

**Utbygging Eidsvoll – Hamar (UEH)**  
**Vurdering av potensiale for syredannelse  
og risiko for utlekking av tungmetaller  
fra svarte morenemasser i Stange og Løten**

			<i>Trond Klapp Haraldsen</i>	<i>Tore Krogstad</i>		
00E	Første revisjon	26.04.2021	HARTRO	KROTOR	HOLTRI	
Revisjon	Revisjonen gjelder	Dato	Utarb. av	Kontr. av	Godkj. av	
<b>Tittel:</b> Dovrebanen (Eidsvoll) - Hamar, Sørli-Åkersvika, Vurdering av potensiale for syredannelse og risiko for utlekking av tungmetaller fra svarte morenemasser i Stange og Løten		Antall sider:	Entreprise:	SÅ		
		71				
		Produsent:	Bane NOR / NIBIO			
		Prod.tegn.nr.:		Rev.		
		Erstatning for:				
		Erstattet av:				
Prosjektnavn: Sørli-Åkersvika Prosjektnr. : 965108		Dokument-/tegningsnummer: UEH-55-A-00013		Revisjon: 00E		
		FDV-dokument-/tegningsnummer:		FDV-rev.:		

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av  potensiale for  syredannelse og risiko  for utlekking av  tungmetaller fra svarte  morenemasser i Stange  og Løten</b>	<b>Side: 2 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	---

## INNHOLDSFORTEGNELSE

<b>INNHOLDSFORTEGNELSE .....</b>	<b>2</b>
<b>1 FORORD .....</b>	<b>4</b>
<b>2 SAMMENDRAG .....</b>	<b>5</b>
<b>3 INNLEDNING .....</b>	<b>7</b>
3.1 Mål .....	8
3.2 Tidligere arbeid i IC -Dovre prosjektet .....	8
3.3 Bakgrunn og litteraturstudie .....	8
3.3.1 Hypersulfidisk materiale .....	12
3.3.2 Hyposulfidisk materiale .....	12
3.3.3 Thionic jordsjikt .....	13
3.3.4 Potensielt syredannende løsmasser .....	14
3.3.5 Tungmetaller i jord .....	14
3.3.6 Naturlig forhøyede bakgrunnskonsentrasjoner .....	17
3.4 Potensielt syredannende bergarter .....	18
3.5 Syredannende løsmasser .....	19
3.6 Geologi og kvartærgeologi .....	20
<b>4 BEGRUNNELSE FOR VALG AV UNDERSØKELSESMETODIKK .....</b>	<b>24</b>
4.1 Alunskifer og løsmasser av alunskiferrikt opphavsmateriale .....	24
4.2 Syredannende løsmasser og jordsmonn .....	24
<b>5 PRØVEMATERIALE OG METODE .....</b>	<b>25</b>
5.1 Feltmetodikk .....	25
5.2 Utvalg av prøver og profilbeskrivelse .....	25
5.2.1 Forenklet feltbeskrivelse av profil DSH401 .....	29
5.2.2 Forenklet feltbeskrivelse av profil DSH406 .....	31
5.2.3 Forenklet feltbeskrivelse av profil DSH617 .....	33
5.2.4 RV3/RV25 masselager Spangen .....	35
5.2.5 Skjerden .....	36
5.3 Geokjemiske analyser .....	37
5.3.1 ICP-MS, Lab analyse (NIBIO og ALS) .....	37
5.3.2 Mineralogi og kjemiske analyser ved røntgendiffraksjon (XRD) (ALS og Institutt for Geofag, UiO) .....	37
5.4 Ristetest .....	37

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av</b> <b>potensiale for</b> <b>syredannelse og risiko</b> <b>for utlekking av</b> <b>tungmetaller fra svarte</b> <b>morenemasser i Stange</b> <b>og Løten</b>	<b>Side: 3 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	---

5.4.1	Tolkning av analyseresultater Jordprøver .....	38
5.4.2	Moreneprøver.....	39
<b>6</b>	<b>RESULTATER OG DISKUSJON .....</b>	<b>40</b>
6.1	Prøvemateriale og beskrivelse av løsmassene .....	40
6.2	Tilstandsklasse vurdering .....	41
6.3	Mineralogi og stratigrafisk plassering av prøver .....	43
6.4	XRD – Kvantitativ og kvalitativ bestemmelse av mineraler .....	43
6.4.1	Hvilken informasjon kan vi hente fra de ulike mineralene? .....	43
6.4.2	DSH401.....	44
6.4.3	DSH406.....	44
6.4.4	DSH617.....	46
6.4.5	Spangen.....	46
6.4.6	Skjerden .....	46
6.4.7	Oppsummering XRD .....	46
6.5	Kjemisk innhold i prøvene.....	47
6.5.1	Innhold av kalsium og svovel .....	50
6.5.2	Vurdering av løselighet i vann.....	52
6.5.3	Mobilitet av ulike tungmetaller, grunnstoffer og sporelementer.....	53
6.5.4	Innhold av uran og thorium .....	54
6.6	Risiko for utlekking til vassresipienter .....	58
6.7	Feltidentifikasjon av sulfidiske materialer.....	64
<b>7</b>	<b>OPPSUMMERING .....</b>	<b>67</b>
<b>8</b>	<b>DOKUMENTINFORMASJON .....</b>	<b>69</b>
8.1	Endringslogg .....	69
8.2	Referanseliste .....	69

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av  potensiale for  syredannelse og risiko  for utlekking av  tungmetaller fra svarte  morenemasser i Stange  og Løten</b>	<b>Side: 4 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	---

## 1 FORORD

Denne rapporten er utarbeidet av Trond Knapp Haraldsen seniorforsker på Norsk Institutt for bioøkonomi (NIBIO) og kvalitetssikret av professor på jordkjemi Tore Krogstad fra Norges Miljø- og biovitenskapelige Universitet (NMBU). Rådgivere fra Rambøll-Sweco har stått for utarbeidelsen av flere av rapportene for prosjektet og bisto her sammen med overnevnte personer. I tillegg ble denne undersøkelsen kvalitetssikret av blant annet Erik Endre ved Structor.

Undersøkelsen ble gjort med materiale hovedsakelig fra Tokstad/Gyrud/Gaustad området i Stange kommune, Innlandet. Testene ble ledet av Trond K. Haraldsen og utført på NIBIO med god støtte og kvalitetssikring fra professor Tore Krogstad (NMBU). I tillegg bisto rådgivere fra Rambøll/Sweco.

Denne rapporten er en av flere rapporter som er utarbeidet i forbindelse med denne undersøkelsen og utlekkingstesten. Se også:

UEH-55-A-25149 Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider

UEH-55-A-25152 Anleggsteknisk vurdering

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av</b> <b>potensiale for</b> <b>syredannelse og risiko</b> <b>for utlekking av</b> <b>tungmetaller fra svarte</b> <b>morenemasser i Stange</b> <b>og Løten</b>	<b>Side: 5 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	---

## 2 SAMMENDRAG

I foreliggende rapport presenteres resultater fra undersøkelsen av jord og løsmasser fra moreneområdene i Tokstad-Gyrud-Gaustad området i Stange. Prøvene er tatt i områder hvor det vil bli dype skjæringer i løsmasser og til dels ned i underliggende berggrunn i forbindelse med etablering av ny jernbanetrase, strekningen Sørli-Åkersvika inn mot Hamar stasjon (Dovrebanen).

Under feltarbeidet våren 2019 ble det funnet svarte kompakte morenelag under brune morenelag. De svarte morenelagene ble påvist utenfor området som en normalt regner med å finne alunskifer i berggrunnen. Det ble derfor tatt ut prøver av forvitret jordsmonn av alunskiferopphav ved Skjerden i Stange og fra et masselager for svarte morenemasser fra alunskiferområde på Spangen i Løten som referansemateriale med sikkert alunskiferopphav. Sistnevnte stammer fra et pågående veiprojekt (RV3/RV25).

De svarte morenemassene inneholdt forhøyede konsentrasjoner av tungmetaller som kadmium, sink, nikkel og uran sammenlignet med brune morenelag, og prøvene inneholdt også noe knust materiale av alunskifer. Kjemiske analyser påviste at de svarte morenelagene inneholdt betydelige mengder svovel, og XRD-analyser påviste at svovelet kunne foreligge som sulfid (pyritt) og i noen grad som sulfat (gips).

Basert på nevnte observasjoner og kjemiske analyser, ble det stilt spørsmål om massene kunne karakteriseres som syredannende materiale.

Videre arbeid tok utgangspunkt i definisjonen for slikt materiale ut fra internasjonale klassifikasjonssystemer for jordsmonn og beskrevne tester for å avklare om massene kunne karakteriseres som syredannende. Definisjonen på hypersulfidisk materiale ser ut til i stor grad å samsvare med forståelsen av sterkt syredannende materiale. Slikt materiale har egenskaper til å raskt kunne oksidere så store mengder sulfider at det i løpet av en åtte ukers inkubasjonsperiode blir dramatisk fall i pH (< pH 4).

Testene som ble gjennomført av materialet fra Tokstad-Gyrud området utviklet svovelsyre, men inneholdt i tillegg et overskudd av karbonater som nøytraliserte syredannelsen umiddelbart. Det ble derfor ikke påvist signifikante fall i pH. Testene påviste at dominerende ioner i utlekkingsvannet var kalsium- og sulfationer. Slikt materiale karakteriseres som hyposulfidisk ettersom det dannes sulfat ved oksidasjon, men resultatet gir nøytral avrenning.

Forvitret jordsmonn fra Skjerden i Stange som allerede var surt, løste ut betydelige mengder kalsium- og sulfationer sammen med tungmetallene kadmium, kobber, nikkel og sink. Ved sammenligning av konsentrasjoner av nevnte metaller i utlekkingsvannet etter ristetest fra prøvematerialet fra Tokstad - Gyrud området med vannprøver fra Brenneribekken ved Ottestad, var konsentrasjonene av tungmetaller i Brenneribekken høyere. Vannkvaliteten i Brenneribekken så ut til å være påvirket av utlekking av metaller i forbindelse med sur avrenning fra områder med forvitret alunskiferjord, lik prøven fra Skjerden.

Ut fra undersøkelsene kan det fastslås at svarte morenemassene fra Tokstad-Gyrud området er å betrakte som hyposulfidiske, og således ikke i stand til å forårsake vesentlig forsurende virkning av jordsmonn eller avrenningsvann. Konklusjonen er at det ikke er noen miljørisiko knyttet til å transportere masser fra Tokstad-Gyrud området inn i nedslagsfeltet til Brenneribekken. Ved graving av dype skjæringer i områder med alunskiferjordsmonn (Nesten/Skjerden), er det sannsynlig at potensielt syredannende masser vil bli blottlagt. Syredannende reaksjon kan ikke utelukkes i slike masser, likt som for masser fra Skjerden. Massedisponeringen av nevnte masser

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av potensiale for syredannelse og risiko for utlekking av tungmetaller fra svarte morenemasser i Stange og Løten</b>	<b>Side: 6 av 71 Dok.nr: UEH-55-A-00013 Rev.: 00E Dato 26.04.2021</b>
---	---	---

bør disponeres i områder med masser av lik karakter, videre bør de håndteres slik at det ikke oppstår en rask oksidasjon.

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av  potensiale for  syredannelse og risiko  for utlekking av  tungmetaller fra svarte  morenemasser i Stange  og Løten</b>	<b>Side: 7 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	---

### 3 INNLEDNING

Den nye jernbanetraseen for Dovrebanen mellom Sørli og Åkersvika krever terrenginngrep med dype skjæringer i løsmasser og til dels ned i berggrunnen. De dypeste skjæringene er planlagt på jordene som tilhører Tokstad og Gyrud. I tillegg vil omlegging og senkning av Brenneribekken vil medføre dyp graving ned i løsmasser.

Sonderinger og ODEX boringer, med tilhørende prøvetaking avdekket at det finnes svarte dype morenelag over berggrunnen. Kjemiske analyser av borprøvene indikerte høye konsentrasjoner av svovel, og som videre vekket mistanken om at massene kunne være syredannende. Et annet viktig element som må tas hensyn til i utførelsesfasen av etablering av både bekk og jernbane er stabiliteten av løsmassene ettersom store deler av massene i dag ligger under etablert grunnvannsnivå.

I Norge har problemstillinger knyttet opp mot syredannelse fra alunskifermateriale som bergart vært godt studert, mens det er langt mindre kunnskap om syredannelse fra løsmasser dominert av alunskifer som opphavsmateriale. Derimot er sulfidholdig jordsmonn og underliggende løsmasser beskrevet i jordfaglig litteratur. Dannelsen av disse leirene er den mest typiske forekomsten av sulfidholdig jordsmonn, nemlig avsetning i brakkvannmiljø. Nøkkelbegrepet i jordfaglig litteratur er sulfidholdige materialer «Sulfidic Materials» på engelsk. Sulfidholdige løsmasser er kjent fra flere steder i verden, blant annet Sverige, Danmark, Finland, Tyskland og Australia.

Bane NOR har gitt RambøllSweco (RS), i samarbeid med NIBIO, midler til å foreta omfattende grunnundersøkelse for å hente ut prøvemateriale av svarte løsmasser, for nærmere karakterisering og gjennomføring av kjemiske tester.

Ved en slik studie er det viktig å prøveta og karakterisere alle lag i jordprofilen helt ned til berggrunnen, så fremt det var mulig å komme ned til berggrunnen med gravemaskin. Slik gir undersøkelsen opphav til data som kan gi informasjon om egenskapene til både de dyptliggende svarte massene, som var hovedmålet for undersøkelsen, men også de overliggende massene som må flyttes til andre områder.

Under feltarbeidet tok man utgangspunkt i lagrekkefølgen som fremgikk av beskrivelsene fra ODEX boringene. I tillegg ble det foretatt omfattende undersøkelser av jord og terrengegenskaper rundt borpunktene for å vurdere borpunktene representativitet.

Foreliggende rapport tar for seg grunnundersøkelser som er utført mellom Sørli-Åkersvika i forbindelse med InterCity prosjektet, samt litteraturstudie om identifisering og håndtering av sulfidjord i andre land.

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av</b> <b>potensiale for</b> <b>syredannelse og risiko</b> <b>for utlekking av</b> <b>tungmetaller fra svarte</b> <b>morenemasser i Stange</b> <b>og Løten</b>	<b>Side: 8 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	---

### 3.1 Mål

Bane NOR jobber for at jernbanebygging ikke skal gi negative miljøeffekter. Målet for undersøkelsene som er omtalt i denne rapporten er følgende:

- Identifisere og prøveta svarte jordlag i felt, som kan ha alunskiferkarakter;
- Utføre kjemiske tester av jordprøver fra svarte jordlag som grunnlag for karakterisering av syredannende egenskaper;
- Konkludere om svarte jordmasser har syredannendeegenskaper eller om jordmassene bufres av tilstedeværelse av karbonat;
- Gjennom utlekkingstest avklare om det er risiko for utlekking av tungmetaller til bekker når sulfidholdige masser blir flyttet i forbindelse med omfattende gravearbeider i jernbaneprosjektet.
- Utarbeide forslag til feltbeskrivelse og hurtigtest for å avklare om en har med syredannende masser å gjøre.

### 3.2 Tidligere arbeid i IC -Dovre prosjektet

Et første utkast til utlekkingstesten er tidligere beskrevet i UEH-55-A-25049 *Kompletterende karakterisering og utlekkingstest pilotskala* [1].

Analyser av løsmasser på strekningen er beskrevet i UEH-55-V-26004 *Datarapport syredannende berg- og løsmasser* [2].

Alunskiferjordsmonnet i området er beskrevet i UEH-55-Q-25011 *Alunskiferjordsmonn – egenskaper, utbredelse og miljørisiko* [3].

Håndtering av syredannende berg- og løsmasser er beskrevet i UEH-55-A-25106 *Tiltaksplan for forurenset masser, samt syredannende berg- og løsmasser* [4].

Forurensningsproblematikk i forbindelse med masser med syredannende potensiale er beskrevet i ICP-56-A-25811 *Deponerings- og forurensningsproblematikk i forbindelse med svartskifer/alunskifer og andre syredannende bergarter* [5].

### 3.3 Bakgrunn og litteraturstudie

Begrepet sur sulfatjord (ASS – Acid Sulphate Soils på engelsk) kom i vanlig bruk for første gang i 1972 [16]. Det har vært utført flere studier på sulfatjord i Sverige [6], Finland [7-10], Danmark [11-13], Polen [14] og Tyskland, blant andre. Sulfatjord brukes for å beskrive naturlig forekommende jordsmonn, sedimenter eller organiske underlag som dannes under vannmettede forhold og inneholder jernsulfidminerale, hovedsakelig som svartfarget jernmonosulfid (FeS) og gråfarget jerndisulfid eller pyritt (FeS<sub>2</sub>). Begrepet "sulfat" brukes om svovel som forekommer i salter av svovelsyre, som sulfationer (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>). Sulfat dannes ved oksidasjon av sulfider i den drenerte delen av profilet, noe som også fører til forsuring ettersom denne prosessen danner svovelsyre.



<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av</b> <b>potensiale for</b> <b>syredannelse og risiko</b> <b>for utlekking av</b> <b>tungmetaller fra svarte</b> <b>morenemasser i Stange</b> <b>og Løten</b>	<b>Side: 9 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	---

Sulfidjord generelt inneholder betydelige mengder jernsulfidmineraler eller oksidasjonsreaksjonsprodukter av disse sulfidmineralene. Selv om svovelkis (FeS<sub>2</sub>) er det vanligste utbredte Fe-sulfid mineralet i uforstyrret ASS-materialer, kan også andre sulfid-mineraler som greigitter, markasitter og jern monosulfider som marckaninawitt, oppstå i rikelige mengder i ASS-miljøer. Svovelkis er det mest utbredte jernsulfidmineralet i sulfidholdige løsmasser og representerer ofte den største kilden til potensiell surhet. Dannelse av svovelkis (FeS<sub>2</sub>) har blitt undersøkt i stor grad på grunn av dens konsekvens i biotilgjengeligheten av giftige metaller i anoksiske marine sedimenter.

Ut fra erfaring fra gårdbrukere i området, er det flere som har erfart betydelig kalkingsbehov etter grøfting, altså når den øverste meteren av jordprofilen har blitt blandet inn i topplagsmassene. Dette indikerer at det finnes områder der en kommer ned i syredannende masser innen normal grøftedybde på 1 meter. Det er i tillegg registrert at noen gårdbrukere aldri har støtt på problemer med surt jordsmonn etter grøfting, selv om det har vært registrert jordsmonn med opphavsmateriale alunskifer i området.

Ut fra utførte undersøkelser, er det mye som tyder på at massens farge gir klare indikasjoner på om materialet er syredannende eller ikke. Det er observert at rødsvart jord ikke har syredannende potensiale, mens materiale med mørke farger som beskrevet i kapittel 1.3.1 «Hypersulfidiske materialer», avgjort har kjemiske egenskaper som indikerer syredannende egenskaper. Aluminiums løselighet er svært pH-avhengig, og potensielt giftige mengder av oppløst aluminium er vanlig i sulfidholdige masser (ASS) hvor dreneringsvann har en pH verdi på under 5. Surhet generert fra sulfidholdige masser (ASS) kan også føre til korrosjon av betong og stål, som kan føre til betydelige økonomiske tap.

Tabell 1 oppsummerer verdensdistribusjon av potensielle og faktiske områder med sulfidholdige løsmasser [15].

Tabell 1. Verdensdistribusjon og utvidelse av potensielle og faktiske områder med sur sulfatjord.

Region	Areal million ha.
Afrika	4,5
Midtøsten Asia	6,5
Australia	3,0
Latin Amerika	2,8
Nord Amerika	0,1
Europa	0,2

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av  potensiale for  syredannelse og risiko  for utlekking av  tungmetaller fra svarte  morenemasser i Stange  og Løten</b>	<b>Side: 10 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

<b>Totalt</b>	<b>17,1</b>
---------------	-------------

Mange av områdene med sulfidjord befinner seg i tropiske og sub-tropiske landområder i Sørøst-Asia, Vest-Afrika, Australia og Sør-Amerika. Sulfidjord er i mange tilfeller funnet i våtmarksområder og mangrove sumper, og som sedimenter dannet i brakkvann.

I Norge har en hovedsakelig studert syredannelse av materiale fra alunskifer som bergart, mens det er langt mindre kunnskap om syredannelse fra løsmasser og jordsmonn dominert av alunskifer som opphavsmateriale. Sulfidholdige løsmasser og undergrunnsmasser i jordsmonn er imidlertid beskrevet i jordfaglig litteratur. Sulfidholdige løsmasser er kjent fra mange områder i verden, bl.a. fra Sverige som gytjeleirer. Dannelsen av disse leirene er den mest typiske forekomsten av sulfidholdig jordsmonn, nemlig avsetning i brakkvannmiljø.

Nøkkelbegrepet i jordfaglig litteratur er sulfidiske materialer (Sulfidic materials). De ledende klassifikasjonssystemene for jordsmonn, Soil Taxonomy [27] og World Reference Base for Soil Resources (WRB) [26], bruker litt ulik terminologi, men beskriver egenskapene til sulfidiske materiale og sure jordsjikt med sulfatanrikning på samme måte. I denne rapporten tar vi utgangspunkt i definisjonene og terminologien som er angitt i WRB [26]. I dette systemet brukes begrepet sulfidiske materialer, men det er videre delt inn i hyposulfidiske materialer og hypersulfidiske materialer.

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> Sørli-Åkersvika	<b>Vurdering av potensiale for syredannelse og risiko for utlekking av tungmetaller fra svarte morenemasser i Stange og Løten</b>	<b>Side: 11 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
--	---	--



Figur 1. Svart kompakt morenemateriale med høyt svovelinnhold funnet under brunt jordsmonn (Foto: Torstein Starkloff).

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av</b> <b>potensiale for</b> <b>syredannelse og risiko</b> <b>for utlekking av</b> <b>tungmetaller fra svarte</b> <b>morenemasser i Stange</b> <b>og Løten</b>	<b>Side: 12 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

### 3.3.1 Hypersulfidisk materiale

Hypersulfidisk materiale kan forårsake alvorlig forsurening som følge av oksidasjon av uorganiske sulfidiske forbindelser som finnes i det. Det har en positiv netto surhet ved hjelp av syre-base-tilnærminger (ABA), som betyr at materialet er syredannende. Hypersulfidisk materiale er konseptuelt det samme som sulfidisk materiale definert i WRB 2006 [16], og er også kjent som "potensiell sur sulfatjord". Vi finner at denne definisjonen samsvarer med norsk forståelse av sterkt syredannende materiale.

Diagnostiske kriterier:

1.  $\geq 0,01\%$  uorganisk sulfid S (tørr masse); og
2.  $\text{pH} \geq 4$  som faller til  $\text{pH} < 4$  når et 2-10 mm tykt lag er inkubert aerobt ved feltkapasitet til:
  - a.  $\text{pH}$ -fall er  $\geq 0,5$   $\text{pH}$ -enheter; eller
  - b. Etter  $\geq 8$  uker, reduksjon i  $\text{pH}$  er  $< 0,1$   $\text{pH}$ -enheter over en periode  $\geq 14$  dager; eller
  - c. Etter  $\geq 8$  uker, begynner  $\text{pH}$  å øke.

### Feltidentifikasjon

Hypersulfidisk materiale er temporært eller permanent vannmettet eller i en form av mer eller mindre permanent anaerobe forhold. Slikt materiale har Munsell hue (spektralfarge) N, 5Y, 5GY, 5BG, eller 5G, verdi (lyshet) 2,3 eller 4 og chroma (fargeintensitet) 1 eller lavere i fuktig tilstand. Når en forstyrrer jorda, vil en ofte kunne kjenne lukt av hydrogendisulfid (råtne egg), og luktutviklingen vil kunne bli sterkere ved tilsetning av en dråpe 1M HCl.

Som hurtigtest kan en bruke hydrogenperoksid ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Indikasjon på hypersulfidisk materiale kan oppnås med 10 g prøve tilsatt 50 ml 30 %  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Dersom  $\text{pH}$  dropper til  $\leq 2,5$  er det en indikasjon, men ikke et sikkert diagnostisk tegn på hypersulfidisk materiale. Det er inkubasjonstesten som er diagnostisk. Hydrogenperoksid er et kraftig oksidasjonsmiddel og denne testen kan utvikle mye varme og skummende egenskaper når det er høyt innhold av organisk materiale i prøven.

Hypersulfidisk materiale vil ved oksidasjon kunne danne et «Thionic» jordsjikt med anrikning av sulfat (se 1.3.3).

### 3.3.2 Hyposulfidisk materiale

Hyposulfidisk materiale er et sulfidisk materiale som ikke kan forårsake alvorlig forsurening som følge av oksidasjon av de uorganiske sulfidiske forbindelsene som finnes i det. Selv om oksidasjon ikke fører til dannelse av sur sulfatjord, kan likevel hyposulfidisk materiale utgjøre en miljørisiko på grunn av prosesser knyttet til uorganiske sulfider. Hyposulfidisk materiale har en selvnøytraliserende kapasitet, vanligvis på grunn av tilstedeværelsen av kalsiumkarbonat, det vil si den har en null eller negativ netto surhet ved hjelp av ABA tilnærminger. Syredannelse i slike materialer vil føre til at det dannes gips og en vil få nøytralt utlekkingsvann. I utlekkingsvann vil kalsium og sulfat være dominerende ioner, men en vil kunne påvise metaller som løses ut under nøytrale til svakt alkaliske forhold.

Egenskaper tilknyttet hyposulfidisk materiale:

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av  potensiale for  syredannelse og risiko  for utlekking av  tungmetaller fra svarte  morenemasser i Stange  og Løten</b>	<b>Side: 13 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

1.  $\geq 0,01\%$  uorganisk sulfid S (tørr masse); og
2. Består ikke av hypersulfidiske materialer.

En bruker samme type inkubasjonstest som for hypersulfidisk materiale, og mangel på pH-senkning indikerer da hyposulfidisk materiale. I felt er de diagnostiske kriteriene for alle typer sulfidiske materialer like. Hurtigtesten med hydrogenperoksid kan være til nytte, men det er inkubasjonstesten som gir sikker identifikasjon. Hyposulfidisk materiale gir ikke så sterk syredannelse at det ved drenering og oksidasjon dannes et «Thionic» jordsjikt (jfr. 1.3.3).

### 3.3.3 Thionic jordsjikt

#### Generell beskrivelse

Et thionic jordsjikt (fra gresk theion, svovel) er et ekstremt surt undergrunns jordsjikt der svovelsyre er dannet ved oksidasjon av sulfider.

#### Diagnostiske kriterier:

Et thionic jordsjikt har:

1.  $\text{pH} < 4$  (1:1 jord:vann); og
2. Ett eller flere av følgende:
  - a. Fargeflekker eller belegg med utfellinger av jern- eller aluminiumsulfater eller hydroxysulfat mineraler; eller
  - b. Ligger direkte oppå sulfidisk materiale; eller
  - c.  $\geq 0,05\%$  (vekt) vannløselig sulfat; og
3. Tykkelse  $\geq 15$  cm.

#### Felt identifikasjon

Thionic jordsjikt har generelt blekgul jarositt eller gulbrun schwertmannitt fargeflekker eller belegg. Jordreaksjonen er ekstremt sur; pH i vann på 3,5 er ikke uvanlig. Mens slike jordsjikt for det meste er assosiert med sulfidiske brakkvannssedimenter og grunne marine avsetninger, kan thionic jordsjikt også utvikles i innlandet i sulfidiske materialer som forekommer enten i naturlige avsetninger eller i slagg eller annet avfall fra gruvedrift.

#### Øvrige egenskaper

Thionic jordsjikt inneholder jern- eller aluminiumsulfater eller hydroxysulfat mineraler inkludert jarositt, natrojarositt, schwertmannitt, sideronatitt og tamarugite. Thionic jordsjikt består av organisk eller mineralsk materiale.

Ut fra denne gjennomgangen av beskrivelsen av sulfidholdige materialer i de to ledende jordklassifiseringssystemene, synes det klart at det finnes kriterier for beskrivelse av jordmasser og løsmasser som er potensielt syredannende. I kompakte svarte morenemasser med

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av  potensiale for  syredannelse og risiko  for utlekking av  tungmetaller fra svarte  morenemasser i Stange  og Løten</b>	<b>Side: 14 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

opphavsmateriale alunskifer (figur 1) er noe av usikkerheten i hvilken grad oksygen trenger inn i så kompakte masser, slik at det faktisk skjer oksidasjon av sulfider. Vi har konferert med kollegaer i NIBIO, som har gjennomført jordsmonnskartlegging i alunskiferområdene, om de har klassifisert noen jordmaterialer som sulfidiske materialer eller hypersulfidiske materialer eller om de har beskrevet noen jordsjikt som Thionic jordsjikt. Deres svar har vært at materialene i dette området ikke har vært testet i forhold til slike egenskaper, selv om de også har fått tilbakemelding fra gårdbrukere i området om surt grøttefyll med kalkingsbehov. De har identifisert alunskiferholdig materiale med lav basemetningsgrad, men ikke med kritisk lav pH. Det er imidlertid kartlagt jordtyper der det er beskrevet funn av gråblå eller blåsvarte kompakte lag av alunskifermorene innen 1 m dybde. I en av jordtypene som er beskrevet i Mjøsområdet, opptrer det blåsvarte laget rett under ploglaget. Slikt jordsmonn ble også funnet langt E6 traseen der slikt undergrunnsmateriale ble observert under et tynt torvlag. Slike gråblå eller blåsvarte lag er indikasjon på sulfidisk materiale ut fra jordklassifikasjonssystemene, og det er nok når slikt materiale blir brakt til overflata ved grøfting at gårdbrukere observerer fall i pH og det oppstår kalkingsbehov. Det mest vanlige er imidlertid at jordsjiktene i den øverste meteren er gjennomforvitret, slik at alt svovel for lengst er oksidert. I jordprofilen på Skjerden som ble undersøkt av NIBIO [22, 37] var f.eks. alt svovel oksidert og i betydelig grad også vasket ut i alle undersøkte jordsjikt ned til 1 m dybde.

### 3.3.4 Potensielt syredannende løsmasser

På engelsk omtales dette som Potential Acid Sulphate Soils (PASS). Denne typen jord inneholder jernsulfider (vanligvis svovelkis), som har potensial til å produsere svovelsyre hvis de er drenert eller gravd ut. De er vanligvis stabile under anoksiske og vannmettede forhold [17].

En av de karakteristikkene til PASS er tilstedeværelsen av relativt høye konsentrasjoner av redusert uorganisk svovel (Reduced Inorganic Sulfur (RIS). Former av redusert uorganisk svovel inkluderer svovelkis ( $\text{FeS}_2$ ), jern monosulfider ( $\text{FeS}$ ), greigitt ( $\text{Fe}_3\text{S}_4$ ) og elementært svovel (zerovalent sulfur)  $[\text{S}(0)]$ . Faktisk sur sulfatjord har allerede gjennomgått oksidasjon og produsert syre, noe som resulterer i en jord med  $\text{pH} < 4$ . Det oppstår da også ofte gule og/eller røde marmoreringer i jordprofilen. De gul-brune flekkene er mineralet jarositt  $[\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6]$  og de oransje fargene er andre jernoksid-mineraler. De oppstår når omfanget av svovelsyre overskrider bufningskapasiteten av sedimenter ( $\text{AP} > \text{NP}$ ). Derfor er en av de fremste ASS håndteringsstrategiene å identifisere PASS-materialer for å unngå eksponering, oksidasjon og ytterligere miljøproblemer, og deretter å utvikle hensiktsmessige forvaltningsmuligheter for jorda. Man prøver altså å identifisere jordtyper med potensiale for syredannelse (PASS) før de får muligheten til å danne syre (ASS). Definisjonene av PASS er noenlunde sammenfallende med hypersulfidisk materiale.

### 3.3.5 Tungmetaller i jord

Tungmetaller i jordsmonnet stammer enten fra opphavsmaterialet eller fra en rekke eksterne forurensende kilder. Metallinnholdet i jord er blant annet et resultat av avsetningsforhold under dannelsen av løsmassene. Et nært forhold mellom metallinnhold i opphavsmateriale og jord som har utviklet seg in situ grunnet forvitring av underliggende berg har blitt observert i en rekke studier [18]. Gjennomsnittlig konsentrasjon av tungmetaller i noen bergarter er gitt i tabell 2. Nivået av

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av potensiale for syredannelse og risiko for utlekking av tungmetaller fra svarte morenemasser i Stange og Løten</b>	<b>Side: 15 av 71 Dok.nr: UEH-55-A-00013 Rev.: 00E Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

tungmetaller og arsen er generelt høyere i skiferbergarter enn andre bergarter (Tabell 2), og dette kan ha konsekvenser for jorda avsatt på områder med slike bergarter (Tabell 3). Nivået av tungmetallene nikkell, krom og sink er imidlertid minst like høyt i mørke vulkanske bergarter som basalt og gabbro som i norske skiferbergarter [19].

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av potensiale for syredannelse og risiko for utlekking av tungmetaller fra svarte morenemasser i Stange og Løten</b>	<b>Side: 16 av 71 Dok.nr: UEH-55-A-00013 Rev.: 00E Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

Tabell 2. Gjennomsnitts konsentrasjoner av tungmetaller i utvalgte bergarter.

Grunnstoff	Basalt	Granitt	Kalkstein	Sandstein	Nor. Skifer <sup>a</sup>	WSA <sup>b</sup>	Øvre kontinental-skorpe <sup>c</sup>
	Vulkanske bergarter (mg/kg)		Sedimentære bergarter (mg/kg)				
As	1.5	1.5	1	1	13	13	2
Cd	0.13	0.09	0.03	0.05	0.25	0.3	0.102
Cr	200	4	11	35	100	90	35
Cu	90	13	5.5	30	45	45	14
Ni	150	0.5	7	9	70	50	19
Pb	3	24	5.7	10	22	31	17
Zn	100	52	20	30	100	95	14

<sup>a</sup> Andersson, Eggen [19]

<sup>b</sup> World shale average, Turekian and Wedepohl [20]

<sup>c</sup> Rudnick and Gao [21]



<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av potensiale for syredannelse og risiko for utlekking av tungmetaller fra svarte morenemasser i Stange og Løten</b>	<b>Side: 17 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

Tabell 3. Konsentrasjoner av tungmetaller i jordsmonn med norsk alunskifer som opphavsmateriale, sammenlignet med de som er utviklet fra annet geologisk materiale [18]

Metaller	Oppsluttet med kongevann (Aqua regia)		Ekstrahert med NH <sub>4</sub> OAc-EDTA	
	Gjennomsnitt	S. avvik	Gjennomsnitt	S. avvik
Jordsmonn med norsk alunskifer som opphavsmateriale (mg/kg)				
Cd (N=4)	2,8	0,3	2,0	0,1
Cu	97,0	16,8	16,3	1,9
Ni	114,8	22,8	27,0	3,2
Pb	29,9	0,16	4,3	0,9
Zn	217,3	0,9	33,5	10,6
Jordsmonn utviklet fra andre geologiske opphavsmateriale (mg/kg)				
Cd (N=4)	0,21	0,05	0,12	0,03
Cu	16,6	5,7	4,1	2,0
Ni	20,1	10,3	1,4	1,0
Pb	20,2	4,4	4,8	1,8
Zn	80,7	33,1	4,7	4,0

### 3.3.6 Naturlig forhøyede bakgrunnskonsentrasjoner

Jordsmonnet i Stange, Hamar og deler av Ringsaker ble på begynnelsen av 1990-tallet kartlagt av NIBIO. Det ble gjennomført ny kartlegging og ajourføring av jordsmonnskartene i området med feltarbeid i 2013-2015. RambøllSweco har sammen med NIBIO gjennomgått dette materialet med hensyn på å identifisere jordtyper som er utviklet i opphavsmateriale av svart leirskifer. Den karakteristiske svarte fargen gjør at det er lett å skille ut disse jordtypene i felt, og slik avgrensning utbredelsen i forhold til jordtyper med lignende tekstur som er farget brune og gråbrune [22].

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av potensiale for syredannelse og risiko for utlekking av tungmetaller fra svarte morenemasser i Stange og Løten	Side:	18 av 71
		Dok.nr:	UEH-55-A-00013
		Rev.:	00E
		Dato	26.04.2021

RambøllSweco og NIBIOs undersøkelse viser at alunskiferjordsmonnet har gjennomgående forhøyede konsentrasjoner av arsen, kadmium, nikkel, molybden og kobber i forhold til annen jord. Svartskiferjordsmonnet har tilsvarende anrikning for arsen, nikkel og krom, men i mye lavere konsentrasjoner enn for førstnevnte [22]. Tabell 4 viser variasjonsområde for konsentrasjoner av metaller i jord fra Stange fra NIBIOs pågående prosjekt « Alunskiferjord – Overføring av tungmetaller og radionuklider til mat» [22].

Tabell 4: Konsentrasjoner (variasjonsområde) av metaller i jord (mg/kg TS) klassifisert som alunskiferjord, svartskiferjord og referansejord (prøvetaking utført av NIBIO).

	As (Mg/kg)	Cd (Mg/kg)	Cr (Mg/kg)	Cu (Mg/kg)	Mo (Mg/kg)	Ni (Mg/kg)	Pb (Mg/kg)	Zn (Mg/kg)
<b>Alunskiferjord</b>	20-80	1-3,8	37-91	31-100	28-72	46-130	8-36	45-190
<b>Svartskiferjord</b>	9-22	0,2-1,5	40-160	28-80	1-16	36-120	10-28	38-120
<b>Annen jord</b>	3-15	0,1-0,8	25-75	15-40	1-6	26-48	8-40	60-100

Massene som er undersøkt av RambøllSweco på strekningen Sørli - Åkersvika inneholder forhøyede konsentrasjoner av arsen, kobber, nikkel, sink og krom. De forhøyede konsentrasjonene av tungmetaller, som er påvist langs den planlagte banetraseen, viser seg å være gjennomgående i de fleste analyserte prøvene som består av antatte stedegne masser. Basert på dette konkluderer RambøllSweco med at de stedegne massene langs strekningen kan inneholde naturlig forhøyede bakgrunnskonsentrasjoner av arsen, kobber, nikkel, sink og krom. Massene er dermed, i forbindelse med disponering innenfor tiltaksområdet, ikke definert som forurensede med hensyn på disse stoffene i henhold til kapittel 2 i forurensningsforskriften, § 2-3 [1]. Skal massene deponeres ved mottak må de derimot deponeres som forurensede masser iht. påvist forurensningsgrad.

### 3.4 Potensielt syredannende bergarter

Opphavet til de potensielt syredannende løsmassene i Stange kommune er fra den lokale berggrunnen. Berggrunnen i området består av sedimentære bergarter som ble avsatt fra kambrium-silur (ca. 541- 417 ma) og er en del av den nordre delen av Oslofeltet. Den sedimentære lagrekken består av vekslende lag med skifer, kalkstein og sandstein. Blant skiferne forekommer det svarte leirskifre fra Alunskiferformasjonen (etasje 2-3a), Hagaberg- og Galgebergledet (etasje 3b $\alpha$  og 3b $\beta$ ). Bergartenes syredannende potensiale er relatert til sulfidinnholdet. Sulfidene i bergarten forvitrer lett i kontakt med vann og oksygen.

Den harde bunnmorenen som forekommer i Mjøsområdet og Hedmarkområdet er stedvis svart og kan inneholde biter av svartskifer fra underliggende berggrunn. Disse massene er svært komprimerte og har liten hydraulisk ledningsevne. Morenen er rik på finstoff og har høyt leirinnhold. Terrenget i dette området er flatt og domineres av jordbruksarealer med få blotninger av berggrunn. Jordprøver fra området viser at påvirkning av svartskifer og potensialet for

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av  potensiale for  syredannelse og risiko  for utlekking av  tungmetaller fra svarte  morenemasser i Stange  og Løten</b>	<b>Side: 19 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

syredannelse er størst nær berggrunnen, mens det avtar oppover i profilet. Hovedsakelig er de to øverste meterne i profilet ikke syredannende. Dette skyldes at forvitring, kjemiske prosesser, oksidasjon og utvasking finner i størst grad sted i akkurat dette intervallet (0-2 meter). I tillegg spiller uttynningseffekten (andel av syredannende bergmasser i opphavsmaterialet) inn som følge av transport fra isbreen. Løsmassene i området er videre utdypet i tidligere rapporter utarbeidet av RambøllSweco [2] og RambøllSweco [4]. Problemstillingene er også drøftet av Økland et al. [37].

NIBIOs og RambøllSweco jordsmonnsundersøkelser i Stange viser at morenejordsmonnet i betydelig grad er påvirket av alunskifer og svartskifer som opphavsmateriale [3]. Kjemiske analyser av jordsmonnet viser at det er klare forskjeller mellom metallkonsentrasjoner i disse to typene jordsmonn. Alunskiferjordsmonnet har forhøyede konsentrasjoner av As, Cd, Ni, Mo og Cu. Svartskiferjordsmonnet har noe anrikning av As, Ni og Cr, men i mye lavere konsentrasjoner enn for førstnevnte.

Avrenning fra syredannende masser kan blant annet forårsake forsurening av vassdrag, spredning av metaller, skade på konstruksjoner og betong, matdyrking og planter. Den lokale bufferkapasiteten til massene er avgjørende for hvordan avrenningen påvirker omgivelsene. Der hvor det er naturlig kalkstein i berggrunnen/løsmassene har dette en nøytraliserende effekt på avrenningen. Dette er videre utdypet i RambøllSweco [5].

### 3.5 Syredannende løsmasser

Forurensningsforskriften kapittel 2 [23] fastsetter normverdier for en rekke ulike stoffer. Normverdiene er grenseverdier for hvilken konsentrasjon et stoff kan ha uten at det foreligger risiko for verken helse eller miljø, og de definerer dermed hva som er å regne som forurenset grunn. Videre har Miljødirektoratet i veileder TA-2553/2009 "Helsebaserte tilstandsklasser for forurenset grunn" [24], definert fem tilstandsklasser for forurenset grunn basert på forurensningsgraden, se tabell 5. Tilstandsklassene rangerer tilstanden for massene fra "meget god" til "svært dårlig". Den øvre grensen for tilstandsklasse 1 og 5 styres av henholdsvis av normverdiene og nedre grenseverdi for når stoffer og forbindelser regnes som farlig avfall. Tilstandsklassene er bygget på en risikovurdering av helse og gjenspeiler virkningen på mennesket. De ulike klassene setter grenser for hvilke nivåer som ut fra en helsevurdering kan aksepteres av miljøgifter i jord ved ulik arealbruk.

De helsebaserte tilstandsklassene for forurenset grunn er utviklet ut fra human eksponering av jord, og ikke relevant ved flytting og oppgraving av alunskiferjordsmonn og morenemasser med svart- og alunskifer som opphavsmateriale. Svartskiferholdig masser kan inneholde sulfidminerale, som igjen kan inneholde en rekke tungmetaller. Tungmetallene er lite løselige og blir ikke frigjort med mindre sulfidene gjennomgår oksidasjon som en følge av kontakt med luft og vann. Sulfidoksidasjon kan forårsake avrenning med lav pH, som igjen kan øke løseligheten til metallene som frigjøres. Det er derfor viktig å gjøre en vurdering av potensialet for sur avrenning når en kartlegger svartskiferholdige alunjordmonn og morenemasser som kan inneholde sulfidminerale.

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av potensiale for syredannelse og risiko for utlekking av tungmetaller fra svarte morenemasser i Stange og Løten</b>	<b>Side: 20 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

Tabell 5: Helsebaserte tilstandsklasser som gitt i tabell 1 i Miljødirektoratets veileder TA-2553/2009 [3].

Tilstandsklasse	1	2	3	4	5
Beskrivelse av tilstand	Meget god	God	Moderat	Dårlig	Svært dårlig
Øvre grense styres av	Normverdi	Helsebasert akseptkriterie	Helsebasert akseptkriterie	Helsebasert akseptkriterie	Nedre grense farlig avfall

Løsmasseforekomstene i Mjøsområdet er et resultat av isbreenes bevegelser under siste istid. Morenejorden som forekommer i området har sitt opphav i bergartene i regionen.

Morenejorden inneholder materiale fra kort- og langtransporterte masser. Korttransporterte masser er i hovedsak fra underliggende leirskifere eller fra kildeområder i nærheten.

Langtransporterte masser gir en fortynningseffekt på de korttransporterte massene, dette vises ved økt innhold av blant annet kvarts som det er mye av i bergartene i Hedmarksgruppen.

Bunnmorenen i Mjøsregionen (går også under navnet «Mjøsmorene» eller «Mjøsleire») er kjent for å være svært hard med et høyt leirinnhold. Morenen er stedvis svart i fargen og kan inneholde biter av svartskifer fra underliggende berggrunn. Det er derfor grunn til å anta at morenemassene stedvis kan ha forhøyet innhold av svovel og metaller, og dermed inneha mange av de samme egenskapene som svartskifer med hensyn på potensiell syredannelse og utlekking.

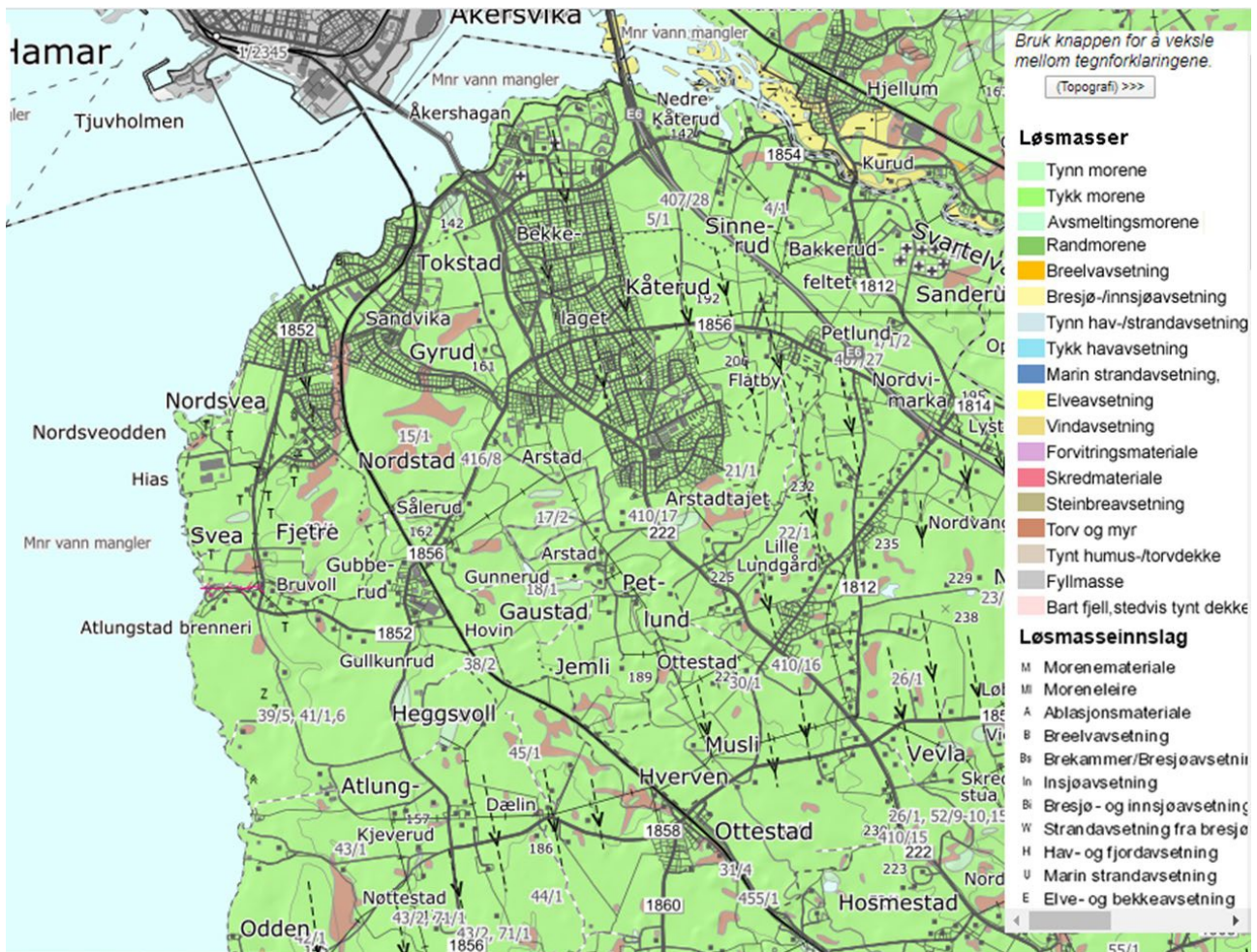
### 3.6 Geologi og kvartærgeologi

Området Sørli-Åkersvika ligger i Mjøsområdet, i nordre del av Oslofeltet, Berggrunnen i området består av sedimentære bergarter som ble avsatt fra kambrium til silur (ca. 541 – 400 millioner år siden). Den sedimentære lagrekken består av vekslende lag med skifer, kalkstein og sandstein. Lagene er som regel foldet og skjøvet over hverandre som resultat av den kaledonske fjellkjedefoldingen (ca. 425 millioner år siden). Dette medfører at de forskjellige bergartsformasjonene kan ha store variasjoner i tykkelse. Grunnet svært få bergblotninger i Stange kommune er det vanskelig å kartlegge geologien i felt uten kjerneboringer eller større utgravninger.

Ut fra NGUs løsmassekartlegging er det tykt morenemateriale som dominerer i Stange med torv og myrdannelse i forsenkningene (Figur 2). På løsmassekartet er det markert en rekke parallelle furer i landskapet, som indikerer brebevegelse i nord-sørretning. I stein- og blokkfraksjonen finner en høy andel av harde bergarter fra Hedmarksgruppen (tidligere kjent som Sparagmittformasjonen). Berggrunnen i Tokstad-Gyrud-Gaustad området, som omfattes av denne undersøkelsen, er av NGU kartlagt som dominert av Steinformasjonen, som består av underordovicisk orthocerkalstein.

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av potensiale for syredannelse og risiko for utlekking av tungmetaller fra svarte morenemasser i Stange og Løten</b>	<b>Side: 21 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

Det er stedvis innfoldninger av kambro-ordoviciske skifre, didymograptus-skifere og ogygiocarisskifere. Tunger med eldre bergarter går inn mot undersøkelsesområdet og i denne lagrekken er det bl.a. alunskifere (figur 3).



Figur 2. Løsmassekart som viser Stangeområdet (www.ngu.no).

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av potensiale for syredannelse og risiko for utlekking av tungmetaller fra svarte morenemasser i Stange og Løten</b>	<b>Side: 22 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--



Figur 3. Berggrunnskart over undersøkt område i Stange, grønt er aluskerformasjonen, mellomblå er Steinformasjonen (Orthocerkalkstein) og lys blå er Bjørgeformasjonen (Didymograptusskifer, øvre, og ogygiocarisskifer) ([www.ngu.no](http://www.ngu.no)).

Ved å sammenholde kart over berggrunnen og løsmasser har det utvilsomt blitt transportert betydelige mengder bergartsmateriale nordfra. Dette er blitt skjøvet inn i området og blitt iblandet materiale av lokal berggrunn. Når det gjelder svarte morenelag, er det spørsmål om hvor mye av dette som kan spores til alusker og hvor mye som representerer innblanding av materiale fra andre bergarter. For å tolke dette kan en kombinere kjemiske analyser av morenemateriale (kap. 4.5) med tolkning av analyser gjennomført med røntgen diffraktometri (XRD), (kap. 4.4).

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av</b> <b>potensiale for</b> <b>syredannelse og risiko</b> <b>for utlekking av</b> <b>tungmetaller fra svarte</b> <b>morenemasser i Stange</b> <b>og Løten</b>	<b>Side:</b> 23 av 71 <b>Dok.nr:</b> UEH-55-A-00013 <b>Rev.:</b> 00E <b>Dato</b> 26.04.2021
---	---	--

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av  potensiale for  syredannelse og risiko  for utlekking av  tungmetaller fra svarte  morenemasser i Stange  og Løten</b>	<b>Side: 24 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

## **4 BEGRUNNELSE FOR VALG AV UNDERSØKELSESMETODIKK**

### **4.1 Alunskifer og løsmasser av alunskiferrikt opphavsmateriale**

I Norge har en hovedsakelig studert syredannelse fra alunskifermateriale som bergart [38], mens det er langt mindre kunnskap om syredannelse fra løsmasser og jordsmonn dominert av alunskifer som opphavsmateriale. Sulfidholdige løsmasser og undergrunnsmasser i jordsmonn er imidlertid beskrevet i jordfaglig litteratur, men det er ikke funnet noen publiserte studier som omhandler løsmasser og jordsmonn med opphavsmateriale alunskifer.

Jernbaneprosjektet, IC Sørli-Åkersvika, omfatter terrenginngrep, som vil etablere dype skjæringer gjennom jordbruksområdene i Tokstad-Gyrud-Nordstad området. Boringer har indikert at en kom ned i svarte morenelag, som ut fra kjemisk karakterisering så ut til å kunne være syredannende. Fordi en nødvendigvis vil måtte flytte på massene i forbindelse med anleggsarbeidet og utgraving av morenemassene i jernbanetraseen, var det viktig for Bane NOR å få klarlagt om svarte masser representerte syredannende materiale og måtte deponeres i henhold til forskrift for håndtering av slikt materiale. I tillegg vil slike dype skjæringer gi endret grunnvannsnivå. Det vil kunne potensielt føre til at også dypere jordlag og løsmasser vil kunne få tilgang til oksygen, og en ser for seg muligheten for at oksidasjon av sulfidholdig materiale kan skje og medføre risiko for dannelse av sur avrenning med betydelig utlekking av tungmetaller.

### **4.2 Syredannende løsmasser og jordsmonn**

Med utgangspunkt i feltundersøkelser med sjakting ned til berggrunnen eller minst ned til funn av svarte morenelag, vil en med kjemiske undersøkelser av jordprøver kunne identifisere jordlag som har varierende grad av sulfider og tungmetaller. Ut fra dette materialet kan en velge ut prøvemateriale for videre testing for å avklare om en kan finne materiale som kan karakteriseres som syredannende. Som kriterium for syredannende materiale er det lagt til grunn definisjonen av hypersulfidisk materiale fra WRB 2014 [26].

For å avklare om det reelt foreligger risiko for utlekking av tungmetaller fra svarte morenemasser, er det nødvendig å gjennomføre en form for standardisert utlekkingstest tilpasset egenskapene til det kompakte morenematerialet. Ut fra en slik test vil det være mulig å se på sammenhenger mellom totalkonsentrasjoner av tungmetaller og i hvilken grad slike stoffer er løselige og kan lekke ut til bekker og annet vannmiljø når masser blir gravd opp og flyttet fra opprinnelig lokalisering.



<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av  potensiale for  syredannelse og risiko  for utlekking av  tungmetaller fra svarte  morenemasser i Stange  og Løten</b>	<b>Side: 25 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

## 5 PRØVEMATERIALE OG METODE

### 5.1 Feltmetodikk

Prøvepunktene ble valgt ut på bakgrunn av funn ved tidligere utførte ODEX-boringer og analyser av prøvemateriale fra boringene. ODEX-prøvepunkter ble plukket ut på bakgrunn av foreliggende prøvemateriale fra naverboringer, totalsonderinger og hvor de dypeste skjæringene i linja er planlagt, samt på grunn av manglende informasjon om berggrunnsgeologi og terreng i området. Det ble benyttet en 25 og en 40 tonns beltegravemaskin til gravearbeidet. Gravearbeidene ble utført av Maskinanlegg AS.

Ved hvert prøvepunkt tok en først av ploglaget ned til grensen for B-sjiktet, på den flaten som en anså å være nødvendig for å legge ut hauger/ranker av undergrunnsmasser senere i anleggsfasen. Det ble så gravd et jordprofil ned til ca. 2 meter dybde, som ble beskrevet i henhold til retningslinjer for beskrivelse av jordprofil. Farge i alle jordlag, med ulike fargenyanser, ble beskrevet ut fra Munsell Soil Color Book [25]. Etter at jordprofilbeskrivelsen og uttak av prøver i jordsmonnssjiktene var fullført, ble det gravd lagvis dypere ned i jordprofilet, og massene fra de ulike dybdene ble lagt ut i separate hauger ved siden av sjakten. Det ble gravd ned til berggrunnen eller så dypt en fant det forsvarlig å grave med gravemaskinen. Forsvarligheten ble vurdert ut fra massenes vanninnhold og tendens til å flyte ut, og føre til utrasing ned i gropa.

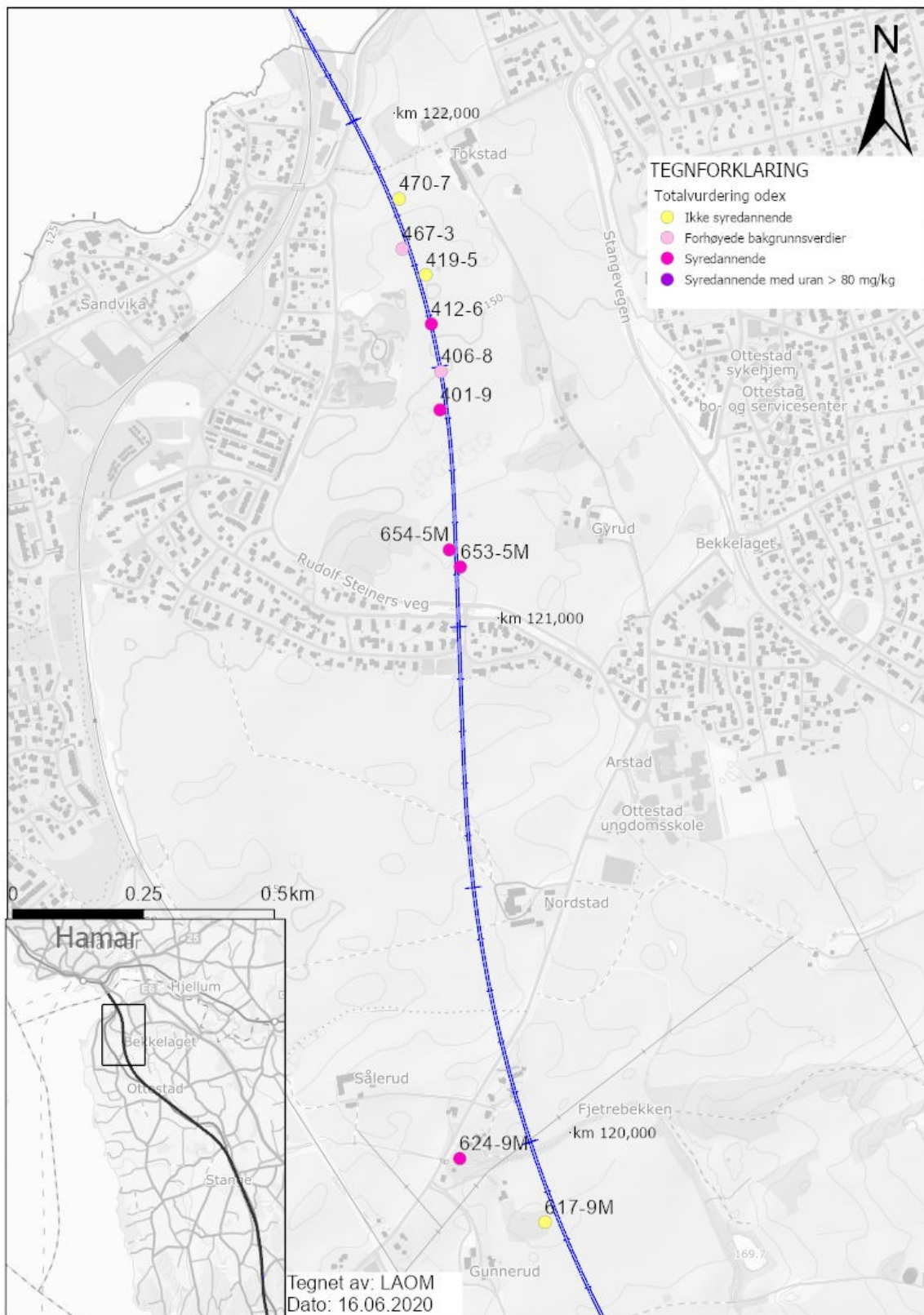
Når man avdekket den dypereleggende jorda ble det identifisert områder hvor det syntes å være gravd tidligere. Tegn på graving fra tidligere ble observert ved flere prøvepunkter, og identifisert som graving i forbindelse med vann/avløpsledning, vannledning eller drenering. For å gjøre undersøkelser av urørt lagstilling, flyttet man prøvepunktet unna sonen med tydelig blandede masser fra tidligere graving.

### 5.2 Utvalg av prøver og profilbeskrivelse

På bakgrunn av foreliggende prøvemateriale fra naverboringer, totalsonderinger, ODEX og hvor de dypeste skjæringene i linja er planlagt, ble det plukket ut tre punkter for utlekkingstest (Figur 4). Prøvene skulle representere materialer som i utgangspunktet var karakterisert som syredannende eller ikke syredannende, slik at en kunne validere om den foreløpige karakteriseringen var korrekt. Det ble i tillegg valgt ut to prøver; én fra Riksvei 3/25 og den andre fra Skjerden da disse ble utpekt som områder med alunskifer som opphavsmateriale. Prøven fra Skjerden ble tatt i skrånningen mot nord rett øst for jernbaneundergangen. Prøvestedet var lokalisert av NIBIO i forbindelse med tidligere prøvetaking, som viste svært sur jord med pH <3 på vegetasjonsfritt parti i veiskråningen, Denne prøven var ment å vise surt jordsmonn dannet ved oksidasjon av sulfidmateriale i alunskifer. Prøven fra RV3/RV 25 prosjektet representerte svart morenemateriale som lå direkte over alunskifer i Løten. Materialet var transportert til et masselager på Spangen i regi av Skanska. Prøvene ble tatt på ulike deler av toppflaten på masselageret (tabell 6).

Ved boringene i jernbaneprosjektet ble det boret én meter av gangen i løsmasser ned til berg. Løsmassene som ble blåst opp fra ODEX-røret ble samlet opp i en bøtte og prøvetatt. Røret ble deretter blåst rent før boringen fortsatte på neste meter ned i berget. Denne metoden gjorde det mulig å hente opp prøver som man med større sikkerhet kunne si stammet fra berggrunn.

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av</b> <b>potensiale for</b> <b>syredannelse og risiko</b> <b>for utlekking av</b> <b>tungmetaller fra svarte</b> <b>morenemasser i Stange</b> <b>og Løten</b>	<b>Side: 26 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--



<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av  potensiale for  syredannelse og risiko  for utlekking av  tungmetaller fra svarte  morenemasser i Stange  og Løten</b>	<b>Side: 28 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

Figur 4. Lokalisering av prøvepunkter for ODEX-boring og prøvegraving i Stange.

Tabell 6. Informasjon om prøver og prøvetakingsdybde.

Prøve	Dybde (m)
DSH401-1	4,5-5,5
DSH401-2	4,5-5,5
DSH401-3	4,5-5,5
DSH406-1	3,2-5,4
DSH406-2	3,2-5,4
DSH406-3	3,2-5,4
DSH617-1	3,3-5,7
DSH617-2	3,3-5,7
DSH617-3	3,3-5,7
Spangen-1	3<
Spangen-2	3<
Spangen-3	3<
Skjerden-1	3< under opprinnelig terrengoverflate
Skjerden-2	3< under opprinnelig terrengoverflate
Skjerden-3	3< under opprinnelig terrengoverflate

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av  potensiale for  syredannelse og risiko  for utlekking av  tungmetaller fra svarte  morenemasser i Stange  og Løten</b>	<b>Side: 29 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

### 5.2.1 Forenklet feltbeskrivelse av profil DSH401

Tabell 7 viser informasjon om jordsmonn fra DSH401.

Tabell 7. Informasjon om jordsmonnet.

Observasjon	Beskrivelse
Opphavsmateriale	Morenemateriale, trolig ablasjonsmorene over bunnmorene.
Naturlig dreneringsgrad	Moderat god.
Fuktighet	Fuktig i øverste meter, våt dypere enn 2 m.
Grunnvann	Ca. 2,5 m.
Stein og blokk i overflaten	Moderat stein- og blokkholdig (3-15 %), i nedre del av klassen (3-5 %).
Fjell i dagen	Ingen.
Oversvømmelse	Ingen.
Erosjon	Ingen.

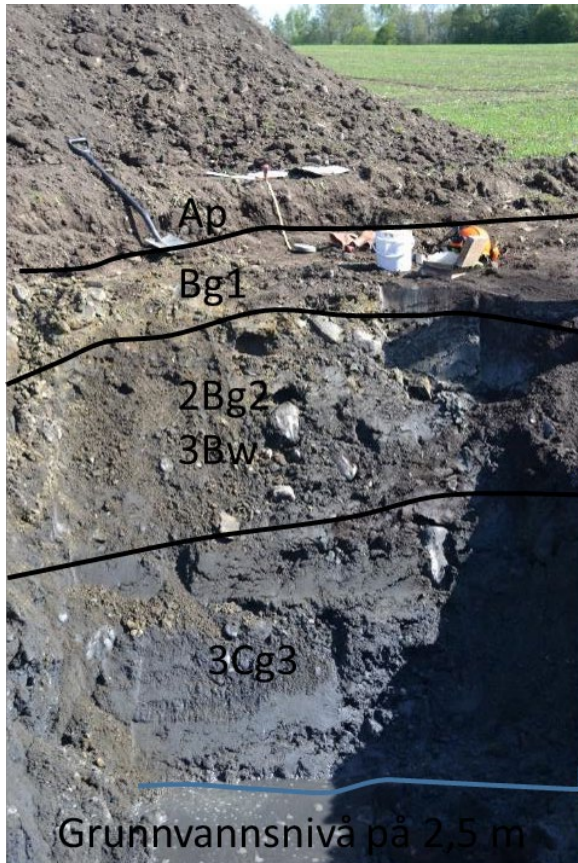
<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av potensiale for syredannelse og risiko for utlekking av tungmetaller fra svarte morenemasser i Stange og Løten</b>	<b>Side: 30 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

### Beskrivelse av ulike sjikt i profilet

Profilsnitt med inntegnede hovedsjikt og forenklet profilbeskrivelse er vist i Figur 5.

Massene under grunnvannsnivået var overmettet og fløt ut som en velling ned i gropa. Minst 20 m<sup>3</sup> raste ned i gropa under sjakting. På grunn av utrasingen, var det uforsvarlig å forsøke å grave dypere. Det svarte laget går åpenbart dypere enn gravemaskinen kom før det begynte å rase.

**Ap 0-50 cm:** Moldrik svært mørk gråbrun (10 YR 3/2), svakt grusholdig mellomleire med svært velutviklet struktur.



**Bg1 50-100 cm:** Mørk gråbrun svakt grusholdig mellomleire (2,5 Y 4/2) med mørk gulbrune fargeflekker (10 YR 4/6); svakt utviklet platestruktur.

**2Bg2 100-125 cm:** Mørk grå (10 YR 4/1) siltig mellomsand med mørk brune fargeflekker (7,5 YR 3/4); massiv.

**3Bw 125-140 cm:** Sterkt brun (7,5 YR 4/6) siltig mellomsand, sterkt forvitret materiale som forekommer som en kile.

**3Cg3 140-250 cm:** Svært mørk grå (7,5 YR 3/1) siltig mellomsand (blanding av lettleire og siltig finsand).

**3Cr 250-450 cm:** Svart (N 2,5/0) siltig mellomsand.

**4Cr2 450-550 cm:** Svart (N 2,5/0) lettleire (siltig mellomsand som går over i stiv leire); massiv; fast til ekstremt fast.

Figur 5. Vertikalsnitt av profil 401 med inntegnede sjiktgrenser for hovedsjikt (Foto: Trond Knapp Haraldsen)

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av</b> <b>potensiale for</b> <b>syredannelse og risiko</b> <b>for utlekking av</b> <b>tungmetaller fra svarte</b> <b>morenemasser i Stange</b> <b>og Løten</b>	<b>Side:</b> 31 av 71 <b>Dok.nr:</b> UEH-55-A-00013 <b>Rev.:</b> 00E <b>Dato</b> 26.04.2021
---	---	--

## 5.2.2 Forenklet feltbeskrivelse av profil DSH406

Tabell 8. Informasjon om jordsmonnet.

Observasjon	Beskrivelse
Opphavsmateriale	Morenemateriale, trolig ablasjonsmorene over bunmorene.
Humustype	Mold.
Naturlig dreneringsgrad	God.
Fuktighet	Fuktig i jordsmonnet.
Grunnvann	Ca. 3m.
Stein og blokk i overflaten	Stein- og blokkholdig (0,1-3 %).
Fjell i dagen	Ingen.
Oversvømmelse	Myrsøkk 50 m nedenfor profilet.
Erosjon	Ingen.

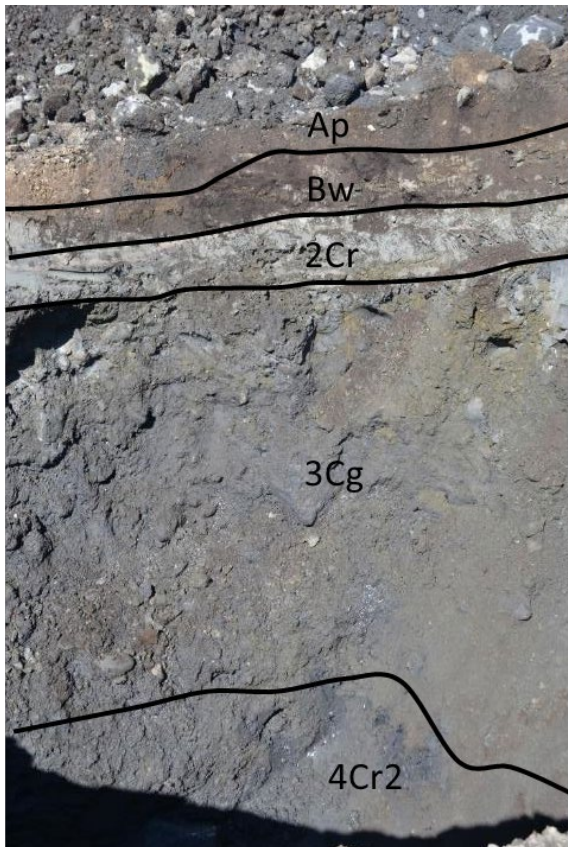
### Beskrivelse av ulike sjikt

Profilsnitt og forenklet profilbeskrivelse er vist i figur 6. Det svarte laget (4Cr2) går dypere enn gravemaskinen nådde. Det oppsto oversvømmelse i profilet etter at vann i nedgravd blokkstein strømmet ut i gropa. Vannmengden var betydelig, og fosset ut som en flombekk da leirmassen ga etter. Det ble gravd over en dreneringsgrøft i profilet, som ble reparert med et nytt dreneringsrør mellom bruddpunktene.

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av potensiale for syredannelse og risiko for utlekking av tungmetaller fra svarte morenemasser i Stange og Løten</b>	<b>Side: 32 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

**Ap1 0-40 cm:** Svært mørk gråbrun moldrik (10 YR 3/2) lettleire med velutviklet grynstruktur.

**Ap2 30-50 cm:** Rødsvart (2,5 YR 2,5/1) siltig mellomleire med klumper av svart (N 2,5/0) siltig mellomleire med nåler av jernsulfid, forvitrede mørk rødbrune partier (5 YR 3/4).



**Bw 40-100 cm:** Brun (7,5 YR 4/4) lettleire med soner av forvitret svart skifer (N 2,5/0) som harde klumper (stiv leire).

**2Cr 100-160 cm:** Mørk grå (2,5 Y 4/1) stiv leire; massiv, ingen fargeflekker, ingen sprekkesoner, svært plastisk (kan formes som modellerleire).

**3Cg 160-320 cm:** Mørk grå til svært mørk grå (7,5 YR 3/1) lettleire med brune (7,5 YR 4/4 og 7,5 YR 3/4) fargeflekker; forvitret stein og grus.

**4Cr2 320-540 cm:** Svart (N 2,5/0) moldrik lettleire/mellomleire; ekstremt fast; blokkrik med rundet stein og blokk; ingen spesiell lukt.

Figur 6. Vertikalsnitt av profil 406 med inntegnede sjiktgrenser for hovedsjikt (Foto: Trond Knapp Haraldsen)



<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av  potensiale for  syredannelse og risiko  for utlekking av  tungmetaller fra svarte  morenemasser i Stange  og Løten</b>	<b>Side: 33 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

### 5.2.3 Forenklet feltbeskrivelse av profil DSH617

Tabell 9. Informasjon om jordsmonnet.

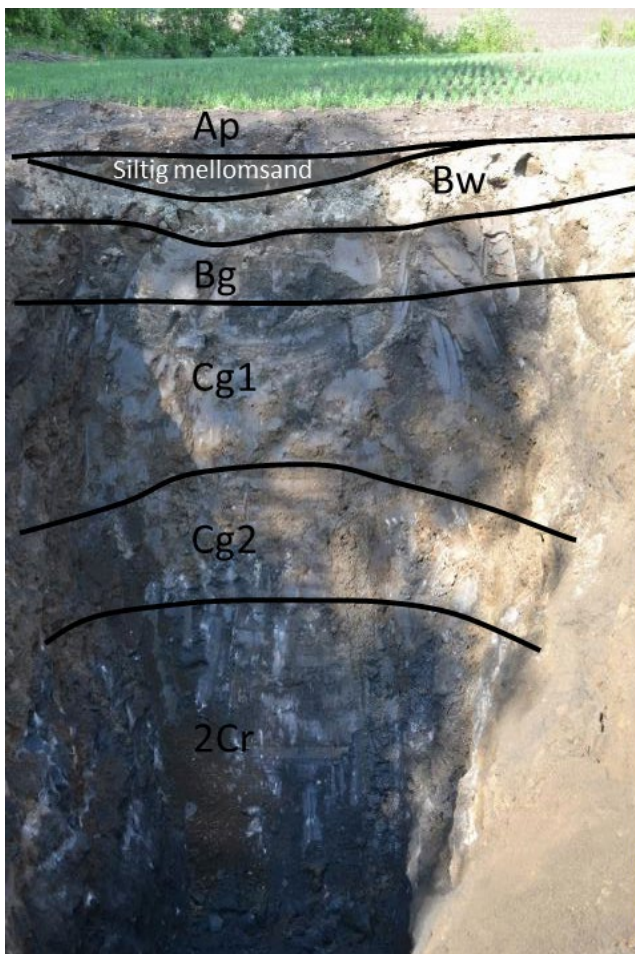
Observasjon	Beskrivelse
Opphavsmateriale	Ablasjonsmorene over sedimentære lag over bunnmorene.
Humustype	Mold.
Naturlig dreneringsgrad	God til moderat god.
Fuktighet	Fuktig.
Grunnvann	Ca. 3,5m.
Stein og blokk i overflaten	Stein- og blokkholdig (0,1-3 %).
Fjell i dagen	Ingen.
Oversvømmelse	Ingen.
Erosjon	Ingen.

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av potensiale for syredannelse og risiko for utlekking av tungmetaller fra svarte morenemasser i Stange og Løten</b>	<b>Side: 34 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

### Beskrivelse av ulike sjikt i profilet

Profilsnitt og forenklet profilbeskrivelse er vist i figur 7. Gravemaskinen gravde så dypt det lot seg gjøre, men nådde likevel ikke ned til fast fjell. Massene i dybden var svært harde å grave ut.

**Ap 0-40 cm:** Mørk brun (7,5 YR 3/2) moldholdig, grusholdig, svakt stein- og blokkholdig lettleire med velutviklet grynstruktur.



**Bw 40-90 cm:** Gulbrun (10 YR 5/4) lettleire med sone på 2 m bredde av mørk brun (7,5 YR 3/2) siltig mellomsand som på det tykkeste er 25 cm og som avtar mot 0 cm mot begge sider.

**Bg 90-150 cm:** Svært mørk grå (10 YR 3/1) lettleire med få, fremtredende, mørk brune (7,5 YR 3/4) fargeflekker; massiv.

**Cg1 150-220 cm:** Svart (5 Y 2,5/1)

lettleire, dominert av forvitret materiale av svart skifer, soner med mørk grå (5 Y 4/1) innfylling av mer leirrikt materiale, massiv.

**Cg2 220-330 cm:** Brun, hard morene, svært stein og blokkrik.

**2Cr 330-570 cm:** Svart (N 3/0) lettleire, ekstremt fast; svært stein og blokkrik med til dels grove blokker.

Figur 7. Vertikalsnitt av profil 617 med inntegnede sjiktgrenser (Foto: Trond Knapp Haraldsen)

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av  potensiale for  syredannelse og risiko  for utlekking av  tungmetaller fra svarte  morenemasser i Stange  og Løten</b>	<b>Side: 35 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

#### 5.2.4 RV3/RV25 masselager Spangen

I Skanskas veiprojekt på RV3 og RV25 i Løten var det store områder med svarte morenemasser som lå direkte på alunskifer. For å kunne sammenligne prøvemateriale fra Bane NORs prosjekt i Stange med masser som sikkert kunne fastslås å være dominert av alunskifer som opphavsmateriale, fikk vi tillatelse til å ta prøver på et masselager for slike masser på Spangen den 1. oktober 2019 (figur 8). Prøvene er tatt på ulike steder på haugen, bl.a. i haugen der spade er plassert i figur 8, og representerer alunskifermorene med kontakt til underliggende berggrunn av alunskifer. Masselageret besto av masser uttatt over en lengre veistrekning med lignende løsmasser.



Figur 8. Masselager på Spangen av svarte morenemasser fra alunskiferområder i Løten. (Foto: Trond Knapp Haraldsen).

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av  potensiale for  syredannelse og risiko  for utlekking av  tungmetaller fra svarte  morenemasser i Stange  og Løten</b>	<b>Side: 36 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

### 5.2.5 Skjerden

I skjæringen på østsiden av jernbaneundergangen ved Skjerden identifiserte NIBIO i en tidligere undersøkelse vegetasjonsfrie områder med  $\text{pH} < 3$ . Området vil omfattes av anleggssonen for jernbaneprosjektet, men ny jernbane vil i dette området gå på fylling. Ettersom dette er i området for alunskiferberggrunn var det av interesse å få med materiale i testen som representerte surt materiale, der det var dannet sulfater som følge av oksidasjon av sulfider til svovelsyre. Prøvene er tatt ut på nordsiden av veien der spade og blå bokser er plassert i figur 9.



Figur 9. Uttak av jordprøver (ved spade og blå bokser) i surt jordsmonn med sparsom vegetasjon i veiskjæring på Skjerden. (Foto: Trond Knapp Haraldsen).

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av  potensiale for  syredannelse og risiko  for utlekking av  tungmetaller fra svarte  morenemasser i Stange  og Løten</b>	<b>Side: 37 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

### 5.3 Geokjemiske analyser

Det ble tatt to duplikatprøver fra alle sjiktene, slik at det var to prøvesett som kunne sendes inn for utførelse av forskjellige analyser. Det ene prøvesettet ble sendt til ALS for opplutning av totalanalyser i konsentrert salpetersyre, TOC og pH. Det andre prøvesettet ble sendt til Eurofins Agro for analyser av løselige næringsstoffer (AL-løselige), glødetap, kornfordeling og pH. Samlet gir disse analysene et godt grunnlag for å karakterisere både de fysiske- og kjemiske egenskapene til massene.

I tillegg er det gjennomført pH målinger etter prosedyrer for karakterisering av «Hypersulfidic materials» i henhold til FAO [26]. Målingene ble utført ved at jordprøver fra de svarte lagene ble fylt i begerglass, fuktet opp, og plassert i mørkt vekstområde i seks uker. Deretter ble pH målt i 1:1 suspensjon. Tilsvarende metode er beskrevet av Soil Survey Staff [27].

Samlet gir disse analysene et godt grunnlag for å karakterisere både fysiske- og kjemiske egenskaper til massene.

#### 5.3.1 ICP-MS, Lab analyse (NIBIO og ALS)

Prøvene ble analysert hos ALS Laboratory Group Norway AS [28] for parameterne gitt i tabell 4 i veileder M-310/2015 [29].

#### 5.3.2 Mineralogi og kjemiske analyser ved røntgendiffraksjon (XRD) (ALS og Institutt for Geofag, UiO)

Prøvene ble analysert hos ALS Laboratory Group Norway AS [30] for kvalitative og kvantitative bestemmelser av kjente krystallinske faser i XRD. Ansvarlig laboratorium for analysene ble gjort av en underleverandør av ALS Laboratory Group Norway AS. Kvantifiseringen ble gjort ved bruk av Rietvelds metode i programvaren TOPAS 5.

XRD-diffraktogrammene ble tolket på nytt av Institutt for Geofag, UiO. Dette ble gjort ved bruk av DiffracEva-programvaren, med ICDD PDF-4 Mineral databasen for faseidentifikasjon. Rietveld avgrensning og fase kvantifisering ble beregnet ved bruk av Profex, ved å ta hensyn til både krystallinitetseffekter og toppintensiteter i diffraktogrammet.

### 5.4 Ristetest

Ristetest er en verifikasjonstest for utlekking som simulerer middels langtids utlekkingsforløp av miljøgifter fra deponier. Materialet som ønskes deponert siktes (eventuelt knuses) til en partikkelstørrelse på < 4 mm. Materialet ristes med deionisert vann i 24 timer gir eluater L/S 10, NS-EN 12457/1-4.

Ristetest utført hos NIBIO og NMBU ble utført ved at prøvemateriale først ble tørket over natten i tørkeskap. 25 g tørket materiale ble tilsatt 250 g deionisert vann i glassflasker og satt til risting i 24 timer. 150 ml vann ble dekantert over i begerglass og satt til sentrifugering i 10 min på 3000 RPM

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av potensiale for syredannelse og risiko for utlekking av tungmetaller fra svarte morenemasser i Stange og Løten</b>	<b>Side: 38 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

for å få klarvannfase. Prøvene ble deretter filtrert med standard filter på 0,45 µm, før de ble målt for ledningsevne og pH.

Hvert prøvesett besto av tre forskjellige fraksjoner (1-3) fra hver prøve, 1 representerer finstoffet i prøven, 2 representerer en blanding av finstoff og klumpete materiale, og 3 representerer materialet med mest klumper.

### 5.4.1 Tolkning av analyseresultater Jordprøver

Kartlegging av forurenset grunn kan gjøres i henhold til Miljødirektoratets veileder TA- 2553/2009 [24]. Klassifiseringssystemet som er vist i Tabell 10, rangerer løsmasser i tilstandsklasser basert på innhold av en rekke prioriterte miljøgifter, men fokus på human helse. Her representerer tilstandsklasse 1 rene masser og naturlig grunn vil normalt klassifiseres i denne tilstandsklassen. Naturlige variasjoner av bakgrunnskonsentrasjoner i norsk jord kan imidlertid resultere i at enkelte påvirkede områder klassifiseres som forurensede basert på veilederen.

I Hedmarksområdet er det kjent at det forekommer naturlig forhøyede konsentrasjoner i jorda av metaller som arsen, kadmium, krom og nikkel, grunnet påvirkning fra den svartskiferrike berggrunnen, men det eksisterer per i dag ikke offisielle data på nivå som bør oppfattes som normale bakgrunnskonsentrasjoner i dette området.

Tabell 10. Tilstandsklasser for forurenset grunn modifisert etter tabell 2 i TA2553/2009. Konsentrasjonene er angitt i mg/kg TS [24]

Tilstandsklasse/ Stoff	1	2	3	4	5
	Meget god	God	Moderat	Dårlig	Svært dårlig
Arsen	<8	8-20	20-50	50-600	600-1000
Bly	<60	60-100	100-300	300-700	700-2500
Kadmium	<1,5	1,5-10	10-15	15-30	30-1000
Kvikksølv	<1	1-2	2-4	4-10	10-1000
Kobber	<100	100-200	200-1000	1000-8500	8500-25000
Sink	<200	200-500	500-1000	1000-5000	5000-25000

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av  potensiale for  syredannelse og risiko  for utlekking av  tungmetaller fra svarte  morenemasser i Stange  og Løten</b>	<b>Side: 39 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

Krom (III)	<50	50-200	200-500	500-2800	2500-25000
Krom (IV)	<2	2-5	5-20	20-80	80-1000
Nikkel	<60	60-135	135-200	200-1200	1200-2500

#### 5.4.2 Moreneprøver

De helsebaserte tilstandsklassene for forurenset grunn er, som beskrevet i kapittel (jordprøver) utviklet for forurenset jord og forvaltningssaker i henhold til forurensningsforskriftens § 2. Naturlige morenemasser med svartkifer og alunskifer som opphavsmateriale danner det normale bakgrunnsnivået av tungmetallkonsentrasjoner i området.

Svartkiferholdig morene kan inneholde sulfidmineraler, som igjen kan inneholde en rekke tungmetaller. Tungmetallene er lite løselige og blir ikke frigjort med mindre sulfidene gjennomgår oksidasjon som en følge av kontakt med luft og vann. Sulfidoksidasjon kan forårsake avrenning med lav pH som kan øke løseligheten til metallene som frigjøres. Det er derfor viktig å gjøre en vurdering av potensialet for sur avrenning når en kartlegger svartkiferholdige løsmasser som kan inneholder sulfidmineraler.

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av  potensiale for  syredannelse og risiko  for utlekking av  tungmetaller fra svarte  morenemasser i Stange  og Løten</b>	<b>Side: 40 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

## 6 RESULTATER OG DISKUSJON

### 6.1 Prøvemateriale og beskrivelse av løsmassene

Løsmassene på Tokstad-Gyrud jordet består av relativt heterogene løsmasser, med et betydelig leirinnhold. Det øverste morenelaget består av ablasjonsmorene og har hovedsakelig tekstur lettleire, men det forekommer soner med siltig mellomsand og også høyere leirinnhold. Gjennomgående er massene i denne morenetypen brune eller gråbrune. I enkelte profiler ble det funnet soner med svart materiale med grynstruktur inne i det brune morenematerialet. Analysene av dette materialet fra sjiktene Ap<sub>2</sub> og Bw (s) i profilet DSH406 viste egenskaper som skilte seg fra øvrige materialer. Dette materialet hadde et så høyt innhold av organisk karbon (TOC) at massen kunne karakteriseres som mineralblandet mold (moldinnhold 20-40 %). Et annet trekk var markant økt innhold av kadmium og uran i forhold til andre lag, samt et meget høyt innholdet av kobber, tilsvarende tilstandsklasse 3 iht, veileder TA-2553/2009 for klassifisering av forurensede masser [24]. Analysene viser at dette materiale kan karakteriseres som siltig mellomleire til stiv leire (leirinnhold 43-47 %).

Analysene tyder på at dette er et forvitret leirmateriale av svart skifer. Omfanget av slike svarte inklusjoner i ellers brunt morenemateriale er gjennomgående lite.

Under det svarte laget av mineralblandet mold, i profil DSH406 sees et sedimentært leirlag som er massivt og svært lite gjennomtrengelig for vann. Dette laget består av stiv leire med et leirinnhold på hele 54 %. Dette laget hadde ikke innhold av grove fragmenter. Bg-sjiktet i profil DSH401 hadde noen av de samme egenskapene som Ap<sub>2</sub> sjiktet i profil DSH406, men ikke det økte kobberinnholdet.

I samtlige profiler (med unntak av DSH332) kommer en ned i svart, hardpakket morenemateriale. Slikt materiale er i området omtalt som «Mjøsmorene». Dette morenematerialet har et gjennomgående høyt leirinnhold og noe økt karboninnhold i forhold til brune lag over. Slike lag er ofte så hardt komprimert at de bare er fuktig, mens lagene over er helt vannmettet eller overmettet. «Mjøsmorenelagene» er tolket som bunnmorene. Ellers var det påfallende at stein og blokk i løsmassene på Tokstad-Gyrud jordet hovedsakelig var godt rundet, noe som indikerer at steinene har blitt transportert i strømmende vann over lengre avstander. Materialet er senere blandet med finmateriale ettersom det er lite sortert.

Ut fra kvartærgeologisk kartlegging er det funnet sterke indikasjoner på at det i den siste delen av isavsmeltningen lå igjen en isrest i Åkersvika [37].

I fire av profilene kom en ned i underliggende berg av kalkstein. I denne rapporten er det lagt mest vekt på å beskrive egenskapene til materialet i de tre profilene som ble valgt ut til mer omfattende analyser og ristetest. I tabell 14 er det imidlertid tatt med data fra tre av de andre profilene (DSH470, DSH626 og DSH653) i tillegg til de utvalgte profilene.



<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av</b> <b>potensiale for</b> <b>syredannelse og risiko</b> <b>for utlekking av</b> <b>tungmetaller fra svarte</b> <b>morenemasser i Stange</b> <b>og Løten</b>	<b>Side:</b> 41 av 71 <b>Dok.nr:</b> UEH-55-A-00013 <b>Rev.:</b> 00E <b>Dato</b> 26.04.2021
---	---	--

## 6.2 Tilstandsklasse vurdering

Som beskrevet i 1.5 faller svartskiferholdige løsmasser utenfor bruksområdet for standard klassifisering av både forurenset grunn TA-2553/2009 [24], og M-310/2015 [29]. I dette kapitlet er moreneprøver likevel sammenlignet med normverdier og tilstandsklasser, samt deres syredannende potensiale og radioaktivitet er vurdert.

I Tabell 11 er svartskiferholdige moreneprøvene fra Løten området vurdert opp mot klassifisering som er gitt i TA-2553/2009, og resultater oppsummeres som følgende:

- Skjerden inneholder arsen (As) i tilstandsklasse 3, krom (Cr) og nikkel (Ni) i tilstandsklasse 2. Resterende prøver tilsvarer tilstandsklasse 1.
- DSH406 inneholder arsen (As), krom (Cr) og nikkel (Ni) i tilstandsklasse 2.
- DSH401 inneholder arsen (As) i tilstandsklasse 3, krom (Cr), kadmium (Cd) og nikkel (Ni) i tilstandsklasse 2.
- Spangen sammenfaller med tilstandsklasse 3 grunnet forhøyede konsentrasjoner av arsen (As). Samme prøve inneholder i tillegg krom (Cr), kadmium (Cd) og nikkel (Ni) tilstandsklasse 3.
- Svarte morenelag fra DSH401, 406 og DSH617 er tatt fra områder med overdekning av brune morenelag uten tungmetallanrikning og forventes derfor å ikke være påvirket av menneskeskapte kilder til tungmetaller. Overskridelse av normverdi skyldes innhold av forvitret svartskifer i massene og må anses som naturlige bakgrunnsverdier i dette området. Det er også tydelig at prøvene fra Skjerden, DSH401 og Spangen som ble antatt som potensielt syredannende, har det samme geokjemiske fingeravtrykket. Det har sammenheng med alunskifer som opphavsmateriale.

Tabell 11. Jordmonnprøver fra Løten området sammenlignet med grenseverdier gitt i TA-2553-2009. Fargekode er beskrevet i kapittel 1.5.

Prøve	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)
DSH401	29,70	2,16	71,37	69,33	0,11	112,67	21,97	146,33
DSH406	17,60	1,06	69,93	46,30	0,05	65,77	15,63	114,00
DSH617	9,80	0,58	63,43	39,83	0,03	49,20	15,30	79,17
Skjerden	44,30	1,10	63,97	40,33	0,21	72,27	37,83	86,90
Spangen	45,53	2,65	60,00	98,00	0,20	126,00	31,87	161,67

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av</b> <b>potensiale for</b> <b>syredannelse og risiko</b> <b>for utlekking av</b> <b>tungmetaller fra svarte</b> <b>morenemasser i Stange</b> <b>og Løten</b>	<b>Side: 42 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av</b> <b>potensiale for</b> <b>syredannelse og risiko</b> <b>for utlekking av</b> <b>tungmetaller fra svarte</b> <b>morenemasser i Stange</b> <b>og Løten</b>	<b>Side: 43 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

### 6.3 Mineralogi og stratigrafisk plassering av prøver

Alle prøvene som det er foretatt mineralogiske analyser av representerer svarte, kompakte morenelag som ligger dypere enn 3 m under terrengoverflaten. Prøvene fra Spangen og Skjerden representerer områder der en forventer sterk sammenheng mellom underliggende berggrunn av alunskifer og overliggende svarte morenemasser. For prøvene fra profilene 401, 406 og 617 representerte de helt andre kjemiske egenskaper enn de brune morenemassene som lå over. Spørsmålet knyttet til disse prøvene var i hvilken grad innblanding av karbonatholdige bergarter og andre bergarter kunne spores ved hjelp av mineralogiske analyser.

### 6.4 XRD – Kvantitativ og kvalitativ bestemmelse av mineraler

#### 6.4.1 Hvilken informasjon kan vi hente fra de ulike mineralene?

##### Gips (CaSO<sub>4</sub> x 2H<sub>2</sub>O)

Gips er et forvitningsprodukt som forbruker karbonatet (CaCO<sub>3</sub>), som er blant de viktigste bufningsmineralene. Den syredannende prosessen kan derfor være forsinket inntil karbonatene er brukt opp. Sulfat (SO<sup>2-</sup>), som er det mest dominerende anionet, danner gips sammen med Ca.

##### Kalsitt (CaCO<sub>3</sub>)

Kalsitt i alunskifermateriale kan stamme fra kalkstein iblandet morenemateriale, eller fra karbonater som opptrer naturlig i alunskifer. Karbonater gir opphavet til bufferevnen til materialet.

##### Jarositt (KFe<sup>3+</sup>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>6</sub>)

Jarositt er et forvitningsprodukt som kan sees som gule utfellinger (materialet fra Skjerden), Når det identifiseres jarositt og ikke sulfid, er den syredannende kjemiske reaksjonen brukt opp. En skal også merke seg at jarositt er stabilt ved pH < 3, og er således en pH indikator i massene i likhet med alunitt/kopiatitt.

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av  potensiale for  syredannelse og risiko  for utlekking av  tungmetaller fra svarte  morenemasser i Stange  og Løten</b>	<b>Side:</b> 44 av 71
		<b>Dok.nr:</b> UEH-55-A-00013
		<b>Rev.:</b> 00E
		<b>Dato</b> 26.04.2021

Tabell 12. Tabellen viser en kvantitativ bestemmelse (%) av mineralene som opptrer i prøvene; DSH401, DSH406, DSH617, Spangen og Skjerden.

Prøve	Kvarts	Muskovitt/ illitt	Plagio klas	K- Feltspat	Kloritt	Gips	Kalsitt	Pyritt	Rutil	Titianitt	Jarositt
DSH401	25	34	10	14	6	2	4	2	1	2	0
DSH406	38	24	13	7	8	4	4	1	1	0	0
DSH617	41	15	22	7	7	2	2	0	1	4	0
Spangen	34	42	3	5	4	4	0	3	0	5	0
Skjerden	30	31	8	9	5	8	0	0	0	2	7

#### 6.4.2 DSH401

XRD-resultatene fra UiO viste at prøven inneholder en relativt stor andel bergartsdannende mineraler, som kvarts, muskovitt/illitt, plagioklas og K-feltspat, se Tabell 12. Prøven inneholder også aksessoriske (mineraler som forekommer i relativt små mengder) mineraler, som kloritt, gips, kalsitt, pyritt, rutil og titanitt.

XRD-resultatene fra ALS indikerte at prøven inneholder tilsvarende mineraler bortsett fra KCN (kaliumcyanid) og albitt. KCN er mest sannsynlig K-feltspat, da mengden KCN (14 %) samsvarer med mengden K-feltspat i analysene fra UiO. Plagioklasen i prøven er trolig albitt.

Prøven har et overskudd av Ca, som mest sannsynlig er bundet i gips og kalsitt eller som kationer mellom sjiktene i glimmermineralene muskovitt og kloritt. Gips er et forvittringsprodukt som trolig kommer av at sulfider (pyritt) har oksidert i kontakt med kalkstein. Påvisning av kalsitt viser at det er betydelig gjenværende bufferkapasitet.

#### 6.4.3 DSH406

Prøven inneholder en relativt stor andel bergartsdannende mineraler, som kvarts, muskovitt/illitt, plagioklas og K-feltspat, se Tabell 12. Prøven inneholder også aksessoriske mineraler, som kloritt, gips, kalsitt, pyritt og rutil. Plagioklasen er trolig albitt.

Prøven har et overskudd av Ca, som mest sannsynlig er bundet i gips og kalsitt eller som kationer mellom sjiktene i glimmermineralene muskovitt og kloritt. Prøven inneholder mer gips og mindre pyritt enn DSH401, noe som kan tyde på at materialet er mer forvitret enn DSH401. På tross av dette indikerer funn av kalsitt at det er betydelig gjenværende bufferkapasitet.

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av</b> <b>potensiale for</b> <b>syredannelse og risiko</b> <b>for utlekking av</b> <b>tungmetaller fra svarte</b> <b>morenemasser i Stange</b> <b>og Løten</b>	<b>Side: 45 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av  potensiale for  syredannelse og risiko  for utlekking av  tungmetaller fra svarte  morenemasser i Stange  og Løten</b>	<b>Side: 46 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

#### 6.4.4 DSH617

Prøven inneholder en relativt stor andel bergartsdannende mineraler, som kvarts, muskovitt/illitt, plagioklas og K-feltspat, se Tabell 12. Prøven inneholder også aksessoriske mineraler, som kloritt, gips, kalsitt, rutil og titanitt.

Den skiller seg ut ved at den har større andel plagioklas (albit) enn de materialet fra de andre prøvene. Prøven inneholder ikke pyritt, noe som kan gi en indikasjon på at materialet er mer forvitret, eller at prøvematerialet stammer fra lag høyere oppe i den kambrosiluriske lagrekken.

Svoelet i prøven er da trolig bundet i gips. Også i denne prøven ble det påvist kalsitt og ettersom pyritt ikke er påvist, er det stort bufringspotensial i dette materialet.

#### 6.4.5 Spangen

Prøven inneholder en relativt stor andel bergartsdannende mineraler, som kvarts, muskovitt/illitt, plagioklas og K-feltspat, se Tabell 12. Prøven inneholder også aksessoriske mineraler, som kloritt, gips, pyritt og titanitt.

Prøven inneholder ikke kalsitt, noe som kan tyde på at kalsitten er brukt opp i bufringsprosesser med pyritt og dannet gips. I dette materialet vil pH kunne synke når karbonatbufferen er helt oppbrukt.

#### 6.4.6 Skjerden

Prøven inneholder en relativt stor andel bergartsdannende mineraler, som kvarts, muskovitt/illitt, plagioklas og K-feltspat, se Tabell 12. Prøven inneholder også aksessoriske mineraler, som kloritt, gips, titanitt og jarositt.

Pyritt og kalsitt i prøven er trolig brukt opp til å danne forvitningsprodukter som gips og jarositt. Dette er en indikasjon på at prøven er sterkt forvitret og at dannelsen av svovelsyre har vært tilstede over noe tid da jarositt er et sulfat som er stabilt ved  $\text{pH} < 3$ .

#### 6.4.7 Oppsummering XRD

Mineralogien er viktig for å forstå hvordan materialer kan reagere kjemisk i naturen. Ut fra Tabell 12 inneholder prøvene som ble brukt i ristetesten før og etter inkubering relativt store mengder bergartsdannende mineraler som kvarts og feltspater, men som er lite umiddelbart reaktive.

Ved å kombinere XRD-resultatene fra ALS og UiO kan plagioklasen tolkes til å være albit.

Alle prøvene inneholdt gips, og relativt lavt til ikke noe innhold av pyritt og kalsitt. Det indikerer at forvitringen av pyritt har vært tilstede i forskjellig grad i alle prøvene. Skjerden skilte seg ut ved å inneholde forvitningsproduktet jarositt som er stabilt ved  $\text{pH} < 3$ . Prøven inneholdt verken pyritt eller kalsitt, som indikerer at dette er materiale som er meget forvitret. Det stemmer også godt overens med observasjonene i felt på funnstedet.

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av  potensiale for  syredannelse og risiko  for utlekking av  tungmetaller fra svarte  morenemasser i Stange  og Løten</b>	<b>Side: 47 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

Selv om materialene fra DSH 401 og DSH 406 inneholdt mye svovel (tabell 13) vil den forsurende effekten ved oksidering kunne nøytraliseres ved at materialene både har et høyt innhold av glimmermineraler som gir relativt høy kationbyttekapasitet med mye utbyttbart Ca samt at mineralogien viser 2-4 % kalsitt, samt omtrent den doble mengde kloritt som virker pH nøytraliserende ved oksideringen av svovel til sulfat.

## 6.5 Kjemisk innhold i prøvene

Målt pH (i vann med jord:væske 1:2,5 (v/v)) viste at de fleste av massene hadde pH 7 eller høyere, I de fleste jordprofilene ble det funnet økende pH med dybden. Dette er forventet da A- og B-sjiktene skal være mer forvitret og utvasket enn underliggende C-sjikt.

De dyptliggende svarte jordlagene har farge som tilsier at materialet inneholder sulfidmateriale (jfr. fargekrav til sulfidisk materiale, kap. 3.3.1), noe som stemmer med de kjemiske analysene. Nivået av svovel varierte fra 5,6 til 27 g/kg TS (Tabell 13). Imidlertid var det samtidig et høyt innhold av kalsium, og kalsiumnivået i disse lagene varierte fra 16,7 til 38,3 g/kg TS. Laget som viste lavest Ca/S-forhold var prøven fra Spangen med 0,7. Dette laget lå opprinnelig over berggrunn av alunskifer, og det var således sterk sammenheng mellom underliggende berggrunn og egenskapene til det svarte laget over.

Analysene indikerer at det er tilstrekkelig med kalsium i massene til å være syrenøytraliserende når sulfidmaterialet oksideres. Det er påvist at noe sulfat-S dannes, men mengden av dette er mindre enn nivået av Ca-AL, som representerer lett løselig kalsium i jorda. For å undersøke den nøytraliserende effekten av kalk i jorda, ble det foretatt en inkubasjon av prøver med etterfølgende måling av pH (1:1 i H<sub>2</sub>O) etter seks uker ved NMBU. Disse analysene viste relativt like resultater som pH-målingene gjennomført av Eurofins Agro Testing Norway AS (Tabell 14), som også omfatter svarte morenelag fra tre andre profiler som ble undersøkt i Tokstad-Gyrud-Gaustad området (DSH 470, DSH 653 og DSH 626).

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av</b> <b>potensiale for</b> <b>syredannelse og risiko</b> <b>for utlekking av</b> <b>tungmetaller fra svarte</b> <b>morenemasser i Stange</b> <b>og Løten</b>	<b>Side:</b>	<b>48 av 71</b>
		<b>Dok.nr:</b>	<b>UEH-55-A-00013</b>
		<b>Rev.:</b>	<b>00E</b>
		<b>Dato</b>	<b>26.04.2021</b>

Tabell 13. Totalanalyser på materialet brukt til inkuberingsforsøket \*.

Prøve	Total C	Total N	C/N	Na	Mg	P	S	K	Ca	Mn	Fe	Cu	Mo
Enhet	%	%		g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	mg/kg	mg/kg
<b>DSH401</b>	4,00	0,17	24,08	0,30	6,90	0,73	17,33	17,00	35,00	0,44	32,33	67,67	34,00
<b>DSH406</b>	3,19	0,12	25,89	0,28	7,33	0,68	12,00	14,67	38,33	0,49	31,00	52,00	21,67
<b>DSH617</b>	1,23	0,07	17,14	0,32	7,53	0,80	5,60	13,67	16,67	0,45	29,33	32,33	6,47
<b>Spangen</b>	6,04	0,26	23,28	0,36	5,80	0,53	27,00	22,67	19,33	0,34	37,67	106,67	72,67
<b>Skjerden</b>	8,94	0,36	24,87	0,44	5,67	0,56	16,33	28,00	14,20	0,07	24,67	36,67	107,67

\*Knust materiale er dekomponert i Ultraklav med kons. HNO<sub>3</sub> under høy temperatur og trykk, deretter målt på ICP-MS for metaller. For total C og total N ble knust materiale analysert på LECO CHN628 etter forbrenning ved 1050°C, C målt med IR-detektor, N målt med termisk ledningsevne. Det er analysert 3 paralleller for hver prøve, dvs, 3 forskjellige uttak fra den knuste prøven.

Analyseresultater bekrefter at kalsiumet i disse massene inngår i ulike mineraler, blant annet karbonater med nøytraliseringspotensiale. Selv om det er betydelige mengder sulfider i massene, som kan danne svovelsyre ved oksidasjon, synes nøytraliseringspotensialet å være større enn syrevirkningen. Disse materialene kan derfor betegnes som «hyposulfidic materials» i henhold til FAO [26]. Ut fra disse målingene er det altså ingenting som tyder på at det vil kunne dannes så mye syre at pH dropper til under 4. Det betydelige kalkinnholdet i massene vil kunne nøytralisere syra som dannes, slik at pH ikke endres. Gröger et al, [31] har utarbeidet et sett av analysemetoder for å klarlegge om det er snakk om reelt syredannende materialer. Disse metodene er det imidlertid ingen erfaring med i Norge, og det krever ganske spesialisert utstyr for å gjennomføre slike analyser.

Ingen av prøvene fra denne undersøkelsen hadde høye konsentrasjoner av vanadium som man vanligvis forventer å finne i masser med alunskifer som opphavsmateriale. I et jordprofil i jernbanetraseen på Skjerden Østre ble det påvist konsentrasjoner av arsen på 29,1-42,2 mg/kg TS, kadmium 2,41-3,33 mg/kg TS og vanadium 100-109 mg/kg TS [3]. En finner likevel noe økte arsenkonsentrasjoner i de svarte dyptliggende lagene i profilene DSH406, DSH401 og DSH653. Disse viser til dels en korrelasjon med økte konsentrasjoner av kadmium og uran.

Alle masser i denne undersøkelsen som har brun eller brungrå farge, synes å ha uproblematisk lave konsentrasjoner av tungmetaller og er så forvitret at det ikke gjenstår store nok mengder av svovel til at det kan oppstå omfattende syredannelse. Disse massene kan anbefales gjenbrukt på områder i nærheten for å gjenoppbygge jordsmonn for jordbruksproduksjon. Selv om det vil kunne finnes inklusjoner av forvitret svart skifermateriale i slikt brunt morenemateriale, vil ikke det føre til



<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av  potensiale for  syredannelse og risiko  for utlekking av  tungmetaller fra svarte  morenemasser i Stange  og Løten</b>	<b>Side: 49 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

vesentlig økte tungmetallkonsentrasjoner ved blanding av jordmasser fra undergrunnsjord med dominans av brune, gråbrune og grå farger.

I forhold til at mye av jordsmonnet sør for Ottestad har opphavsmateriale av alunskifer, foreligger det ingen risiko for uønsket opptak av de fleste tungmetaller fra jordsmonnet i det undersøkte området basert på NIBIOs undersøkelse av opptak av tungmetaller. Unntaket fra dette er kadmium, som kan tas opp i betydelig grad fra forsuret jord når kadmiumnivå er i tilstandsklasse 2. Jordkvalitetskravet på 1 mg Cd/kg gjødselvereforskriften synes å representere en sikrere grense i forhold til risiko for opptak av kadmium enn normverdien i forurensningsforskriften. Derimot var det ingen sammenheng mellom planteopptak og konsentrasjonene av f.eks. nikkel og arsen på tross av at nivåene kunne være i tilstandsklasse 3 og for arsen opp i tilstandsklasse 4 (upublisererte data). Tilstandsklasse- vurdering har således ingen relevans i forhold til å vurdere naturlig jordsmonn og løsmasser i forhold til jordbruksproduksjon og tilstandsklassene er heller ikke utviklet for dette formålet.

Tabell 14. pH, svovel og kalsium (ALS, Eurofins, NMBU) i prøver fra svarte morenelag.

	Enhet	DSH470 250-350 cm	DSH406 320-540 cm	DSH401 450-550 cm	DSH653 200-400 cm	DSH626 280-400 cm	DSH617 330-570 cm
pH-ALS		7,5	7,4	7,5	7,4	7,3	7,7
pH- Eurofins		8,0	7,8	8,3	8,0	7,9	8,5
pH- NMBU		8,1	8,2	8,2	8,0	8,2	8,5
Total S	mg/kg	6120	12000	14900	15900	15400	5260
Sulfat-S	mg/kg	-	790	-	-	880	160
Total-Ca	mg/kg	14000	24900	49200	36600	21600	13600
Ca-AL	mg/kg	9700	12000	19000	17000	11000	8200

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av  potensiale for  syredannelse og risiko  for utlekking av  tungmetaller fra svarte  morenemasser i Stange  og Løten</b>	<b>Side: 50 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

### 6.5.1 Innhold av kalsium og svovel

Det er ikke samsvar for kalsium mellom analyseresultatene målt av NMBU (Tabell 13) og ALS (Tabell 14). For prøven fra Spangen viste analyseresultatene fra ALS altfor høye verdier i forhold til det som er målt ved NMBU. Når en legger analysene fra NMBU til grunn, vil det være underskudd av kalsium i forhold til svovel for materiale fra Spangen, og ikke på langt nær det nøytraliseringspotensialet som en får inntrykk av ut fra ALS-analysene. Usikkerheten knyttet til ALS bestemmelsene av kalsium får også konsekvenser for vurderingene som er basert på tabell 15.

Tabell 15. Analyseresultater for alunskiferpakke før inkubasjon (ALS).

ELEMENT	Kalsium (Ca)	S (Svovel)
SAMPLE	mg/kg TS	mg/kg TS
DSH401-AL1	43454	18100
DSH401-AL2	34663	18200
DSH401-AL3	27516	18800
DSH406-AL1	38594	10800
DSH406-AL2	40309	9460
DSH406-AL3	36164	8330
DSH617-AL1	21512	4840
DSH617-AL2	19583	6100
DSH617-AL3	26944	5150
Spangen-AL1	42810	27700
Spangen-AL2	34448	31600
Spangen-AL3	30875	27400
Skjerden-AL1	13579	13500
Skjerden-AL2	42096	26200
Skjerden-AL3	11078	11400

For materialet fra Skjerden er det en av prøvene som indikerer kalsiumoverskudd i forhold til svovel, mens for de to andre er det omtrent like mengder av disse stoffene (tabell 15). XRD-analysene og pH målingene for Skjerden indikerte sterkt forvitret materiale uten gjenværende karbonat og med betydelig dannelse av gips.

For prøvene DSH401, DSH 406 og DSH 617 var det vesentlig mer kalsium enn svovel (tabell 15) og disse prøvene inneholdt også kalsitt (tabell 12). Dermed kan en slå fast at det i disse

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> Sørli-Åkersvika	<b>Vurdering av potensiale for syredannelse og risiko for utlekking av tungmetaller fra svarte morenemasser i Stange og Løten</b>	<b>Side:</b>	<b>51 av 71</b>
		<b>Dok.nr:</b>	<b>UEH-55-A-00013</b>
		<b>Rev.:</b>	<b>00E</b>
		<b>Dato</b>	<b>26.04.2021</b>

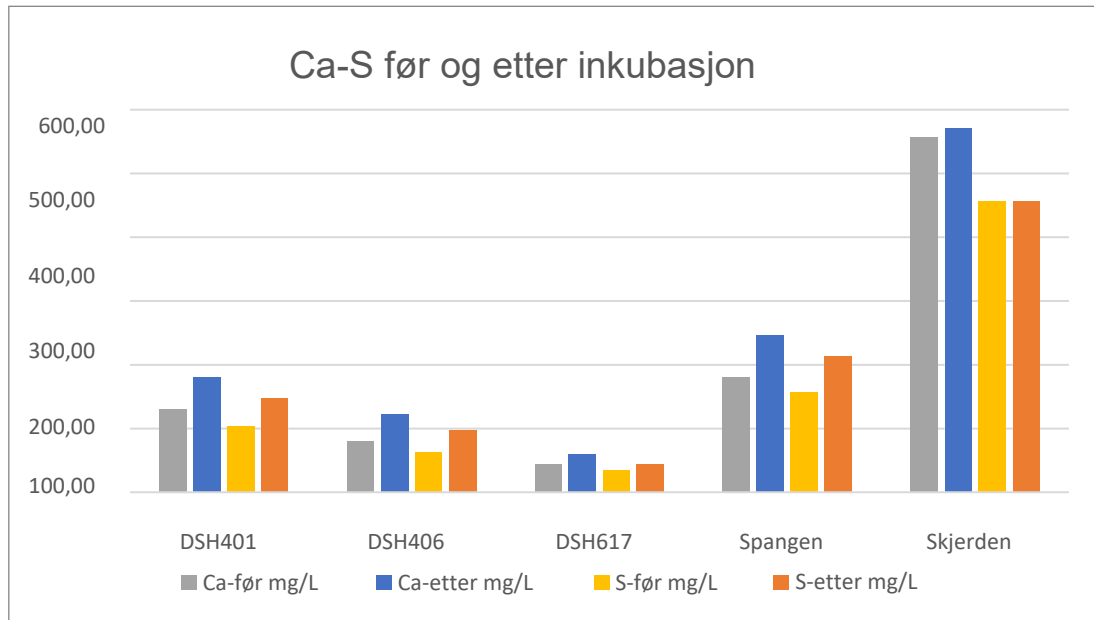
prøvematerialene er tilstrekkelig karbonatbuffer, slik at dannelse av svovelsyre umiddelbart nøytraliseres. En observerer også at pH ikke endres i vesentlig grad gjennom en inkubasjonsperiode på åtte uker mellom første og andre ristetest (tabell 16). Dermed stadfestes vurderingen av at det dreier seg om hyposulfidisk materiale i disse lagene.

Tabell 16. Ca og S ristetest resultater før og etter inkubasjon.

Parameter	Før			Etter		
	Ca	S	pH	Ca	S	pH
<b>Enhet</b>	mg/L	mg/L		mg/L	mg/L	
<b>DSH401</b>	130,00	103,67	7,85	180,00	146,67	7,42
<b>DSH406</b>	79,67	62,00	7,97	121,67	96,67	7,47
<b>DSH617</b>	43,00	34,67	8,02	58,67	43,00	7,53
<b>Spangen</b>	180,00	156,33	7,74	246,67	213,33	7,40
<b>Skjerden</b>	556,67	456,67	4,62	570,00	456,67	4,65

Ved ristetest ble det løst ut mest svovel og kalsium fra prøvene fra Skjerden, og inkubasjon i åtte uker påvirket ikke resultatet (tabell 16, figur 10). For alle de andre prøvematerialene økte konsentrasjonene av kalsium og svovel i vannet ved ristetest etter åtte ukers inkubasjon (Figur 10). I risteteststen løste materialet fra Spangen ut mer kalsium og svovel enn fra prøvene DSH401, DSH 406 og DSH617, og etter inkubasjonen på åtte uker hadde mengden utvaskbart kalsium og svovel økt for disse prøvene. Likevel var økningen så begrenset at det ikke oppsto noe dramatisk fall i pH som var over 7,4 etter inkubasjon (tabell 16). Prøven fra Skjerden var ikke tilstrekkelig sur til at en kan karakterisere materialet derfra som et thionic jordsjikt, selv om det var tydelige tegn både på anrikning av gips og at jorda var blitt sur.

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av</b> <b>potensiale for</b> <b>syredannelse og risiko</b> <b>for utlekking av</b> <b>tungmetaller fra svarte</b> <b>morenemasser i Stange</b> <b>og Løten</b>	<b>Side: 52 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--



Figur 10. Innhold av Ca og S før og etter inkubasjon.

### 6.5.2 Vurdering av løselighet i vann

Tabell 17. Vannekstrahert mengde metaller før inkuberingstesten (%) av totalt innhold i prøvene, samt pH.

Prøve	Cr	Ni	Cd	U	As	Mo	pH
	%	%	%	%	%	%	
401	0	0,2	0,06	2,52	0,02	6,29	7,85
406	0	0,05	0,05	2,09	0,03	7,66	7,97
617	0	0	0,05	0,34	0,04	16,5	8,02
Spangen	0	0,44	0,08	1,19	0,01	3,42	7,74
Skjerden	0	1,31	6,77	0,08	0,01	0	4,62

Det var stor forskjell på løseligheten av metallene i det undersøkte materialet. Tabell 17 viser mengden vannløste metaller (25 g jord ristet i 250 ml deionisert vann) i prosent av den totale mengden i prøvene. Dette gir et mål på potensialet prøvene har til å lekke metaller under vannpåvirkning som for eksempel nedbør. For Cr og As var det ikke målbar eller knapt målbar utlekking. Tilsvarende var det for Ni og Cd ved pH på 7-8, men begge metallene økte i utlekking i materialet som hadde lav pH (Skjerden). For Cd var dette spesielt markert for Skjerden hvor mengden utlekket var 6,77% av totalt innhold mens de andre materialene hvor pH var mer enn 3 pH-enheter høyere, hadde svært lav utlekking. Uran viste et annet forløp i utlekking enn de andre

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av  potensiale for  syredannelse og risiko  for utlekking av  tungmetaller fra svarte  morenemasser i Stange  og Løten</b>	<b>Side: 53 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

metallene ved å ha både høy og lav utlekking ved nøytrale pH-verdier (pH ca. 6-8), mens den laveste utlekkingen ble målt ved lavest pH. Mo er det metallet som viste høyest utlekking, som er karakteristisk ved nøytrale til alkaliske pH-verdier. Ved pH ca. 5 blir bakterier den viktigste katalysatoren for forvitring [32], noe som kan forklare at det ikke var noen utlekking av Mo fra Skjerden, mens i prøve 617 som hadde høyest pH, var utlekkingen 16,5 % av totalt innhold. Av metallene med antatt størst miljøpåvirkning viste uran størst utlekking i forhold til totalt innhold.

### **6.5.3 Mobilitet av ulike tungmetaller, grunnstoffer og sporelementer**

Resultatene fra ristetesten viste svært lave og uproblematisk konsentrasjoner av nikkell og sink for prøve DSH401, DSH406 og DSH617 (Tabell 19). Materialet fra Spangen og Skjerden løste ut en del nikkell og for Skjerden også en del sink. Derimot var det ubetydelige konsentrasjoner av arsen og krom i avrenningsvannet og inkubasjonen påvirket ikke løseligheten av disse stoffene.

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av  potensiale for  syredannelse og risiko  for utlekking av  tungmetaller fra svarte  morenemasser i Stange  og Løten</b>	<b>Side: 54 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

Tabell 18. Konsentrasjonen av sporstoffer i vannprøver fra ristetest før og etter inkubasjon. LOD er nedre bestemmelsesgrense.

Prøve	As-før	Cr-før	Cd-før	Ni-før	As-etter	Cr-etter	Cd-etter	Ni-etter
Enhet	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
DSH401	0,62	<LOD	0,13	22,0	0,46	<LOD	0,16	17,7
DSH406	0,47	0,11	0,05	3,20	0,38	<LOD	0,07	4,87
DSH617	0,38	<LOD	0,03	<LOD	0,37	<LOD	0,03	0,98
Spangen	0,24	<LOD	0,21	55,7	0,32	<LOD	0,38	91,7
Skjerden	0,24	<LOD	7,47	94,7	0,34	0,16	7,80	118

Det var kalsium og svovel som dominerte i vannprøvene fra ristetestene, og konsentrasjonene av andre makronæringsstoffer var lave.

#### 6.5.4 Innhold av uran og thorium

Uran forekommer i relativt høye konsentrasjoner i alunskifer (opp til 600 ppm) i noen jordprøver fra Mjøs-regionen, men forekomstene er ennå ikke forklart i detalj. U<sub>4+</sub> er den viktigste formen av uran i primære mineraler og er bare stabil under reduserende forhold. Forholdet Th/U er lavt i alunskifer på grunn av høyt innhold av U og et stabilt lavt innhold av Th. Et lavt Th/U-forhold er en indikasjon på utfelling i sjøvann [33]. Muligheten for utlekking av U er direkte relatert til det totale innholdet av U, og store deler av tilgjengelig U kan vaskes ut ved pH mellom 2-8 [34, 35].

Prøvemateriale fra de svarte morenelagene hadde varierende grad av urananrikning, men forholdsvis liten variasjon av konsentrasjoner av thorium (tabell 19). Urankonsentrasjonene gir en indikasjon på innblanding av alunskifermateriale i morenematerialet.

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av  potensiale for  syredannelse og risiko  for utlekking av  tungmetaller fra svarte  morenemasser i Stange  og Løten</b>	<b>Side: 55 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

Tabell 19. Konsentrasjoner av uran og thorium i prøver fra Stange og Løten.

ELEMENT	U (Uran)	Th (Thorium)
SAMPLE	mg/kg TS	mg/kg TS
DSH401-AL1	31,1	10,5
DSH401-AL2	30,6	10,2
DSH401-AL3	29	10,5
DSH406-AL1	16,9	7,7
DSH406-AL2	9,39	7,5
DSH406-AL3	12,4	7,74
DSH617-AL1	45,8	11,4
DSH617-AL2	7,19	9,95
DSH617-AL3	6,7	8,83
Spangen-AL1	41,5	11,1
Spangen-AL2	41,2	11
Spangen-AL3	56,5	10,9
Skjerden-AL1	32,9	8,28
Skjerden-AL2	44	7,85
Skjerden-AL3	23,9	7,21

Thorium var knapt ikke målbart i vannprøvene fra ristetesten, mens urannivået i vannprøvene varierte ganske mye mellom parallelle prøver (Tabell 20).

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av</b> <b>potensiale for</b> <b>syredannelse og risiko</b> <b>for utlekking av</b> <b>tungmetaller fra svarte</b> <b>morenemasser i Stange</b> <b>og Løten</b>	<b>Side: 56 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

Tabell 20. Resultater fra ristetest før og etter inkubasjon. LOD er nedre bestemmelsesgrense.

Parameter	Før		Etter	
	U	Th	U	Th
Enhet	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
DSH401-1	90	<0,0021	61	<0,0021
DSH401-2	67	<0,0021	62	<0,0021
DSH401-3	72	<0,0021	63	<LOD
DSH406-1	31	<0,0021	25	<0,0021
DSH406-2	32	<0,0021	57	<LOD
DSH406-3	18	<0,0021	17	<0,0021
DSH617-1	5,6	<0,0021	5,3	<LOD
DSH617-2	7,1	<LOD	6,6	<LOD
DSH617-3	7,4	<0,0021	20	<LOD
Spangen-1	12	<LOD	31	<LOD
Spangen-2	70	<LOD	76	<LOD
Spangen-3	84	<LOD	130	<0,0021
Skjerden-1	1,4	<0,0021	0,43	<0,0021
Skjerden-2	6,8	0,0088	18	0,074
Skjerden-3	0,25	0,003	0,13	<0,0021
Grenseverdi	20			



<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av</b> <b>potensiale for</b> <b>syredannelse og risiko</b> <b>for utlekking av</b> <b>tungmetaller fra svarte</b> <b>morenemasser i Stange</b> <b>og Løten</b>	<b>Side: 57 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av  potensiale for  syredannelse og risiko  for utlekking av  tungmetaller fra svarte  morenemasser i Stange  og Løten</b>	<b>Side: 58 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

Under supplerende grunnundersøkelse ble det avdekket at det forekom delområder, særlig på Fokholgutua og Guåker, med torvlag under matjorda innenfor jordbruksarealene. Disse delområdene hadde urankonsentrasjoner over 80 mg/kg. Det antas at dette er områder som tidligere har vært myr som har blitt tildekt for å kunne anvendes som dyrkningsjord. Myr inneholder relativt store mengder organisk karbon og humussyrer, som effektivt kan binde opp uran mobilisert i vannfase. Myr i områder med svart leirskifer med forhøyet nivå av uran, kan derfor fungerer som et akkumulasjonsområde for uran. Det er også påvist relativt høyt svovelinnhold i torvprøvene, som sannsynligvis skyldes en blanding av uorganiske og reduserte organiske forbindelser som f.eks. pyritt og svovelforbindelser.

Syredanningspotensialet i slike prøver er derfor ukjent, men det er kjent at sulfidoksidasjon forekommer ved uttørking og drenering av myrområder. Dersom disse massene utsettes for oksygen og tørkes, med påfølgende eksponering for vann, vil det være fare for sur avrenning grunnet oksidering av reduserte svovelforbindelser. I dårlig bufrede systemer kan det da bli surt vann med høye konsentrasjoner av aluminium. I Stange vestbygd er det imidlertid såpass mye kalkstein i grunnen at bekker har god bufferevne

Grønseverdien for klassifisering av radioaktivt avfall er 1 000 Bq/kg (1Bq/g), Det er uran som er hovedkilden til radioaktivitet i syredannende svartskifer [29]. 1 Bq/g tilsvarer omtrent 80 mg/kg uran dersom en antar at total aktivitet er lik spesifikk aktivitet for <sup>238</sup>U. Dersom konsentrasjon av uran (U) i en prøve overskrider 80 mg/kg, må berg- og løsmassene regnes som radioaktivt avfall. I tillegg vil Direktoratet for strålevern og atomsikkerhet (DSA) måtte kontaktes da uran-konsentrasjoner på >80 mg/kg ansees som radioaktivt avfall. Det må påregnes masseutskifting i områder med slike torvmasser, men ingen av prøvene av svart morenemateriale kom opp i urannivåene som tilsier klassifikasjon som lavradioaktivt materiale ut fra Tabell 19.

## 6.6 Risiko for utlekking til vassresipienter

Ristetester gir uttrykk for mengden potensielt vannløselige stoffer i jordprøver, og nivåene målt i ristetester vil derfor forventes å være vesentlig høyere enn det en finner i bekker og grøfteavrenning. Likevel kan det ha verdi å sammenligne nivåene i vannprøver fra ristetest med data fra Miljødirektoratet vanndatabase [36] for Brenneribekken (Tabell 21 og Tabell 22).

For arsen var nivåene fra ristetesten i samme størrelsesorden som målt i Brenneribekken ved Ottestad. Det viser at arsenforbindelsene i jordsmonnet i området er svært lite løselige, og ikke medfører utlekking av arsen i bekken på tross av at totalkonsentrasjonene av stoffet tilsvarte tilstandsklasse 3. Brenneribekken preges av kalsium og at det er kalkbergarter i nedslagsfeltet. Det indikerer svært god bufferevne mot forsuring, og bidrar til at det ikke vil oppstå situasjoner med høye konsentrasjoner av oppløst aluminium fra sur avrenning. Med unntak av prøveresultatet fra Skjerden, var nivåene av kalsium fra utlekkingstesten på nivå med Brenneribekken eller noe lavere.

Når det gjelder kadmium er nivået i Brenneribekken høyere enn i materialet fra prøvene med pH på 7 tallet, mens det er høyere nivå av kadmium i den sure prøven fra Skjerden. Det samme bildet gjelder for kobber, sink og aluminium. For kobber og nikkel var det forhøyede konsentrasjoner i ristetestmaterialet fra Spangen og Skjerden i forhold til nivået i Brenneribekken, og konsentrasjonene av disse stoffene økte som følge av inkubasjonen. For tungmetallene krom og bly var det like lave nivå i prøvematerialet fra ristetesten som i Brenneribekken.

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av  potensiale for  syredannelse og risiko  for utlekking av  tungmetaller fra svarte  morenemasser i Stange  og Løten</b>	<b>Side: 59 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

Tabell 21. Analyseresultater fra ristetest før inkubasjon sammenlignet med data fra vannovervåking for Brenneribekken ved Ottestad. Analyseresultater er gjennomsnitt av de tre prøver per punkt.

Parameter	Enhet	DSH401	DSH406	DSH617	Spangen	Skjerden	Gjennomsnitt Ottestad (Brenneribekken)
Arsen	µg/l	0,62	0,47	0,38	0,24	0,24	0,49
Kalsium	mg/l	130	80	43	180	556	163
Kadmium	µg/l	0,13	0,05	0,03	0,21	7,47	0,45
Klorid	mg/l	0,46	0,23	0,63	2,04	2,58	34,2
Krom	µg/l	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,10
Kobber	µg/l	1,27	0,50	0,10	6,93	9,37	2,83
Nikkel	µg/l	22,0	3,20	0,00	55,7	94,7	27,9
Sink	µg/l	4,00	0,00	0,00	2,80	111	25,9
Bly	µg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06
Aluminium	µg/l	3,47	9,93	9,47	3,23	86,0	47,5

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av potensiale for syredannelse og risiko for utlekking av tungmetaller fra svarte morenemasser i Stange og Løten</b>	<b>Side:</b>	<b>60 av 71</b>
		<b>Dok.nr:</b>	<b>UEH-55-A-00013</b>
		<b>Rev.:</b>	<b>00E</b>
		<b>Dato</b>	<b>26.04.2021</b>

Tabell 22. Analyseresultater fra ristetest etter inkubasjon sammenlignet med data fra vannovervåking for Brenneribekken ved Ottestad.

Parameter	Enhet	DSH401	DSH406	DSH617	Spangen	Skjerden	Gjennomsnitt Ottestad (Brenneribekken)
Arsen	µg/l	0,46	0,38	0,37	0,32	0,34	0,49
Kalsium	mg/l	180	122	59	247	570	163
Kadmium	µg/l	0,16	0,07	0,03	0,38	7,80	0,45
Klorid	mg/l	0,61	0,30	0,28	2,53	2,30	34,2
Krom	µg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,10
Kobber	µg/l	1,80	0,54	0,14	13,1	10,63	2,83
Nikkel	µg/l	17,7	4,87	0,98	91,7	119	27,9
Sink	µg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	93,7	25,9
Bly	µg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06
Aluminium	µg/l	6,23	13,2	11,0	5,17	373	47,5

Konsentrasjonene av tungmetaller i Brenneribekken ved Ottestad er tydelig påvirket av utlekking fra alunskiferholdig jordsmonn som utvikler syre, slik som prøven fra Skjerden viser.

Prøvematerialet fra Spangen viste større grad av utlekking av tungmetaller enn prøvene fra DSH401, DSH406 og DSH617. Selv ved ristetest etter inkubasjon var nivåene av tungmetaller i prøvene fra Tokstad-Gyrud området lavere enn nivået i Brenneribekken ved Ottestad. Det indikerer at risikoen for utlekking ved flytting av disse massene inn i Brenneribekkens nedslagsfelt er langt mindre fra disse massene enn fra jordsmonnet som naturlig hører til i dette området.

Når det gjelder tungmetallene bly, krom, sink, kobber, kadmium var konsentrasjonene i vannet ved ristetest for prøvene DSH401, DSH406, DSH617 og Spangen lavere enn grenseverdiene for drikkevann (jfr. tabell 23). Ristetesten for det sure materialet fra Skjerden løste ut høyere konsentrasjoner av kadmium enn grenseverdien for drikkevann, men kadmiumkonsentrasjonen i Brenneribekken var klart lavere enn grenseverdien i drikkevannsforskriften.

For uran ble det påvist høyere konsentrasjoner i ristetesten fra prøvene DSH401, DSH406 og Spangen enn amerikanske grenseverdier for drikkevann (se tabell 23). Nivåene målt i ristetest viser maksimalt vannløselige mengder, og utvasking av uran vil i praksis være en langsom prosess. Det har trolig større betydning at uran følger vannstrømmer ut i myrområder og akkumuleres i torvmateriale. Den prosessen pågår naturlig i området fra jordsmonn og løsmasser med opphavsmateriale alunskifer.

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av</b> <b>potensiale for</b> <b>syredannelse og risiko</b> <b>for utlekking av</b> <b>tungmetaller fra svarte</b> <b>morenemasser i Stange</b> <b>og Løten</b>	<b>Side: 61 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av</b> <b>potensiale for</b> <b>syredannelse og risiko</b> <b>for utlekking av</b> <b>tungmetaller fra svarte</b> <b>morenemasser i Stange</b> <b>og Løten</b>	<b>Side: 62 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

Tabell 23. Foreslåtte grenseverdier for metaller og grunnstoffer.

Stoff	Grenseverdi	Begrunnelse
Arsen	10 µg/l	<b>Kilde:</b> Drikkevannsforskriften og Vannforskriften vedlegg IX
Barium	700 µg/l	<b>Kilde:</b> US Environmental Protection Agency (Fact sheet, National Primary Drinking Water Regulations). <b>Drikkevann:</b> 2000 µg/l. Naturlig forekomst i overflate vann: 2-340 µg/l. <b>Kilde:</b> WHO (Guidelines for Drinking water quality, 2011) <b>Drikkevann:</b> 700 µg/l. <b>Vurdering:</b> Grenseverdien er konservativt satt på bakgrunn av manglende norsk veiledning, WHO's drikkevannskriterie benyttes.
Kadmium	5 µg/l	<b>Kilde:</b> Drikkevannsforskriften og Vannforskriften vedlegg IX.
Kobolt	Ingen grenseverdi	<b>Kilde:</b> Det er ikke funnet nasjonale eller internasjonale grenseverdier for kobolt i grunnvann/drikkevann.
Krom	50 µg/l	<b>Kilde:</b> Drikkevannsforskriften.
Kobber	2000 µg/l	<b>Kilde:</b> Drikkevannsforskriften.
Molybden	1000 µg/l	<b>Kilde:</b> US Environmental Protection Agency (Lifetime health advisory). <b>Drikkevann:</b> 40 µg/l. <b>Kilde:</b> WHO (Guidelines for Drinking-water Quality, 2011). <b>Drikkevann:</b> 70 µg/l. <b>Kilde:</b> REACH Molybdenum Consortium. PNEC-verdi på 12,7 mg/kg (12700 µg/l) for ferskvann og 1,91 mg/l (1910 µg/l) for saltvann.

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av</b> <b>potensiale for</b> <b>syredannelse og risiko</b> <b>for utlekking av</b> <b>tungmetaller fra svarte</b> <b>morenemasser i Stange</b> <b>og Løten</b>	<b>Side: 63 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

Nikkel	20 µg/l	<b>Kilde:</b> Drikkevannsforskriften
Bly	10 µg/l	<b>Kilde:</b> Drikkevannsforskriften
Sink	100 µg/l	<b>Vurdering:</b> Drikkevannsforskriften angir ingen grenseverdi for sink, Sink er nødvendig for menneskets helse, og det er ikke påvist negative effekter som følge av sinkinntak gjennom drikkevannet (FHI 2004). Konsentrasjoner over 1000 µg/l indikerer likevel for høy korrosjon i ledningsnett. Grenseverdien er konservativt satt på bakgrunn av manglende norsk veiledning.
Vanadium	30 µg/l	<b>Kilde:</b> US Environmental Protection Agency (Drinking water standards and health advisories table 2007, og Public health Statement).  <b>Drikkevann:</b> 7 µg/l.  Naturlig forekomst i overflate vann 0,04-220 µg/l  <b>Kilde:</b> WHO (Air Quality Guidelines – Second edition, chapter ,12 Vanadium)  Naturlig forekomst i overflate vann: 0,2-29 µg/l.  <b>Vurdering:</b> Grenseverdien er konservativt satt på bakgrunn av manglende norsk veiledning.
Thorium	Ikke fastsatt	<b>Kilde:</b> Det er ikke funnet nasjonale eller internasjonale grenseverdier for thorium i drikkevann.  <b>Vurdering:</b> Lave konsentrasjoner er målt, Stoffet er sterkt bundet til tungt løselige mineraler.
Uran	30 µg/l	US Environmental Protection Agency (Drinking water standards and health advisories table, 2007).  Drikkevann: 30 µg/l.  <b>Kilde:</b> WHO (Guidelines for Drinking-water Quality, 2011).  <b>Vurdering:</b> Grenseverdien er satt på bakgrunn av manglende norsk veiledning.

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av  potensiale for  syredannelse og risiko  for utlekking av  tungmetaller fra svarte  morenemasser i Stange  og Løten</b>	<b>Side: 64 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

## 6.7 Feltidentifikasjon av sulfidiske materialer

I en anleggsfase vil en i liten grad kunne nytte tidkrevende laboratorietester for å fastslå om en har å gjøre med syredannende materialer. Ingen av de sulfidiske materialene som er undersøkt i denne rapporten kunne karakteriseres som hypersulfidiske eller syredannende. Bare en mindre del av sulfidinnholdet ble oksidert under inkubasjonstesten. Materialet fra Spangen var mest reaktivt, og hadde vesentlig lavere bufringspotensial enn prøvene fra Tokstad-Gyrud-Gaustad området. Ut fra vårt prøvemateriale som omfatter ulike typer boringer og sjakting med gravemaskin, er ikke noe av det svarte morenematerialet i dette området syredannende ut fra definisjonen av hypersulfidisk materiale. Fordi disse massene inneholdt et overskudd av kalsitt i forhold til sulfid, dannes det ikke surt avrenningsvann ved oksidering av disse massene. Ved utgraving er det likevel viktig å skille de svarte lagene fra de overliggende brune og gråbrune lagene. De brune og gråbrune lagene, tolket som ablasjonsmorene, har nemlig en helt annen kjemisk sammensetning og ingen anrikning av tungmetaller. Selv om det forekommer inklusjoner av svart forvitret alunskifermateriale i morenematerialet som i hovedsak er brunt, mener vi at slikt materiale kan blandes uten at det innebærer risiko for anrikning av tungmetaller. Det eneste tungmetallet som det er knyttet risiko til, er kadmium. Det er påvist forhøyet opptak av kadmium i matvekster dyrket i området i forhold til annen jord uten innslag av alunskifermateriale. Risikoen reduseres i betydelig grad ved kalking, og iblanding av kalkrike jordmasser i masser med noe svart materiale.

For å skille ut lag med sulfidiske materialer, anbefales å bruke fargebestemmelsene som angitt i kap. 1.3.1. for svarte og mørkfargede lag. En må derfor under anleggsarbeidet ha tilgang på Munsell fargebok. Videre anbefales å bruke XRF-måling for å se på forholdet mellom Ca og S. Ved underskudd av Ca i forhold til S, vil en kunne mistenke at materialet kan være syredannende på sikt. Hurtigtest med hydrogenperoksid vil kunne være til nytte, men vi har ikke brukt denne metoden i vår undersøkelse. I vårt materiale er det prøven fra Spangen som ville fått slik karakterisering. Ut fra boringer og analyser av løsmasser i

Nesten-Skjerden området, er det trolig at en vil finne lignende materiale i dypereliggende lag, selv om jordsmonnet på toppen er forvitret og alt sulfidmateriale er oksidert. I den sammenheng viser prøven fra jernbaneundergangen på Skjerden hva som skjer når en etablerer en skjæring i løsmasser med opphavsmateriale alunskifer. Dette materialet er surt og har brukt opp karbonatbufferen for lengst. En ville helt klart oppnådd mye ved å legge jordsmonn oppå blottlagt materiale av denne typen ved etablering av lignende skjæringer. Da ville en for det første unngått nærmest vegetasjonsfrie områder med for surt jordsmonn for normal plantevekst (jfr. figur 11), og en ville redusert oksidasjonen av blottlagte lag fordi en hadde jordoverdekning.

Når det gjelder jordsmonn og løsmasser fra Tokstad-Gyrud-Gaustad området, kan en skille massene på følgende måte:

- Rene jordmasser: brune og gråbrune masser med jordstruktur som bl.a. kan nyttes til reetablering av jordsmonn til jordbruksformål
- Rene undergrunnsmasser: gråbrune og grå masser uten jordstruktur, som kan nyttes til terrengoppbygging uten restriksjoner
- Sulfidiske undergrunnsmasser: ikke syredannende svarte og gråsvarte morenemasser, som bl.a. kan flyttes til områder innenfor Brenneribekken nedslagsfelt, men ikke til områder som



<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av potensiale for syredannelse og risiko for utlekking av tungmetaller fra svarte morenemasser i Stange og Løten</b>	<b>Side: 65 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

har lavere konsentrasjoner av tungmetaller. Massene tas ut etter vurdering av farge og måling med XRF-utstyr.

Når det gjelder løsmasser og jordsmonn som ligger innenfor område der det forventes kontakt med bergarten alunskifer (som Nesten-Skjerden området), må en påregne at det er konsentrasjoner av tungmetaller som innebærer at massene ikke skal flyttes til områder med tungmetallkonsentrasjoner under normverdiene i forurensningsforskriften. Ved påvisning av sulfidiske undergrunnsmasser i dette området, vil XRF-måling av Ca og S avgjøre i hvilken grad syredannelse vil kunne forventes. Vurdert ut fra vannkjemien i Brenneribekken, forekommer det en betydelig grad av syredannelse og tilhørende utlekking av tungmetaller ved forvitring og oksidasjon av jordmasser med alunskifer som opphavsmateriale. Dette kan observeres i betydelig grad i dreneringsgrøfter som er senket i forbindelse med E6 gjennom Stange (Figur 12). Follestad [37] peker på at pH i bekkeprøver fra alunskiferområder kan influeres av skifer materialets sulfidinnhold, og ved oksidasjon vil det dannes svovelsyre som kan senke pH. Av den grunn vil det ikke være et hensiktsmessig tiltak å frakte ut løsmasser som kan bli syredannende ved oksidasjon fra områder innenfor Brenneribekkens nedslagsfelt. Tiltak for å motvirke oksidasjon sammen med innblanding av kalkrike masser vil bidra til å redusere risikoen for at syredannelse vil føre til forverret vannkvalitet. Utfylling av slike masser i myrområde ved Nesten-Skjerden vil være hensiktsmessig disponering av slike masser. Det anbefales for øvrig at en skaffer seg oversikt over utvikling i vannkvalitet i bekker og dreneringskanaler som ble påvirket av E6 utbyggingen i Stange. E6 traseen går i stor grad gjennom områder med jordsmonn og løsmasser med opphavsmateriale alunskifer.



Figur 11. Svart jordoverflate og manglende etablering av bygg på grunn av oksidasjon av sulfider til svovelsyre (til venstre) og dannelse av gipsutfelling i overflata (til høyre) (Foto: Trond Knapp Haraldsen).

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av potensiale for syredannelse og risiko for utlekking av tungmetaller fra svarte morenemasser i Stange og Løten</b>	<b>Side: 66 av 71 Dok.nr: UEH-55-A-00013 Rev.: 00E Dato 26.04.2021</b>
---	---	--



Figur 12. Vegetasjonsfrie grøftekanter og rustbrun utfelling i kanalen indikerer forvitningsprosesser i jordsmonn av alunskifer som opphavsmateriale (Foto: Trond Knapp Haraldsen).

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av  potensiale for  syredannelse og risiko  for utlekking av  tungmetaller fra svarte  morenemasser i Stange  og Løten</b>	<b>Side: 67 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

## 7 OPPSUMMERING

Undersøkelsene av morenemateriale fra områdene der det vil bli dype skjæringer i Tokstad-Gyrud-Gaustad området i Stange viser at det er brune og gråbrune morenelag som ligger over svarte, kompakte morenelag i dette området. De brune og gråbrune morenemassene er ikke anriket på tungmetaller ut over normverdiene i forurensningsforskriften og anses å være uproblematisk masse å flytte til andre områder.

Undersøkelsene som er presentert i denne rapporten har hovedfokus på egenskapene til de svarte morenelagene. En har klarlagt at det er anrikning av sulfider i disse massene.

Metodikken for kartlegging av syredannende bergarter er ikke relevant når det gjelder løsmasser og jordsmonn [39] fordi det ikke nødvendigvis er sammenfall mellom berggrunngeneologi og løsmassegeologi på grunn av transportprosessene for løsmasser. Inndelingen som forvaltningen har brukt [38]: 1. Syredannende, 2. Moderat syredannende og 3. Ikke syredannende, egner seg ikke for klassifisering av jord og løsmasser. Vi finner at de kriteriene som brukes internasjonalt for jordsmonn gir relevant inndeling. Begrepet sulfidiske materialer omhandler masser som inneholder sulfider som kan oksideres til sulfat under gitte betingelser. Definisjonen av hypersulfidisk materiale stemmer bra overens med forvaltningens forståelse av syredannende masser ettersom det da både dannes svovelsyre og blir sur avrenning med  $\text{pH} < 4$ . Når det dannes sulfat, men nøytral avrenning, brukes begrepet hyposulfidisk materiale. Det er ikke helt det samme som omfattes av begrepet moderat syredannende.

De ulike undersøkelsene som har vært foretatt, er entydige og viser at massene i Tokstad-Gyrud-Gaustad området ikke kan karakteriseres som syredannende. De kan karakteriseres som hyposulfidiske. Det innebærer at det ved tilgang på oksygen kan dannes svovelsyre, men på grunn av betydelig innblanding av karbonater i disse massene blir syren umiddelbart nøytralisert. Det er påvist at det dannes gips (kalsiumsulfat) som dominerer i vannanalyser etter ristetest, men det kan ikke påvises noe signifikant fall i pH etter inkubasjon i aerobe forhold. Det er likevel ingen tvil om at det finnes syredannende jordsmonn og løsmasser i områder med alunskiferpåvirket jordsmonn i Stange, som ved Nesten og Skjerden. Traseen for Dovrebanen ligger imidlertid i langt mindre grad i skjæring i slike områder sammenlignet med E6 som nylig er blitt utvidet til firefelts motorvei gjennom Stange.

Når det gjelder kjemiske egenskaper for øvrig, er det påvist økte konsentrasjoner av ulike sporelementer som arsen, kadmium, nikkel, krom, molybden og uran i de svarte morenematerialene. Det er ikke påvist noen signifikant sammenheng mellom konsentrasjonene i jord og vann for krom og arsen, der løseligheten i vann er svært liten og knapt målbar. Som ventet var molybden svært løselig i materialer med pH over 7, mens det var svært lite molybden løst fra prøve med lav pH. Kadmium var lite løselig fra prøvene med pH over 7, men løste ut i betydelig grad fra prøven med lav pH. Kadmium er det eneste tungmetall som kan skape problemer i forhold til opptak i mat- og fôrvekster som dyrkes i området. Løseligheten av kadmium er sterkt pH avhengig, noe som både ristetest og analyser av opptak i vekster fra området viser. Ettersom det er påvist svært liten sammenheng mellom konsentrasjonene av tungmetaller i løsmassene og utlekking i vannfase ved ristetest, anser vi ikke massebehandling ut fra tilstandsklassevurderinger som hensiktsmessig i dette området. For uran ble det funnet utlekking fra prøver med forhøyet innhold ved nøytral pH, men liten utlekking ved lav pH. Ut fra at en har påvist betydelig økte urankonsentrasjoner i torvjord i området, er det mye som tyder på at det er naturlig med utlekking av uran fra områder med jordsmonn utviklet i materiale med alunskifer som opphavsmateriale.

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av  potensiale for  syredannelse og risiko  for utlekking av  tungmetaller fra svarte  morenemasser i Stange  og Løten</b>	<b>Side: 68 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

Torvmateriale har stor evne til å akkumulere og binde uran og en del andre tungmetaller. Det er i andre undersøkelser i området funnet urananrikning i torv som klassifiseres som radioaktivt avfall,

og en må i anleggsfasen identifisere de lagene og områdene der forhøyede konsentrasjoner av uran forekommer.

Undersøkelsene av forvitret jordsmonn med sterk påvirkning av alunskifer på Skjerden viste klare tegn på syredannelse, og bufferkapasiteten i dette materialet var brukt opp. Det var fra dette materialet at en fant den sterkeste utvaskingen av sulfat og kalsiumioner. Ved ristetest fant en også økte konsentrasjoner av kadmium, kobber, sink og nikkel i det sure utlekkingsvannet. Ved sammenligning av resultatene fra ristetesten med vannprøver fra Brenneribekken ved Ottestad, kunne en se en helt klar sammenheng mellom vannkvaliteten i bekken og påvirkning av utlekking av tungmetaller fra syredannelse i jord og løsmasser med opphavsmateriale alunskifer. Ristetesten av materiale fra de svarte morenemassene fra Tokstad-Gyrud-Gaustad området viste ingen tegn på at det ble avgitt vesentlige mengder tungmetaller når en sammenlignet med konsentrasjonene av disse stoffene i Brenneri- bekken. Dermed kan en slå fast at det er mindre risiko for syredannelse og utlekking ved å frakte inn masser fra dette området inn i Brenneribekkens nedslagsfelt enn det er fra jordsmonn og løsmasser som naturlig hører til innenfor nedslagsfeltet.

Ettersom sulfidiske materialer har karakteristiske svarte, gråsvarte og blåsvarte farger, vil feltidentifikasjon ut fra farge være et godt hjelpemiddel. Sammen med måling av kjemiske egenskaper med XRF-utstyr, vil en komme langt i å skille ut potensielt syredannende materialer i anleggsperioden.

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av  potensiale for  syredannelse og risiko  for utlekking av  tungmetaller fra svarte  morenemasser i Stange  og Løten</b>	<b>Side: 69 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

## 8 DOKUMENTINFORMASJON

### 8.1 Endringslogg

Rev.	Endring
00E	Første revisjon

### 8.2 Referanseliste

1. RambøllSweco, *Utbygging Eidsvoll – Hamar (UEH). Kompletterende karakterisering og utlekkingsstest pilotskala. UEH-55-A-25049.* 2018.
2. RambøllSweco, *Utbygging Eidsvoll-Hamar (UEH). Sørli-Åkersvika. Datarapport- Syredannende berg- og løsmasser. UEH-55-V-26004\_02A.* 2018.
3. RambøllSweco, *Utbygging Eidsvoll – Hamar (UEH). Alunskiferjordsmonn – egenskaper, utbredelse og miljørisiko. UEH-55-Q-25011.* 2018.
4. RambøllSweco, *Utbygging Eidsvoll – Hamar (UEH). Tiltaksplan for forurensende masser, samt syredannende berg-, og løsmasser. Sørli-Åkersvika. UEH-55-A-25106.* 2018.
5. RambøllSweco, *InterCity-prosjektet. Deponerings- og forurensingsproblematikk i forbindelse med svartkiskifer/alunskifer og andre syradennende bergarter ICP-56-A- 25811.* 2016.
6. Nordmyr, L., et al., *Estimation of leakage of chemical elements from boreal acid sulphate soils.* Boreal Environment Research, 2006. **11**: p. 261.
7. Yli-Halla, M., *Classification of acid sulphate soils of Finland according to Soil Taxonomy and the FAO/Unesco legend.* Agricultural and Food Science, 1997. **6**(3): p. 247-258.
8. Österholm, P. and M. Åström, *Quantification of current and future leaching of sulfur and metals from Boreal acid sulfate soils, western Finland.* Soil Research, 2004. **42**(6): p. 547-551.
9. Roos, M. and M. Åström, *Hydrochemistry of rivers in an acid sulphate soil hotspot area in western Finland.* 2005.
10. Toivonen, J., P. Österholm, and S. Fröjdö, *Hydrological processes behind annual and decadal-scale variations in the water quality of runoff in Finnish catchments with acid sulfate soils.* Journal of Hydrology, 2013. **487**: p. 60-69.

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av</b> <b>potensiale for</b> <b>syredannelse og risiko</b> <b>for utlekking av</b> <b>tungmetaller fra svarte</b> <b>morenemasser i Stange</b> <b>og Løten</b>	<b>Side: 70 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

11. Beucher, A., et al., *Mapping potential acid sulfate soils in Denmark using legacy data and LiDAR-based derivatives*. Geoderma, 2017. **308**: p. 363-372.
12. Madsen, H.B., et al., *A method for identification and mapping potentially acid sulfate soils in Jutland, Denmark*. CATENA, 1985. **12**(4): p. 363-371.
13. Madsen, H.B. and N. H. Jensen, *Potentially acid sulfate soils in relation to landforms and geology*. CATENA, 1988. **15**(2): p. 137-145.
14. Urbańska, E., P. Hulisz, and R. Bednarek, *Effects of sulphide oxidation on selected soil properties*. Journal of Elementology, 2012. **17**(3).
15. Andriessse, W. and M. Van Mensvoort, *Acid sulfate soils: distribution and extent*. Encyclopedia of soil science, 2006. **1**: p. 14-19.
16. WRB, I.W.G., *World reference base for soil resources*. 2006, Food and Agriculture Organization (FAO) Rome, Italy. p. 1-128.
17. Hengen, T.J., et al., *Life cycle assessment analysis of active and passive acid mine drainage treatment technologies*. Resources, Conservation and Recycling, 2014. **86**: p. 160-167.
18. Jeng, A.S. and H. Bergseth, *Chemical and mineralogical properties of Norwegian alum shale soils, with special emphasis on heavy metal content and availability*. Acta Agriculturae Scandinavica B-Plant Soil Sciences, 1992. **42**(2): p. 88-93.
19. Andersson, M., O. Eggen, T.E. Finne and R.T. Ottesen, *Områder i Norge med naturlig høyt bakgrunnsnivå (over normverdi)-betydning for disponering av masser*. NGU. NGU, 2011. Lastet ned fra: [https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/klif2/publikasjoner/2863/ta\\_2863.pdf](https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/klif2/publikasjoner/2863/ta_2863.pdf)
20. Turekian, K.K. and K.H. Wedepohl, *Distribution of the elements in some major units of the earth's crust*. Geological Society of America Bulletin, 1961. **72**(2): p. 175-192.
21. Rudnick, R.L. and S. Gao, *Composition of the continental crust*. Treatise on geochemistry, 2003. **3**: p. 659.
22. Ramboll-Sweco ANS, *UEH-55-Q-25011 Alunskiferjordsmomnn - egenskaper, utbredelse og miljørisiko*. 2018.
23. Klima- og miljødepartementet, *Forskrift om begrensning av forurensning (forurensningsforskriften)*, in FOR-2004-06-01-931. 2004.
24. Miljødirektoratet, *Helsebaserte tilstandsklasser for forurenset grunn*, in TA-2553/2009. 2009. p. 27.
25. Munsell Color, B.M., *Munsell soil-color charts: with genuine Munsell® color chips*. 2009: Munsell.
26. FAO, *The State of Food and Agriculture 2014*. 2014.

<b>Utbygging Eidsvoll-Hamar</b> <b>Sørli-Åkersvika</b>	<b>Vurdering av  potensiale for  syredannelse og risiko  for utlekking av  tungmetaller fra svarte  morenemasser i Stange  og Løten</b>	<b>Side: 71 av 71</b> <b>Dok.nr: UEH-55-A-00013</b> <b>Rev.: 00E</b> <b>Dato 26.04.2021</b>
---	---	--

27. Staff, S.S., *A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys, in Agricultural Handbook No. 436 N.R.C.S. United States Department of Agriculture, Editor.* 2009.
28. ALS Laboratory Group Norway AS. *Alunskiferpakke*. [cited 2019; Lastet ned fra: [https://www.alsglobal.no/bygg-og-industri/pakke/Bergarter-og-mineral\\_16/Alle\\_99/Alunskiferpakke\\_50155](https://www.alsglobal.no/bygg-og-industri/pakke/Bergarter-og-mineral_16/Alle_99/Alunskiferpakke_50155)].
29. NGI, *20120842-01-R - Identifisering og karakterisering av syredannende bergarter*, Erik Endre and Erlend Sørmo, Editors. 2015, Miljødirektoratet.
30. ALS Laboratory Group Norway AS. *XRD - Kvalitativ og kvantitativ bestemmelse*. 2020 [cited 2020 21.04.2020]; Lastet ned fra: <https://www.alsglobal.no/sok-analyse?selected-matrix=&selected-sub-matrix=&selected-area=&selected-sub-area=&q=XRD>.
31. Gröger, J., K. Hamer, and J. Blankenburg, *Handlungsempfehlung zur Bewertung des Versauerungspotentials von Aushubmaterial durch reduzierte anorganische Schwefelverbindungen*. Geochemie und Hydrogeologie-Universität Bremen & Geologischer Dienst für Bremen (GDfB), Bremen, 2009.
32. RIF, *Bygging på alunskifre og andre grå leirskifere*, Erik Endre, Editor. 2019, RIF.
33. Dypvik, H. and B. Bue, *The U, Th and K distribution in black shales of the Janusfjellet Formation, Svalbard, Norway*. Chemical geology, 1984. **42**(1-4): p. 287-296.
34. Armands, G., *Geochemical studies of uranium, molybdenum and vanadium in a Swedish alum shale*. 1972, Almqvist & Wiksell.
35. Skipperud, L., et al., *Effekter og miljørisiko knyttet til inngrep i områder med sulfidrike mineraler*. Statens vegvesen, 2016.
36. Miljødirektoratet. *Vannmiljø - Registrering og analyse av tilstand i vann*. 2014; Lastet ned fra: <http://vannmiljo.miljodirektoratet.no/>.
37. Follestad, B.A. Løten. *Beskrivelse til kvartærgeologisk kart 1916 I – M 1:50 000*. 1973. Norges geologiske undersøkelse, Skrifter 6, nr. 296, 41 p.
38. Endre, E. and E. Sørmo. *Identifisering og karakterisering av syredannende bergarter. Veileder for Miljødirektoratet*. 2015. Lastet ned fra: <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M310/M310.pdf> (22.12.2020)
39. Miljødirektoratet. *Syredannende bergarter i arealplanlegging. Veileder*. Lastet ned fra: <https://www.miljodirektoratet.no/myndigheter/arealplanlegging/miljohensyn-i-arealplanlegging/forurensning/syredannende-bergarter/> (22.12.2020)