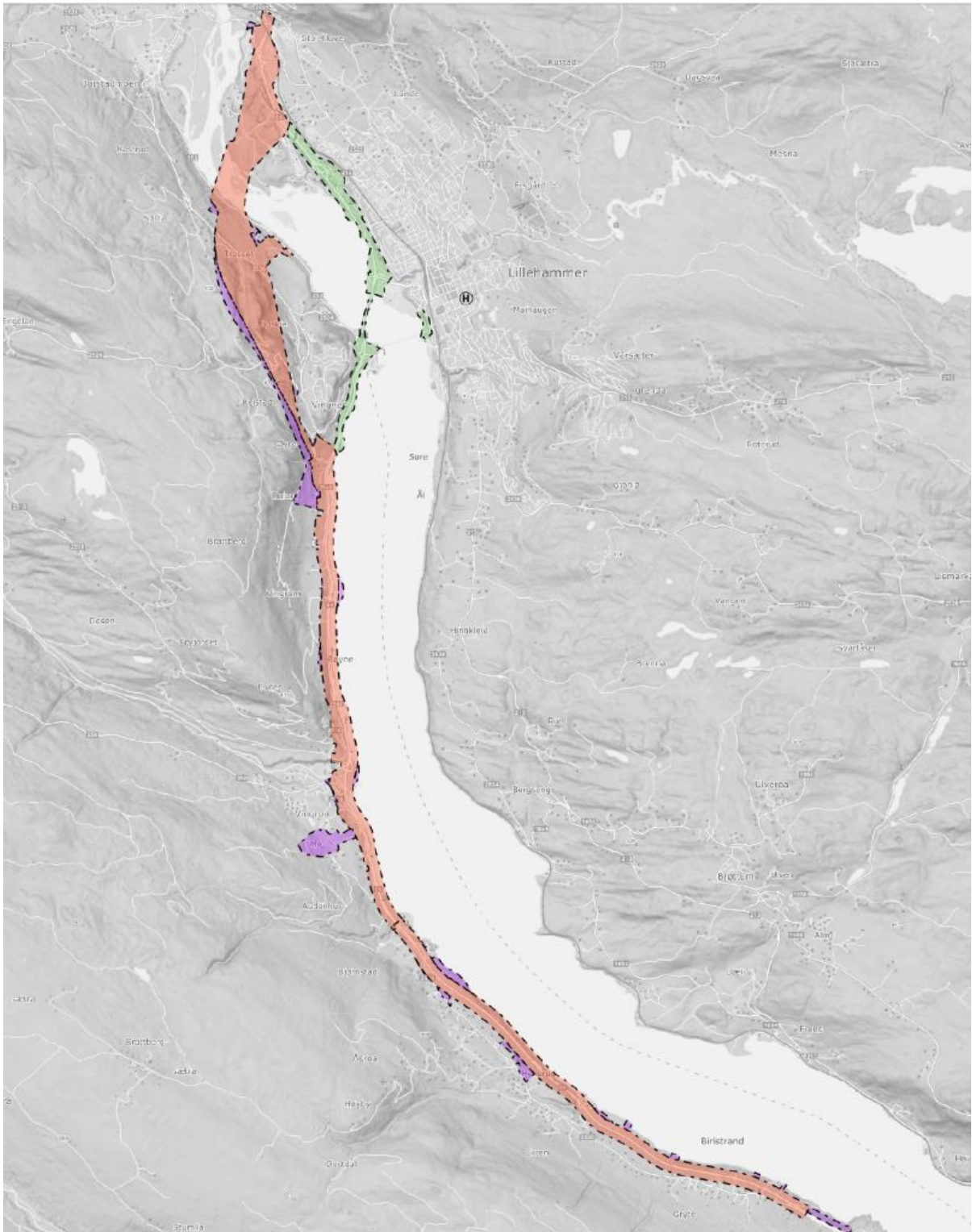
1.1 Tiltaksbeskrivelse

E6 er Norges viktigste riksvei og hovedforbindelse mellom sørlige og nordlige landsdeler. Nye Veier AS har ansvar for planlegging og utbygging av E6 mellom Kolomoen og Otta, og strekningen Roterud–Storhove er en viktig del av porteføljen i Innlandet. Strekningen er tidligere utredet i forbindelse med kommunedelplanprosessen for E6 Biri-Vingrom og E6 Vingrom-Ensby, og kommunedelplanene ble vedtatt i henholdsvis 2013 og 2018.

Nye Veier utarbeider nå reguleringsplan som legger til rette for utbygging av ny E6 mellom Roterud i Gjøvik kommune og Storhove i Lillehammer kommune (Figur 1). Strekningen er ca. 23 km lang, hvorav 8 km i Gjøvik og 15 km i Lillehammer. Den nye E6 skal bygges som firefelts motorvei med skiltet fartsgrense på 110 km/t.

Mellom Roterud og Øyresvika vil den nye veien følge dagens E6. Mellom Øyresvika og Trosset vil veien legges i tunnel, og fra Trosset vil den krysse Lågendeltaet naturreservat på bru nordøstover mot Våløya og Hovemoen. Fra Hovemoen fortsetter veien nordover mot Storhove, der den møter eksisterende E6 og tilgrensende parsell Storhove-Øyer.

Avlastet E6 mellom Øyresvika og Storhove foreslås omklassifisert til fylkesvei. I forbindelse med behandlingen av kommunedelplan E6 Vingrom–Ensby ble det stilt en rekke krav til tiltak på avlastet veinett. Det utarbeides egen reguleringsplan for tiltak på avlastet E6, som behandles samtidig med planforslaget for E6 Roterud–Storhove.



Figur 1: Opprinnelig planområde for E6 Roterud-Storhove er markert med rødt, og utvidelser med lilla. Avlastet E6 er markert med grønt.

1.2 Syredannende bergarter

Tidligere undersøkelser utført av COWI, Nye Veier, Asplan Viak og NGU i tiltaksområdet har konkludert at bergmassene er potensielt syredannende.

Etter forurensningsforskriften kapittel 2 er syredannende berg som kan medføre forurensning i kontakt med vann og/eller luft klassifisert som forurenset grunn med påfølgende krav om massehåndtering.

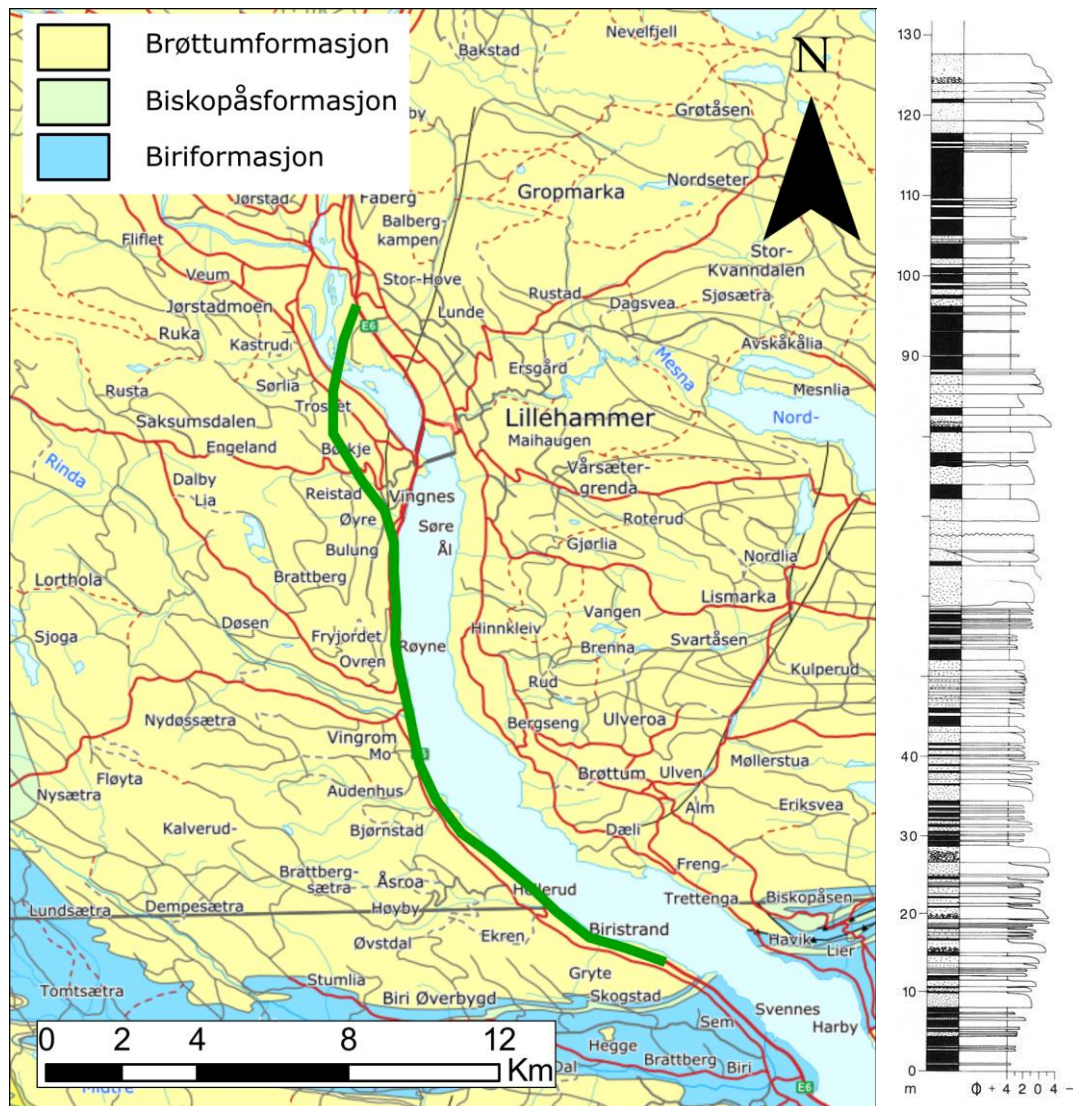
Norconsult AS, i samarbeid med AF Gruppen, har levert en rapport som dokumenterer det totale syrepotensialet for stein fra Brøttumsformasjonen basert på utdypende undersøkelser til Statsforvalteren. Rapporten er per. 23.11.2021 til behandling hos Statsforvalteren i Innlandet.

Følgende rapport er en oppsummering av innledende geokjemisk kartlegging av de sedimentære bergartene i Brøttumformasjonen. Komplette rapport med all dokumentasjon behandles av Statsforvalteren.

2 GEOLOGI

Berggrunnen i tiltaksområdet består av Brøttumformasjonen (Figur 2).

Brøttumformasjonen er minst 3000 meter tykk og dekker et areal på ca. 6000 km² i Mjøsa-området. Den består av vekslende lag med sandstein og svart/grå leirskifer. Den er den eldste formasjonen i Hedmarksgruppen og ble avsatt mellom ca. 740 og 670 millioner år siden. Skiferen utgjør ca. 25 % av det totale volumet og varierer i tykkelse fra noen cm til titalls meter (Nystuen, 1987). Sedimentene er avsatt i en omfattende sekvens av undervannsvifter (og andre systemer som følge av ras osv.) som turbidittavsetninger (Nystuen, 1987). Utbredelsen av Brøttumformasjonen og eksempel på stratigrafisk sekvens er vist i Figur 2.



Figur 2: Venstre: Berggrunnskart over tiltaksområdet. Veglinje er markert med en grønn linje. Høyre: Eksempel av stratigrafisk sekvens fra Brøttumformasjon ved Lillehammer. Leirskifer (svart) varierer i tykkelse og opptrer vekselvis med sandstein (hvit stiplete). Fra Nystuen (1987).

Svarte leirskifre er avsatt under vann under anoksiske (oksygenfattige) forhold. Under anoksiske forhold vil sulfidmineraler dannes, som for eksempel pyritt (Fe_2S). Når svarte leirskifere med høyt innhold av sulfider kommer i kontakt med vann og oksygen, vil sulfidene oksidere og produsere svovelsyre. Syredannelse kan føre til utlekking av tungmetaller, redusert pH i resipienter, og negativ påvirkninger på levende organismer.

Ved mistanke om forekomst av syredannende bergarter er det krav i forurensningsforskriften kapittel 2 om å kartlegge syredannende potensiale av bergartene i tiltaksområdet.

3 VURDERINGSGRUNNLAG

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, 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.

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

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	

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
- M-385/2015 Deponering av syredannende bergarter
- RIF (2019) Bygging på alunskifer og andre svarte og grå leirskifere
- Prosjektgruppen for kontroll på svovelholdig avrenning i Agder (2021) Retningslinjer for tiltak i områder med syredannende gneis

Klassifisering av sedimentære bergarter i henhold til norske veiledere er vist i Tabell 2.

Tabell 2: Klassifisering av NP:AP.

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

I EU er syredannende bergarter dekket av regelverk som omfatter uttak av stein.

- Directive 2006/21/EC of the European Parliament and of the Council on the management of waste from the extractive industries.

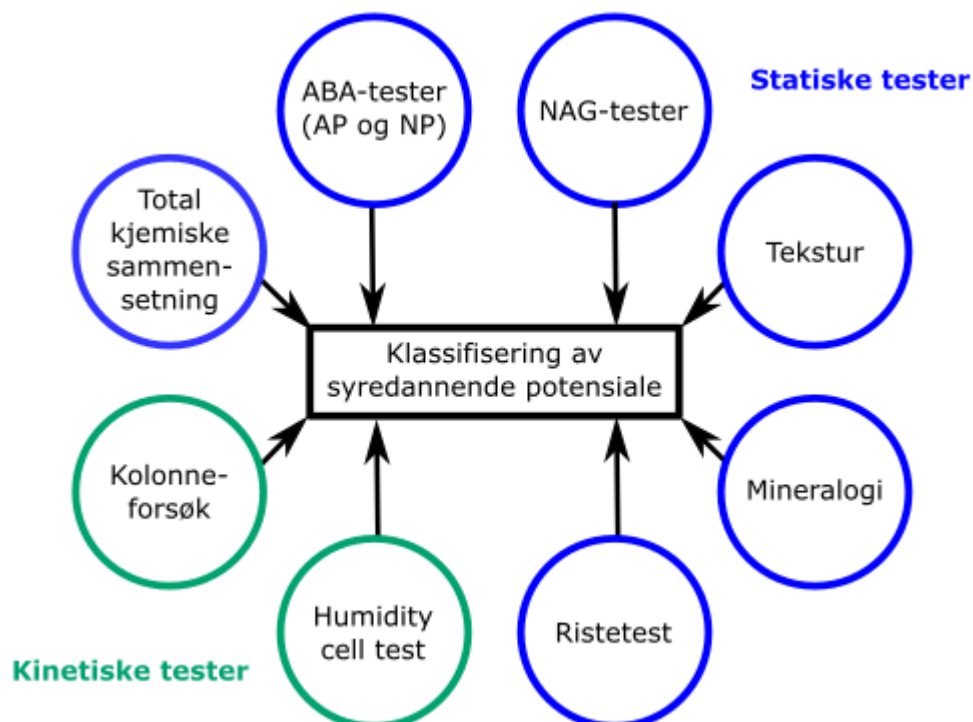
Følgende europeisk veileder oppsummerer anbefalte prosedyrer for karakterisering av stein, inkludert dens syredannende potensiale, med henvisning til relevante standardmetoder.

- CEN/TR 16376:2012 Characterization of waste. Overall guidance document for characterization of waste from the extractive industries.

I tillegg er det tre internasjonale selskaper/konsortia som har publisert hver sin veileder for identifisering av syredannende bergarter basert på industrierfaring og forskning.

- The International Network for Acid Prevention (INAP) (2014) Global Acid Rock Drainage Guide (GARD). [Australia]
- MEND (2009) Prediction Manual for Drainage Chemistry from Sulphidic Geologic Materials MEND Report 1.20.1. [Canada]
- AMIRA International (2002) ARD Test Handbook: Prediction & Kinetic Control of Acid Mine Drainage, AMIRA P387A. [Australia]

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 3).



Figur 3: Klassifisering av bergartens syredannende potensiale bør baseres på flere tester, både statiske tester og kinetiske tester. Figur adaptert fra GARD-veileder. Forkortelser er definert i Tabell 3.

Tabell 3: Forklaring av forkortelse brukt 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)

3.3 Gjeldende regelverk for radioaktive berg

Uranrike, svarte leirskifre er en viktig kilde til radongass. Under gjentatt eksponering (ved innånding) kan radon medføre alvorlige helsemessige konsekvenser som lungekreft. I åpne områder vil radongass raskt fortynnes i store volum av frisk luft.

Fare for oppsamling av radongass er størst i lukkede og dårlig ventilerte områder, som bak tunnelhvelvet eller i tekniske bygg i tunnelen. Arbeidstilsynet anbefaler at grenseverdien på 200 Bq/m³ satt i Byggeteknisk forskrift (TEK17 §13-5) og Strålevern forskriften § 6, 5. ledd for bygning med varig opphold videreføres til underjordiske arbeidsplasser. De anerkjenner likevel at dette kravet for noen arbeidsplasser vil være umulig å opprettholde. Det er derfor satt en øvre anbefalt grense for arbeid i tunneler på 2,1 MBqh/m³ som tilsvarer 1200 Bq/m³ forutsatt 1800 arbeidstimer.

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. Selv om masser defineres som ikke radioaktive bør fare for avrenning med høyt innhold av radionuklider vurderes.

4 RESULTATER

4.1 Tidligere undersøkelser av Brøttumformasjonen

Både kjerneprøver og prøver av berg i dagen har i tidligere faser av prosjektet blitt analysert for den kjemiske sammensetningen. Rapportkilder er nevnt under og en oppsummering av prøver som er analysert er vist i Tabell 4. Plassering av prøvepunktene er vist i Figur 4 og beskrevet i Vedlegg 1.

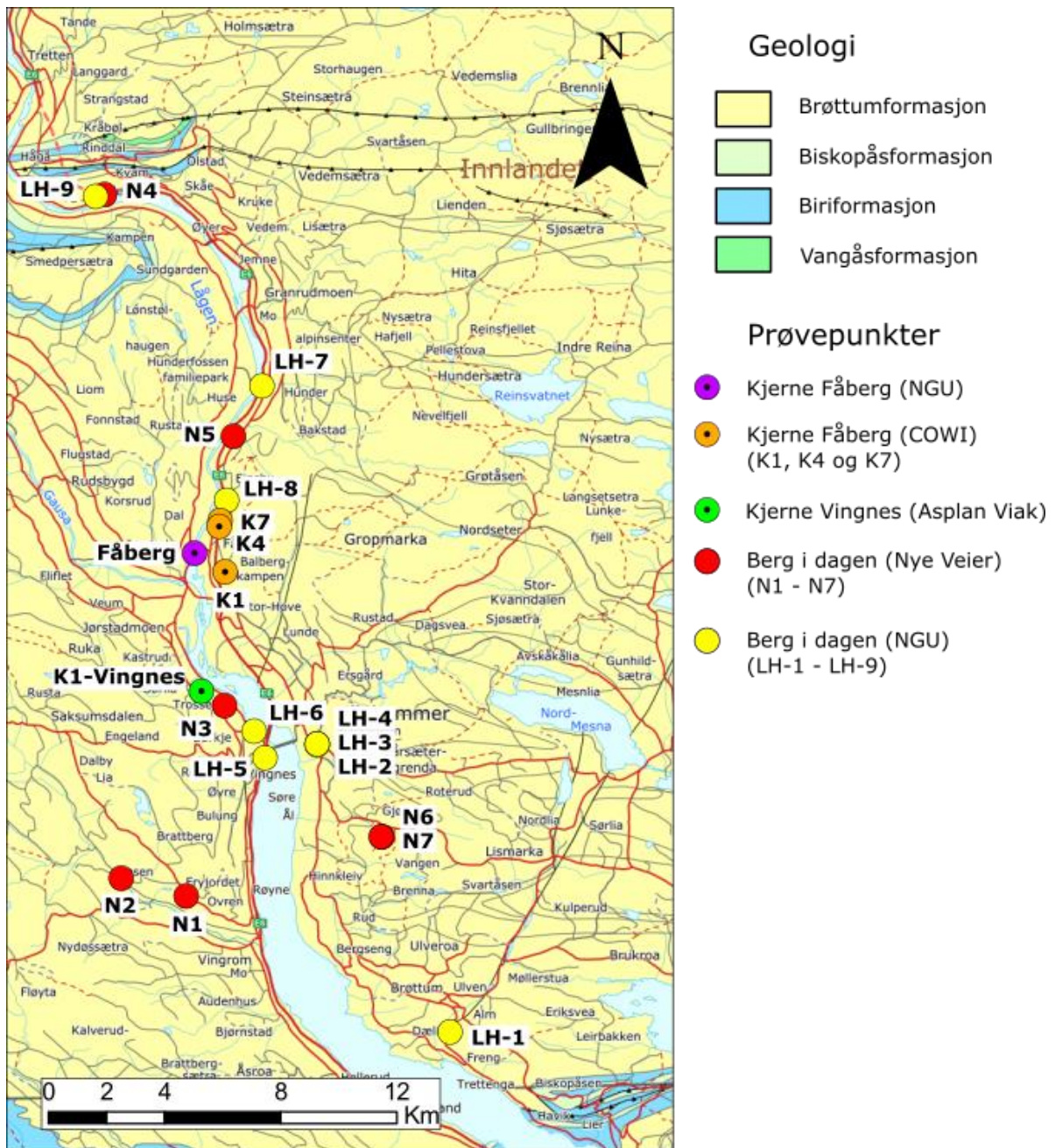
- NGU (2017) Kjemiske analyser av mørke skifre fra Brøttumformasjonen i Lillehammerområdet. NGU rapport 2017.044.
- Nye Veier (2019) E6 Moelv-Otta: Brøttumformsajonen, kjemiske analyser av skifer og vann.
- Asplan Viak (2019) Notat Kjernelogg Vingnestunnelen.
- COWI (2019) Vedlegg 6 Geokjemiske analyserapport kjerneprøver. Kjerneloggingsrapport for ny tunnel ved Fåberg.

Tabell 4: Oversikt over prøver som har vært analysert for «alunskiferpakke»*. Plassering av prøvene er vist i Figur 4.

Prøveserie	Antall prøver	Type	Analyse år	Rapport og analyse
Nx	9	Berg i dagen	2014	Nye Veier / ALS
LH-x	9	Berg i dagen	2017	NGU
Fåberg	13	Kjerne	2017	NGU
K1	7	Kjerne	2019	Asplan Viak / ALS
K7, K4, K1 (Fåberg)	8	Kjerne	2019	COWI / ALS

*konsentrasjoner av hovedoksider, sporelementer, total uorganisk karbon og total svovel.

Analyseresultatene er vist i Tabell 5. Tungmetallkonsentrasjoner er klassifisert etter TA-2553/2009 (Tabell 1) for å lettere sammenligne prøvene. Syredannende potensiale (NP:AP) er beregnet og er fargekodet i henhold til grenseverdier foreløst i veiledere M-310 (Tabell 2).



Figur 4: Kart over hvor prøvene i Tabell 4 har blitt tatt. Fargene på prøvepunkter viser hvem som tok prøven. Navn på prøvepunkter tilsvarer de brukt i Tabell 5.

Tabell 5: Utdrag av de geokjemiske analyseresultatene. Fullstendig analyseresultater finnes i rapportene henvisst til i begynnelsen av dette kapittelet. Prøvelokalitetene er vist i Figur 4. TC er totalt karbon og TIC er totalt uorganisk karbon. i.a. = ikke analysert. Metaller er klassifisert etter TA-2553 (se Tabell 1 for fargekoding) for å lettere sammenligne prøvene.. NP:AP er klassifisert etter M-310 (se Tabell 2 for fargekoding).

Prøvenavn		As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	Th	U	S	TC	TIC	NP:AP*
		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%	%	
Normverdi		8	1,5	50	100	1	60	60	200	-	-	-	-	-	
Kjerne Fåberg (NGU)	132151	<10	<10	62,8	30,4	i.a.	42,6	24,5	128	17,4	5,1	8700	2,05	i.a.	
	132153	<10	<10	17,4	<5	i.a.	8,7	5,7	13,4	5,7	<5	<1000	1,42	i.a.	
	136548	13	<10	54,8	35,2	i.a.	47,4	51,1	151	26,6	7,9	9400	1,42	i.a.	
	132156	33	<10	83	107	i.a.	70,7	39	357	29,1	14,1	18900	4,31	i.a.	
	136549	<10	<10	70	21,1	i.a.	38,8	34,5	153	17,2	<5	5400	0,687	i.a.	
	136547	16	<10	53,6	39,5	i.a.	42,9	21,2	202	24,9	7,8	21700	2,19	i.a.	
	132161	<10	<10	39,8	17,3	i.a.	17,7	18,3	86,8	12,8	<5	3600	0,456	i.a.	
	132163	12	<10	72,2	20,6	i.a.	48,7	58,8	106	24,5	6,3	13000	1,75	i.a.	
	136550	<10	<10	56,2	5,6	i.a.	21,1	12,3	49,3	5,8	<5	<1000	0,206	i.a.	
	132165	<10	<10	82,3	63,7	i.a.	35	35,1	210	21	<5	17100	0,829	i.a.	
	132166	<10	<10	99,2	28,9	i.a.	37,4	15	132	14,6	<5	10300	0,325	i.a.	
	132167	17	<10	82,3	39,8	i.a.	48,1	57,6	188	19	5,4	14900	1,47	i.a.	
	136546	10	<10	146	26,8	i.a.	29	22,9	117	13,2	<5	6800	0,457	i.a.	
Berg i dagen (Nye Veier)	N1	12,8	0,0645	54,7	18,5	0,0608	16,9	24	43	23,4	4,49	8680	i.a.	<0,1	0
	N2a	10,7	0,253	49,9	29	0,0505	33,3	24,2	180	18,2	4,49	6900	i.a.	<0,1	0
	N2b	36,2	0,0664	57	41,5	0,135	36,1	66,3	54,1	26,8	4,84	25800	i.a.	0,16	0,2
	N3a	10,5	0,276	51,1	47,8	0,0637	42,1	32,2	169	22,8	5,95	20300	i.a.	<0,1	0
	N3b	11,9	0,212	41,9	42,3	0,0619	35,3	27,2	119	17,1	4,85	19500	i.a.	0,21	0,3
	N4	26,6	1,49	93,4	95,1	0,0783	78	57,2	181	27,3	4,24	54000	i.a.	<0,1	0
	N5	7,26	0,0517	45	7	0,0951	8,63	32,4	41	13,5	4,18	10300	i.a.	<0,1	0
	N6	13,3	0,0721	59	40,8	0,047	36	37,4	62,3	21,3	4,55	13800	i.a.	<0,1	0
B e	N7	12,8	0,0826	63,7	45	0,0613	44,3	36,6	96	22,3	6,37	18700	i.a.	0,11	0,2
B e	LH-1	<10	<10	51,5	20	i.a.	25,1	16,8	106	17,7	5,7	4800	i.a.	i.a.	

	LH-2	<10	<10	60,2	17,7	i.a.	20,5	46,2	52,6	25,4	6,1	6100	i.a.	i.a.	
	LH-3	<10	<10	52,9	22,4	i.a.	24,6	21,4	122	14,8	5	3800	i.a.	i.a.	
	LH-4	<10	<10	52,3	28,8	i.a.	28,6	30,2	84,3	19,8	5,4	5100	i.a.	i.a.	
	LH-5	14	<10	97,7	54,5	i.a.	39	29,9	102	23,5	7,5	17000	i.a.	i.a.	
	LH-6	11	<10	65,9	22,7	i.a.	27,3	14,6	146	12,5	<5	7500	i.a.	i.a.	
	LH-7	<10	<10	35,6	22,6	i.a.	22,6	25,2	115	12,1	<5	5800	i.a.	i.a.	
	LH-8	<10	<10	55,4	27,8	i.a.	26	25,7	148	19	5,7	5800	i.a.	i.a.	
	LH-9	<10	<10	78,9	36,1	i.a.	28,1	14,7	114	19,8	5,1	5200	i.a.	i.a.	
	Kjerne Vingnes (Asplan Viak)	K1-1	5,99	0,217	58,1	48,9	<0,02	37,4	19,9	116	27	6,8	4470	i.a.	0,173
K1-2		9,91	0,0629	52,7	38	0,0285	42	49	63,5	19,7	4,83	16200	i.a.	0,297	0,5
K1-3		6,67	0,217	48,5	42,2	0,0333	32,7	24,4	125	18,9	4,62	12300	i.a.	0,042	0,1
K1-4		6,04	0,078	50,6	56,9	<0,02	39,6	32,4	77,8	25,1	6,13	9770	i.a.	0,081	0,2
K1-5		4,36	0,981	51,2	41,5	<0,03	33	21,3	132	16,8	4,78	6370	i.a.	0,063	0,3
K1-6		13,9	0,105	51	47,7	0,0575	35,9	66,2	77,7	21,8	5,56	20000	i.a.	0,051	0,1
K1-7		10,9	0,288	44,2	51,1	0,0486	41,1	37,5	122	19,8	5,31	25900	i.a.	0,16	0,2
Kjerne Fåberg (COWI)	K4 (18,00-18,10)	17,6	1,52	52,3	94,9	0,0448	60,1	28,9	298	26,6	7,43	38500	i.a.	0,414	0,3
	K4 (21,70-21,80)	8,80	0,311	43,1	58,6	0,0470	36,0	20,5	150	20,1	4,87	14400	i.a.	0,582	1,1
	K4 (29.65-29.75)	16,7	0,749	50,8	53,0	0,0682	50,7	26,8	189	21,6	6,04	34600	i.a.	0,252	0,2
	K4 (30.80-31.00)	8,22	0,35	39,6	25,8	0,0303	49,1	12,0	119	12,8	3,61	15700	i.a.	0,252	0,4
	K4 (27.2-57.3)	12,5	2,27	46,4	67,5	0,0521	60,2	26,9	286	14,7	6,42	16700	i.a.	0,086	0,1
	K1 (39.40-39.45)	8,31	0,0953	59,4	43,5	0,0407	36,9	43,2	74,9	32,4	7,12	18000	i.a.	0,032	0,0
	K7 (34.4-34.5)	<3	<0,04	45,0	2,99	<0,02	18,9	6,95	64,8	13,0	3,38	309	i.a.	0,049	4,2
K7 (65-65.2)	9,85	0,0541	49,8	40,0	0,0389	44,7	29,0	117	21,4	5,43	14900	i.a.	0,376	0,7	

* AP = 31,25 * 10000 * S(mg/kg)

NP = 83,33 * TIC (%)

4.2 Nye undersøkelser av Brøttumformasjonen

I denne fasen av prosjektet har seks nye prøver fra K1 blitt analysert for mineralogi, i tillegg til ABA- (AP/NP etter EN 15875:2011) og NAG-tester.

Svart leirskifer fra Brøttumsformasjonen er potensielt syredannende. Fem prøver fra K1 (Vingnestunnelen) ble sendt til laboratorium (ALS Piteå): tre svarte leirskifer, en grå leirskifer og en sandstein (Tabell 6). Disse prøvene ble analysert for mineralogi (XRD). Det ble lagd tre blandprøver (Tabell 7) med forskjellige blandingsforhold mellom sandstein og leirskifer. Andel av hver bergartstype i «blandprøve 5» samsvarer med sammensetning i kjerne K1 (Vingnestunnelen). Tre svarte leirskiferprøver pluss tre blandprøver ble analysert for ABA og NAG (Tabell 3).

Tabell 6: Beskrivelse av bergartsprøve fra K1 (Vingnestunnelen)

Prøvenavn	Bergart	Dyp (m)
K1-SA	Svart leirskifer	64,40
K1-SB	Svart leirskifer	66,00
K1-SC	Svart leirskifer	89,80
K1-SS	Sandstein	20,20
K1-GS1	Grå leirskifer	68,90

Tabell 7: Sammensetning av de tre blandprøvene i %.

Prøvenavn	K1-SA	K1-SB	K1-SC	K1-SS	K1-GS1
Blandprøve 4	17	16	17	50	0
Blandprøve 5	10	10	10	50	20
Blandprøve 6	10	10	10	20	50

Fullstendige analyseresultater er vist i vedlegg A og B.

4.2.1 ABA-tester

ABA står for «acid base accounting». Testene består av to deler. Den første delen måler prøvens syredannende potensiale og den andre delen måler prøvens nøytraliserende potensiale. Forhold mellom de to tallene gir en indikasjon over sannsynlighet for at syredannende forhold oppstår.

Prøvene ble analysert i henhold til EN 15875:2011 «Karakterisering av avfall. Statisk prøving for bestemmelse av syredannende potensiale og nøytraliserende potensiale til sulfidholdig avfall».

Svovel og karbon analyseresultater er vist i Tabell 8.

Tabell 8: Svovel og karbon analyseresultater.

Prøve	Total S	S _{sulfat}	S _{sulfid}	Total C	C _{organisk}	C _{uorganisk}
	%	%	%	%	%	%
K1-SA	1,59	0,04	1,55	0,60	0,49	0,11
K1-SB	3,10	0,04	3,06	1,37	1,14	0,23
K1-SC	2,87	0,04	2,83	1,06	0,91	0,15
Blandprøve 4	1,39	0,03	1,36	0,80	0,41	0,39
Blandprøve 5	0,91	0,04	0,87	0,63	0,26	0,37
Blandprøve 6	1,04	0,03	1,01	0,50	0,30	0,20

Syredannende potensiale (AP) i kg CaCO₃/tonn er beregnet basert på mengde svovel i sulfidminerale:

$$AP = 31,25 \times \%S_{sulfid}$$

For å finne ut nøytraliserende potensiale (NP) tilsettes det 1 M HCl for å løse opp lettforvitret karbonatminerale. Væske titreres med 0,1M NaOH til pH 8,3. Basert på volum base brukt, kan NP beregnes.

NPR (nøytraliserende potensiale forhold) er lik NP:AP.

NNP (netto nøytraliserende potensiale) er forskjell mellom NP og AP.

Analyseresultatene for AP, NP, NPR og NNP er vist i Tabell 9.

Tabell 9: NP, AP, NPR og NNP analyseresultater.

Prøve	NP	AP	NPR	NNP
	kg CaCO ₃ /t	kg CaCO ₃ /t		kg CaCO ₃ /t
K1-SA	7	48,4	0,13	-42
K1-SB	5	95,6	0,05	-91
K1-SC	7	88,4	0,07	-82
Blandprøve 4	20	42,5	0,46	-23
Blandprøve 5	18	27,2	0,66	-9
Blandprøve 6	9	31,6	0,29	-23

I henhold til EN 15875:2011 er prøver med en NPR < 1 klassifisert som potensielt syredannende. Det vil si at alle prøvene, inkludert blandprøvene, er klassifisert som potensielt syredannende iht. de utførte ABA-testene.

4.2.2 NAG-tester

NAG står for «net acid generation». Testen måler syredannelse etter at både syredannende og nøytraliserende reaksjoner er igangsatt samtidig.

Hydrogenperoksid (H_2O_2) er tilsatt prøven. Etter ca. 12 timer er gjenværende H_2O_2 fjernet med koking. Etter at væsken er avkjølt til romtemperatur er pH målt (NAG pH). Væske er titrert til pH 4,5 (NAG pH 4,5) og deretter pH 7,0 (NAG pH 7,0). Resultater fra titreringer er brukt til å beregne netto mengde syre generert.

Tabell 10: NAG-test analyseresultater.

Prøve	NAG pH 4,5	NAG pH 7,0	NAG pH
	kg H_2SO_4/t	kg H_2SO_4/t	
K1-SA	9,6	13,9	2,8
K1-SB	46,5	53,9	2,2
K1-SC	40,6	49,6	2,2
Blandprøve 4	<0,01	0,2	6,7
Blandprøve 5	<0,01	<0,01	8,4
Blandprøve 6	<0,01	<0,01	7,1

Svart leirskifer-prøvene har lav NAG-pH (pH < 4,5) og netto syredannelse. I motsetning har blandprøvene negliserbar syredannelse og en NAG-pH rundt 7. NAG-resultatene indikerer at svart leirskifer-prøver er potensielt syredannende mens blandprøvene ikke er det.

4.2.3 XRD

XRD er en teknikk som kvantifiserer mineralogi i en stein. Syredannende potensiale kan vurderes basert på forekomst av mineraler som kan danne syre (f. eks. pyritt) samt de som kan nøytralisere evt. syredannelse (f. eks. karbonater).

Mineralogi av de fem bergartsprøvene er vist i Tabell 11.

Resultatene viser at skiferen i hovedsak består av kvarts, feltspat og sjiktsilikater (muskovit og kloritt), samt mellom 6 – 15 % pyritt. Sandsteinen består i hovedsak av kvarts og feltspat med noe ankeritt (en type karbonatmineral) og sjiktsilikater.

Tabell 11: XRD analyse av prøvene.

Mineral eller mineralgruppe	K1-SA svart leirskifer	K1-SB svart leirskifer	K1-SC svart leirskifer	K1-SS sandstein	K1-GS1 grå leirskifer
	Vekt %				
Pyritt	6	15	13	1	3
Leireminerale	2	1	1	< 1	1
Kaolinit	3	1	2	0	2
Illitt	1	2	2	< 1	< 1
Kloritt	14	4	7	1	7
Biottgruppen	7	10	10	1	2
Muskovitt	24	23	30	1	5
Plagioklas	17	14	13	29	27
K-feldspat	0	0	0	10	16
K-feldspat og/eller rutil	4	5	3	0	0
Kvarts	22	24	19	53	37
Dolomitt - ankeritt	0	0	0	4	0
Sideritt	0	1	1	0	0

4.2.4 Videre arbeid

Det er innledet et samarbeid med Institutt for Geofag ved Universitet i Oslo for å ytterligere karakterisere den syredannende potensiale av svart leirskifer fra Brøttumsformasjonen.

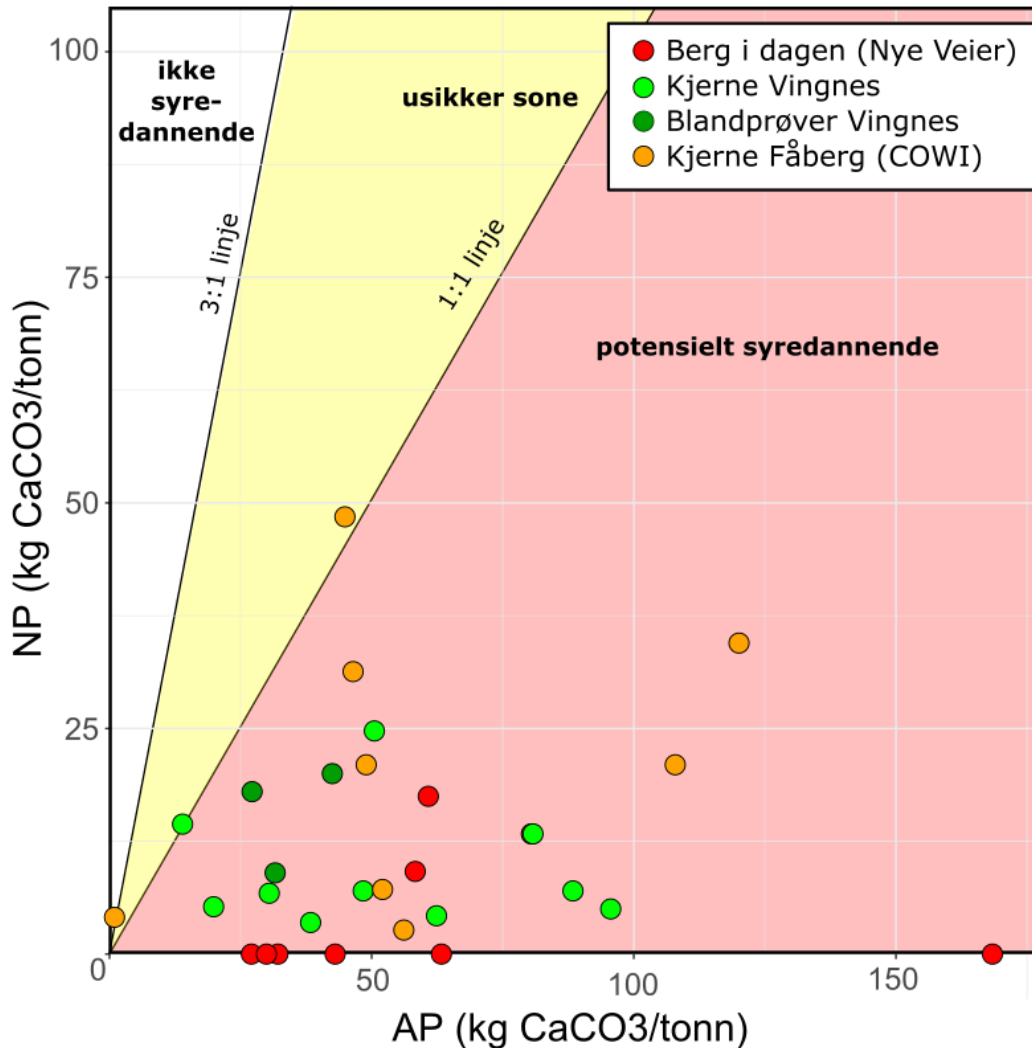
Dette arbeidet omfatter utlekkings tester av forvitret og uforvitret stein, mineralogi (tynnslipsstudier) og geokjemisk modellering.

I tillegg er det pågående undersøkelser i felt. Det er planlagt 4 nye kjerner og 7 hammerhull. Bergartsfordeling i kjernene skal logges. Kjernene og borkaks skal logges med håndholdt XRF og utvalgte prøver sendes til akkreditert laboratorium for analyse av «alunskiferpakke». De videre undersøkelsene vil gi bedre svar på andel syredannende og nøytraliserende stein i prosjektet og hvilke utlekkingssegenskaper steinen har.

5 DISKUSJON

5.1 Syredannende forhold

Basert på en NP:AP klassifisering (M-310) er 27 av 30¹ av de prøvetatte svarte leirskiferprøvene i Brøttumformasjonen klassifisert som potensielt syredannende (Figur 5).

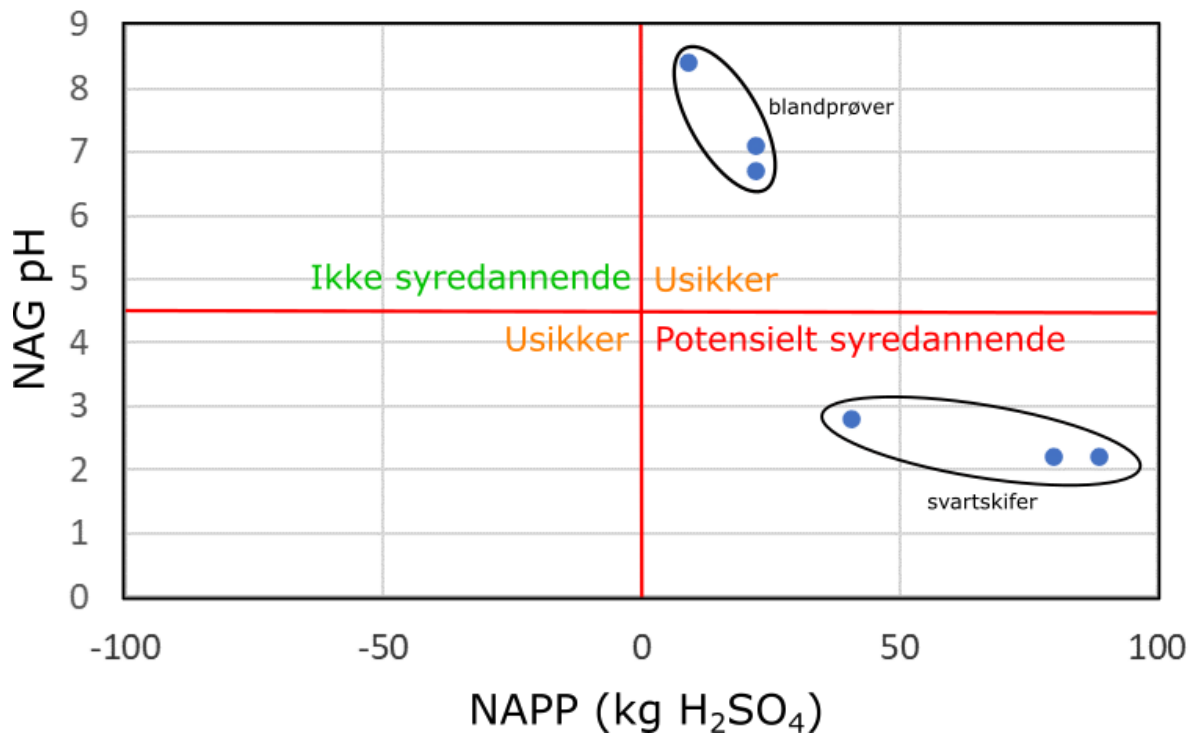


Figur 5: Nøytraliserende potensiale (NP) mot syredannende potensiale (AP). AP er beregnet med totalt svovel (iht. M-310). Kun prøver med analyse av totalt svovel og totalt uorganisk karbon er plottet.

I kjernen K1 er andel svart leirskifer anslått til ca. 30%. Den forekommer ofte i veksling med grå leirskifer og sandstein. I naturen vil sandstein og grå leirskifer bidra til nøytraliseringskapasiteten. For å undersøke samlet syredannende potensiale ble det laget tre blandprøver som besto av varierende andel av svart leirskifer, grå leirskifer og sandstein.

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

Tre svarte leirskifre og tre blandprøver ble analysert for NP:AP og NAG-pH. Resultater er vist i Figur 6.



Figur 6: NAG pH vs NAPP. Svart leirskifer-prøver er potensielt syredannende mens klassifisering av blandprøvene er usikre.

Svart leirskifer-prøver er klassifisert som potensielt syredannende mens blandprøver er klassifisert som «usikker» fordi NP:AP analyse og NAG-pH ga motstridende resultater.

Mulige årsaker til de motstridende resultatene mellom NP:AP og NAG-pH for blandprøvene er:

- AP/NP analyser tar ikke hensyn til mineralogi, f. eks. i hvilke mineraler S forekommer, eller kinetiske faktorer, f.eks. kornstørrelse (finfordelt pyritt vil reagere fortere enn stor pyritt krystaller).
- NP er basert på uorganisk karbonat. Andre mineraler kan bidra til nøytraliseringsreaksjoner.

5.2 Tungmetaller

Syredannende reaksjoner kan føre til utlekking av miljøgifter som tungmetaller (f. eks. Ni, Cu, Zn). Høy utlekking forekommer ofte fra alunskifer og svart leirskifer da disse bergartene har forhøyede konsentrasjoner av disse metallene.

Sammenlignet med andre svarte leirskifre har Brøttumformasjonen lave konsentrasjoner av tungmetaller (Tabell 12). Sammenlignet med klasse i TA-2553 [3] er konsentrasjoner av 6 av

8 tungmetaller under normverdi. Arsen- og kromkonsentrasjoner tilsvarer tilstandsklasse 2. Hvis prøvene hadde vært jord, hadde de blitt klassifisert som lett forurenset.

Tabell 12: Gjennomsnittskonsentrasjon og standardavvik (1SD) av 8 tungmetaller og uran sammenlignet med normverdier i TA-2553 [3] og svart leireskifer [4]. Verdier under normverdi er fargelagt blått og verdier som tilsvarer tilstandsklasse 2 er fargelagt grønt. i.a. = ikke analysert; i.p. = ikke påvist.

Stoff	Enhet	Norm-verdi	Svart leireskifer ¹	Nx	LH-x	Fåberg NGU	Fåberg COWI	K1 Vingnes
As	mg/kg	8	121	15.8±9.3	12.5±2.1	16.8±8.3	11.7±4.0	8.3±3.4
Cd	mg/kg	1.5	5.8	0.3±0.5	i.p.	i.p.	0.8±0.8	0.3±0.3
Cr	mg/kg	50	80.8	57.3±15.1	61.2±18.0	70.7±31.0	48.3±6.2	50.9±4.2
Cu	mg/kg	100	157	40.8±24.5	28.1±11.3	36.3±26.5	48.3±27.6	46.6±6.5
Hg	mg/kg	1	i.a.	0.07±0.03	i.a.	i.a.	0.05±0.01	0.04±0.01
Ni	mg/kg	60	163	36.7±19.3	26.9±5.2	37.5±16.0	44.6±13.8	37.4±3.7
Pb	mg/kg	60	27.1	37.5±14.7	25.0±10.0	30.5±17.3	24.3±11.2	35.8±16.9
Zn	mg/kg	200	297	105.0±59.3	110±29.5	146±85.1	162.3±89.2	102±28
U	mg/kg		72.4	4.9±0.8	5.8±0.8	7.8±3.3	5.5±1.5	5.4±0.8

¹Gjennomsnitt av 11 svart leirskiferprøver fra Degerhamn, Sverige [4].

5.3 Radioaktivitet

Svart leirskifer kan ha høy konsentrasjon av uran som fører til forhøyet utslipp av radongass og stråling. Urankonsentrasjon varierer fra 3 til 14 mg/kg med et gjennomsnitt på 6 mg/kg. Ifølge M-310 har en skifer med uraninnhold mindre enn 50 mg/kg tilnærmet neglisjerbar stråling. Det er dermed ikke påkrevd at stein sendes til et deponi med utslippstillatelse for radioaktive nuklider.

5.4 Avrenning

Tungmetall- og urankonsentrasjoner er lave i prøver fra Brøttumformasjonen og det er dermed ikke forventet at avrenning vil inneholde like forhøyede konsentrasjoner av tungmetaller og uran som alunskifer.

Risiko for utlekking av tungmetaller er vurdert lav hvis summen av fem tungmetaller (Zn, Pb, Cd, Ni, Cu) i stein er lavere enn 1000 mg/kg (Parbhakar-Fox et al. 2011). Prøvene fra Brøttumformasjon hadde en gjennomsnittlig tungmetallkonsentrasjon på 233 mg/kg (28 – 574 mg/kg). Risiko for en forringelse i vannkvalitet forårsaket av en økning i tungmetallkonsentrasjoner i resipienten er dermed vurdert til å være lav.

Det er derimot et reell potensiale for syredannelse som kan føre til lave pH-verdier i avrenning. Som beskrevet i kapittel 4.2.4 er det planlagt utlekkingstester for å danne et bedre grunnlag til å vurdere omfang av utlekking av tungmetaller og konsekvenser for resipient.

5.5 Oppsummering

Basert på tidligere stratigrafisk kartlegging forventes det at ca. 25% av steinvolumet fra tiltaket vil være svart leirskifer (Nystuen, 1987). Geologisk logging av nye kjerner vil gi mer nøyaktig informasjon om forventet andel svart leirskifer langs det planlagte tunnellopet.

Geokjemiske analyser av den svarte leirskiferen viser at den er klassifisert som *potensielt* syredannende i henhold til M-310. Det er nå utført videre undersøkelser for å danne bedre grunnlag til en vurdering av forventet syredannende potensiale.

Forekomsten av svart leirskifer som lag av varierende tykkelse sammen med sandstein betyr at det i praksis vil være svært utfordrende å skille ut syredannende berg. Det er derfor i videre dokumentasjon sett på netto syredannende potensiale når det nøytraliserende potensialet av sandstein er tatt med i betraktning.

6 KONKLUSJON

Svart leirskifer fra Brøttumformasjonen er potensielt syredannende. Prøvene har derimot lave innhold av tungmetaller og uran sammenlignet med alunskifer og andre svarte leirskifre. For å øke kunnskapen om forvittringsprosessen og danne et bedre grunnlag til å kunne vurdere miljøpåvirkning av syredannende berg i dette prosjektet er det utført utdypende undersøkelser i samarbeid med Universitet i Oslo. Undersøkelser omfatter utlekkningstester, modellering og analyse av nye kjerneprøver.

Resultatene fra undersøkelsene og samarbeidet med Universitet i Oslo er rapportert og overlevert Statsforvalteren i Innlandet som dokumentasjon på det totale syrepotensialet for stein fra Brøttumsformasjonen. Rapporten er per. 23.11.2021 til behandling hos Statsforvalteren i Innlandet.

7 REFERANSER

AMIRA International (2002) ARD Test Handbook: Prediction & Kinetic Control of Acid Mine Drainage, AMIRA P387A.

CEN (2011) *Characterization of waste – Static test for determination of acid potential and neutralisation potential of sulfidic waste*, EN 15875.

CEN (2012) *Characterization of waste. Overall guidance document for characterization og waste from the extractive industries*, TR 16376.

Directive 2006/21/EC of the European Parliament and of the Council on the management of waste from the extractive industries.

Endre, E. (2019) *Bygging på alunskifer og andre svarte og grå leirskifere*. RIF veileder.

The International Network for Acid Prevention (INAP) (2014) Global Acid Rock Drainage Guide (GARD)

Lavergren U, Åström ME, Bergbäck B & Homström H (2009) Mobility of trace elements in black shale assessed by leaching tests and sequential chemical extraction, *Geochem. Explor. Environ. Anal.*, **9**, 71–79.

Nystuen J P (1987) Synthesis of the tectonic and sedimentological evolution of the late Proterozoic-early Cambrian Hedmark Basin, the Caledonian Thrust Belt, southern Norway. *Norsk geologisk tidsskrift*, **67**, 395-418.

MEND (2009) Prediction Manual for Drainage Chemistry from Sulphidic Geologic Materials MEND Report 1.20.1

NGI (2015) *Identifisering og karakterisering av syredannende bergarter*. M-310/2015.

NGI (2015) *Deponering av syredannende bergarter. Grunnlag for veileder*. M-385/2015.

Norconsult (2020) E6 Roterud-Storhove – Innledende vurdering av forurenset grunn. Fase 1 undersøkelse. Dokumentnr. RAPP-MIL-005.

Nystuen (1987) Synthesis of the tectonic and sedimentological evolution of the late Proterozoic-early Cambrian Hedmark Basin, the Caledonian Thrust Belt, southern Norway. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, **67**, 365-418.

Parbhakar- Fox A K, Edraki M, Walters S & Bradshaw D (2011) Development of a textural index for the prediction of acid rock drainage, *Minerals Engineering*, **24**, 1277-1287.

SFT (2009) Helsebaserte tilstandsklasser for forurenset grunn. TA-2553.

8 VEDLEGG

Vedlegg 1 – Beskrivelse av prøvene fra Brøttumformasjonen samt firma som bestilte analyse.

Vedlegg 2 – ABA og NAG analyseresultater

Vedlegg 3 – XRD resultater