



Utbygging Eidsvoll – Hamar (UEH)

Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider

<input checked="" type="checkbox"/> Akseptert <input type="checkbox"/> Akseptert m/kommentarer <input type="checkbox"/> Avvist/Ikke akseptert Revider og send inn på nytt <input type="checkbox"/> Kun for informasjon
Sign:

01A	Revidert etter kommentarer fra BN	20.10.2020	RS/NIBIO	EKATRH	AFL	
00A	Første utgave	28.08.2020	RS/NIBIO	EKATRH	AFL	
Revisjon	Revisjonen gjelder	Dato	Utarb. av	Kontr. av	Godkj. av	
Tittel: Dovrebanen (Eidsvoll) – Hamar Sørli-Åkersvika Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider		Antall sider:	Enterprise:	SÅ		
		79 + vedlegg				
		Produsent				
		Prod.tegn.nr.:		Rev.		
		Erstatning for:				
		Erstattet av:				
Prosjektnavn:	Sørli-Åkersvika	Dokument-/tegningsnummer:	Revisjon:			
Prosjenr.:	965108	UEH-55-A-25149	01A			
		FDV-dokument-/tegningsnummer:	FDV-rev.:			

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 2 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	---	---

INNHALDSFORTEGNELSE

INNHALDSFORTEGNELSE.....	2
1 SAMMENDRAG	5
2 INNLEDNING	7
2.1 Mål	9
2.2 Tidligere rapporter i InterCity Dovre prosjektet	9
3 GEOLOGI OG KVARTÆRGEOLOGI.....	10
3.1 Berggrunnsgeologi	10
3.2 Løsmasser og morene	12
3.3 Alunskiferjordsmonn og svartskiferjordsmonn	13
4 METODE	14
4.1 Bakgrunn og litteraturstudie.....	14
4.1.1 Sulfidjord	14
4.2 Klassifikasjonssystemer	15
4.3 Hyper- hypo metoden.....	16
4.4 Feltidentifikasjon	16
4.4.1 Utseende	16
4.4.2 Munsell fargekart.....	17
4.4.3 Lukt	17
4.4.4 Hurtigtest i felt (ikke kvantitativ)	17
4.4.5 XRF røntgenpistol.....	18
4.5 Feltmetode prøvetaking og profilbeskrivelse av oppbygging av morenemasser	18
4.6 Geokjemiske metoder	19
4.6.1 Uttak av materiale til analyser og bearbeiding	19
4.6.2 ICP-MS, lab analyse (NIBIO og ALS)	21
4.6.3 Mineralogi og kjemiske analyser ved røntgendiffraksjon (XRD)	22
4.6.3.1 Hvilken informasjon kan vi hente fra de ulike mineralene?.....	23
4.6.4 Ristettest	23
4.6.5 Inkubasjon.....	24
5 TEST AV METODEN.....	25
6 FELTMETODE OG FELTBESKRIVELSER.....	26
6.1 Utvalg av prøver og profilbeskrivelse.....	26
6.1.1 Plassering av prøvepunkter	27
6.1.2 DSH401	28

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 3 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	---	---

6.1.2.1	Feltbeskrivelser av profil DSH401	28
6.1.2.2	Profilbeskrivelser: DSH401	29
6.1.3	DSH406.....	30
6.1.3.1	Feltbeskrivelser av profil DSH406.....	30
6.1.3.2	Profilbeskrivelser: DSH406	31
6.1.4	DSH617.....	32
6.1.4.1	Feltbeskrivelser av profil DSH617	32
6.1.4.2	Profilbeskrivelser: DSH617	33
6.1.5	Spangen.....	34
6.1.5.1	Beskrivelse av prøvene hentet fra masselageret på Spangen/Myklegard	35
6.1.6	Skjerden	36
6.1.6.1	Beskrivelse	37
7	RESULTATER.....	38
7.1	Geokjemiske analyser: DSH401.....	38
7.1.1	XRD – Kvantitativ og kvalitativ bestemmelse av mineraler.....	38
7.1.2	Alunskiferpakkeanalyse (ALS).....	39
7.1.3	Ristettest før og etter inkubasjon	40
7.2	Geokjemiske analyser: DSH406.....	41
7.2.1	XRD – Kvantitativ og kvalitativ bestemmelse av mineraler.....	41
7.2.2	Alunskiferpakkeanalyse (ALS).....	42
7.2.3	Ristettest før og etter inkubasjon	43
7.3	Geokjemiske analyser: DSH617.....	45
7.3.1	XRD – Kvantitativ og kvalitativ bestemmelse av mineraler.....	45
7.3.2	Alunskiferpakkeanalyse (ALS).....	46
7.3.3	Ristettest før og etter inkubasjon	47
7.4	Geokjemiske analyser: Spangen	48
7.4.1	XRD – Kvantitativ og kvalitativ bestemmelse av mineraler.....	48
7.4.2	Alunskiferpakkeanalyse (ALS).....	49
7.4.3	Ristettest før og etter inkubasjon	50
7.5	Geokjemiske analyser: Skjerden	51
7.5.1	XRD – Kvantitativ og kvalitativ bestemmelse av mineraler.....	51
7.5.2	Alunskiferpakkeanalyse (ALS).....	52
7.5.3	Ristettest før og etter inkubasjon	53
7.6	Risiko for utlekking til vassresipienter	53

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 4 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	---	---

8	IDENTIFISERING AV SVART LEIRSKIFER	58
8.1	Syredannende potensial.....	60
8.1.1	Korreksjon for mineralinnhold (sulfat-sulfid)	60
9	VURDERING AV UTFØRT METODE	62
9.1	Korrelasjon kjemisk analyse og Munsell fargekoder	62
9.2	Red-oks forhold i bunnsstrat nær underliggende leirskifer	63
10	METODE BASERT PÅ MILJØDIREKTORATES VEILEDERE	67
11	HYPER-HYPO VS M310.....	68
12	FELTMETODER	69
12.1	Forundersøkelser	69
12.2	Uttak materiale til analyse	69
12.3	Anleggsgjennomføring	69
12.3.1	Betydningen av tørt miljø for å hindre sulfid til sulfatoksidasjon	69
13	VURDERING AV RESULTATER.....	71
13.1	Beskrivelse av løsmassene	71
13.2	Kjemiske egenskaper til massene	71
13.3	Feltidentifikasjon av sulfidiske materialer.....	72
13.4	Prøvetakingen i felt.....	74
13.5	Uttak av materiale hos ALS	74
14	OPPSUMMERING	75
15	DOKUMENTINFORMASJON	77
15.1	Endringslogg	77
15.2	Referanseliste	77
15.3	Vedlegg.....	79

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 5 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	---

1 SAMMENDRAG

Det ble tatt prøver fra fem forskjellige lokaliteter for å vurdere om en metode som klassifiserer sulfidholdige jordarter er egnet for å karakterisere og klassifisere sulfidholdige masser. Valg av lokaliteter er tenkt å gi et spenn i materialegenskaper og potensiale for sulfidoksidasjon i masser. DSH401, DSH406 og DSH617 er tatt i områder hvor det planlegges dype skjæringer i terrenget, og til dels ned i berggrunn i forbindelse med etablering av ny jernbanetrasé. Disse er prøvetatt ved bruk av sjakting, og prøvene er tatt fra dyp på 3 – 5 m. De to andre prøvene er hentet fra hhv. masselageret til nyetablert Rv.3/25 (Spangen) og fra sideterreng til en jernbaneundergang ved Skjerden. Prøvene fra Rv.3/25 er tatt med som sammenligningsgrunnlag, da berggrunnen i området består alunskifer. Prøvematerialet fra Skjerden, som er tatt utenfor linjen i overflaten (0-10 cm), viser tydelig forvitring med farger fra sulfatmineraler, og ble tatt med som sammenligningsgrunnlag pga. tydelige syredannende prosesser.

Metoden som er beskrevet i foreliggende rapport baserer seg på karakterisering av jordarter med potensiale til å kunne utvikle et forvitringstilstand med oksidasjon av sulfider i et slikt omfang at pH går under <4 i kontakt med vann. Metoden er kjent og benyttes i områder med ASS /Acidic Sulfidic Sediments. Materialet beskrives da som hypersulfidisk (kan utvikle et forvitringstilstand med pH <4) eller hyposulfidisk (et materiale der pH>4 ved forvitring). Vannanalyser utgjør her en del av vurderingsgrunnlaget. Vannanalysene tilsvarende i prinsippet standardisert metode (LS₁₀) i forholdet (1:10) mellom innveid fast materiale og vann, men mengden innveid materiale er 25 gram til 250 ml vann i stedet for standardmetodens mengder som er 250 g/2500 ml vann.

Metoden er også vurdert mot den eksisterende metoden som er beskrevet i Miljødirektoratets veiledere M310 og M385.

Materialet til analyse er i henhold til metode gitt en inkubasjonsperiode på 9 uker der materialet eksponeres for fuktighet (til feltkapasitet) i et forhold som kan medføre akselerert forvitring. Tilsatt mengde vann er tilpasset etter vurdering i forhold til feltkapasitet. Videre er deler av materiale sendt til mineralidentifikasjon for å kontrollere om svovel i de kjemiske analysene er på sulfidform eller sulfatform. Dette gir grunnlag for å korrigere plassering i AP:NP diagrammet i M310 (reduere syredannende potensiale). Når prøver ikke inneholder sulfider, har de heller ikke lenger potensiale for syredannelse. Unntaket er når sulfatet er mineralet jarositt, da jarositt kan frigjøre H⁺ når det blir ustabilisert pH>4.

Det er kjent at svarte leirskifere har et høyere innhold av flere grunnstoffer som kan omtales som tungmetaller. Årsaken er at leirslammet svarte leirskifere er dannet fra ble avsatt under oksygenfritt (anoksisk) eller oksygenfattige forhold. Da dannes også jernsulfider, som er de viktigste mineralene som kan lede til at pH verdien synker ved eksponering for fuktighet og oksygen. M310 er benyttet for å indentifisere den kjemiske signaturen til de ulike svarte og grå leirskifere som utgjør materialet i løsmasser og morenemateriale. Den kjemiske signaturen til de svarte og brune lagene i morenelagene viser også innslag av nøytrale bergarter, hovedsakelig kvarts og feltspatrike bergarter som kvartsitter og arkoser som er transportert med isbreen og vannmassene i forbindelse med istiden. Massene er så avsatt sammen med de kortere transporterte masser av svarte og grå leirskifere. Slike innslag av lengre transporterte masser fører til en fortykning av kort transportert materiale revet løs ved erosjon av leirskifrene i Stange-Løten. Det forurensende potensiale reduseres derfor også som følge av erosjon og sammenblanding av kort og langtransportert materiale. Alle prøver inneholder sulfater (gips), og viser da at vannfasen som transporterte massen var oksygenrik. Bunnsubstratet er derfor ikke avsatt i et anaerobt miljø. Det er i forbindelse med feltarbeidet benyttet en standardisert metode (Munsell) til fargekodning av lag i moreneprofiler. Jo mørkere farge på et lag, jo større sannsynlighet for et større innslag av korttransportert leirskifer.

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 6 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	---

Et slikt fargekart kan gjøre det mulig å karakterisere et lags potensiale til forurensning dersom det er en korrelasjon med farge, kjemisk sammensetning og mineralsammensetning. Munsell kodingen gir ikke en tilstrekkelig entydig korrelasjon med svovelinnhold/sulfidinnhold i svarte/mørke grå lag. En tilleggsfaktor er at fargekoding av mørke/svarte lag påvirkes av fuktinnholdet. En slik metode må eventuelt utvikles med en mer systematisk korrelasjon med farge, utseende, kjemisk sammensetning og mineralinnhold for å utvikle potensialet for fargekoding og forurensende egenskaper. Når det gjelder struktur, må en sikre at begreper knyttet til observasjoner i felt sammenfaller med generelle beskrivelser for kornform og størrelser.

Det er gjort en vurdering av den håndtering av prøvemateriale som er behandlet og analysert. Skal metoden utføres på en måte som sikrer en større reproducerbarhet av resultater må de enkelte ledd i håndtering av prøvemateriale fra prøvetaking til uttak av materiale til analyser beskrives ved prosedyrer som reduserer potensielle feilkilder og unøyaktigheter i analysene.

Hyper- hypo sulfidisk klassifisering er vurdert mot den eksisterende og godt innarbeidede metoden beskrevet i Klima- og miljødirektoratets veiledere (M310). Metoden beskrevet i M310 har flere fortrinn i forhold til hyper- hypo sulfidisk klassifisering. Metoden vurderes som mer objektiv, da kjemisk analyse (alunskiferpakken) legges til grunn. Metoden anbefaler også at informasjonsbæreren (de(n) aktuelle leirskifer(e)) identifiseres i såkalte trekantdiagrammer. Da har en også et grunnlag for å kunne vurdere omfang av «fortynning» av andre nøytrale langtransporterte morenemasser, og i tillegg kunne vurdere bedre forvittringsforholdene materialet har vært eksponert for (hvordan vann og fast materiale har gjensidig påvirket hverandre).

Hyper- hypo klassifisering baseres på endringer i kjemisk innhold i vannanalyser før og etter en inkubasjonsperiode der prøvematerialer utsettes for optimale forvittringsforhold. Det er monosulfider (AVS sulfider) som i norske svarte leirskifere er pyrrhotitt/magnetkis som gir reaksjoner ved inkubasjon. Når bunnssubstratet er delvis oksidert (tilstedeværelse av blant annet gips) er jernmonosulfidet ($Fe_{(1-x)}S$) ikke lenger stabilt og erstattet av sulfater. Det er pyritt (di-sulfid) som er eneste sulfidet. Pyritt trenger bakterier for å kunne reagere. Abiotiske (uten bakterier) forhold tilsier at det ikke vil skje noen reaksjon med pyritt ved inkubasjon på morenemateriale med sulfider (pyritt).

I anleggsoppfølging anbefales en røntgenpistol (XRF) (kalibrert mot våtkjemiske analyser) som hjelpemiddel i felt. Analyser utført med røntgenpistol overføres til et Excel ark der en makro kan gjøre beregningene og også gi forslag til hvilke(n) leirskiferhorisont(er) som er representert i de enkelte morenelagene. Da vil også fortynningseffekten av langtransportert materiale fremkomme.

I tillegg til rutineoppfølging med røntgenpistolen, anbefales stikkprøver der materiale analyseres våtkjemisk etter alunskiferpakken. Stikkprøver suppleres med ristestester L/S10 og mineralidentifikasjon (XRD) på samme materiale. Prøvemateriale må derfor splittes i en prøvesplitter for å sikre at materialet som sendes til ulike undersøkelser representerer det samme prøvematerialet.

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 7 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	---	---

2 INNLEDNING

Sørli-Åkersvika har en berggrunn fra kambro-silur lagrekkens svarte, grå og kalkrike leirskifre. Masser over berggrunnen er transportert av is og vann, og består av korttransporterte leirskifere, langtransporterte moremasser samt forvitrede jordsmonnprofiler som ut fra kjemisk sammensetning kan knyttes til underliggende eller områdespesifikke leirskifre.

I anleggsgjennomføring er det av stor betydning å kunne ha en metode som er rask og samtidig solid nok til å kunne egne seg til in-situ karakterisering av masser i grunnen som grunnlag for gjenbruk, masse lager eller deponi.

Per i dag benyttes Miljødirektoratets veiledere M310 og M385 som referanse i en metodisk vurdering av leirskifere og erosjonsmasser derivert av ulike leirskifere. Erosjonsmassene har også fått tilført materiale fra andre bergartsenheter, gjerne med høyt kvartsinnhold, fra de såkalte sparagmitter som er kvarts og feltspatrike kvartsitter og arkoser og som utgjør berggrunnen lenger nord. Kjemiske analyser (alunskiferpakken) viser omfang av tilførte «inerte» masser når disse sammenstilles med referanseanalyser uten «fortynning».

Det er etablerte metoder internasjonalt som karakteriserer yngre sedimenter (som ikke er blitt konsolidert i særlig grad) dannet ved anaerobe/anoksiske avsetningsmiljøer. Materialet er gjerne brakkvannsedimenter avsatt under og etter forrige istid (der det har vært en istid), og som ikke senere er omdannet til bergarter. Slike sedimenter har gjerne et innhold av sulfidmineraler og betegnes da som sulfidiske. Metoden klassifiserer sulfidiske sedimenter etter potensiale til å kunne utvikle et forvittringsmiljø der pH verdien reduseres. Potensialet avklares ved å måle pH i en vannfase før og etter en inkubasjonstid. Materialer med sulfider kan da klassifiseres som hyper om pH i vannfasen synker til under pH 4 eller hyposulfidisk dersom pH > 4 etter inkubasjonstiden. De to prefiksene hyper- og hypo beskriver om materialer kan utvikle et forvittringsmiljø der vannets pH er over eller under pH 4. Når pH synker under pH 4 skjer det en akselerert kjemiske red-oks prosess, der katalysatoren er forholdet mellom Fe^{2+}/Fe^{3+} . Over pH 4 er det bakterier som er katalysatoren. Når pH verdien synker skjer det en akselerert forvitring med potensiale med frigjøring av grunnstoffer i konsentrasjoner som kan bli giftige for organismer i jordsmonn og i resipienten. Ved lav pH kan også kadmium lettere tas opp i næringsvekster.

Metoden blir også vurdert mot den etablerte metoden beskrevet i M310 og dels i M385. De grunnleggende prinsipper beskrevet i M310 er å identifisere hvilke(n) svart eller grå leirskifer som analyseres og om denne typen leirskifer er kjent for å kunne utvikle et forvittringsmiljø som fører til at pH synker og dermed medfører et akselerert forvittringsmiljø. Metoden er trinnavis. Første trinn er kjemiske analyser og analysens plassering i to diagrammer; AP:NP og Fe:S (mol) som basert på kjemisk sammensetning angir et potensiale for å kunne utvikle et akselerert forvittringsmiljø. Metoden er parallell til ABA (acid-Base-Accounting).

Metoden som baseres på hyper- og hyposulfidisk karakterisering er en laboratorierettet metode med en «inkubasjonstid» som skal gi en «boost» for å fremskynde de kjemiske reaksjonene som forårsaker endringer i pH. Basert på ristetester av prøvemateriale før og etter en boost, vil materialet kunne karakteriseres som hyper-, hyposulfidisk, eller ikke syredannende. Dette vurderes ut fra endringer i pH og konsentrasjoner av løste grunnstoffer og anioner ved en standardisert testmetode L/S-10. Dersom vannanalysene viser høyere konsentrasjoner av grunnstoffer utført på materiale etter inkubasjonsperioden, vurderes det til at materialet kan forvitre raskere som følge av inkubasjon. Basert på ristetester av prøvemateriale før og etter en boost, vil materialet kunne karakteriseres som hyper- hyposulfidisk, eller ikke syredannende dersom vannanalysene viser høyere konsentrasjoner av uønskede grunnstoffer i vannanalysen utført på materiale etter inkubasjonsperioden.

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 8 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	---

Analyseresultatene blir så korrelert med feltobservasjoner basert på gjenkjenningskriterier (fargekoding, kornfordelingskurve mm) og analyser utført med et håndholdt XRF apparat (Niton røntgenpistol). Hensikt blir dermed å gi sikrere vurderinger basert på gjenkjenningskriterier i felt og resultater fra røntgenpistolen.

Uansett metode må røntgenpistolen må i forkant kalibreres med såkalte våtkjemiske analysemetoder utført på samme materiale og det kan da etableres kalibreringskurver for de elementer som skal vurderes i analyser med røntgenpistolen. Røntgenpistolen gir da mer eksakte analyser av de valgte grunnstoffene som legges til grunn for å klassifisere masser til gjenbruk, masselager eller til deponi.

Skal et materiale klassifiseres som hyper- eller hyposulfidisk, må materialet som tas ut til analyse gjennomgå en inkubasjonsperiode på 9 uker der materialet eksponeres for fuktighet i et forhold (gjærne feltkapasitet) som kan medføre akselerert forvitring. Videre sendes deler av materiale til mineralidentifikasjon for å kontrollere om svovel i de kjemiske analysene er på sulfidform eller sulfatform. Når prøver ikke inneholder sulfider, har de heller ikke lenger potensiale for syredannelse. Unntaket er når sulfatet er mineralet jarositt. Et sulfatholdig materiale kan ha pH <4.

Det er kjent at svarte leirskifere har et høyere innhold av flere grunnstoffer som kan omtales som tungmetaller. Årsak til dette er at leirslammet som svarte leirskifre er dannet av ble avsatt under oksygen fri eller oksygenfattige forhold (anoksiske forhold). Den kjemiske signaturen til de ulike svarte og grå leirskifre kan gjenfinnes i løsmasser og morenemateriale. M310 beskriver denne prosedyren. M310 identifiserer kjemiske signaturen til de svarte og brune lagene i morenelagene og kan derfor også vise omfang av innslag av langtransporterte nøytrale bergarter. Disse langtransporterte bergartene inneholder hovedsakelig kvarts og feltspatrike bergarter som kvartsitter og arkoser i forbindelse med istiden ble de avsatt sammen med de kortere transporterte masser av svarte og grå leirskifere. Slike innslag av lengre transporterte masser fører til en fortykning av materiale revet løs ved erosjon av leirskifrene i Stange-Løten.

Det forurensende potensiale reduseres derfor også som følge av erosjon og sammenblanding av kort og langtransportert materiale. Jordlag (sjikt) i profiler i morenemasser har ulike farger. Det skal søkes avklart hvilken informasjon som kan trekkes ved hjelp av et system for fargekoding, der koder angir de farger på de ulike lagene. Jo mørkere farge på et lag, jo større sannsynlighet for et større innslag av korttransportert leirskifer.

Det er i feltarbeidet benyttet et fargekart. Et slikt fargekart kan gjøre det mulig å karakterisere et lags potensiale til forurensning basert på en korrelasjon fargekode, kjemisk sammensetning, mineralsammensetning og struktur/tekstur. En slik metode kan også videreutvikles med systematisk korrelasjon med farge, utseende, kjemisk sammensetning og mineralinnhold. Når det gjelder struktur, må begreper knyttet til observasjoner i felt sammenfalle med generelle beskrivelser for kornform og størrelser.

Håndtering av prøvemateriale må håndteres etter nøye beskrivelser slik at resultater i størst mulig grad blir representative og kan gjenskapes. Skal metoden utføres på en måte som sikrer en større reproducerbarhet av resultater må de enkelte ledd i håndtering av prøvemateriale fra prøvetaking til uttak av materiale til analyser beskrives ved prosedyrer som reduserer mulige feilkilder og unøyaktigheter i analysene.

Rapporten tar for seg grunnundersøkelser som er utført mellom Sørli-Åkersvika ifm. InterCity prosjektet, samt litteraturstudie om identifisering og håndtering av sulfidjord i andre land. Rapporten gir derfor både en beskrivelse av resultatene fra prøvegravningene og en vurdering jordlag med sulfidinnhold (sulfidiske masser) basert på hyper- eller hyposulfiske egenskaper.

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 9 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	---	---

2.1 Mål

Bane NOR jobber for at jernbanebygging ikke skal gi negative miljøeffekter og å ha en robust metode i anleggsgjennomføringen som kan skille masser for gjenbruk, masselager og deponi. Målet for undersøkelsene som er omtalt i denne rapporten er følgende:

- Identifisere og karakterisere syredannende egenskaper til løsmasser med opphav fra alun og/eller svartskifer.
- Dokumentere om massene utgjør en risiko for utlekking av tungmetaller til nærliggende resipienter ved terrenginngrep.
- Avklare om masser kan utvikle et forvitringstilstand med redusert pH og akselerert forvitring
- Utarbeide forslag til en hurtig og troverdig metode for avklaringer i felt som grunnlag for å skille masser til gjenbruk, masselager eller deponi basert på vurdering av syredannende egenskaper, konsentrasjoner av tungmetaller og bakgrunnsverdier.

2.2 Tidligere rapporter i InterCity 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].

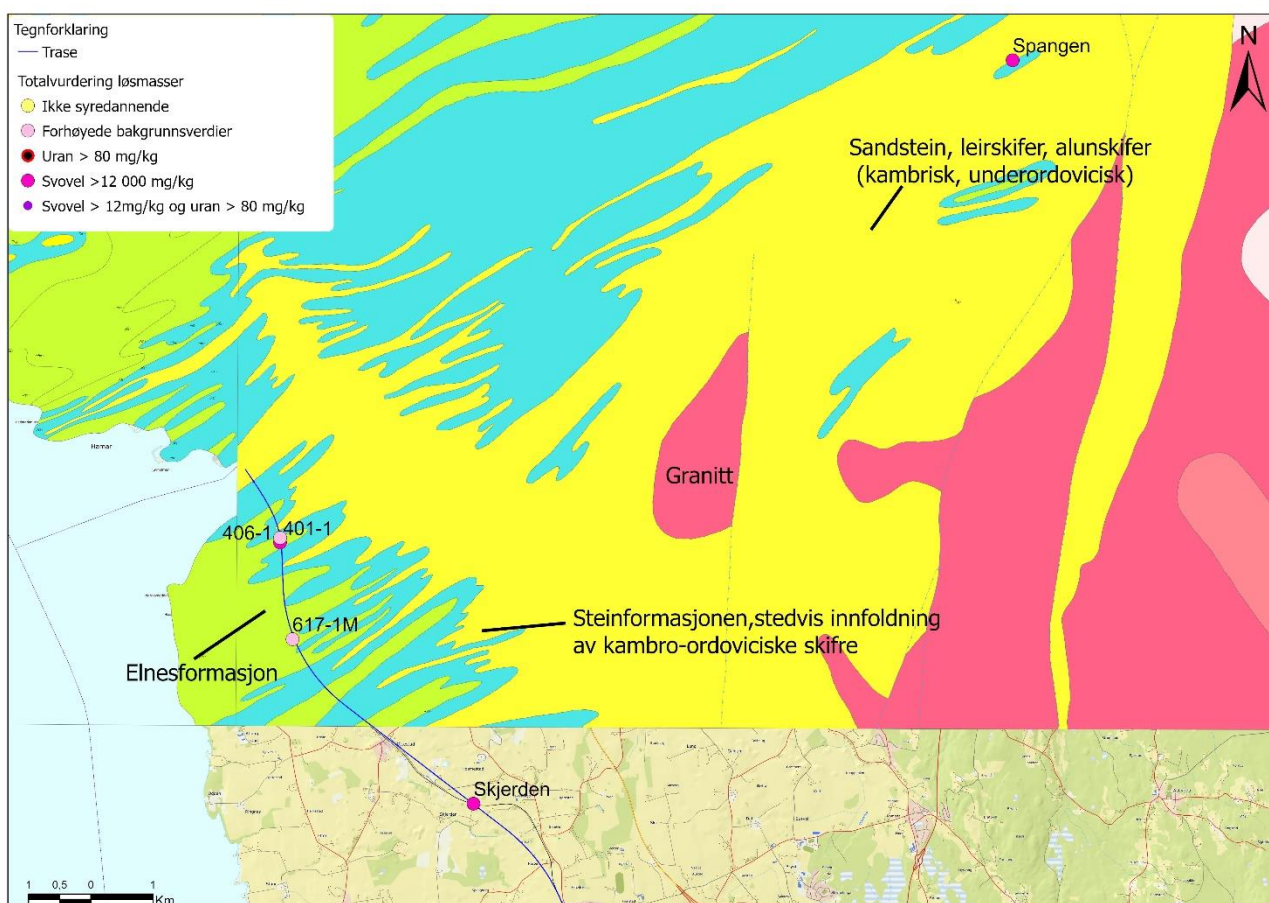
Forurensningsproblematikk i forbindelse med masser med syredannende potensiale er beskrevet i ICP-56-A-25811 *Deponerings- og forurensningsproblematikk i forbindelse med svartskifer/alunskifer og andre syredannende bergarter* [5].

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 10 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

3 GEOLOGI OG KVARTÆRGEOLOGI

3.1 Berggrunnsgeologi

Geologien i Hedmark er varierende, blant annet med Kambriske og Ordoviciske svartskifere; sedimentære bergarter avsatt fra ca. 542 – 470 millioner år siden. Lagene er foldet og skjøvet over hverandre som resultat av den kaledonske fjellkjedefoldingen for ca. 425 millioner år siden. De forskjellige bergartsformasjonene kan derfor har store variasjoner i tykkelse og utbredelse. Traseen for InterCity Dovrebanen mellom Sørli og Åkersvika går gjennom geologiske formasjoner som; Elnesformasjonen (grønt) og Steinformasjonen (blått), Figur 1. Alunskifer og svartskifer med syredannende potensiale kan forekomme blant disse formasjonene. I UEH-55-V-26004 *Datarapport syredannende berg- og løsmasser* [2], er det tatt analyser av berggrunn og løsmasser fra prøver langs planlagt trasè. Det ble tatt en vurdering basert på svovel- og urankonsentrasjoner for å avgjøre om disse potensielt kunne være syredannende. Vurderingene er gitt fargekoder, fra gult (ikke syredannende) til flere nyanser av rosa, samt svart (Figur 1). Berggrunnen i området Ottestad/Skjerden er ikke tilstrekkelig kartlagt av NGU og har ikke dekning, men en kan anta at Elnes- og Steinformasjonen opptrer også i dette området.



Figur 1: Kartet viser berggrunnsgeologien for prøvene representert i denne rapporten ©NGU.no. Prøvene DSH(401-617) (lys rosa). DSH406, Spangen og Skjerden har svovelverdier over 12 000 mg/kg (mørk rosa).

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 11 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

Steinformasjonen tilhører etasje 3c, Huk-formasjonen i Oslo området og går inn under Røykengruppen (Tabell 1). Elnesformasjonen bestående av mørk grå leirskifer, tilhører etasje 4a og Oslogruppen (Tabell 1). Siden bergartene er foldet, kan eldre bergarter fra andre formasjoner opptre lokalt, som for eksempel alunskifer tilhørende etasje 2 og 3a.

Tabell 1: Lagrekken i kambro-silurlagrekken, svarte leirskiferhorisonter er uthevet (mørk grå), mens mulig forekomst er merket med lysere grå. Leirskifre eldre enn kambro-silur som tilhører Biri og/eller Brøttum formasjonene er også inkludert. Lunner formasjonen er ikke en direkte parallell til Venstøp selv om de er av omtrentlig samme alder [6].

Etasje	Oslo-Asker Formasjon	Hadeland Formasjon	Hamar Formasjon	NGU inndeling på kart	Mektighet (m)	Alder	
4d				Oslo		Sen ordovicisk	471-443 mill. år
4cα	Venstøp	Lunner*		Oslo	Oslo 7-10m Lunner fm <185m		
4bδ	Solvang			Oslo	12-20		
4bγ	Nakkholmen			Oslo	13-20		
4bβ	Frognerkilen			Oslo	10-20		
4bα	Arnestad	Arnestad/Furuberg	Arnestad/Furuberg	Oslo	22-40		
4aβ	Vollen		Vollen/Hovins holm	Oslo	> 45	Midt ordovicisk	471-443 mill. år
4aα	Elnes	Elnes	Elnes/Bjørge	Oslo	60-80		
3c	Huk3	Huk3	Svartodden	Røyken	2-5 m		
3cβ	Huk2	Huk2	Herran/Stein	Røyken	2-5 m		
3cα	Huk1	Huk1		Røyken	2-5 m		
3bβ	Galgeberg	Galgeberg	Galgeberg	Røyken	5-10 m		
3bα	Hagaberg	Hagaberg	Hagaberg	Røyken	3-8 m		
3aγ	Bjørkåsholmen	Bjørkåsholmen	Bjørkåsholmen	Røyken	1-2 m		
3aα, 3aβ	Alunskifer-3	Alunskifer-3	Alunskifer-3	Røyken	~80 m men stor variasjon		
2a-2e	Alunskifer-2	Alunskifer-2	Alunskifer-2	Røyken			
1	Alunskifer-1	Alunskifer-1	Alunskifer-1	Røyken		Tidlig Ordovicisk	488-471 mill. år
	-	-	Biri Brøttum	Biri Brøttum	1500 m	Sen kambrium	501-488
						Midt kambrium	513-501
						Eokambrium	<542

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 12 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

3.2 Løsmasser og morene

Løsmassene i Hamarområdet, består av kort- og langtransporterte bergartsmateriale som er blitt transportert nordfra med isbreen under forrige istid. Langtransporterte masser ligger normalt over korttransporterte masser. Dette gjenspeiles i type bergartsfragmenter som finnes i de ulike morenelag. Fargen på morenelagene gir indikasjoner på type bergart som er kildemateriale. Jo mørkere slike masser er, jo større innslag av svart leirskifer forventes.

Harde mineraler som kvarts, zirkon, rutil, titanitt og dels kalifeltspat gir indikasjoner på innslag av langtransporterte masser. Leirskifere er normalt svake bergarter som ikke står imot den mekaniske påkjenningen fra isen og de erosjonsmasser smeltevannet fører med seg. Derfor vil korttransporterte masser ha en høyere andel av leirskifer enn de langtransporterte massene. Dette kan også leses ut av kjemiske analyser ved at referanseanalyser er kjent.

Morenen består av usortert subglacialt materiale (bunntransportert), samt delvis sortert supraglacialt materiale, avsatt som ablasjonsmorene, se Figur 2. I tidligere prosjekt «UEH-55-V-26004 Datarapport syredannende berg- og løsmasser [2]» er det utført analyser av langtransporterte masser (ODEX boringene) for å få en forståelse av andel materiale som stammer fra alunskifer/svarte leirskifere eller langtransportert materiale anrikt på de harde mineralene (kvarts, zirkon fra kvartsitt/arkoser fra sparagmittbergartene lenger nord). For å tolke dette kan en kombinere kjemiske analyser av morenemateriale trekantdiagrammer i M310 og med tolkning av analyser gjennomført med røntgen diffraktometri (XRD).

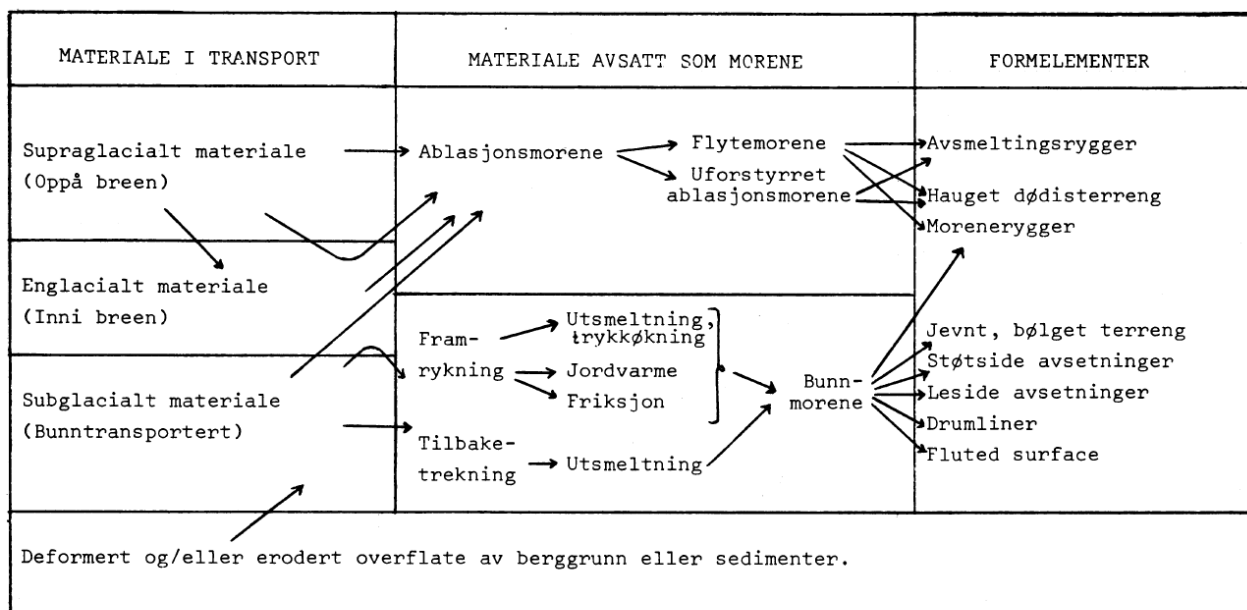


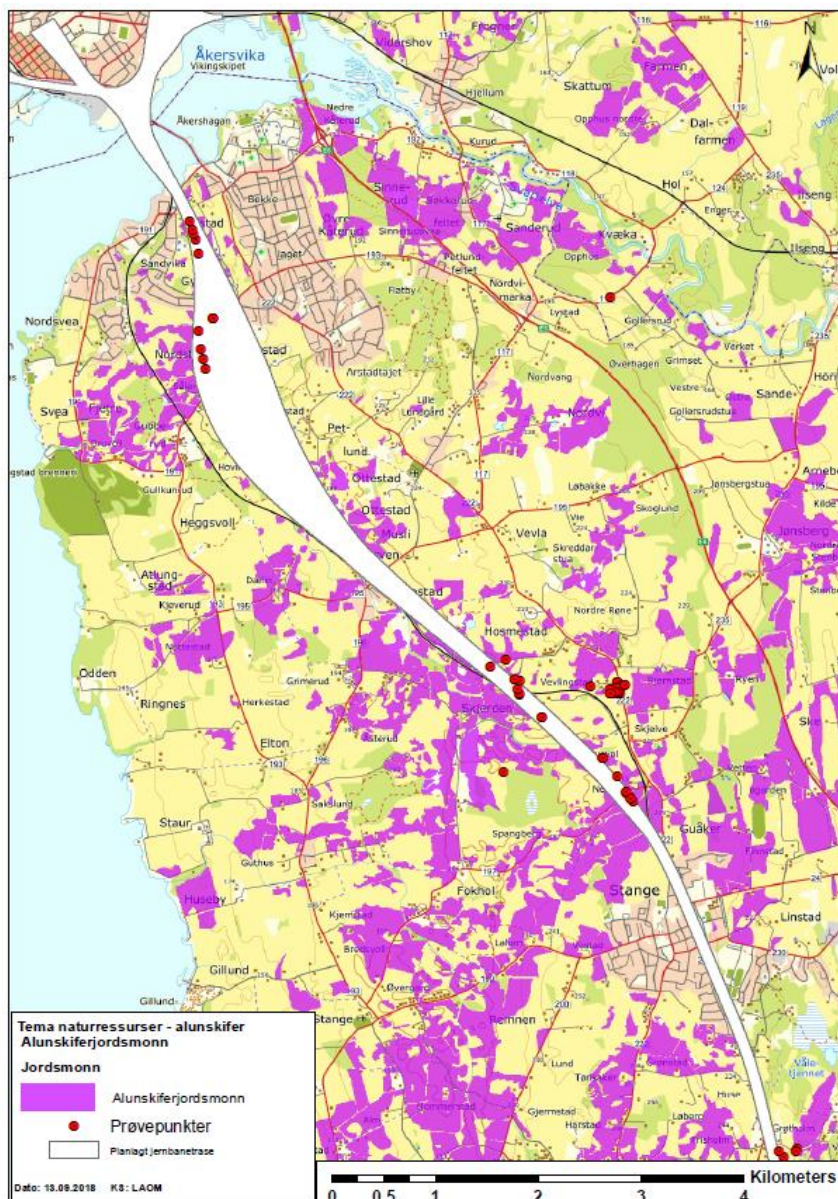
Fig.1 Sammenhengen mellom forskjellige typer moreneavsetninger. De vanligste relasjoner er avmerket med piler. (Tildels etter Dreimanis 1975).

Figur 2: viser ulike typer for materialtransport ved istransport. Vann vil medvirke i større eller mindre grad. Videre vil kontakt med vann som transportmedium medvirke til avrundning av materiale som fraktes med vann og is. Den nedre del av figuren viser hvordan berggrunnen (leirskifrene i Stange-Løten) rives opp og samblandes med det langtransporterte materialet. Jo mer rundet et materiale er, jo lenger er transportveien.

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 13 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

3.3 Alunskiferjordsmonn og svartskiferjordsmonn

I forbindelse med utarbeidelse av naturressursrapporten i konsekvensutredningen av InterCity dobbeltspor gjennom Stange kommune, ble det laget et temakart med oversikt over jordsmonn utviklet fra alun- og svartskifere som opphavsmateriale. I felt er det vanskelig å skille jordsmonn som er derivert fra alunskifer eller svartskifer. Kartet i Figur 3 er informasjon om utbredelsen av alunskiferjordsmonn kombinert med berggrunnsinformasjon ©NGU.no, og gir oversikt over områder hvor det kan forekomme alun- og svartskiferjordsmonn. Prøvepunktene (røde sirkler) i kartet er prøvepunkter fra et tidligere prosjekt, UEH-55-Q-25011 *Alunskiferjordsmonn – egenskaper, utbredelse og miljørisiko* [3].



Figur 3: Distribusjonen av alunskiferjordsmonn (rosa) i området Sørli-Åkersvika. Prøvepunktene er fra en tidligere rapport, UEH-55-Q-25011, og er tatt langs planlagt jernbanetråse. Kartet viser ikke overensstemmelse med berggrunnsgeologisk kart.

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 14 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

4 METODE

4.1 Bakgrunn og litteraturstudie

Begrepet sur sulfat jord (*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 [7], Finland [8-11], Danmark [12-14], Polen [15] 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 jernmonosulfid mineralnavn magnetkis/pyrrhotitt (FeS) og jerndisulfid eller pyritt (FeS_2). Begrepet "sulfat" brukes om svovel som forekommer i sulfatminerale. Sulfatminerale dannes ved å erstatte H^+ ionet i svovelsyre med andre kationer (grunnstoffer). Når jern og/eller aluminium er kationet, er slike sulfater pH avhengige. I vannmettet jord dannes sulfat ved oksidasjon av sulfider i den drenerte delen av profilet. I kontakt med en mobil vannfase frigjøres kationer (grunnstoffer bundet til sulfatminerale) og sulfationet til en mobil vannfase. Dette er den vanligste mekanismen for at grunnstoffer som tungmetaller siger ut i en resipient. I tillegg vil H^+ ioner redusere pH og det skjer en «forsuring»; reduksjon av pH, ettersom denne prosessen danner svovelsyre.

Sulfidjord kan inneholde betydelige mengder jernsulfidminerale. Dersom såkalte red-oks reaksjoner finner sted (kjemisk reaksjoner som omdanner sulfider til sulfater), kan det skje en utvikling av et kjemisk miljø der pH verdien synker. Reduksjon av pH er kjennetegnet ved en akselerert kjemisk reaksjon, da de fleste minerale og andre stoffer løses i svovelsyre. Jo lavere pH, jo mer løses ut i en vannfase (derav akselerert forvitring).

I alunskifer er det hovedsakelig to jernsulfider; pyritt og magnetkis. I uforstyrrede ASS-materialer, kan også andre sulfid-minerale som greigitter, markasitter og jern monosulfider som marckaninawitt dannes i varierende mengder, men det er svovelkis som er det mest utbredte jernsulfidmineralet i sulfidholdige løsmasser og representerer ofte den største kilden til mulig reduksjon av pH i slike jordarter. Effekten av sulfidoksidasjon har potensiale for økte konsentrasjoner i vannfasen. Videre kan grunnstoffer på ioneform (lav pH) gi større skade. Konsentrasjonsnivået til grunnstoffene som blir biotilgjengelige gir som resultat en giftig effekt som følge av en akselerert frigjøring (betyr høyere konsentrasjoner) til en vannfase ved lave pH verdier.

Det er flere gårdbrukere i området som har erfart betydelige kalkingsbehov etter grøfting, altså når den øverste meteren av jordprofilet har blitt blandet inn i topplagsmassene. Kalkbehovet indikerer at det finnes områder der en kommer ned i syredannende masse 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.

4.1.1 Sulfidjord

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

Norden: Sulfidholdige løsmasser er kjent fra mange områder i verden, bl.a. fra Sverige som gytjeleirer. Dannelsen av leirene er den mest typiske forekomsten av sulfidholdig jordsmonn, nemlig avsetning i brakkvannmiljø i Sverige og Finland inkluderes også «till» morenejord.

Norge: I Norge har en hovedsakelig studert syredannelse av materiale fra alunskifer og beslektede svarte leirskifere. Miljødirektoratets veileder er et resultat av de kjente egenskapene til slike bergarter. M310 er også benyttet på klassifisering og karakterisering av morenemateriale som

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 15 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

metode i anleggsgjennomføringen av E-6 i området (Nye Veier/Hæhre) og Rv3/Rv25 (SVV/Skanska). Per i dag benyttes samme klassifiseringsmetode (M310) på sulfidholdige jordarter/morenemasser. Innslag av svart leirskifer kan da også knyttes til type svart leirskifer ut fra fingeravtrykk i den kjemiske analysen. Mineralanalyser og ristetester (LS-10) benyttes også som supplement til kjemiske analyse for å kunne korrigere for sulfater (ikke bidragsyttere til syredannende potensiale) i plassering i AP:NP diagram (M310)

Det er færre studier på syredannelse fra løsmasser og jordsmonn dominert av alunskifer som opphavsmateriale.

4.2 Klassifikasjonssystemer

Sulfidholdige løsmasser av jordsmonn og dypereliggende jordlag (sjikt), også betegnet som undergrunnsmasser, er beskrevet i jordfaglig litteratur. Nøkkelbegrepet i jordfaglig litteratur er sulfidiske materialer (Sulfidic materials) som er jordtyper med et innhold av sulfidmineraler. 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 lignende måte.

I foreliggende rapport tas det utgangspunkt i definisjonene og terminologien som er angitt i WRB [26]. I WRB systemet brukes begrepet sulfidiske materialer. Sulfidiske masser kan videre inndeles etter syredannende egenskaper i hyposulfidiske materialer og hypersulfidiske materialer.

Sulfidic Materials

FOA har et par descriptive tillegg, som omtaler at sulfidinnholdet skal kunne oksideres (til sulfater), videre består de av organiske eller mineralske jord materialer med en pH > 3,5. Dersom de inkuberes ved romtemperatur som et 1 cm tykt lag under fuktige (feltkapasitet) forhold får de en «drop» i pH verdi til pH<3 i løpet av 8 uker, beskrives de som hypersulfidiske. Beskrivelsen inkluderer også forekomster av eldre dato (som f.eks leirskifere, morene) dersom de inneholder sulfidmineraler).

Sulfuric Material

Svovelholdig materiale (egentlig sulfatjord der sulfidene er oksidert til sulfater og svovelsyre (fri H⁺ og SO₄²⁻) som har pH < 4 (1:1 vekt jord og vann, eller et minimum med vann til å kunne måle en pH i materialet) ved måling av pH.

Jernsulfater

Det må skilles mellom Fe²⁺ jernsulfat (FeSO₄•xH₂O) og Fe³⁺ jernsulfat (Fe₂(SO₄)₃•xH₂O) Fe-II sulfater er stabile ved nøytrale pH, mens Fe-III sulfater er karakteristiske ved pH<3(4). X i mineralformel angir her antall vannmolekyler i krystallformelen. Mineraler som dannes ved pH<4 har karakteristiske gul/oransje farger. Mineraler som dannes ved pH 4 -pH 5 er såkalte oxy-hydroksider. Disse har en rustbrun farge og kan danne geler

Monosulfidisk jord

Jord med > 0,01% AVS sulfider som er syre-løselige-sulfider Fe_(1-x) S. Det er ikke beskrevet om %innhold er i volum, mineralprosent (1%=10.000 mg/kg 0.01 tilsvarer da 100 mg S/kg dersom dette skal være vekt%). Siden det er snakk om mineraler, så antas det at det er volum% eller vekt%. Sulfider har høyere egenvekt enn den generelle matriks), definisjonen mangler mol%, vekt% volum% må derfor avklares for en direkte korrelasjon mot M310 og S (svovel) i mg/kg tørrstoff [16].

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 16 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

Thionisk sjikt

Er et lag/sjikt som kan utvikle lav pH (pH <3)

Karakteristiske trekk ved thioniske sjikt:

pH < 4 i vann i kontakt med sjiktet og en eller flere av følgende punkter

- farger (gule/oransje) som flekker eller belegg av Fe-III/Al III sulfater
- direkte over underliggende sulfidisk materiale (f.eks. svart leirskifer)
- 0.05 vektprosent vannløselige sulfater
- Og 15 cm tykkelse

4.3 Hyper- hypo metoden

Metoden er utviklet som standard metode av International Acid Sulfate Soils Working Group in 2008. Metoden kan anvendes på jordmateriale som sedimenter inkludert morenemateriale som usorterte avsetninger fra iserosjon som også kan være langtransporterte. Moreneavsetninger i Stange-Løten kan derfor som utgangspunkt klassifiseres etter denne metoden.

Definisjonen av hyper- og hyposulfidiske egenskaper relateres til om det kan utvikles et forvitringstiljø med lav pH ved en inkubasjon av materiale (materiale plasseres i et fuktig miljø med relativ fuktighet (RH) mellom ca. 40 – 90 i 9 uker.

4.4 Feltidentifikasjon

4.4.1 Utseende

Hypersulfidisk materiale som ikke har igangsatt red-oks reaksjoner har de primære sulfidminerale fortsatt intakt. Slikt ureagert materiale har normalt en svart farge grunnet hovedsakelig innholdet av TOC (i svarte leirskifere organisk kullforbindelser, gjerne antrasitt) i svarte leirskifere. De har dermed et potensiale som kan realiseres (tilsvarer plassering i AP:NP diagrammet i M310).

Hypersulfidisk materiale der red-oks reaksjoner er igangsatt vil kunne ha dannet sekundære minerale (les: sulfater og oxy-hydroksider).

Munsell fargeskalaen

Slike farger er karakteristiske farger i oksidert materiale og kan knyttes til ulike mineralfaser som kan dannes.

N, 5Y, Gul: Tre-verdige Fe-aluminiumsulfater her nevnes de tre vanligste som kopiatitt, alunitt, jarositt. Det er her verdt å nevne at Al³⁺ og Fe³⁺ kan substituere hverandre i disse mineralene da de har omtrent samme størrelse.

5GY, Grønn-gul som over, med der det er mindre omfang karakteristisk farge i etasje 3b.

5BG, Blå-grønn (turkis) to-verdige jernsulfater, disse er ikke representative for pH < 4, men like gjerne pH 7.

5G, Grønn som pH 7 forhold (i mindre omfang Cu-forbindelser kobber verdi (lyshet) 2, 3 eller 4 og chroma (fargeintensitet) 1 eller lavere i fuktig tilstand.

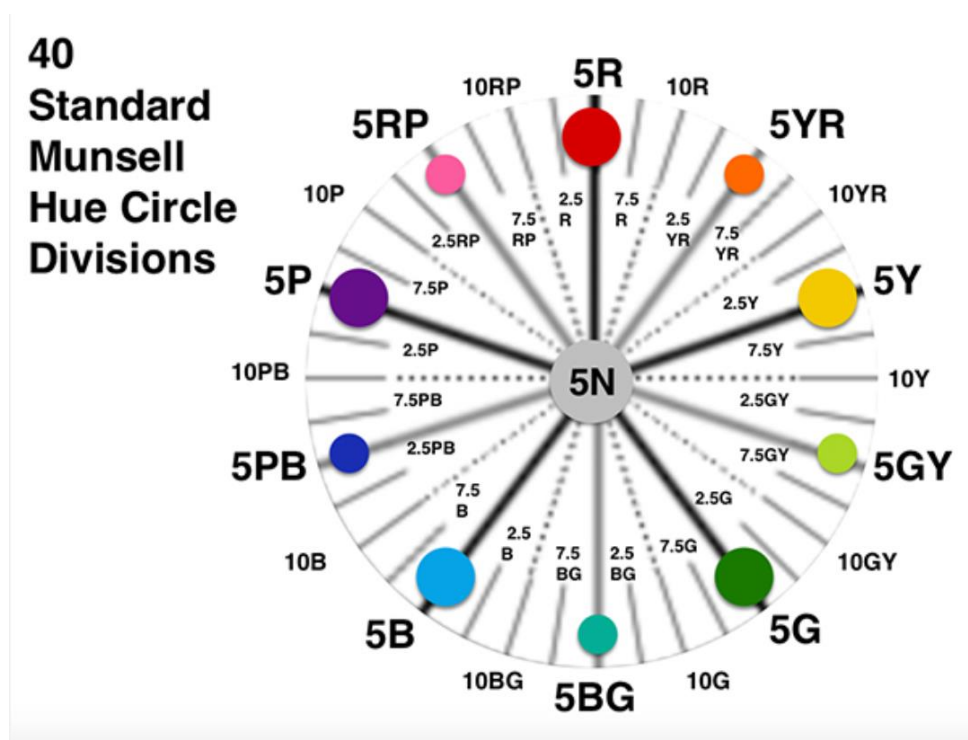
Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 17 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

4.4.2 Munsell fargekart

Munsell fargekart som metode ble introdusert i 1905. Metoden har tre dimensjoner, farge, metning og renhet. Dette er et kommersielt produkt med bred anvendelse.

Koding gis med tre nivåer:

1. Farge R, YR, Y, GY, G, BG, B, PB, P, and RP (red, yellow red, yellow, green yellow, green, blue green, blue, purple blue, purple, red purple).
2. Den andre verdien angir lyshet/mørkhet. Der 0 er sort og 10 er hvitt.
3. Det siste tall angir renhet og metning på fargen.



Figur 4. Munsell fargekart med inndeling av farge

4.4.3 Lukt

Når en forstyrrer jorda ved f.eks. graving, vil en ofte kunne kjenne lukt av hydrogendisulfid (råtne egg), og luktutviklingen vil kunne bli sterkere ved tilsetning av en dråpe 1M HCl. Dette kan være karakteristisk for monosulfider (AVS sulfider).

4.4.4 Hurtigtest i felt (ikke kvantitativ)

Som hurtigtest kan en bruke hydrogenperoksid (H₂O₂). Indikasjon på hypersulfidisk materiale kan oppnås med 10 g prøve tilsatt 50 ml 30 % H₂O₂. Dersom pH dropper til ≤ 2,5 er det en indikasjon,

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 18 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	---	--

men ikke et sikkert diagnostisk tegn på hypersulfidisk materiale. Det er inkubasjonstesten som er diagnostisk. *Hydrogenperoksid er et kraftig oksidasjonsmiddel og testen kan derfor som resultat utvikle mye varme og skum når det er høyt innhold av organisk materiale i prøven.* Det presiseres at for en hypersulfidisk/hyposulfidisk klassifisering er det inkubasjonstesten som skal benyttes.

4.4.5 XRF røntgenpistol

En røntgenpistol gir raske svar og inkluderer ikke kjemiske reaksjoner. Røntgenpistolen kalibreres mot våtkjemiske analyser for bedre presisjon. Videre kan det utarbeides en mal/makro i Excel som beregner AP:NP, Fe:S og som basert på det angir hvilken type leirskifer som er til stede i morenemassene og avklaring for gjenbruk, masselager eller deponi.

4.5 Feltmetode prøvetaking og profilbeskrivelse av oppbygging av morenemasser

Det er sjaktet ut et graveprofil. Profilet er beskrevet med egenskaper som kornstørrelse, konsistens, fargekoder og mektigheter på ulike lag i profilet. Vann/fukt er også beskrevet.

I tillegg er det i feltobservasjoner notert hvilken type terrengoverflate som er undersøkt (f.eks. landbruksjord, eller annen vegetasjon/arealbruk). Det ble gravd ned til 3 – 5 meter for prøvepunkt DSH401, DSH406 og DSH617. De ulike sjiktene i jordprofilet ble karakterisert. Prøvene er hentet fra det nederste sjiktet i profilet, som representerer morenemateriale. Prøvene ble tatt med spade, eller gravemaskin og lagt i bokser, som videre ble lagret i et mørkt kjølerom på 10 °C.

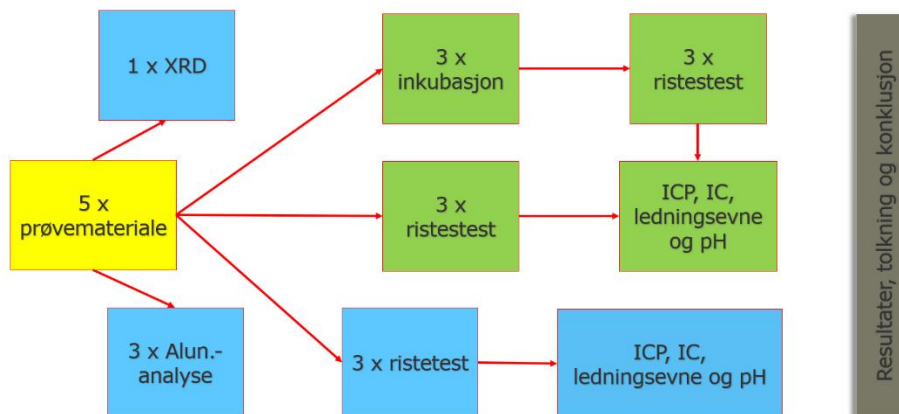
Jordsmonn er referert til som den delen av jordskorpens løsavleiringer som er påvirket av klima, vegetasjon, dyreliv og mikrobielle omsetninger, slik at den skiller seg ut fra *undergrunnsjorden*. Jordsmonnet er under våre forhold sjelden mer enn 1 meter tykt. Ved tynnere løsavleiringer kan det nå helt ned til berggrunnen. Jord er alt løst materiale (løsmasser) over berggrunnen, av mineralsk eller organisk materiale, mens jordsmonn er den delen av jorda som plantene har røttene sine i. Jordsmonn er derfor mer et forvittringsprodukt enn et erosjonsprodukt.

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 19 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

4.6 Geokjemiske metoder

4.6.1 Uttak av materiale til analyser og bearbeiding

Figur 5 viser metodeoppsettet til utlekkingstesten. Det er hentet prøvemateriale fra fem ulike lokaliteter, og tre duplikatprøver fra hver av disse. En prøve fra hver lokalitet ble sendt til XRD-analyser (totalt 5).



Figur 5: Flytskjema som viser metodeoppsettet til utlekkingstesten. Bokser med blå farge viser analyser utført av ALS. Grønne bokser representerer analyser utført hos NMBU av NIBIO og Rambøll.

Tre prøver fra hver lokalitet ble analysert for alunskiferpakkeanalyse (totalt 15) og sendt til ristetest (totalt 15) hos ALS. Samme utvalg av prøver ble utført hos NIBIO; ristetest, samt inkubasjon.

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 20 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
--	--	--

Prøvesplitter

En prøvesplitter (Figur 6) benyttes der en skal ta ut materiale fra et større volum enn det som skal undersøkes for å sikre en best mulig reproducerbar analyse og for å sikre mest mulig likt materiale ved uttak av paralleller. En prøvesplitter tilfredsstillende splitterprosedyre i henhold til DIN 51701/ T 4. Det er ikke benyttet prøvesplitter i arbeidet.



Figur 6. Eksempel på prøvesplittere for å ta ut representativt materiale.

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 21 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

4.6.2 ICP-MS, lab analyse (NIBIO og ALS)

Prøvene ble analysert iht. alunskiferpakken til ALS Laboratory Group Norway AS (kilde) for hovedelementer, sporelementer og radioaktive elementer, samt totalt uorganisk karbon (TIC) og totalt organisk karbon (TOC) Tabell 2 (alunskiferpakken). Analysen danner grunnlaget for identifisering og karakterisering av syredannende bergarter og masser. I denne rapporten er det satt søkelys på tolkningsmetoder beskrevet i M-310/2015 [6], som gjør det mulig å skille mellom bergarter som potensielt kan være:

- **Syredannende** og trenger spesiell håndtering.
- **Ikke syredannende** og kan disponeres fritt.
- **Mulig syredannende** og krever nærmere karakterisering og vurdering.

Tolkningen av de kjemiske analysene består av følgende ledd:

- AP/NP diagram (acidification potential/neutralization potential) som gir et bilde av bergartens eller massenes syredannende potensiale.
- Jern (Fe) – svovel (S) diagram som gir informasjon om forholdet mellom jern og svovel, og dermed i hvilke mineraltyper tungmetaller kan være bundet.
- Trekantdiagrammer, som viser relativt elementinnhold i forhold til referansebergarter. Trekantdiagrammene gir grunnlag for å identifisere type leirskifer (jfr. Tabell 1 lagrekken). Diagrammene gir også informasjon om hvor fortynnet materiale er, ved å se på innhold av for eksempel Zr og Si, sammenlignet med kjente leirskiferhorisonter og referansekonsentrasjoner ut fra trekantdiagrammene.
- Korreksjon fra XRD mineralanalyser.

M-310 og M-385 gir ikke en entydig fasit, men et potensiale, som forutsetter mer detaljerte undersøkelser. Som da gjerne er mineralidentifikasjon (XRD) og vannanalyser etter standard analysemetoder (LS-10). elektronmikroskopering (SEM) kan også gi verdifull informasjon for struktur og mineralkjemi/identifikasjon

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side:	22 av 79
		Dok.nr:	UEH-55-A-25149
		Rev.:	01A
		Dato	20.10.2020

Tabell 2: Kjemisk analyse (alunskiferpakken) av bergarter med hoved- og sporelementer, uorganisk karbon (TIC), og organisk karbon (TOC), samt radioaktive elementer. En må se på alle elementene for å se og tolke fortykning og forvittringsforhold

Element	Hovedelement (H) Sporelement (S)	Analysemetode	Deteksjonsgrense/ enhet
Torrstoff	-	Gravimetrisk	%
TIC	-	Kolometrisk	0,01%
TOC	-	Kolometrisk	0,01%
Glodetap (LOI)	-	Gravimetrisk	%
Si /Silisium)	H	ICP- (MS/OES/AES)	mg/kg TS
Al/Aluminium	H	ICP- (MS/OES/AES)	mg/kg TS
Ca/Kalsium	H	ICP- (MS/OES/AES)	mg/kg TS
Fe/Jern	H	ICP- (MS/OES/AES)	mg/kg TS
Mg/Magnesium	H	ICP- (MS/OES/AES)	mg/kg TS
Na/Natrium	H	ICP- (MS/OES/AES)	mg/kg TS
K/Kalium	H	ICP- (MS/OES/AES)	mg/kg TS
Ti/titan	H	ICP- (MS/OES/AES)	mg/kg TS
Mn/Mangan	H	ICP- (MS/OES/AES)	mg/kg TS
P/Fosfor	H	ICP- (MS/OES/AES)	mg/kg TS
As/Arsen	S	ICP- (MS/OES/AES)	3 mg/kg TS
Barium	S	ICP- (MS/OES/AES)	2 mg/kg TS
Beryllium	S	ICP- (MS/OES/AES)	0,5 mg/kg TS
Cd/Kadmium	S	ICP- (MS/OES/AES)	0,1 mg/kg TS
Co/Kobolt	S	ICP- (MS/OES/AES)	0,08 mg/kg TS
Cr/Krom	S	ICP- (MS/OES/AES)	10 mg/kg TS
Cu/Kopper	S	ICP- (MS/OES/AES)	1 mg/kg TS
Hg/Kvikksolv	S	ICP- (MS/OES/AES)	0,01 mg/kg TS
Mo/Molybden	S	ICP- (MS/OES/AES)	5 mg/kg TS
Nb/Niob	S	ICP- (MS/OES/AES)	5 mg/kg TS
Ni/Nikkel	S	ICP- (MS/OES/AES)	0,5 mg/kg TS
Pb/Bly	S	ICP- (MS/OES/AES)	1 mg/kg TS
S/Svovel	H	ICP- (MS/OES/AES)	80 mg/kg TS
Sc/Scandium	S	ICP- (MS/OES/AES)	1 mg/kg TS
Sn/Tinn	S	ICP- (MS/OES/AES)	20 mg/kg TS
Sr/Strontium	S	ICP- (MS/OES/AES)	2 mg/kg TS
V/Vanadium	S	ICP- (MS/OES/AES)	2 mg/kg TS
W/Wolfram	S	ICP- (MS/OES/AES)	50 mg/kg TS
Y/Yttrium	S	ICP- (MS/OES/AES)	2 mg/kg TS
Zn/Sink	S	ICP- (MS/OES/AES)	4 mg/kg TS
Zr/Zirkon	S	ICP- (MS/OES/AES)	2 mg/kg TS
U/Uran	S	ICP- (MS/OES/AES)	0,03 mg/kg TS
Th/Thorium	S	ICP- (MS/OES/AES)	0,1 mg/kg TS

4.6.3 Mineralogi og kjemiske analyser ved røntgendiffraksjon (XRD)

Prøvene ble analysert hos ALS Laboratory Group Norway AS [17] for kvalitative og kvantitative bestemmelser av mineralinnhold og relative mengder av de ulike mineraler i et analysert materiale. Analysemetoden som benyttes kalles røntgendiffraksjon (X-Ray Diffraction; 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-difraktogrammene ble tolket på nytt av Institutt for Geofag, UiO. Tolkningen ble utført ved bruk av DiffraEva-programvaren, med ICDD PDF-4 Mineral databasen for mineralidentifikasjon.

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 23 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	---	--

Rietveld avgrensning og fase kvantifisering ble beregnet ved bruk av Profex, ved å ta hensyn til både krystallinitetseffekter og toppintensiteter i diffraktogrammet.

4.6.3.1 Hvilken informasjon kan vi hente fra de ulike mineralene?

Gips ($\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$)

Gips er et forvitningsprodukt (kalsiumsulfat) som dannes fra sulfider og kalsium fra karbonatet (CaCO_3). Da frigjøres CO_3^{2-} som er en av de viktigste bidragene til bufring. Den syredannende prosessen kan derfor være fraværende inntil karbonatene er brukt opp. Sulfat (SO_4^{2-}) er ofte det mest dominerende anionet i vannanalysene.

Kalsitt (CaCO_3)

Kalsitt i alunskifermateriale kan stamme fra iblandet morenemateriale, eller fra karbonater som opptrer naturlig i svarte og grå leirskifere. Karbonater bidrar til bufferevnen til materialet.

Jarositt ($\text{KFe}^{3+}(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$)

Jarositt er et forvitningsprodukt som gir 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 $\text{pH} < 3$, og er dermed en pH indikator i massene i likhet med alunitt/kopiatitt. Blir jarositt ustabilt, kan det medføre frigjøring av H^+ .

Kvarts, plagioklas og K-feltspat

Kvarts, plagioklas og K-feltspat mineralene er bergartsdannende mineraler, og forekommer naturlig i leirskifere. I og med at materialet er usortert morenemateriale kan mengden variere mellom prøvene, og gir informasjon om hvor fortynnet materialet er.

Glimmermineraler; muskovitt, illitt, kloritt, montmorillonitt

Ovennevnte mineraler har en viss bufringsevne. Disse mineralene utgjør sammen med kvarts og feltspat grunnstammen av mineraler i leirskifere (derfor også prefiks **leirskifer**).

4.6.4 Ristetest

Ristetest er en verifikasjonstest for utlekking som simulerer middels langtidsutlekkingsforløp av grunnstoffer fra en fast fase til en vannfase. Testen brukes ofte for å vurdere miljørisiko f.eks ved utlekking av miljøgifter fra deponier. Materialet som ønskes karakterisert siktes (eventuelt knuses) til en partikkelstørrelse på < 4 mm. Materialet ristes med deionisert vann i 24 timer og gir da et eluat L/S 10, NS-EN 12457/1-4. Forholdet mellom vann og faststoff er 10:1 ved denne metoden og analysen er utført på filtrert vann (0,45 μm).

Ristetest utført ved 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 for å få klar

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 24 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	---	--

vannfase. Prøvene ble deretter filtrert med standard filter på 0,45 µm, før de ble målt for ledningsevne og pH. Forholdet mellom vann og fast stoff i NIBIO metoden er 1:10.

Hvert prøvesett besto av tre forskjellige fraksjoner med ulik størrelse på materialet (1-3) fra hver prøve:

- 1 representerer finstoffet i prøven;
- 2 representerer en blanding av finstoff og klumpete materiale;
- 3 representerer materialet med mest klumper.

4.6.5 Inkubasjon

Inkubasjonstest er et forsøk med hensikt å fremskynde et akselerert forvitringstilstand, ved økt eksponering for luft og fuktighet/vann (feltkapasitet ble tilstrebet). I sulfidholdige masser kan en ved eksponering av luft og vann kunne forvente oksidering, fall i pH og dannelse av sulfater i tillegg til at flere grunnstoffer løses og anrikes i vannet.

Inkubasjonstest i NMBUs sine laboratorier ble utført ved at prøvemateriale ble tilført vann i begerglass tilsvarende feltkapasitet; vannmengde som representerer feltforhold. Prøvene skulle fuktet opp til riktig nivå, men ikke overmettes med vann, for å gi tilstrekkelig eksponering til både luft og vann.

Mengden prøvemateriale varierte fra ca. 150 – 200 g ut fra mengden vann bundet i prøven. Deretter ble det tilført vann i mengder som tilpasses feltkapasitet. Mengde som ble tilført varierte fra 10 – 20 vol. %. Årsaken til at vannmengden varierer kommer av at prøvene ikke var tørket på forhånd, slik at vanninnholdet i prøvene ikke var likt. Enkelte prøver var mer fuktige enn andre. Det ble tilstrebet en relativ fuktighet i prøvematerialet, RH 60-80.

Etter at prøvene var blitt tilført mengde vann tilsvarende feltkapasitet, stod prøvene til inkubering i et mørkt kjølerom på ca. 10°C i totalt 9 uker. Under denne perioden ble det foretatt ukentlige kontroll av begerglass, og vanninnholdet ble justert, ettersom prøvene tørket underveis. Mengde vann tilført etter vurdering av uttørring.

Etter inkubering ble det utført en ristetest, for å sammenligne kjemiske analyser tatt av prøver før og etter inkubering. Metoden for ristetest etter inkubering er den samme som før inkubering. Inkubert materiale 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 for å få klar vannfase. Prøvene ble deretter filtrert med standard filter på 0,45 µm, før de ble målt for ledningsevne (konduktivitet) og pH. Forholdet mellom vann og fast stoff i NIBIO metoden er 1:10.

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;
- 3 representerer materialet med mest klumper.

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 25 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

5 TEST AV METODEN

Metoden for karakterisering er testet ut på fem prøvesteder. Prøvestedene har et spenn i syredannende potensiale og inkluderer to punkter som ikke har potensiale, et punkt som er gjennomforvitret og to punkter, hvor svart leirskifer med moderat forvitring er kilde. Alt analysert materiale har også et større eller mindre innslag av vanntransportert erosjonsmateriale fra bergartstyper lenger nord (kvarts-feltspatrike bergarter (såkalte sparagmitter).

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 26 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	---	--

6 FELTMETODE OG FELTBESKRIVELSER

Prøvepunktene ble valgt ut på bakgrunn av

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

Beskrivelser i jordprofilen er angitt iblant annet «Håndbok fra Skog og landskap 01/2008: Feltinstruks for jordsmonnkartlegging»

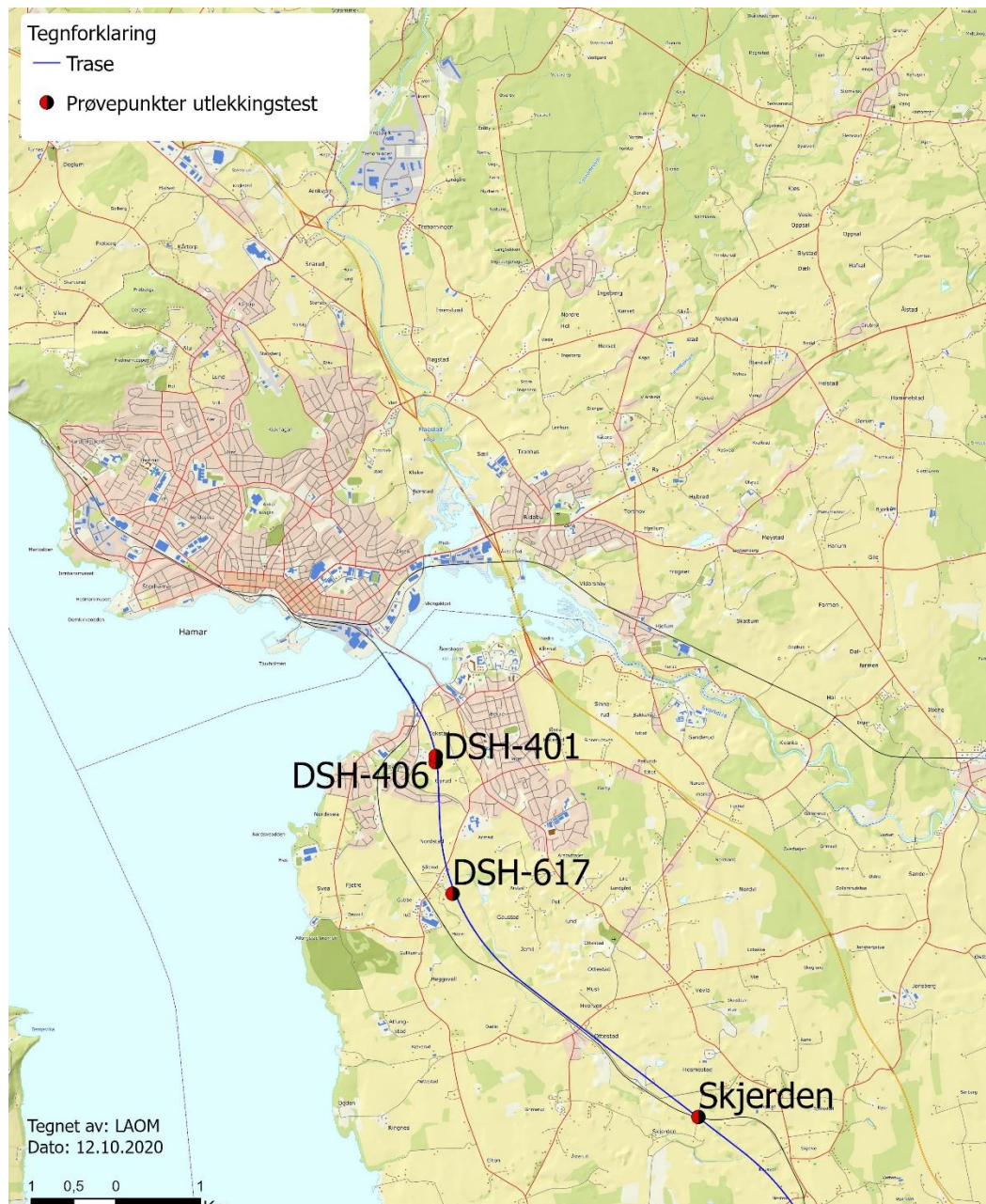
Ved prøvepunkt 401, 406 og 617 tok en først av ploglaget ned til grensen for B-sjiktet, på den flaten som en anså å være nødvendig for å legge ut hauger/ranker av undergrunnsmasser senere i anleggsfasen. Det ble så gravd et jordprofil ned til ca. 2 meter dybde, som ble beskrevet i henhold til retningslinjer for beskrivelse av jordprofil. Farge i alle jordlag, med ulike fargenyanser, ble beskrevet ut fra Munsell Soil Color Book [18]

Etter at jordprofilbeskrivelsen og uttak av prøver i jordsmonnssjiktene var fullført, ble det gravd lagvis dypere ned i jordprofilen, 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, en effekt som fører til utrasing ned i gropa.

6.1 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 utlekkingsstest (DSH401, DSH406 og DSH617 Figur 7). Prøvene skulle representere materialer som etter M310 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. Prøvene ble utpekt som områder med alunskifer som opphavsmateriale. Prøvene fra Skjerden ble tatt i skråningen mot nord rett øst for jernbaneundergangen. Prøvestedet var lokalisert av NIBIO i forbindelse med tidligere prøvetaking, og ble påvist som svært sur jord med pH <3 på vegetasjonsfritt parti i veiskråningen. Prøven var ment å vise surt jordsmonn dannet ved oksidasjon av sulfidmateriale i alunskifer. Prøven fra Rv.3/25 prosjektet representerte svart morenemateriale som lå antatt 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, (Figur 12), samt fra veiskråning ved Myklegard (Figur 12). 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. Metoden gjorde det mulig å hente opp prøver som man med større sikkerhet kunne si stammet fra berggrunn.

6.1.1 Plassering av prøvepunkter



Figur 7: Kart over Hamar og omegn. Planlagt trasé er markert som heltrukken blå linje i kartet. Prøvepunktene er markert som rød og svarte sirkler. DSH401 er prøvetatt mellom Tokstad og Gyrud, like sør for Hamar - langs planlagt trasé.

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 28 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	---	--

6.1.2 DSH401

6.1.2.1 Feltbeskrivelser av profil DSH401

Tabellen viser en forenklet beskrivelse av jordlag i profilet DSH401. Beskrivelsene er basert på observasjoner tatt i felt av NIBIO og Rambøll/Sweco 16. mai 2020.

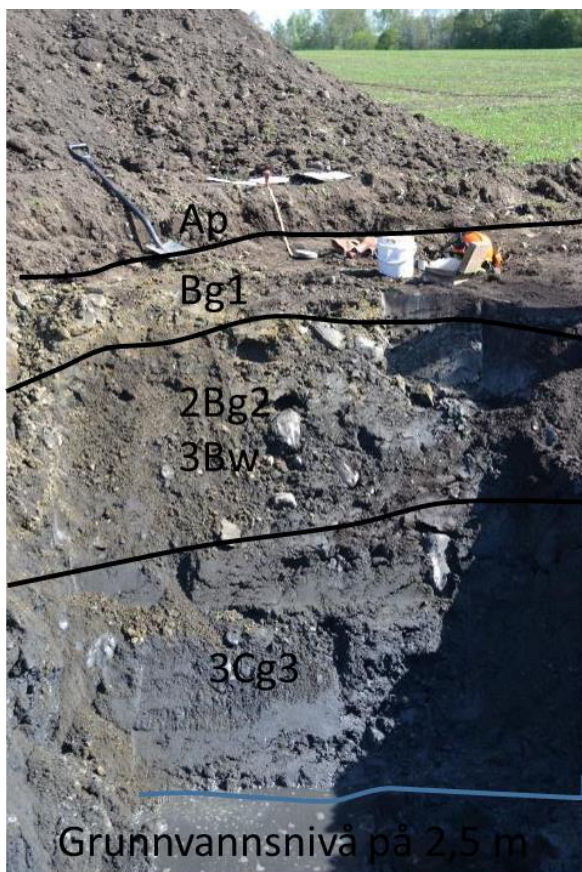
Tabell 3: Forenklet beskrivelse av jordlagene i profil DSH401.

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.
Dyp prøvemateriale	4,5 – 5.5 m
Farge prøvemateriale	Svart (N 2,5/0)

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 29 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

6.1.2.2 Profilbeskrivelser: DSH401

Profilsnitt med inntegnede jordlag og forenklet beskrivelse av jordlagene i profilet er vist i Figur 8. Massene under grunnvannsnivået var overmettet og fløt ut som en velling ned i gropa. Minst 20 m³ 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. Det ble prøvetatt fra dette laget.

Figur 8: Vertikalsnitt av profil DSH401 med inntegnende grenser for jordlag (Foto: Trond Knapp Haraldsen)

Forvitret inkluderer kjemiske endringer mens erosjon beskriver løsrivelse og transport av et materiale.

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 30 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	---	--

6.1.3 DSH406

6.1.3.1 Feltbeskrivelser av profil DSH406

Tabellen viser en forenklet beskrivelse av jordlagene i profil DSH406. Beskrivelsene er basert på observasjoner tatt i felt av NIBIO og Rambøll/Sweco 16. mai 2020.

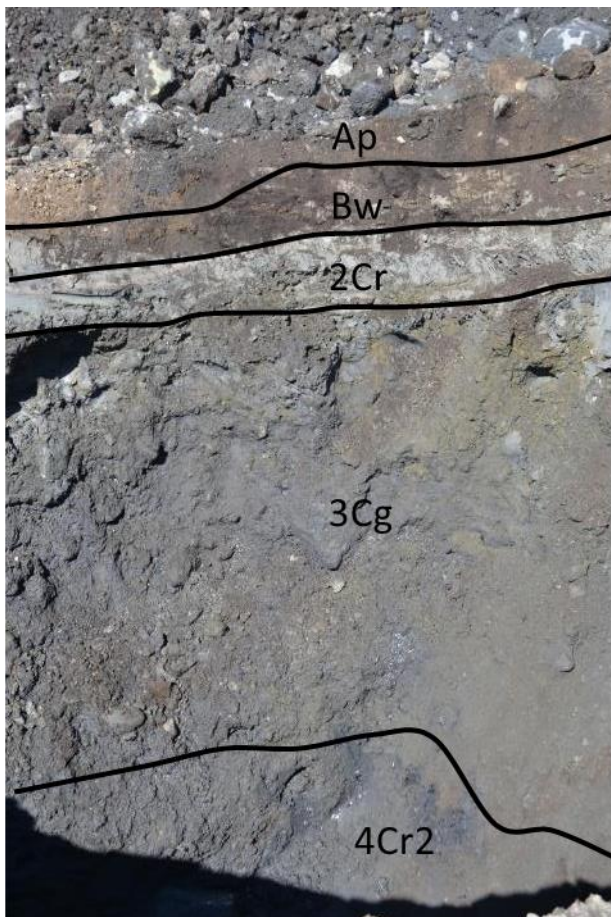
Tabell 4: Forenklet beskrivelse av jordlagene i profil DSH406.

Observasjon	Beskrivelse
Opphavsmateriale	Morenemateriale, trolig ablasjonsmorene over bunnmorene.
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.
Dyp prøvemateriale	3,4 – 5,4 m
Farge prøvemateriale	Svart (N 2,5/0)

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 31 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

6.1.3.2 Profilbeskrivelser: DSH406

Profilsnitt og forenklet profilbeskrivelse er vist i Figur 9. Det svarte laget (4Cr2) går dypere enn gravemaskinen nådde. Det oppstod oversvømmelse i profilet etter at vann i nedgravd blokkstein strømmet ut i gropa. Store vannmengder fosset ut som da leirmassen gav etter. Det ble gravd over en dreneringsgrøft i profilet, som ble reparert med et nytt dreneringsrør mellom bruddpunktene.



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 svart materiale av antatt svart leirskifer (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. Det er prøvetatt i dette laget.

Figur 9: Vertikalsnittet av profil DSH406 med inntegnede grenser for jordlag (Foto: Trond Knapp Haraldsen).

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 32 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	---	--

6.1.4 DSH617

6.1.4.1 Feltbeskrivelser av profil DSH617

Tabellen viser en forenklet beskrivelse av jordlagene i profil DSH617. Beskrivelsene er basert på observasjoner tatt i felt av NIBIO og Rambøll/Sweco 16. mai 2020.

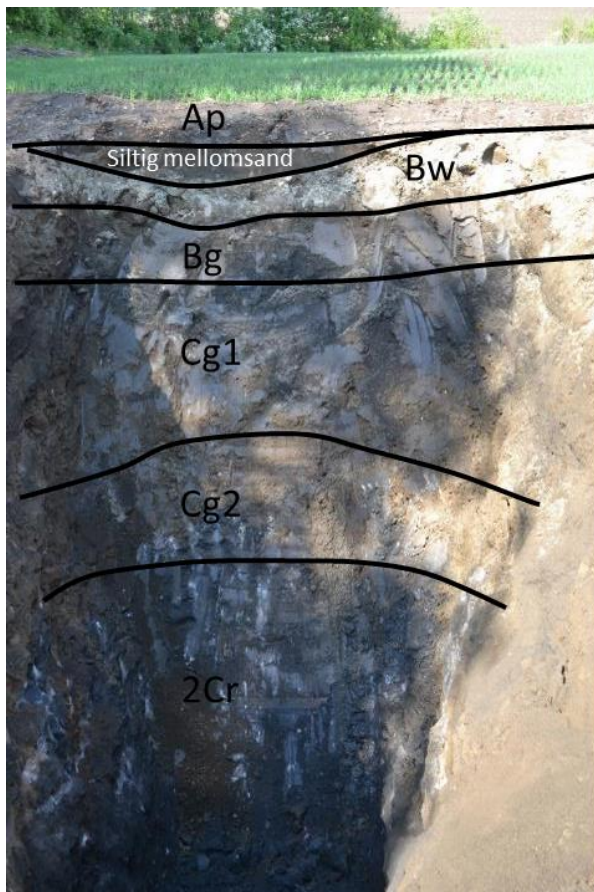
Tabell 5: Forenklet beskrivelse av jordlagene i profil DSH617.

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.
Dyp prøvemateriale	3,3 – 5,7 m
Farge prøvemateriale	Svart (N 3/0)

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 33 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

6.1.4.2 Profilbeskrivelser: DSH617

Profilsnitt og forenklet profilbeskrivelse er vist i Figur 10. Gravemaskinen gravde så dypt det lot seg gjøre, men nådde ikke ned til fast fjell. De dypeste massene 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 TR 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.

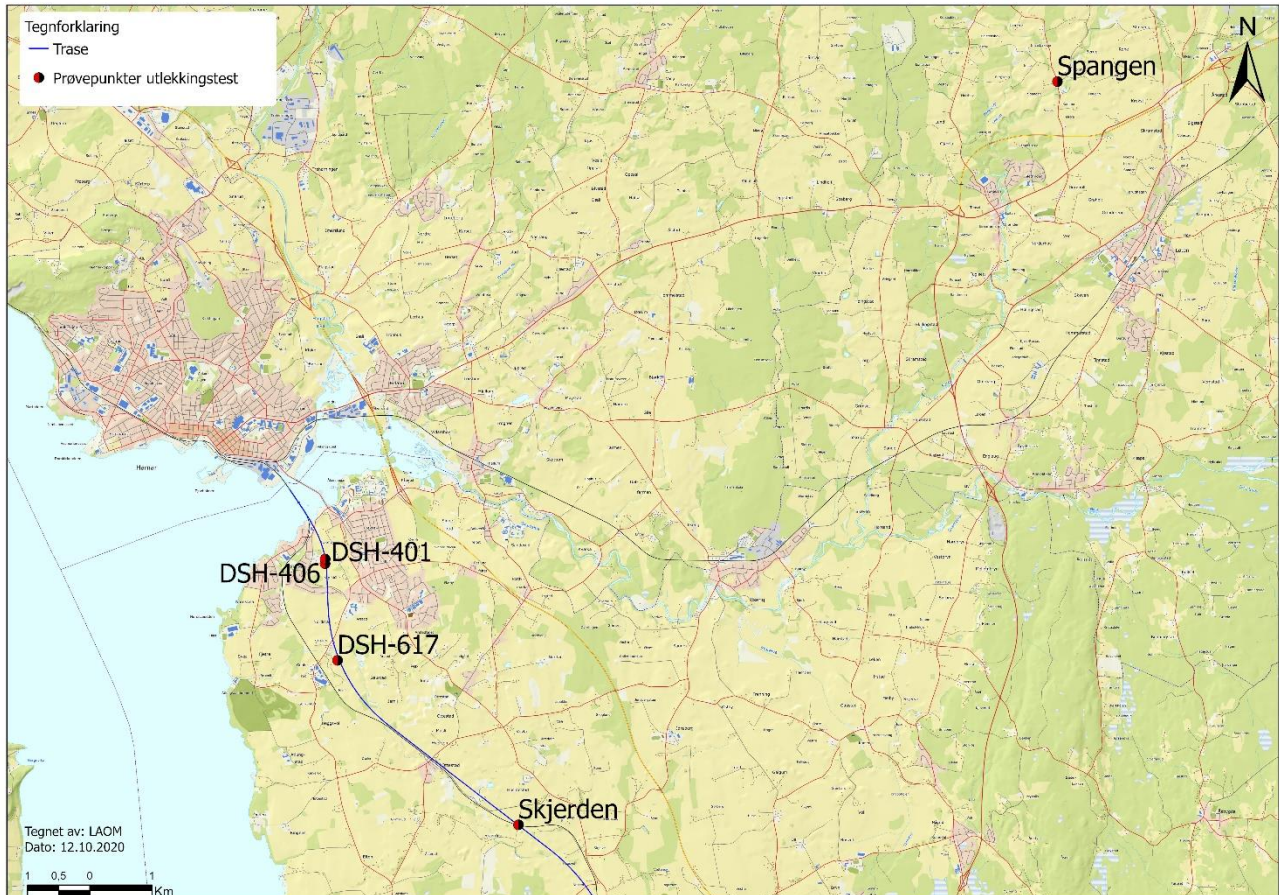
Cg2 220-330 cm: Brun, hard morene, svært stein og blokkrik.

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

Figur 10: Vertikalsnitt av profil DSH617 med inntegnede grenser av jordlag (Foto: Trond Knapp Haraldsen).

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 34 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

6.1.5 Spangen



Figur 11: Kart over Hamar/Løten og omegn. Planlagt trasé er markert som heltrukken blå linje i kartet. Prøvepunktene er markert som røde og svarte sirkler. Spangen er prøvetatt fra masselageret til Skanska i forbindelse med etablering av Rv.3/25 ved Løten.

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 35 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	---	--

6.1.5.1 Beskrivelse av prøvene hentet fra masselageret på Spangen/Myklegard

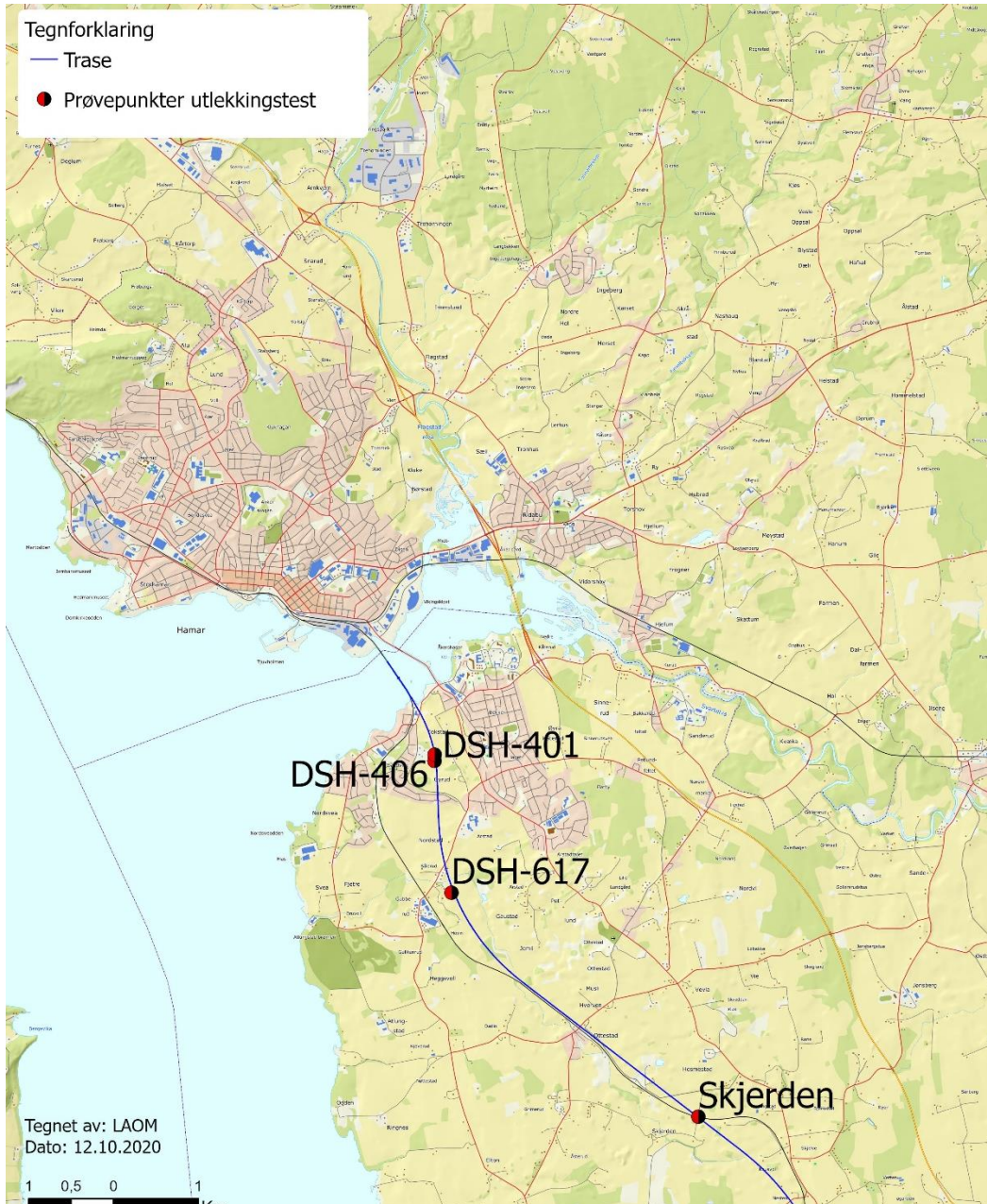
I Skanskas veiprojekt på Rv.3/25 i Løten var det store områder med svarte morenemasser som lå direkte på alunskifer. For å kunne sammenligne prøvemateriale fra Bane NORs prosjekt i Stange med masser som sikkert kunne fastslås å være dominert av alunskifer som opphavsmateriale, fikk prosjektet tillatelse til å ta prøver fra et masselager for slike masser på Spangen den 1. oktober 2019 (Figur 12). Prøvene er tatt på ulike steder på haugen, bl.a. i haugen der spade er plassert i venstre bilde (Figur 12). Det ble også tatt prøver fra masser langs veiskråning ved Myklegard, som vist i høyre bildet (Figur 12). Massene representerer alunskifermorene med kontakt til underliggende berggrunn av alunskifer. Massene bestod av masser tatt over en lengre veistrekning med lignende løsmasser.



Figur 12: Bildene viser masselageret til Skanska ifm. Veiprojektet Rv.3/25 (venstre). Bildet til høyre viser hvor massene fra veiskråningen ved Myklegard er hentet. (Venstre foto: Trond Knapp Haraldsen. Høyre foto: Marius Tevik Olsen)

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 36 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

6.1.6 Skjerden



Figur 13: Kart over Hamar og omegn. Planlagt trasé er markert som heltrukken blå linje i kartet. Prøvepunktene er markert som rød og svarte sirkler. Skjerden er prøvetatt ved Skjerden gård sør-øst for Ottestad.

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 37 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

6.1.6.1 Beskrivelse

I skjæringen på østsiden av jernbaneundergangen ved Skjerden identifiserte NIBIO i en tidligere undersøkelse vegetasjonsfrie områder med $\text{pH} < 3$. Området vil bli en del av anleggssonen for jernbaneprosjektet, men ny jernbane vil i området fundamenteres på fylling. Ettersom området er dokumentert med alunskiferberggrunn var det av interesse å få med materiale i testen som representerte surt materiale, hvor 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 14.



Figur 14: Uttak av prøvemateriale (ved spade og blå bokser) i et surt jordsmonn med sparsom vegetasjon i veiskjæring på Skjerden. (foto: Trond Knapp Haraldsen).

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 38 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

7 RESULTATER

7.1 Geokjemiske analyser: DSH401

7.1.1 XRD – Kvantitativ og kvalitativ bestemmelse av mineraler

Leirskifere har som navnet indikerer leirminerlaer og glimmermineraler. I tillegg er de viktigste bergartsdannende mineraler i leirskifere kvarts og feltspat. I tillegg er det identifisert både sulfid og sulfatmineraler. Svovel i kjemisk analyse er bundet i gips og pyritt. Videre er det 4% kalsitt. Gips er et forvittringsprodukt ved at sulfider har oksidert i kontakt med kalkstein. Påvisning av kalsitt viser at prøvemateriale fortsatt har en bufferkapasitet. Det er ikke monosulfider i prøven, kun pyritt.

Tabell 6: Tabellen viser en kvantitativ bestemmelse (%) av mineralene som opptrer i prøvene; DSH401, DSH406, DSH617, Spangen og Skjerden.

Prøve	Kvarts	Musk-illitt	Plagioklas	K-Feltspat	Kloritt	Gips	Kalsitt	Pyritt	Rutil	Titanitt	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

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 39 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

7.1.2 Alunskiferpakkenalyse (ALS)

Tabell 7: Resultater fra alunskiferpakkeanalyse (ALS) for prøve DSH401

ELEMENT	SAMPLE	DSH401-AL1	DSH401-AL2	DSH401-AL3
Tørrstoff (L)	%	87,3	83,2	85,4
SiO ₂	% TS	54	59,6	57
Al ₂ O ₃	% TS	11,6	11,4	11,1
Kalsiumoksid (CaO)	% TS	6,08	4,85	3,85
Fe ₂ O ₃	% TS	5,04	4,73	4,73
K ₂ O	% TS	3,42	3,62	3,61
MgO	% TS	1,29	1,18	1,25
MnO	% TS	0,0668	0,0569	0,0562
Na ₂ O	% TS	0,728	0,838	0,887
P ₂ O ₅	% TS	0,169	0,187	0,193
TiO ₂	% TS	0,596	0,626	0,706
Glødetap (LOI)	% TS	8,8	8,3	8,9
As (Arsen)	mg/kg TS	29,2	29,2	30,7
Ba (Barium)	mg/kg TS	1070	1030	1120
Be (Beryllium)	mg/kg TS	2,96	2,83	2,55
Cd (Kadmium)	mg/kg TS	1,99	2,53	1,95
Co (Kobolt)	mg/kg TS	17,8	16,4	18,6
Cr (Krom)	mg/kg TS	73,1	69,1	71,9
Cu (Kopper)	mg/kg TS	68	65,7	74,3
Hg (Kvikksølv)	mg/kg TS	0,107	0,107	0,123
Mo (Molybden)	mg/kg TS	48,4	51,1	54,8
Nb (Niob)	mg/kg TS	12,1	12,1	13,6
Ni (Nikkel)	mg/kg TS	120	103	115
Pb (Bly)	mg/kg TS	21,1	20,8	24
S (Svovel)	mg/kg TS	18100	18200	18800
Sc (Scandium)	mg/kg TS	11,1	10,2	11,4
Sn (Tinn)	mg/kg TS	2,09	2,13	2,27
Sr (Strontium)	mg/kg TS	151	131	126
V (Vanadium)	mg/kg TS	368	388	388
W (Wolfram)	mg/kg TS	1,76	1,6	1,89
Y (Yttrium)	mg/kg TS	28,1	28	29,6
Zn (Sink)	mg/kg TS	146	152	141
Zr (Zirkonium)	mg/kg TS	137	155	168
Th (Thorium)	mg/kg TS	10,5	10,2	10,5
U (Uran)	mg/kg TS	31,1	30,6	29
Tørrstoff (E)	%	87	86,3	89,5
TOC	% TS	3,95	2,97	2,96
TIC	% TS	0,676	0,67	0,848

Analysen samsvarer med etasje 3bβ Galgebergenhenten i Tøyenformasjonen kap. 7.3.

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side:	40 av 79
		Dok.nr:	UEH-55-A-25149
		Rev.:	01A
		Dato	20.10.2020

7.1.3 Ristetest før og etter inkubasjon

Tabell 8: Tabellen viser resultater fra ristetest før og etter inkubasjon for prøve DSH401. Ristetest etter inkubasjonstesten ble gjort hos NIBIO.

ELEMENT	SAMPLE	ALS			NIBIO			Ristetest etter inkubasjon		
		DSH401-AL1	DSH401-AL2	DSH401-AL3	DSH401-1	DSH401-2	DSH401-3	DSH401-1	DSH401-2	DSH401-3
pH		7,95	7,8	7,85	7,73	7,92	7,9	7,28	7,45	7,52
Ledningsevne	(µS/cm)	652	732	531	646	553	558	862	767	875
Si	mg/l	1,21	0,903	2,29	0,24	0,61	0,39	0,53	0,59	0,62
Al	µg/l	46,2	26,5	125	2,8	1,9	5,7	9	5,4	4,3
Ca	mg/l	150	137	98,1	150	120	120	190	170	180
Fe	mg/l	0,0466	0,437	0,123	<0,31	<0,31	<LD	<LOD	<LOD	<LOD
K	mg/l	3,88	2,97	3,67	3,4	3,9	2,6	2,5	2,9	3,3
Mg	mg/l	4,78	4,25	3,2	4	3,9	3,4	5,7	5,7	6,7
Mn	µg/l	282	286	210	200	170	140	160	300	350
Na	mg/l	2,71	2,51	1,55	0,46	0,63	0,39	0,48	0,56	0,67
P	mg/l	0,0063	0,00798	0,0053	0,002	0,0025	0,0012	0,0024	0,0031	0,0017
As	µg/l	0,688	1,07	0,916	0,57	0,7	0,59	0,47	0,44	0,47
Ba	µg/l	83,5	84,9	100	54	61	58	50	52	56
Cd	µg/l	0,368	0,417	0,36	0,15	0,11	0,12	0,14	0,17	0,18
Co	µg/l	1,24	3,19	1,04	1,3	0,91	1,6	1,2	2,3	1,9
Cr	µg/l	0,236	0,147	0,322	0	0	0,084	0,1	0	0
Cu	µg/l	3,41	1,9	2,59	0,93	1,8	0,75	0	0	0
Mo	µg/l	291	268	270	360	340	270	350	300	320
Ni	µg/l	25,6	26,2	18,8	25	20	21	16	19	18
Pb	µg/l	0,534	0,36	0,626	<LD	<LD	<LD	<LOD	<LOD	<LOD
S	µg/l	122	113	77,6	120	95	96	150	140	150
Sr	µg/l	400	324	268	350	300	270	450	450	500
V	µg/l	0,522	0,492	1,26	0,18	0,33	0,074	0,083	0,08	0,076
Zn	µg/l	13,9	22,3	9,73	2,3	4	2,3	17	0	17
Th	µg/l	0,028	<0.02	0,0325	<0,0021	<0,0021	<0,0021	<0,0021	<0,0021	<LOD
U	µg/l	109	96,9	79,9	90	67	72	61	62	63
TOC	mg/l	1,24	1,26	1,04	-	-	-	-	-	-
TIC	mg/l	11,4	9,69	9,45	-	-	-	-	-	-
Bikarbonat (HCO ₃)	mg/l	50,8	45,2	43	-	-	-	-	-	-
Alkalinitet pH 4.5	mmol/l	0,832	0,741	0,704	-	-	-	-	-	-
Alkalinitet pH 8.3	mmol/l	<0.150	<0.150	<0.150	-	-	-	-	-	-
F:IC		<0.200	<0.200	<0.200	0,09	0,102	0,067	0,1	0,12	0,13
Cl: IC		1,16	1,01	<1.00	0,591	0,463	0,337	0,75	0,58	0,5
NO ₃ -N: Ic		<0.500	<0.500	<0.500	<0.02	<0.02	0,918	<0,020	<0,020	0,52
SO ₄ : IC		293	326	233	336	254,74	273,1	480	440	470

Dersom det løses ut mindre mengder etter inkubasjon enn før inkubasjon, kan dette tolkes som at det allerede før inkubasjon var lett-løselige forbindelser i materialet. Dette løses da ut i første ristetest. Uran er et eksempel her. Bi-karbonat og alkalinitet (se ALS analysen) viser buffringkapasitet i analysen. Etter ristetesten har vannet litt forhøyde mengder kalsium og sulfat. Hadde det også vært analysert på alkalinitet og bikarbonat, kunne vi sagt mer om buffringkapasitet. Jern er LOD etter inkubasjon, jernforbindelser er derfor løst ut i første ristetest. Molybden har samme verdier før og etter ristetest. Mangan har noe høyere verdier etter ristetest.

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 41 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	---	--

7.2 Geokjemiske analyser: DSH406

7.2.1 XRD – Kvantitativ og kvalitativ bestemmelse av mineraler

Prøven har karakteristiske sammensetning for leirskifer vist med innhold og mengder av kvarts, glimmer (musk/illitt + kloritt), plagioklas og K-feltspat. Aksessoriske mineraler (gips, pyritt, rutil, titanitt og jarositt). Svovel i prøven er bundet i gips og pyritt, kalsium er bundet i karbonat og gips. Mineralsammensetning viser overskudd av karbonat (kalsitt) i forhold til sulfid (pyritt).

Tabell 9: Tabellen viser en kvantitativ bestemmelse (%) av mineralene som opptrer i prøvene; DSH401, DSH406, DSH617, Spangen og Skjerden.

Prøve	Kvarts	Musk-Illitt	Plagioklas	K-Feltspat	Kloritt	Gips	Kalsitt	Pyritt	Rutil	Titanitt	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

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 42 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

7.2.2 Alunskiferpakkeanalyse (ALS)

Tabell 10: Resultater fra alunskiferpakkeanalyse (ALS) for prøve DSH406

ELEMENT	SAMPLE	DSH406-AL1	DSH406-AL2	DSH406-AL3
Tørrstoff (L)	%	90,2	89,9	88,2
SiO ₂	% TS	58,3	61,4	61,4
Al ₂ O ₃	% TS	9,21	9,48	9,2
Kalsiumoksid (CaO)	% TS	5,4	5,64	5,06
Fe ₂ O ₃	% TS	4,55	4,04	4,09
K ₂ O	% TS	2,46	2,13	2,34
MgO	% TS	1,55	1,17	1,3
MnO	% TS	0,071	0,0668	0,0713
Na ₂ O	% TS	0,932	1,12	1,1
P ₂ O ₅	% TS	0,142	0,158	0,141
TiO ₂	% TS	0,533	0,496	0,525
Glødetap (LOI)	% TS	6,9	6,4	6,6
As (Arsen)	mg/kg TS	20,8	16,3	15,7
Ba (Barium)	mg/kg TS	832	768	769
Be (Beryllium)	mg/kg TS	2,03	1,68	1,82
Cd (Kadmium)	mg/kg TS	1,03	1,12	1,03
Co (Kobolt)	mg/kg TS	15,2	13,2	13
Cr (Krom)	mg/kg TS	86,6	57,6	65,6
Cu (Kopper)	mg/kg TS	51,3	40,9	46,7
Hg (Kvikksølv)	mg/kg TS	0,0612	0,0428	0,0533
Mo (Molybden)	mg/kg TS	31,3	16,9	19,7
Nb (Niob)	mg/kg TS	10,5	9,98	10,3
Ni (Nikkel)	mg/kg TS	80,1	57,4	59,8
Pb (Bly)	mg/kg TS	16,2	15,6	15,1
S (Svovel)	mg/kg TS	10800	9460	8330
Sc (Scandium)	mg/kg TS	9,6	7,6	7,81
Sn (Tinn)	mg/kg TS	1,79	1,61	1,57
Sr (Strontium)	mg/kg TS	158	144	143
V (Vanadium)	mg/kg TS	236	129	176
W (Wolfram)	mg/kg TS	1,18	40,1	31,5
Y (Yttrium)	mg/kg TS	24,5	22,5	24,5
Zn (Sink)	mg/kg TS	104	135	103
Zr (Zirkonium)	mg/kg TS	160	144	164
Th (Thorium)	mg/kg TS	7,7	7,5	7,74
U (Uran)	mg/kg TS	16,9	9,39	12,4
Tørrstoff (E)	%	99,4	99,6	89,5
TOC	% TS	2,57	1,63	3,25
TIC	% TS	1,1	1,23	0,527

Svovelinholdet er for lavt til å kunne igangsette kjemiske reaksjoner i et slikt omfang at pH kan synke. SiO₂ er høyere enn referanseanalyser, zirkon er også forhøyet. AL2 og AL3 er mer fortynnet av annet morenemateriale enn AL1. Prøven er ikke syredannende og kan gjenbrukes i prosjektet. Trekantdiagrammene plasserer 406 i Galgeberg 3bβ. Det er ikke samsvar mellom materiale analysert hos NIBIO og hos ALS i vannanalysene.

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side:	43 av 79
		Dok.nr:	UEH-55-A-25149
		Rev.:	01A
		Dato	20.10.2020

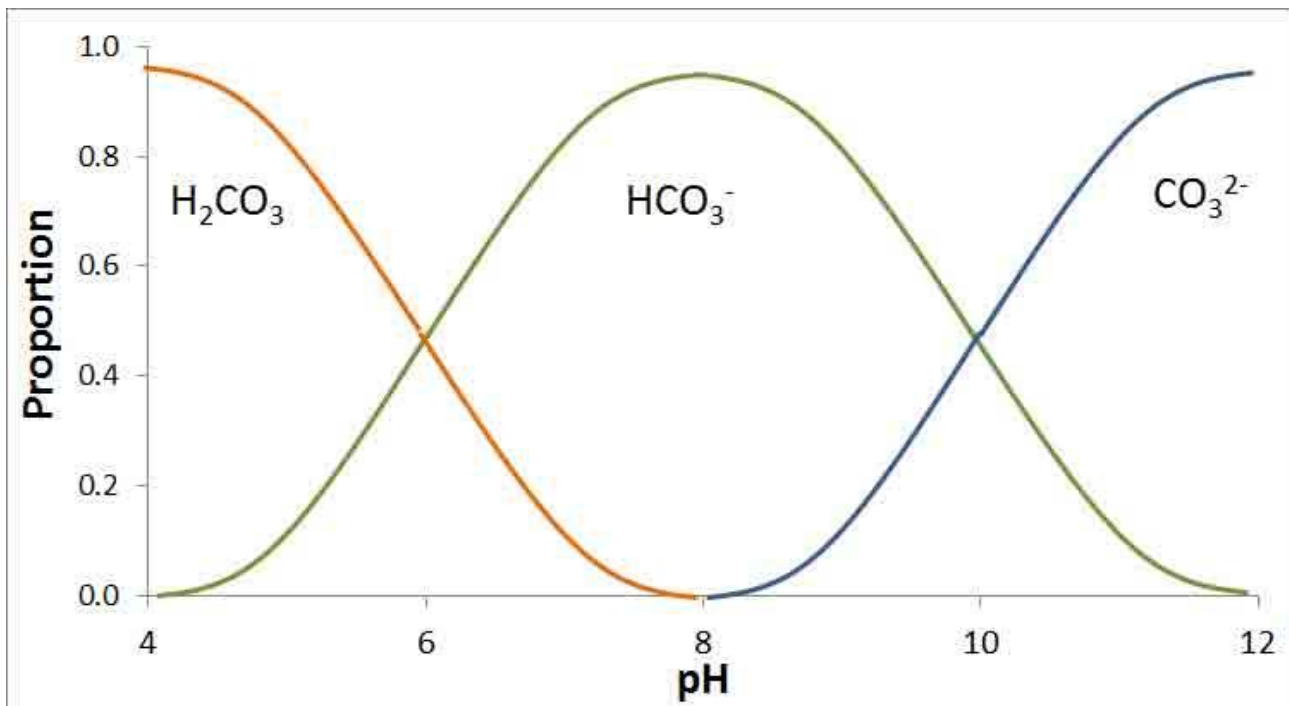
7.2.3 Ristetest før og etter inkubasjon

Tabell 11: Tabellen viser resultater fra ristetest før og etter inkubasjon av prøve DSH406. Ristetest utført etter inkubasjonstesten ble gjort hos NIBIO.

ELEMENT	SAMPLE	ALS			NIBIO			Ristetest etter inkubasjon		
		DSH406-AL1	DSH406-AL2	DSH406-AL3	DSH406-1	DSH406-2	DSH406-3	DSH406-1	DSH406-2	DSH406-3
pH		9,18	8,82	8,26	7,92	7,94	8,04	7,36	7,45	7,59
Ledningsevne	(µS/cm)	207	235	330	468	448	310	569	789	549
Si	mg/l	1,28	5,36	7,46	0,49	0,6	0,55	0,73	0,76	0,78
Al	µg/l	359	1510	2080	7,6	8,2	14	14	6,6	19
Ca	mg/l	34,4	36	53,7	93	90	56	110	160	95
Fe	mg/l	0,319	1,54	2,07	<LD	<LD	0,7	<LOD	<LOD	<LOD
K	mg/l	1,24	2,53	4,71	3,3	3,2	2,9	3,1	4,1	2,9
Mg	mg/l	2,03	2,28	2,85	4,2	3,2	2,4	4,4	6,1	3,8
Mn	µg/l	13,4	16,2	39,4	89	111	64	37	240	48
Na	mg/l	1,34	1,21	2,34	0,6	0,62	0,54	0,59	0,82	0,74
P	mg/l	0,00884	0,0326	0,02	0,00078	0,0016	0,0042	0,0023	0,0012	0,0049
As	µg/l	0,318	0,824	1,31	0,32	0,43	0,65	0,32	0,37	0,46
Ba	µg/l	38	48,7	93,4	52	49	45	47	49	46
Cd	µg/l	0,0478	0,0868	0,186	0,057	0,063	0,043	0,061	0,11	0,047
Co	µg/l	0,235	0,713	1,35	0,53	0,61	0,37	0,23	1,1	0,29
Cr	µg/l	0,605	2,36	3,55	0,084	0,084	0,11	0,1	0	0
Cu	µg/l	2,03	4,14	7,36	1	1,2	2,8	0	0	3
Mo	µg/l	37,8	31,1	85,9	190	180	150	210	270	190
Ni	µg/l	1,39	3,85	7,3	3,2	3,6	2,8	2,9	7,6	4,1
Pb	µg/l	0,608	1,53	2,24	<LD	<LD	<LD	<LOD	<LOD	<LOD
S	µg/l	28	29,6	38,7	74	69	43	88	130	72
Sr	µg/l	99,1	104	154	250	210	150	300	420	250
V	µg/l	2,17	7,26	11,3	0,059	0,11	0,24	0,084	0,078	0,14
Zn	µg/l	8,98	12,2	20,7	0	0	0	0	17	0
Th	µg/l	0,0683	0,158	0,135	<0,0021	<0,0021	<0,0021	<0,0021	<LOD	<0,0021
U	µg/l	5,87	4,17	16,9	31	32	18	25	57	17
TOC	mg/l	<0.50	<0.50	1,97	-	-	-	-	-	-
TIC	mg/l	2,95	3,95	9,17	-	-	-	-	-	-
Bikarbonat (HCO ₃)	mg/l	8,15	7,42	41,4	-	-	-	-	-	-
Alkalinitet pH 4.5	mmol/l	<0.150	<0.150	0,678	-	-	-	-	-	-
Alkalinitet pH 8.3	mmol/l	<0.150	<0.150	<0.150	-	-	-	-	-	-
F:IC		<0.200	<0.200	<0.200	0,083	0,096	0,103	0,1	0,15	0,14
Cl: IC		<1.00	<1.00	<1.00	0,204	0,276	0,206	0,28	0,37	0,25
NO ₃ -N: Ic		<0.500	<0.500	<0.500	0,734	0,189	0,206	0,85	<0,020	<0,020
SO ₄ : IC		65,7	92,5	101	219,99	202,05	120,25	280	420	230

Det er ikke identisk materiale som er analysert hos ALS og NIBIO. Dette fremkommer av innholdet av de ulike grunnstoffer i analysen. Ut fra NIBIO analysen, kan type leirskifer i materialet være en svart leirskifer fra Galgeberg 3bβ. Dette er da i samsvar med plassering i trekantdiagrammene. Bufringskapasitet i 406 er lavere enn i 401 ut fra alkalinitet og bikarbonat

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 44 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--



Figur 15. Stabilitetsområder for bi-karbonat (HCO₃⁻) og karbonat (CO₃²⁻) som funksjon av pH. Bi-karbonat har stor bufringsevne.

Alkalitet, eller **alkalinitet**, er vannets evne til å nøytralisere sterk syre ved en bestemt pH-verdi. Alkalinitet er definert som vannets innhold av negative ioner med baseegenskaper.

Alkalinitet refererer til mengde og type ioner og aggregater som kollektivt skyver pH mot det alkaline området. Bi-karbonat (karbonat-bufringssystemet) er normalt det viktigste anionet for alkalinitet. Alkalinitet er et mål for kapasiteten til å bufre (nøytralisere) en syre og beskrives ved milliekvivalenter per liter eller milligram per liter. Ofte beskrives alkalinitet som milligram bi-karbonat eller karbonat per liter. Da alkalinitet måles på filtrert prøve, er det løsningsens kapasitet som måles.

Dersom målingen skjer på ufiltrert prøve vil også partiklene som kan bidra til nøytralisering inngå.

Foruten hydroksider, karbonater og hydrogenkarbonater, har også negative ioner av silikater, fosfater, borater, arsenater, aluminater og humusstoffer, baseegenskaper.

Kapasiteten til å nøytralisere syre er lik den støkiometriske summen av basene i løsningen. I naturen utgjør alkalitet fra karbonat og bikarbonater mesteparten av total alkalitet.

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 45 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

7.3 Geokjemiske analyser: DSH617

7.3.1 XRD – Kvantitativ og kvalitativ bestemmelse av mineraler

Prøven skiller seg ut ved at den har større andel plagioklas (albitt) enn materialet fra de andre prøvene. Kvartsinnholdet i prøven er på 41%, som indikerer fortykning av langtransporterte masser.

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

Prøve	Kvarts	Musk-Ilitt	Plagioklas	K-Feltpat	Kloritt	Gips	Kalsitt	Pyritt	Rutil	Titanitt	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

Prøven viser at svovel i analysen er gips. Det er ikke identifisert sulfid i mineralanalysen. Merk: trekantdiagrammene plasseres analysen som Galgebeg 3bβ. Dette viser hvor viktig M310 verktøyet er i å identifisere kilde til svart leirskifer i analysen, og i tillegg kunne gi informasjon omfortynnningseffekten av langtransportert materiale.

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 46 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

7.3.2 Alunskiferpakkeanalyse (ALS)

Tabell 13: Resultater fra alunskiferpakkeanalyse (ALS) for prøve DSH617.

ELEMENT	SAMPLE	DSH617-AL1	DSH617-AL2	DSH617-AL3
Tørrstoff (L)	%	95	94,7	94,8
SiO ₂	% TS	56,7	64,2	63,5
Al ₂ O ₃	% TS	11,4	11	10,5
Kalsiumoksid (CaO)	% TS	3,01	2,74	3,77
Fe ₂ O ₃	% TS	5,41	4,6	4,18
K ₂ O	% TS	3,63	3,36	2,7
MgO	% TS	1,06	1,35	1,3
MnO	% TS	0,047	0,136	0,0773
Na ₂ O	% TS	0,366	1,37	1,34
P ₂ O ₅	% TS	0,14	0,176	0,178
TiO ₂	% TS	0,674	0,622	0,586
Glødetap (LOI)	% TS	5,3	4,3	5
As (Arsen)	mg/kg TS	9,54	9,37	10,5
Ba (Barium)	mg/kg TS	998	804	749
Be (Beryllium)	mg/kg TS	3,08	1,87	1,83
Cd (Kadmium)	mg/kg TS	0,664	0,453	0,613
Co (Kobolt)	mg/kg TS	14,1	12,1	11,6
Cr (Krom)	mg/kg TS	59,7	68,7	61,9
Cu (Kopper)	mg/kg TS	39,6	46,8	33,1
Hg (Kvikksølv)	mg/kg TS	0,0345	0,0363	0,0305
Mo (Molybden)	mg/kg TS	10,8	9,08	9,86
Nb (Niob)	mg/kg TS	13,1	12	11,6
Ni (Nikkel)	mg/kg TS	54,6	51,4	41,6
Pb (Bly)	mg/kg TS	15,4	15	15,5
S (Svovel)	mg/kg TS	4840	6100	5150
Sc (Scandium)	mg/kg TS	10,8	10,2	8,68
Sn (Tinn)	mg/kg TS	1,62	1,87	1,77
Sr (Strontium)	mg/kg TS	120	121	124
V (Vanadium)	mg/kg TS	508	153	136
W (Wolfram)	mg/kg TS	1,86	1,09	1,02
Y (Yttrium)	mg/kg TS	29	26,1	24
Zn (Sink)	mg/kg TS	83,1	71,8	82,6
Zr (Zirkonium)	mg/kg TS	145	189	162
Th (Thorium)	mg/kg TS	11,4	9,95	8,83
U (Uran)	mg/kg TS	45,8	7,19	6,7
Tørrstoff (E)	%	99,6	95,8	94,7
TOC	% TS	0,914	1,67	1,81
TIC	% TS	0,735	0,49	0,605

Prøven har for lavt innhold av Svovel til å kunne igangsette akselerert forvitring. Zr er høyest i AL2. XRD viser at svovel er bundet i sulfater (gips). Prøven inneholder ikke sulfider. Trekantdiagrammer viser at det er fortynnet Galgeberg 3bβ. SiO₂ viser fortynning. Sprik i de tre analyser tilsier at det er sprik i prøvematerialet.

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side:	47 av 79
		Dok.nr:	UEH-55-A-25149
		Rev.:	01A
		Dato	20.10.2020

7.3.3 Ristetest før og etter inkubasjon

Tabell 14: Tabellen viser resultater fra ristetest før og etter inkubasjon av prøve DSH617. Ristetest utført etter inkubasjonstesten ble gjort hos NIBIO.

ELEMENT	SAMPLE	ALS			NIBIO			Ristetest etter inkubasjon		
		DSH617-AL1	DSH617-AL2	DSH617-AL3	DSH617-1	DSH617-2	DSH617-3	DSH617-1	DSH617-2	DSH617-3
pH		9,32	8,91	9,24	8,07	7,95	8,03	7,43	7,56	7,61
Ledningsevne	(µS/cm)	229	220	198	239	230	226	326	297	417
Si	mg/l	5,67	3,59	4,68	0,97	0,98	0,38	1,3	1,2	1,3
Al	µg/l	502	277	2130	11	12	5,4	12	13	8
Ca	mg/l	38,3	37,9	35,8	44	42	43	55	47	74
Fe	mg/l	1,18	0,611	0,957	<LD	<LD	0,32	<LOD	<LOD	<LOD
K	mg/l	3,72	3,17	3,23	1,9	2,2	2,5	2,2	2,3	3,1
Mg	mg/l	1,64	1,57	1,54	1,4	1,5	1,1	1,6	1,7	1,9
Mn	µg/l	39	35,2	38	34	43	61	37	43	120
Na	mg/l	1,45	1,57	1,58	0,54	0,58	0,49	0,61	0,61	0,66
P	mg/l	0,0115	0,0065	0,0206	0,0071	0,006	0,0056	0,0072	0,0067	0,0052
As	µg/l	0,577	0,566	0,79	0,32	0,37	0,45	0,33	0,4	0,38
Ba	µg/l	100	97,2	102	71	87	59	60	65	57
Cd	µg/l	0,218	0,241	0,324	0,024	0,033	0,031	0,025	0,033	0,043
Co	µg/l	0,587	0,363	0,733	0,093	0,09	0,13	0,096	0,096	0,23
Cr	µg/l	0,733	0,496	2,77	0,084	0,084	0,084	0	0	0
Cu	µg/l	2,78	2,28	2,87	1,4	0,91	0,91	0	0	0
Mo	µg/l	180	202	194	150	200	140	150	210	210
Ni	µg/l	1,73	1,35	3,88	0,31	0,31	0,31	0,77	0,68	1,5
Pb	µg/l	0,964	0,691	1,16	<LD	<LD	<LD	<LOD	<LOD	<LOD
S	µg/l	31,6	33,5	31,3	35	35	34	40	34	55
Sr	µg/l	109	111	107	100	111	111	130	120	190
V	µg/l	1,69	1,1	8,14	0,23	0,22	0,28	0,22	0,23	0,17
Zn	µg/l	6,17	12	14,7	0	0	0	0	0	0
Th	µg/l	0,0836	0,0693	0,148	<0,0021	<LD	<0,0021	<LOD	<LOD	<LOD
U	µg/l	5,42	5,66	6,86	5,6	7,1	7,4	5,3	6,6	20
TOC	mg/l	0,91	<0.50	<0.50	-	-	-	-	-	-
TIC	mg/l	3,65	1,73	2,26	-	-	-	-	-	-
Bikarbonat (HCO3)	mg/l	7,18	2,68	3,95	-	-	-	-	-	-
Alkalinitet pH 4.5	mmol/l	<0.150	<0.150	<0.150	-	-	-	-	-	-
Alkalinitet pH 8.3	mmol/l	<0.150	<0.150	<0.150	-	-	-	-	-	-
F:IC		<0.200	<0.200	<0.200	0,13	0,139	0,096	0,092	0,13	0,11
Cl: IC		<1.00	<1.00	<1.00	0,239	0,218	1,446	0,28	0,24	0,32
NO3-N: Ic		<0.500	<0.500	<0.500	0,328	0,529	0,494	0,068	0,13	<0,020
SO4: IC		88,8	90,6	81,8	81,85	77,82	71,15	130	110	180

Molybden her kan tilsi at vi er i etasje 3b eller lavere. Verdier er de samme før og etter inkubasjon. Bikarbonat (ALS) skulle tilsi bufringskapasitet, mens alkaliniteten er lav. pH er høyest i ALS analysen. Etter inkubasjon er sulfat noe høyere enn før inkubasjon, det samme gjelder for kalsium. Mangan er lavt, noe som også tilser forvitring i et tidligere åpent system. Det samme gjelder uran.

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 48 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	---	--

7.4 Geokjemiske analyser: Spangen

7.4.1 XRD – Kvantitativ og kvalitativ bestemmelse av mineraler

Mineralanalysen viser at denne prøven har det høyeste innhold av sjiktmineraler (glimmer, kloritt og plagioklas) Prøven inneholder ikke kalsitt, det er derfor liten/ingen i bufringskapasitet. Sulfider er til stede som pyritt, sulfat som gips. Materialet har forventet høye svovelverdier i kjemisk analyse, og har dannet gips. I prøvematerialet vil pH kunne synke når karbonatbufferen er helt oppbrukt.

Tabell 15: Tabellen viser en kvantitativ bestemmelse (%) av mineralene som opptrer i prøvene; DSH401, DSH406, DSH617, Spangen og Skjerden

Prøve	Kvarts	Musk-Ilitt	Plagioklas	K-Feltpat	Kloritt	Gips	Kalsitt	Pyritt	Rutil	Titanitt	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

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 49 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

7.4.2 Alunskiferpakkeanalyse (ALS)

Tabell 16: Resultater fra alunskiferpakkeanalyse (ALS) for prøve Spangen (Masselager Rv.3/25)

ELEMENT	SAMPLE	Spangen-AL1	Spangen-AL2	Spangen-AL3
Tørrstoff (L)	%	89,8	88,1	91
SiO2	% TS	51,1	52,5	53,4
Al2O3	% TS	13,3	11,3	11,1
Kalsiumoksid (CaO)	% TS	5,99	4,82	4,32
Fe2O3	% TS	5,38	5,37	5,42
K2O	% TS	3,47	3,67	3,6
MgO	% TS	1,17	1,19	1,03
MnO	% TS	0,064	0,0645	0,0497
Na2O	% TS	0,276	0,263	0,413
P2O5	% TS	0,125	0,124	0,173
TiO2	% TS	0,682	0,663	0,654
Glødetap (LOI)	% TS	10,7	13,2	11,8
As (Arsen)	mg/kg TS	41	52,6	43
Ba (Barium)	mg/kg TS	742	738	831
Be (Beryllium)	mg/kg TS	2,9	2,43	2,75
Cd (Kadmium)	mg/kg TS	2,73	2,36	2,85
Co (Kobolt)	mg/kg TS	20,3	22,3	20,8
Cr (Krom)	mg/kg TS	55,9	63,6	60,5
Cu (Kopper)	mg/kg TS	91	100	103
Hg (Kvikksølv)	mg/kg TS	0,178	0,228	0,195
Mo (Molybden)	mg/kg TS	74,5	102	88,2
Nb (Niob)	mg/kg TS	13,1	12,8	12,7
Ni (Nikkel)	mg/kg TS	112	148	118
Pb (Bly)	mg/kg TS	29	34,3	32,3
S (Svovel)	mg/kg TS	27700	31600	27400
Sc (Scandium)	mg/kg TS	10,7	10,8	10,4
Sn (Tinn)	mg/kg TS	2,5	2,46	2,36
Sr (Strontium)	mg/kg TS	143	147	154
V (Vanadium)	mg/kg TS	448	453	501
W (Wolfram)	mg/kg TS	1,84	2,45	1,92
Y (Yttrium)	mg/kg TS	28,9	29,7	31
Zn (Sink)	mg/kg TS	160	141	184
Zr (Zirkonium)	mg/kg TS	227	150	136
Th (Thorium)	mg/kg TS	11,1	11	10,9
U (Uran)	mg/kg TS	41,5	41,2	56,5
Tørrstoff (E)	%	91,9	87,6	94,4
TOC	% TS	5,89	7,5	6,58
TIC	% TS	0,398	0,261	0,293

Merk: her er svovel tilstede både som sulfat og som sulfid. Trekantdiagrammer plasserer prøven i etasje 2 i alunskiferformasjonen. Zirkonverdiener anriket som følge av tilført materiale (fortynning). Det samme kan sies om silisum når en refererer til analyser av etasje 2 alunskifer.

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side:	50 av 79
		Dok.nr:	UEH-55-A-25149
		Rev.:	01A
		Dato	20.10.2020

7.4.3 Ristetest før og etter inkubasjon

Tabell 17: Tabellen viser resultater fra ristetest før og etter inkubasjon av prøve Spangen, hentet fra masselageret til Skanska tilknyttet veiprojektet Rv.3/25. Ristetest utført etter inkubasjonstesten ble gjort hos NIBIO.

ELEMENT	SAMPLE	ALS			NIBIO			Ristetest etter inkubasjon		
		Spangen-1	Spangen-2	Spangen-3	Spangen-1	Spangen-2	Spangen-3	Spangen-1	Spangen-2	Spangen-3
pH		7,69	8,38	8,09	7,63	7,77	7,82	7,2	7,46	7,55
Ledningsevne	(µS/cm)	1070	662	843	977	694	585	1413	1240	1042
Si	mg/l	0,778	0,883	1,08	0,12	0,49	0,42	0,58	0,65	0,69
Al	µg/l	22,1	56,8	36,5	1,3	3,6	4,8	3,8	5,1	6,6
Ca	mg/l	236	116	162	270	150	120	310	220	210
Fe	mg/l	0,0355	0,0357	0,0422	<LD	<LD	<LD	<LOD	<LOD	<LOD
K	mg/l	6,23	4,32	6,01	3,1	4,3	3,9	7	5,2	5,5
Mg	mg/l	14,6	5,64	8,68	9,2	7,2	5,2	26	14	11
Mn	µg/l	285	139	111	340	310	320	1000	540	620
Na	mg/l	2,55	3,66	4,79	0,65	3,1	1,7	1,2	3,3	2,2
P	mg/l	0,00187	0,00158	0,00209	<LD	<LD	<LD	<LOD	<1	<1
As	µg/l	0,304	0,411	0,401	0,11	0,28	0,32	0,22	0,32	0,41
Ba	µg/l	49,5	69,4	59,8	15	45	50	36	40	43
Cd	µg/l	0,505	0,719	0,79	0,15	0,25	0,24	0,49	0,32	0,32
Co	µg/l	6,59	2,39	2,81	10	5,7	5,1	22	8	9,3
Cr	µg/l	0,137	0,127	0,202	0	0	0	0	0	0
Cu	µg/l	1,19	0,998	1,14	0	0,65	0,65	0	0	0
Mo	µg/l	266	456	475	76	410	420	150	450	520
Ni	µg/l	92,4	31,7	26,4	85	40	42	160	50	65
Pb	µg/l	0,371	0,538	0,503	<LD	<LD	<LD	<LOD	<LOD	<LOD
S	µg/l	216	97,7	143	240	130	99	280	190	170
Sr	µg/l	626	362	448	270	350	310	750	580	590
V	µg/l	0,271	0,467	0,408	0,011	0,038	0,046	0,027	0,048	0,055
Zn	µg/l	11,2	17,2	12,2	2,8	3	2,6	17	0	0
Th	µg/l	<0.02	<0.02	<0.02	<LD	<LD	<LD	<LOD	<LOD	<0,0021
U	µg/l	112	140	111	12	70	84	31	76	130
TOC	mg/l	0,57	<0.50	<0.50	-	-	-	-	-	-
TIC	mg/l	8,24	10	8,32	-	-	-	-	-	-
Bikarbonat (HCO3)	mg/l	38	46,9	38,5	-	-	-	-	-	-
Alkalinitet pH 4.5	mmol/l	0,622	0,768	0,63	-	-	-	-	-	-
Alkalinitet pH 8.3	mmol/l	<0.150	<0.150	<0.150	-	-	-	-	-	-
F:IC		<0.200	<0.200	<0.200	<0.04	0,16	0,155	0,15	0,12	0,11
Cl: IC		2,04	1,85	2,04	2,166	1,862	2,091	2,5	2,1	3
NO3-N: Ic		<0.500	<0.500	<0.500	0,92	0,048	0	<0,020	<0,020	<0,020
SO4: IC		558	276	399	600,99	359,48	287,32	890	610	550

Når uran er lavere i analyse etter ristetest, indikerer det at uran allerede var til stede på en vannløselig form i første ristetest. Det kan her diskuteres om prøvematerialet er identisk

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 51 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	---	--

7.5 Geokjemiske analyser: Skjerden

7.5.1 XRD – Kvantitativ og kvalitativ bestemmelse av mineraler

Prøvemateriale fra Skjerden inneholder sulfatet jarositt, men ingen pyritt eller kalsitt.

Tabell 18: Tabellen viser en kvantitativ bestemmelse (%) av mineralene som opptrer i prøvene; DSH401, DSH406, DSH617, Spangen og Skjerden.

Prøve	Kvarts	Musk-Ilitt	Plagioklas	K-Feltpat	Kloritt	Gips	Kalsitt	Pyritt	Rutil	Titanitt	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

Mineralsammensetning viser samlet høyt innhold av sulfater (gips 8% og jarositt 7%). Sulfider er alle oksidert til sulfater. Det er ikke kalsitt i analysen. Dette er et materiale som vil forventes å kunne gi pH<3 ved kontakt med en mobil vannfase.

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 52 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

7.5.2 Alunskiferpakkanalyse (ALS)

Tabell 19: Resultater fra alunskiferpakkeanalyse (ALS) for prøve hentet fra Skjerden.

ELEMENT	SAMPLE	Skjerden-AL1	Skjerden-AL2	Skjerden-AL3
Tørrstoff (L)	%	87	87,3	87,6
SiO ₂	% TS	51	46,1	52,7
Al ₂ O ₃	% TS	12,8	13,2	12,7
Kalsiumoksid (CaO)	% TS	1,9	5,89	1,55
Fe ₂ O ₃	% TS	3,42	3,97	3,1
K ₂ O	% TS	4,34	3,91	4,36
MgO	% TS	1,05	0,827	1,07
MnO	% TS	0,0233	0,0291	0,0221
Na ₂ O	% TS	0,562	0,588	0,593
P ₂ O ₅	% TS	0,11	0,279	0,112
TiO ₂	% TS	0,779	0,623	0,749
Glødetap (LOI)	% TS	17,2	17	14,1
As (Arsen)	mg/kg TS	38,1	68,2	26,6
Ba (Barium)	mg/kg TS	1010	810	1220
Be (Beryllium)	mg/kg TS	4,17	3,38	3,43
Cd (Kadmium)	mg/kg TS	1,07	1,23	1,01
Co (Kobolt)	mg/kg TS	7,36	4,53	5,4
Cr (Krom)	mg/kg TS	68,9	50,7	72,3
Cu (Kopper)	mg/kg TS	44,7	37,6	38,7
Hg (Kvikksølv)	mg/kg TS	0,225	0,253	0,154
Mo (Molybden)	mg/kg TS	142	171	85,2
Nb (Niob)	mg/kg TS	14,3	12,4	14,4
Ni (Nikkel)	mg/kg TS	88	56,3	72,5
Pb (Bly)	mg/kg TS	45,1	39	29,4
S (Svovel)	mg/kg TS	13500	26200	11400
Sc (Scandium)	mg/kg TS	11,4	10,1	11,8
Sn (Tinn)	mg/kg TS	<1	2,7	2,88
Sr (Strontium)	mg/kg TS	112	248	101
V (Vanadium)	mg/kg TS	789	477	903
W (Wolfram)	mg/kg TS	2,7	2,71	2,09
Y (Yttrium)	mg/kg TS	25	36,3	24,4
Zn (Sink)	mg/kg TS	97,1	83,8	79,8
Zr (Zirkonium)	mg/kg TS	167	138	143
Th (Thorium)	mg/kg TS	8,28	7,85	7,21
U (Uran)	mg/kg TS	32,9	44	23,9
Tørrstoff (E)	%	89,9	88,4	87
TOC	% TS	7,06	7,36	6,44
TIC	% TS	0,035	0,063	0,025

Svovelskonsentrasjoner kan alene tilsi at materialet ikke har et tydelig syredannende potensiale. Her vil jarositt gi et annet grunnlag for vurdering. Samtidig er ikke jarositt spesielt vannløselig sett i forhold til alunitt/kopiatitt. AL2 er minst fortynt av de tre prøvene. Zirkon synes noe forhøyet og kan indikere innslag av morenemateriale lenger nord i mindre omfang. Trekantdiagrammer viser etasje 2 i alunskiferformasjonen, når en også tar vanadium i betraktning

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side:	53 av 79
		Dok.nr:	UEH-55-A-25149
		Rev.:	01A
		Dato	20.10.2020

7.5.3 Ristetest før og etter inkubasjon

Tabell 20: Tabellen viser resultater fra ristetest før og etter inkubasjon av prøve hentet fra Skjerden. Ristetest utført etter inkubasjonstesten ble gjort hos NIBIO.

ELEMENT	SAMPLE	ALS			NIBIO			Ristetest etter inkubasjon		
		Skjerden-1	Skjerden-2	Skjerden-3	Skjerden-1	Skjerden-2	Skjerden-3	Skjerden-1	Skjerden-2	Skjerden-3
pH		8,41	5,89	6,93	4,97	4,01	4,88	5,59	3,62	4,73
Ledningsevne	(µS/cm)	2170	2230	2160	1870	1990	1510	2028	2169	2169
Si	mg/l	2,56	2,98	2,86	2,1	0,94	2	3,2	3	3,1
Al	µg/l	18,3	791	14,2	28	220	9,9	14	1100	4,6
Ca	mg/l	611	601	599	610	630	430	570	570	570
Fe	mg/l	0,0213	0,0813	0,0179	4,1	36	1,9	<LOD	240	<LOD
K	mg/l	3,92	4,44	5,53	2,3	0,9	3,5	3,6	3,1	4,3
Mg	mg/l	1,4	1,02	1,1	0,92	0,44	1,2	1,1	0,78	1,4
Mn	µg/l	15	162	493	910	111	490	990	160	710
Na	mg/l	1,28	1,33	1,28	0,18	0,071	0,13	0,31	0,38	0,3
P	mg/l	0,00353	0,0152	0,00322	0,012	0,004	0,0063	0,0051	0,0098	0,0038
As	µg/l	0,223	0,529	0,223	0,32	0,2	0,21	0,22	0,65	0,15
Ba	µg/l	54	48,1	39,4	23	4,8	28	23	18	24
Cd	µg/l	0,785	2,12	7,9	15	1	6,4	14	1,9	7,5
Co	µg/l	0,224	5,06	5,85	19	2,3	6,8	18	4,3	9,6
Cr	µg/l	0,198	0,325	0,122	0	0	0	0	0,16	0
Cu	µg/l	2,11	30,4	1,23	3,3	8,6	1,1	3	24	0
Mo	µg/l	8,71	0,31	0,68	0,32	0,063	0,12	0,83	<0,44	<0,44
Ni	µg/l	16,7	36,1	105	190	17	77	200	36	120
Pb	µg/l	0,621	4,54	0,355	<0,1	<LD	<LD	<LOD	<LOD	<LOD
S	µg/l	543	544	540	500	520	350	450	460	460
Sr	µg/l	1240	1230	1160	130	250	800	1200	1300	1000
V	µg/l	0,394	0,38	0,234	0,026	0,008	0,018	0,042	0,072	0,018
Zn	µg/l	26,8	111	94,6	240	30	64	150	72	59
Th	µg/l	<0,02	<0,02	<0,02	<0,0021	0,0088	0,003	<0,0021	0,074	<0,0021
U	µg/l	4,25	10,9	0,201	1,4	6,8	0,25	0,43	18	0,13
TOC	mg/l	1	0,85	0,97	-	-	-	-	-	-
TIC	mg/l	6,95	<0,50	0,62	-	-	-	-	-	-
Bikarbonat (HCO3)	mg/l	33,6	0	2	-	-	-	-	-	-
Alkalinitet pH 4.5	mmol/l	0,55	<0,150	<0,150	-	-	-	-	-	-
Alkalinitet pH 8.3	mmol/l	<0,150	<0,150	<0,150	-	-	-	-	-	-
F:IC		<0,200	0,269	<0,200	0	0	0	<0,040	<0,040	<0,040
Cl: IC		1,67	1,61	1,98	2,83	2,6	2,3	2,4	2,1	2,4
NO3-N: Ic		<0,500	<0,500	<0,500	0,26	<0,02	<0,02	<0,020	<0,020	<0,020
SO4: IC		1340	1360	1340	1455,2	1406,7	1029,7	1420	1440	1410

Jarositt er stabilt ved pH <4. pH i dette materialet er <4. Urankonsentrasjonene er lave. Dette kan indikere at uran er samlet i jarositt. Kobber i alle analyser indikerer lav pH, eller at materialet har tidligere hatt lav pH. Moderat aluminium i Skjerden -2 (ALS) tilsier også at materialet kan ha hatt lavere pH tidligere enn det som nå måles i analysene. I en av parallellene i NIBIO analyse (Skjerden-2) bikker pH <4. Materialet kan derfor karakteriseres som hypersulfidisk. Det er for stort sprik i analysene til å sammenlikne kolonnene. Sulfatmengden er på samme nivå før og etter inkubasjon.

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 54 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

7.6 Risiko for utlekking til vassresipienter

Ristetester gir uttrykk for mengden potensielt vannløselige stoffer i jordprøver. Nivåer målt i ristetester vil derfor forventes å være vesentlig høyere enn det en normalt finner i bekker og grøfteavrenning. Likevel kan det ha verdi å sammenligne nivåene i vannprøver fra ristetest med data fra Miljødirektoratet vanndatabase [19] for Brenneribekken (Tabell 21) og (Tabell 22). En må da være sikker på at innveid materiale i forhold til vann er identisk eller nær identisk. Det ligger også en usikkerhet i hvordan analysemateriale er valgt.

For arsen var nivåene fra ristetesten i samme størrelsesorden som målt i Brenneribekken ved Ottestad. Det stadfester arsen i jordsmonnet i området er svært lite løselig, og ikke lekker ut i bekken på tross av at totalkonsentrasjonene av stoffet tilsvarte tilstandsklasse 3 etter helsebaserte tilstandsklasser (TA-2553 Miljødirektoratet) [20]. Brenneribekken preges av kalsium og at det er kalkbergarter i nedslagsfeltet. Merk at Skjerden som ikke bufrer har et høyere kalsiuminnhold i vannet. pH i Skjerden prøvene fra NIBIO har alle lav pH. Aluminium konsentrasjoner er høyere enn for DSH401, DSH406 og DSH617. Aluminium indikerer liten bufringsevne og lav pH (pH <6), eller at vannet som siger ut i bekken har hatt lavere pH tidligere. Hadde det vært sammenliknbare verdier for filtrert og ufiltrert vannanalyse, kunne en sett på hvilken form aluminium er til stede i vannfasen. Da kunne vi med større sikkerhet også anslått pH og om aluminium er på ioneform og ikke som kolloid i vannfasen.

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side:	55 av 79
		Dok.nr:	UEH-55-A-25149
		Rev.:	01A
		Dato	20.10.2020

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	130,00	79,67	43,00	180,00	556,67	163,33
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	34,17
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	22,00	3,20	0,00	55,67	94,67	27,87
Sink	µg/l	4,00	0,00	0,00	2,80	111,33	25,88
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	85,97	47,50

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, Kobber i analysen fra Brenneribekken og kadmiumkonsentrasjonen indikerer allikevel at pH er eller at pH har vært lavere i vannsigtet ut i bekken. Det er ikke analyser av nitrat og fosfat som ville indikert gjødning. Gjødning kan også være kilder til flere grunnstoffer.

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	180,00	121,67	58,67	246,67	570,00	163,33
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	34,17
Krom	µg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,10
Kobber	µg/l	1,80	0,54	0,14	13,10	10,63	2,83
Nikkel	µg/l	17,67	4,87	0,98	91,67	118,67	27,87
Sink	µg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	93,67	25,88
Bly	µg/l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06
Aluminium	µg/l	6,23	13,20	11,00	5,17	372,87	47,50

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 56 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	---	--

Konsentrasjonene av tungmetaller i Brenneribekken ved Ottestad er påvirket av utlekking fra alunskiferholdig jordsmonn med lav pH (pH <6), 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 skulle tilsi at sannsynlighet 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). En ristetest skal være en test som forventes å vise høyere konsentrasjoner enn hva som vil være naturlig. Det har trolig større betydning at uran følger vannstrømmer ut i myrområder og akkumuleres i torvmateriale ved anoksiske forhold. Den prosessen pågår naturlig i området fra jordsmonn og løsmasser med opphavsmateriale alunskifer.

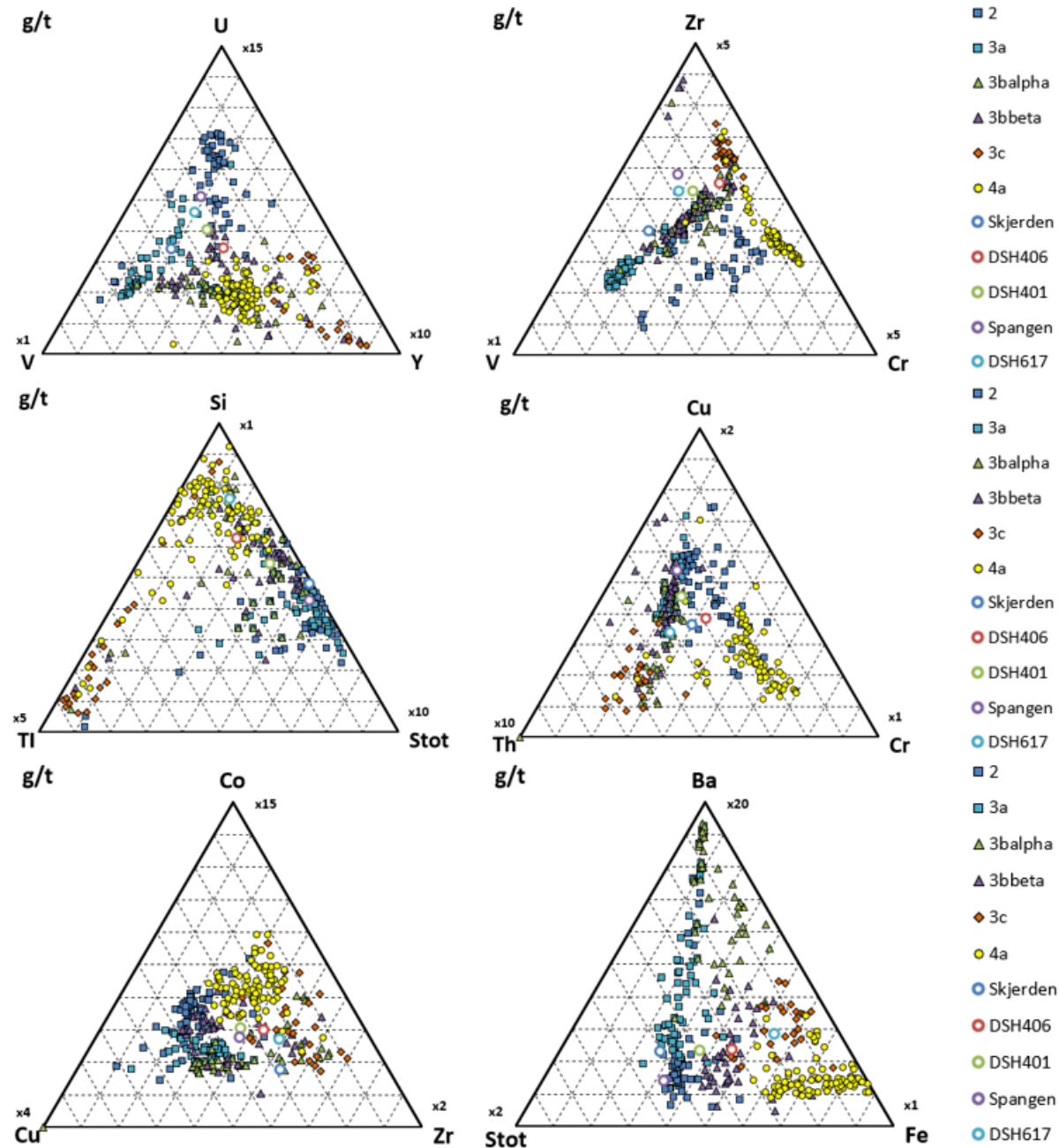
Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 57 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
--	--	--

Tabell 23: Foreslåtte grenseverdier for metaller og grunnstoffer.

Stoff	Grenseverdi	Begrunnelse
Arsen	10 µg/l	Kilde: Drikkevannsforskriften og Vannforskriften vedlegg IX.
Barium	700 µg/l	Kilde: US Environmental Protection Agency (Fact sheet, National Primary Drinking Water Regulations). Drikkevann: 2000 µg/l. Naturlig forekomst i overflate vann: 2-340 µg/l. Kilde: WHO (Guidelines for Drinking water quality, 2011) Drikkevann: 700 µg/l. Vurdering: Grenseverdien er konservativt satt på bakgrunn av manglende norsk veiledning, WHO's drikkevannskriterie benyttes.
Kadmium	5 µg/l	Kilde: Drikkevannsforskriften og Vannforskriften vedlegg IX.
Kobolt	Ingen grenseverdi	Kilde: Det er ikke funnet nasjonale eller internasjonale grenseverdier for kobolt i grunnvann/drikkevann.
Krom	50 µg/l	Kilde: Drikkevannsforskriften.
Kobber	2000 µg/l	Kilde: Drikkevannsforskriften.
Molybden	1000 µg/l	Kilde: US Environmental Protection Agency (Lifetime health advisory). Drikkevann: 40 µg/l. Kilde: WHO (Guidelines for Drinking-water Quality, 2011). Drikkevann: 70 µg/l. Kilde: 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.
Nikkel	20 µg/l	Kilde: Drikkevannsforskriften
Bly	10 µg/l	Kilde: Drikkevannsforskriften
Sink	100 µg/l	Vurdering: 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 ledningsnettet. Grenseverdien er konservativt satt på bakgrunn av manglende norsk veiledning.
Vanadium	30 µg/l	Kilde: US Environmental Protection Agency (Drinking water standards and health advisories table 2007, og Public health Statement). Drikkevann: 7 µg/l. Naturlig forekomst i overflate vann 0,04-220 µg/l Kilde: WHO (Air Quality Guidelines – Second edition, chapter ,12 Vanadium) Naturlig forekomst i overflate vann: 0,2-29 µg/l. Vurdering: Grenseverdien er konservativt satt på bakgrunn av manglende norsk veiledning.
Thorium	Ikke fastsatt	Kilde: Det er ikke funnet nasjonale eller internasjonale grenseverdier for thorium i drikkevann. Vurdering: 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. Kilde: WHO (Guidelines for Drinking-water Quality, 2011). Vurdering: Grenseverdien er satt på bakgrunn av manglende norsk veiledning.

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 58 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

8 IDENTIFISERING AV SVART LEIRSKIFER



Figur 16: Relativt innhold av flere elementer i morenemassene er vist som åpne sirkler fra prøve DSH401, DSH406, DSH617, Spangen og Skjerden. Prøvene er sammenlignet med analyser av referanseprøver fra svarte leirskiferhorisonter i Oslofeltet (horisontene 2, 3a, 3b α , 3b β , 3c og 4a).

Trekantdiagrammene i M310 er benyttet til å identifisere type leirskifer som er innblandet i morenematerialet. Da denne metoden betrakter relative konsentrasjoner mellom ulike grunnstoffer, kan innslag av type svarte leir eller grå leirskifer identifiseres selv om morene består av tilført materiale og korttransportert leirskifer i vurdering av resultater. Det har stor betydning å avklare om

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 59 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

det er leirskifer fra etasje 4a eller det er leirskifer 3b, 3a eller 2a som utgjør leirskifer materialet i morenemassene.

Prøvene fra Sørli-Åkersvika (DSH401, DSH406 og DSH617), samt Spangen og Skjerden er plottet i trekantdiagrammer vist i Figur 16. Prøvene er identifisert og tilhører følgende etasjer i Kambro-Silurlagrekken:

- DSH401 tilhører etasje 3b β i Galgebergformasjonen.
- DSH406 tilhører etasje 4a α i Galgeberg
- DSH617 tilhører etasje 3c i Galgeberg
- Spangen og Skjerden tilhører etasje 2 i Alunskiferformasjonen.

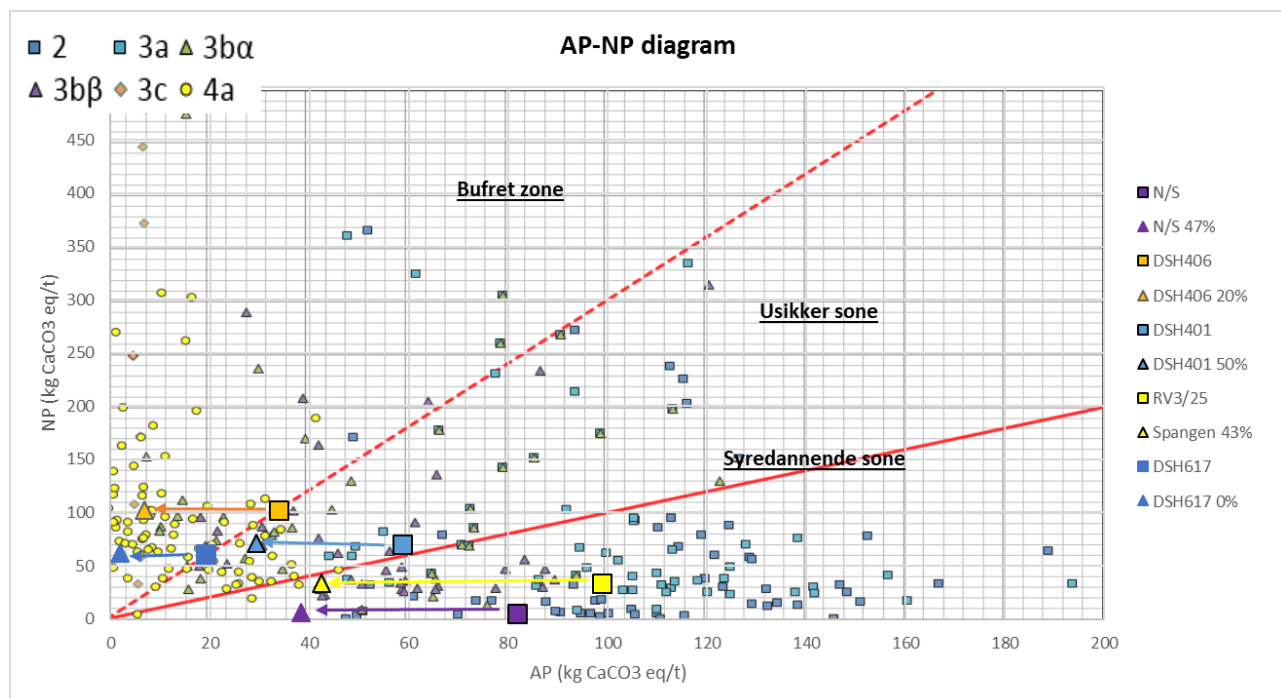
Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 60 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

8.1 Syredannende potensial

Figur 17 viser plot for syredannende potensial (AP) mot nøytraliserende potensial (NP) for alle prøvene fra (DSH401, DSH406 og DSH617), samt Spangen (Rv.3/25) og Skjerden (N/S), etter metode beskrevet i M-310 [6].

Resultatene fra AP-NP diagrammet kan oppsummeres med følgende:

- Kontrollprøver fra Skjerden (N/S) og Spangen (Rv.3/25) ligger innenfor syredannende sone før og etter at svovelverdien er korrigert ut fra mineralinnhold og er derfor å regne som syredannende løsmasser.
- Prøvene DSH617 og DSH406 ligger i usikker sone, før svovelverdien er korrigert ut fra mineralinnhold. mens DSH617 ligger i bufret sone.



Figur 17: AP-NP diagram hvor forskjellige soner er indikert. Prøvene fra S-Å (DSH401, DSH406 og DSH617), samt kontrollprøver fra Skjerden og Spangen (Rv3/25) er plottet sammen med referanseprøver fra svarte leirskiferhorisonter i Oslo-området (horisontene 2, 3a, 3b α , 3b β , 3c og 4a). Kvadrater viser plassering når all svovel legges til grunn i AP:NP diagrammet. Trekantsymboler viser plassering når svovelverdien korrigeres ut fra mineralinnhold.

En skal også være oppmerksom på at inndelingen i potensielt syredannende, usikker syredannende og ikke-syredannende er konservativ. Dette kan eksemplifiseres ved å se på DSH401. AP verdien var ca. 60 og NP verdien ca. 70. for å vurdere denne analysen som «sikker nøytral» i diagrammet, må NP verdien være 180 dvs.ca. 3 x AP verdien.

8.1.1 Korreksjon for mineralinnhold (sulfat-sulfid)

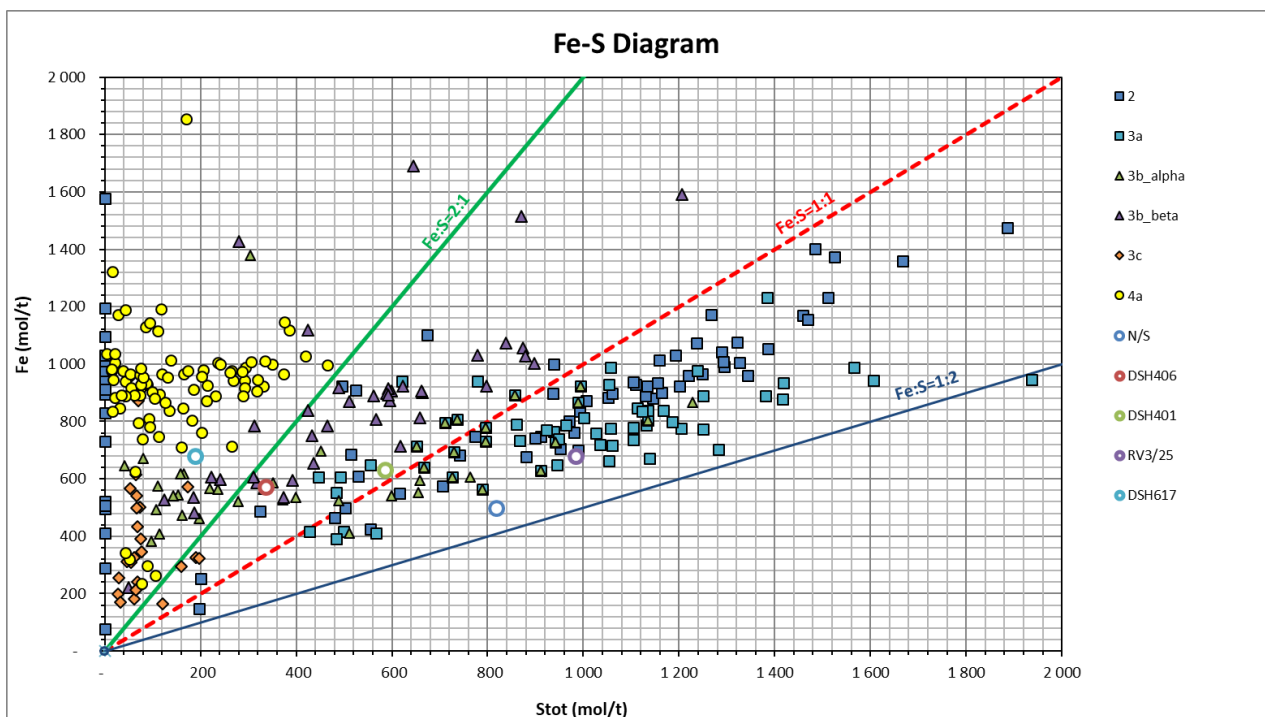
Mineralidentifikasjon er viktig for å korrigere analysenes plassering i AP:NP diagrammer, da en kjemisk analyse analyserer kun innhold av svovel. Mineralanalyser plasserer svovelet i mineraler i prøvematerialet. Når en analyse inneholder 3% gips og 3% pyritt kan en forenklet tilnærming være

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 61 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

å dele svovel 50/50 mellom gips og pyritt. Dette er vist i Figur 17 der en analyses plassering er vist med to alternativer. Den horisontale pilen viser hvordan punktet flyttes mot venstre i diagrammet når det justeres for mineraler (sulfater).

Figur 18 viser Fe mot S for prøvene fra Sørli-Åkersvika (DSH401, DSH406 og DSH617), samt Spangen (Rv.3/25) og Skjerden (N/S). Resultatene fra Fe-S plottet kan oppsummeres med følgende:

- Skjerden (N/S) og Spangen (Rv.3/25) ligger mellom linjene Fe:S = 1:1 og Fe:S = 1:2. Hovedmengden av alunskifer plasseres i dette feltet. Dette tyder på at sulfidene i massene forekommer som både pyritt (FeS_2) og magnetkis (pyrrhotitt, $\text{Fe}_{(1-x)}\text{S}$). De kjemiske analysene viser en høy andel svovel i forhold til jern; svovelet i massene er derfor også bundet i sulfater. Dette støttes av XRD- analysene hvor det ble påvist gips og jarositt i prøvene.
- DSH401 og DSH406 befinner seg innenfor området Fe:S = 1:1. Det tyder på at alt Fe er bundet som sulfider.
- DSH617 befinner seg innenfor området Fe:S = >2:1, som tyder på at Fe og tungmetaller også er bundet i silikater.



Figur 18: Fe vs. S-total (i mol/t). Prøvene fra Sørli-Åkersvika er vist med åpne sirkler (DSH401, DSH406 og DSH617), samt kontrollprøver fra Skjerden (N/S) og Spangen (Rv.3/25). De andre punktene er referanseprøver fra svarte leirskiferhorisonter i Oslo-området (horisontene 2, 3a, 3b α , 3b β , 3c og 4a).

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 62 av 79
		Dok.nr: UEH-55-A-25149
		Rev.: 01A
		Dato 20.10.2020

9 VURDERING AV UTFØRT METODE



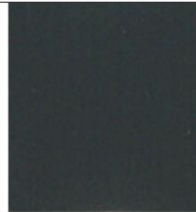
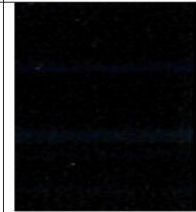

9.1 Korrelasjon kjemisk analyse og Munsell fargekoder

Tabell 24 viser høyeste konsentrasjon av svovel, kvantitativt innhold av svovelholdige mineraler, sjiktbeskrivelse, hvilket dyp prøven er hentet fra, fargekode samt farge. Prøvene DSH401, DSH406, DSH617 og Spangen har alle akromatiske farger og er nøytrale (N) med variasjon i metning fra 3 – 2. DSH617 er den lyseste av prøvene, og har også lavest svovelkonsentrasjoner, samt ingen pyritt. Fargen i prøvemateriale fra Skjerden skiller seg ut ved å være svart på gul-rød kromatisk skala (10 YR 2/1). Fargevariasjonen til prøvene har liten variasjon, selv om svovelkonsentrasjonene i prøvene varierer fra 6100 – 31600 mg/kg.

Munsell fargekoding for horisonter tatt ut til analyse ligger fra N2,5 til N3. Dette gjelder for de prøvepunkter farge er beskrevet. Munsellkartet viser at det er svært like farger. Sprik i svovelinnhold i de kjemiske analysene og at alle også har gips, gjør det vanskelig å kunne benytte Munsellkodingen til å avklare om materialet har et potensiale eller ikke. Videre har fuktighet stor betydning for vurdering av farge og fargemetning.

Skal dette være en metode som benyttes, må det derfor være tørt materiale som fargekodes. En må forvente at flere vil vurdere fuktig Elnes (etasje 4) som svart når den er fuktet. Når den tørker blir fargen grå.

Tabell 24: Tabellen viser en oversikt over svovelkonsentrasjoner, sulfidholdige mineraler, sjiktbeskrivelser, fargekode og farge. * Prøven fra Spangen er hentet fra masselageret til Skanska og har ingen sjiktbeskrivelser. Fargekodingen ved Munsell er gjort i felt. Det er også utført Munsell koding på materiale til analyse hos NIBIO før tørking av prøve. ** Prøven fra Skjerden er hentet i en veiskråning, men sjiktbeskrivelsene og fargekoding er gjort i «Alunskiferjordsmonn – egenskaper, utbredelse og miljørisiko UEH-55-Q-25011_01A [3]

	DSH401	DSH406	DSH617	Spangen	Skjerden
Svovel (mg/kg)	18800	10800	6100	31600	26200
Sulfidholdige mineraler (%)	50 gips 50 pyritt	80 gips 20 pyritt	100 gips	57 gips 43 pyritt	53 gips 47 jarositt
Sjiktbeskrivelse og dyp (m)	4Cr2 (4,5 – 5)	4Cr2 (3,2 – 5,4)	2Cr (3,3 – 5,7)	Ingen data* (Overflaten)	Cg (0,52 – 0,8)**
Farge (kode)	Svart (N 2,5/0)	Svart (N 2,5/0)	Svart (N 3/0)	Svart (N 2,0/0)	Svart (10 YR 2/1)
Farge					

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 63 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

9.2 Red-oks forhold i bunns substrat nær underliggende leirskifer

Svarte leirskifere er dannet av leirslam avsatt som bunnsedimenter i havet under oksygenfri eller oksygenfattige forhold. De er derfor anrikt på de grunnstoffer som i ulike konsentrasjoner er løst i vannmassene og i det organiske materialet som synker ned i sedimentet. Kosmisk støv er også en bidragsyter når en betrakter det tidsspenn slike sedimenter er avsatt.

Et slikt avsetningsmiljø kan samsvare med sedimenter dannet under anaerobe forhold og som er grunnlaget for metoden anvendt i rapporten med beskrivelse av jordarter anrikt på svovelforbindelser.

I et anaerobt avsetningsmiljø, vil sulfidene ha framboide (bringe bær) former på 1 til 10 µm. Slike ørsmå mineralkorn har et stort kontaktareal i forhold til volum og i tillegg er ikke krystallstrukturen ordnet.

Små korn uten ordnet krystallstruktur har en mye lavere aktiveringsenergi for å kunne reagere.

Når isen med isvannet river med seg (eroderer) overflaten av de svake leirskifere, er vannet isen fører med seg oksygenrikt. Når det korttransporterte materialet i større eller mindre grad samblendes (fortynnes) med kvarts og feltspatrikt materiale fra bergarter lenger nord, og avsettes på nytt, er ikke dette i et anaerobt miljø.

Dette kan observeres i prøvematerialet ved at prøver tatt på dybder (her >4 meter) har et innhold av gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) og pyritt (FeS_2). Dette kan tolkes som at noe av sulfidet gjennomgår red-oks reaksjoner, og at dette berører svovel (S) men ikke jern (Fe). Videre vil sulfidkorn i en vannfase kunne reorganisere seg til mer rasjonelle (stabile) større korn med en utviklet krystallstruktur. Dette kan observeres som pyrittkorn med kantete former (kubisk krystallstruktur). Det syredannende potensiale reduseres da betydelig av to grunner: kontaktarealet mot fukt/oksygen reduseres med tier-potenser og pyritt er betydelig mer stabil enn de monosulfidene (AVS = Acid Volatile Sulfides) som opprinnelig var dannet ved de anaerobe avsetningsforholdene. Analyser av monosulfider i norske alunskifere viser at det er pyrrhotitt også navngitt som magnetkis ($\text{Fe}_{(1-x)}\text{S}$) som er det vanligste jernmonosulfidet. Skal det igangsettes et forvitringstiljø med pH reduksjon, er det også en forutsetning at jern oksideres til tre-verdig jern.

Slike observasjoner med både gips og velutviklede pyrittkorn i substrat nær underliggende leirskifer, tilsier at forurensende potensiale grunnet pH reduksjon er redusert. Dette tilsier videre at svovolverdien i en kjemisk analyse kan være høyere enn den angitte minimumsverdi i AP:NP diagrammet i Miljødirektoratets veiledere M385. Sammenheng med kornstørrelse og kontaktareal er også forklart i M30 og i Praktiske råd ved bygging i og på svarte leirskifere [21].

Det er kjent at frigjøring av grunnstoffer som er giftige i gitte konsentrasjoner frigjøres til en mobil vannfase ved nøytrale pH verdier. Det er derfor å forvente av konsentrasjoner av nikkell, molybden, sink, uran og mangan (ikke uttømmende) kan frigjøres til en vannfase ved nøytrale pH verdier.

Når en kjenner karakteristisk kjemisk sammensetning av en leirskifer, kan en også ha en referanse til hvilke endringer som har skjedd i et materiale i forhold til opphavet.

Tabell 25 (neste side) viser at ristetest er viktig å utføre på materialer for å se hva som er vannløselig.

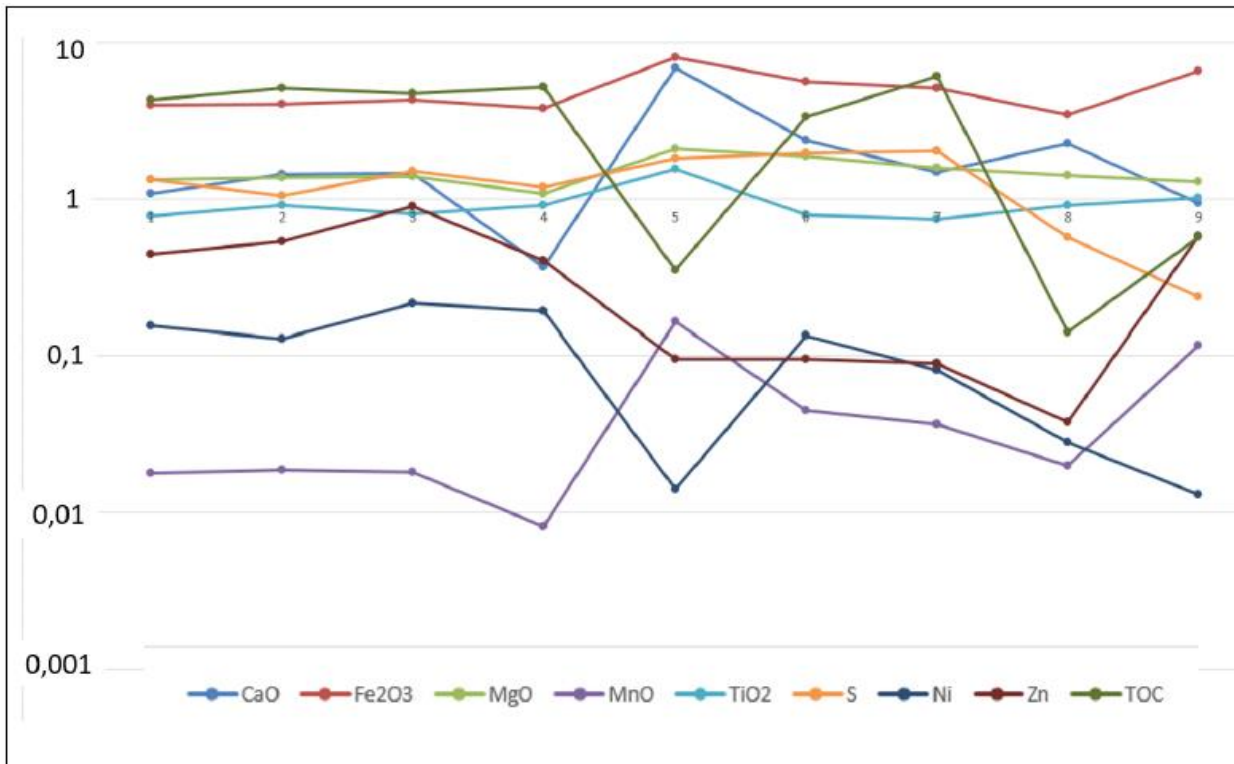
Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 64 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
--	--	--

Tabell 25. Grunnstoffer som kan frigjøres til en vannfase ved nøytral pH [21].

Grunnstoff	Observert i vannanalyser med nøytral pH fra svart leirskifer (alunskifer)	Kommentar
Aluminium	-	Løses gjerne ut i vannfase eller i sulfatmineraler ved redusert pH. Høye konsentrasjoner er pH indikator
Antimon (Sb)	(x)	Ikke ofte analysert
Arsen (As)	X	moderat
Kadmium (Cd)	X	
Krom (Cr)	-	Ikke observert ved nøytral pH, løses ut ved lav pH
Kobolt (Co)	-	Ikke ofte analysert
Kobber (Cu)	-	Lave konsentrasjoner, øker betydelig ved lav pH
Jern (Fe)	moderat	
Mangan (Mn)	X	Karakteristisk ved nøytral pH
Kvikksølv (Hg)	-	Svært lave konsentrasjoner i svarte leirskifere
Molybden (Mo)	X	Karakteristisk ved nøytral pH
Nikkel (Ni)	X	Karakteristisk ved nøytral pH
Selen (Se)	(x)	Ikke ofte analysert
Sulfat (SO₄)	X	Varies
Uran (U)	X	Karakteristisk ved nøytral pH
Sink (Zn)	X	Karakteristisk ved nøytral pH

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 65 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

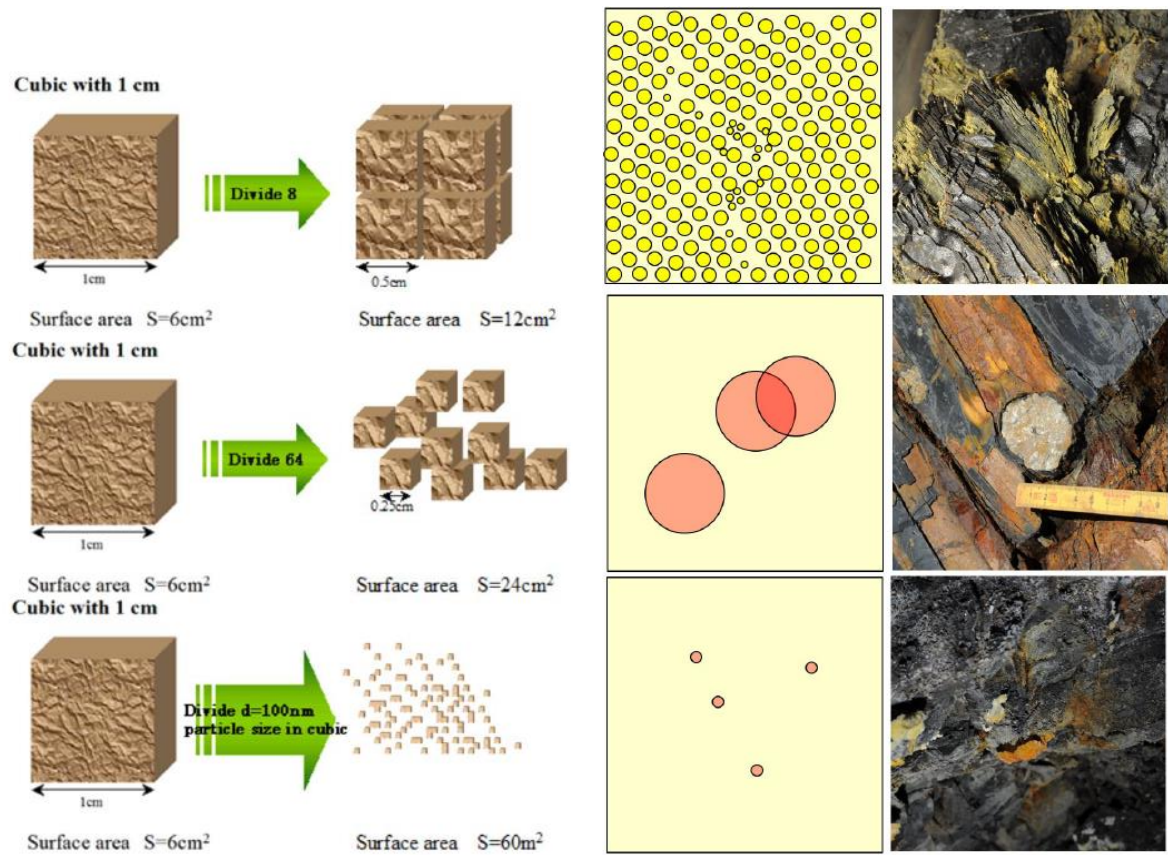
Konsentrasjoner av grunnstoffer som viser parallelle eller nær parallelle kurveforløp i Figur 19 vil indikere at de er bundet i samme mineral eller alternativt i TOC. Et tydelig eksempel i kurven er at nikkel (Ni) og TOC følger hverandre midt i diagrammet, mens til høyre i diagrammet følges nikkel og svovel ganske bra. Nikkel følger ikke svovelkurven (S) slavisk. Mangan (Mn) og kalsium (CaO) følger hverandre. Nikkel kan være bundet både i TOC og so sulfid. Mangan er ofte bundet i karbonater [21].



Figur 19. Grunnstoffer som løses ut i en vannfase ved nøytrale pH verdier trenger ikke være sulfidbundet. Nikkel som eksempel er i alunskifer og beslektede svarte leirskifre bundet i TOC og i sulfider. Uran er heller ikke sulfidbundet [21].

Figuren til venstre (Figur 20) viser hvordan arealet til det samme volumet endres som funksjon av kornstørrelse. Et sulfidkorn på 1 cm^3 har et overflateareal på 6 cm^2 når sidene i terningen er 1 cm . Dersom det samme samlede volumet (1 cm^3) besto av mineralkorn med sidestørrelse 100 nm , så utgjør arealet 60 m^2 . Samlet areal ved 199 nm sidestørrelse er $60\,000$ ganger større enn sulfidkornet med 1 cm sidestørrelse [21]. Bildet til høyre er en prinsippskisse som viser hvordan mange mikroskopiske sulfidkorn ($3\text{-}50 \mu\text{m}$, øverste figur, gul sirkel) vil utvikle et syredannende miljø langt raskere enn når samme volum sulfidminerale finnes som større aggregater (samme innhold i kjemisk analyse, men ti-er potenser mindre overflateareal) der kornene er større, men færre (tre røde sirkler). Røde sirkler indikerer jernhydroksider mens gul sirkel indikerer jern/aluminiumsulfater. Nederst til høyre: Mindre spredte sulfidkorn i bergarten. Sulfidkorn er for spredt og for små til å kunne utvikle et forvitringmiljø med redusert pH. Midterst til høyre: Større aggregater av sulfidminerale. Overflatearealet er for lite til å kunne igangsette et forvitringmiljø med redusert pH. Øverst til høyre: Gul sirkel indikerer at tettheten og overflatearealet til sulfidkornene er tilstrekkelig til å utvikle et forvitringmiljø med $\text{pH} < 3$ og at hele volumet er gjennomført av jern/aluminiumsulfater [21].

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 66 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--



Figur 20. Sammenheng mellom syredannende potensiale, kornstørrelse og tetthet mellom sulfidkorn [21].

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 67 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	---	--

10 METODE BASERT PÅ MILJØDIREKTORATES VEILEDERE

Formålet med metoden som er beskrevet i Klima og miljødirektoratets veiledere er å etablere en metode som er mest mulig objektiv. Kjemiske analyser er objektive. Det som metoden da utfordres på er hvordan prøvetaking utføres. Her er det et opplæringsbehov. Prøvetaking er det leddet der subjektive vurderinger og valg spiller inn, og dette gjelder for de fleste metoder. Prøvetaking og prøvepreparering (uttak av materiale til videre analyser) er derfor en svakhet for å kunne gi et repeterbare resultater.

I tillegg til at metoden beregner et potensiale for syredannelse i AP:NP diagrammer som beregner mengde svovel som kan gi svovelsyre mot mengde karbonat som vil nøytralisere syre, gir metoden mulighet til å kunne identifisere hvilken leirskifer som er analysert.

Det er trekantdiagrammene der en ser på sammenheng mellom relative konsentrasjoner av tre grunnstoffer som gjør det mulig å identifisere hvilke(n) leirskifer(e) som er analysert. Fortynning (som her med tilført annet materiale i morene) påvirker ikke de relative forhold så mye at type leirskifer ikke kan identifiseres.

Når kunnskaper om kjemi og mineralogi (XRD) akkumuleres over tid, blir også den generelle kunnskapen om egenskapene til de ulike leirskifrene bedre og bedre. Videre kan da en upresis prøvetaking bli kompensert for når leirskifertype er identifisert, da en har kunnskaper om hver horisont basert på et større antall analyser.

Velger en vekk det å identifisere hvilke leirskifer som er til stede i prøvemateriale, mister en vesentlig informasjon og i tillegg muligheten til å akkumulere kunnskaper for de enkelte leirskifere. Informasjonsbæreren er leirskiferen mister en også muligheten til å kunne forstå den geologiske sammenhengen som burde være en nøkkel for arealbruk og prosjektering og valg av løsninger.

I vurdering av morenemateriale, vil en ved å identifisere type leirskifer også kunne se omfang av «fortynning» av tilført materiale og hva som allerede er vasket ut av vann isen har ført med seg. Effekten av fortynning (innblanding av tilført materiale) blir da målbar.

Metoden vurderes som godt egnet i å vurdere forurensende potensiale i morenemateriale med innslag av ulike typer leirskifere. I felt vil røntgenpistolen benyttes. En makro i Excel som gjør beregninger og identifisering av typeleirskifer vil være et svært effektivt og kraftfullt system for massehåndtering og klassifisering.

Det bør suppleres med mineralanalyser (XRD) og ristetest (LS-10) som dokumentasjon og grunnlag for vurderinger av masser til gjenbruk, masselager eller deponi.

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 68 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	---	--

11 HYPER-HYPO VS M310

Kjernen i metoden som skal identifisere masser med syredannende potensiale er hvordan en periode med optimale fuktforhold i materialet vil påvirke materialegenskapene og om det igangsettes de kjemiske reaksjoner der sulfider omdannes til sulfater i et slikt omfang av pH senkes.

Det er i hovedsak monosulfider som vil reagere under slike forhold. Det er også derfor de omtales som AVS sulfider. Dersom det ikke er monosulfider i materialet, og kun di-sulfider som pyritt, er slike kjemiske reaksjoner langt tyngre å initiere.

Slike forhold tilsier da at inkubasjon ikke nødvendigvis gir et riktig bilde av et morenemateriales potensiale for å kunne utvikle et forvittringsmiljø ved redusert pH. Det kan gi grunnlag for å vurdere det syredannende potensialet lavere enn det faktisk kan være.

Det er fysiske og kjemiske betingelser som er rammene for hvordan et sulfidholdig materiale skal forvitte. Eksempelvis kan pyrittkorn ligge eksponert på bergoverflater i lang tid. Det dannes kun en tynn oksidasjonshud som konserverer mot videre forvitring. I den andre enden av skalaen, når fysiske og kjemiske forhold i tillegg har et mikrobiologisk supplement, vil bakteriene kunne initiere red-oks forhold som kan medføre reduksjon i pH og videre en akselerert forvitring. En har da biotisk miljø. Det motsatte er et abiotisk miljø. Da er de kjemiske reaksjoner ekstremt langsomme (flere tier-potenser lavere) og knapt målbare.

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 69 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

12 FELTMETODER

12.1 Forundersøkelser

Det er utført et omfattende undersøkelsesprogram med flere supplerende metoder. Sammenstilling av det samlede prøvematerialet gir et godt grunnlag for anleggsplanleggingen.

12.2 Uttak materiale til analyse

Gjennomgang av analyseresultater kan indikere at utvelgelse av materiale og av parametere som gir grunnlag for vurderinger kan gjennomgå. Her anbefales videre uttak utføres med splitter for å sikre mest mulig korrelasjon i parallelle analyser og analyser av samme material med flere supplerende metoder.

12.3 Anleggsgjennomføring

I anleggsgjennomføring må det i rutineoppfølging etableres rutiner og metoder som gir raske svar. Metoden må også minimalisere ikke-systematiske feilkilder.

Røntgenpistolen vil være det mest hensiktsmessige verktøyet i oppfølging i anleggsgjennomføring. Instrumentet er raskt å betjene, og når det er laget gode analyseverktøy i Excel, får en nødvendige svar fra analysene når registreringen er overført til pc og behandlet i Excel. Dersom det etableres en makro i Excel, blir dette et kraftig verktøy i vurdering og valg av massehåndteringen og logistikken i anleggsgjennomføringen. Når makro i Excel også gir forslag til hvilken leirskifer som er i materialet (alunskiferpakkens grunnstoffer gir dette grunnlaget), har en god dokumentasjon for beslutninger.

I tillegg bør det være et regime med stikkprøver. Innholdet i et slikt regime bør være;

- Vannanalyser
- Kontrollanalyser hos akkreditert laboratorium
- Mineralidentifikasjon (XRD)

Oppfølgingen vil være påvirket av hvordan massene tas ut i linjen, og om det skilles etter f.eks. farge og/eller svovelinnhold, eller om hele profilet tas ut under ett, samblendes og fraktes til masselager eller gjenbruk i prosjektet.

For riktig bruk av røntgenpistolen må det beskrives hvordan apparatet skal brukes. Feil bruk kan gi feilkilder som kan gi feil underlag for valg og beslutninger. Materialet som skal analyseres må også prepareres for et representativt analyseresultat.

Ved valg av håndtering av masser, må også resterende lag i morenen karakteriseres. Dette også for å bestemme hvordan masser skal komprimeres ved masselagring for å unngå vann i bevegelse gjennom massene. Er det tørt, skjer det ingen sulfid til sulfat reaksjoner.

12.3.1 Betydningen av tørt miljø for å hindre sulfid til sulfatoksidasjon

Alle sulfatmineraler har vannmolekyler i mineralformel. Er det ikke tilgang på vann, skjer det derfor heller ingen sulfid til sulfat oksidering. Tørt miljø i massene er derfor helt nødvendig for å kontrollere uønskede kjemiske reaksjoner. Et eksempel vises i Figur 21. Bildet viser en 40 år gammel skjæringsflate i Galgeberg svart leirskifer. Punktforvitring med gult senter og rustfarger i korona rundt (rød sirkel), viser at her bufrer selv sand pH. En svartstålbolt (blå sirkel) er uten korrosjon i et tørt miljø selv etter 40 år.

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 70 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
--	---	--



Figur 21: Tørt miljø er helt nødvendig for å unngå uønsket miljøbelastning fra masser som gjenbrukes eller plasseres i masselager.

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 71 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

13 VURDERING AV RESULTATER

13.1 Beskrivelse av løsmassene

Løsmassene på Tokstad-Gyrud jordet består av relativt heterogene løsmasser. 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 profil ble det funnet soner med svart materiale med grynstruktur inne i det brune morenematerialet. Analysene av materialet fra sjiktene Ap2 og Bw (s) i profilet 406u er atypiske i forhold til jordlag i resten av profilet. Her var organisk karbon (TOC) så høyt at massen kunne karakteriseres som mineralblandet mold (moldinnhold 20-40 %). Et annet trekk var høyere konsentrasjoner av kadmium og uran i forhold til andre lag.

Kobberkonsentrasjonene var høye, og tilsvarer tilstandsklasse 3. Kobber er et red-oks metall som godt kan anrikes under reduserende forhold. Det er derfor vurdert om det her er formoldet torvmateriale som har tatt opp og binder tungmetaller. Under det dypeste svarte laget av mineralblandet mold observeres det i profil 406 et sedimentært leirlag som er massivt og svært lite gjennomtrengelig for vann. Det er ikke unaturlig at det har vært en torvdannelse over et slikt tett lag, og at det er et slikt lag som er viktig årsak til at en finner de svarte materialene av mineralblandet mold i lagene over. Bg-sjiktet i profil 401 hadde noen av de samme egenskapene som Ap2 sjiktet i profil 406, men ikke det økte kobberinnholdet.

I seks av de sju profilene kommer en ned i svart, hardpakket morenemateriale. Slikt materiale er i området omtalt som «Mjøsmorene». Morenematerialet har et gjennomgående høyt leirinnhold, noe økt karboninnhold i forhold til brune lag ovenfor. Lagene er så hardt komprimert at det 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 vanntransporterte masser.

I fire av profilene kom en ned i underliggende berg av kalkstein. Innslag av svart leirskifer i nedre lag indikerer at massene i morene er flyttet, også innslaget av de korttransporterte leirskifrene.

Størrelse på fragmenter medfører at materialet er å betrakte som inhomogent. Skal det sikres at et representativt utvalg av materiale blir analysert, må mengden materiale som tas ut økes i tråd med inhomogeniteten i materialet.

13.2 Kjemiske egenskaper til massene

Målt pH (i vann) viste at de fleste av massene hadde pH 7 eller høyere. I de fleste jordprofilene ble det funnet økende pH med dybden, slik en forventer ut fra at 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 noe organisk materiale (derav svart farge) og sulfider i varierende mengder. Disse jordlagene er sulfidiske, men fargekorrelasjon med sulfidinnhold er ikke tilstrekkelig presist. Nivået av svovel varierer fra 3680 til 15900 mg/kg TS.

Vurdering av egenskaper basert på Ca/S gir ikke en tilstrekkelig presis vurdering. AP:NP diagrammer gir en riktigere vurdering og når disse korrigeres for sulfatinnhold ut fra XRD analysene gir dette et riktigere bilde.

Det er også vist at underliggende bergart kan være kalkstein, selv om det er innslag av korttransportert svart leirskifer i morenematerialet. Dette kan også forklares med referanse til

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 72 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

tabellen som viser kambro-silurlagrekken. Her fremgår det at mektighetene for disse lagene (Galgeberg og Huk ikke er tykkere enn ca. 20 meter. Det er derfor å forvente at selv om det er underliggende kalkstein, så er det Galgeberg svart leirskifer i nærheten. Det berggrunnsgeologiske kartet indikerer det samme: repetisjon av de ulike leirskifer over korte avstander. Dette laget ligger over berggrunn av kalkstein, og det er således ingen sammenheng mellom underliggende berggrunn og egenskapene til det svarte laget over.

Spørsmålet er likevel om prøvene indikerer at det er tilstrekkelig kalsium til å være syrenøytraliserende når sulfidmateriale oksideres. Mineralidentifikasjon (XRD) gir svar på om kalsium er bundet i gips (sulfat) eller i kalsitt (karbonat).

pH i massene er målt til 7,3 eller høyere, dette er vanlige pH verdier for lite forvitret svart leirskifer. Bufningskapasitet vil hindre at pH dropper under 4. Dette er redegjort for i sammenstilling av mineralanalyser, kjemiske analyser, vannanalyser og korreksjoner i AP:NP diagrammet.

Inkubasjon

Gröger et al. (2009) har utarbeidet et sett av analysemetoder for å klarlegge om det er snakk om reelt syredannende materialer. Metodene er imidlertid lite kjent i Norge. I Soil Taxonomy (Soil Survey Staff 2009) er det angitt en enklere inkubasjonsmetode. En legger ut et lag av jord i 1 cm tykkelse under aerobe, fuktige forhold og måler pH i massen etter 4-8 uker (jord:vann, 1:1). Dersom pH i massen da har sunket med minst 0,5 pH enheter til 4 eller lavere, er det snakk om syredannende materialer. Et enda enklere alternativ er å la en jordprøve tørke langsomt i skygge i åtte uker, og deretter fukte den opp og måle pH. Hvis pH er lavere sammenlignet med pH som ble målt som utgangspunkt, er det snakk om reelt syredannende material.

Ingen av prøvene fra denne undersøkelsen har konsentrasjoner av arsen og flere andre grunnstoffer en typisk finner i masser med alunskifer som opphavsmateriale. Dette fremkommer ved å sammenlikne analysene med referanseprøver og hvordan de plasseres i trekantdiagrammer

I et jordprofil i jernbanetraseen på Skjerden Østre ble det målt As 29,1 - 42,2 mg/kg TS, Cd 2,41 - 3,33 mg/kg TS og V 100 - 109 mg/kg TS. En finner likevel noe økte arsenkonsentrasjoner i de svarte dyptliggende lagene i profilene 406u, 401u og 653u til dels sammen med økte konsentrasjoner av kadmium og uran, men som er fortennet fra de opprinnelige konsentrasjoner i de respektive svarte leirskifere.

Alle masser i undersøkelsen som har brun eller brungrå farge, har uproblematisk lave nivå av tungmetaller og er så forvitret at det ikke er gjenværende mengder av svovel som kan gi omfattende syredannelse. Massene kan flyttes til andre områder for å gjenoppbygge jordsmonn for jordbruksproduksjon. I forhold til mye av jordsmonnet med opphavsmateriale av alunskifer, er det ingen risiko for uønsket opptak av tungmetaller fra jordsmonnet i det undersøkte området basert på NIBIOs undersøkelse av opptak av tungmetaller i området (upubliserte data). Kornstørrelse og størrelse på fragmenter medfører at materialet er å betrakte som inhomogent.

13.3 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 (Skjerden har pH<4 i en av analysene etter inkubasjon) av de sulfidiske materialene som er undersøkt i denne rapporten kunne karakteriseres som hypersulfidiske eller syredannende. Det er sulfat som løses ut i vannfase i vannanalysene og som vises som sulfat i vannanalysene. Materialet fra Spangen var prøven med det største potensiale for syredannelse, og hadde vesentlig lavere bufningspotensiale enn prøvene fra Tokstad-Gyrud-Gaustad området.

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 73 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

Referanseprøvene 401-617 indikerer alle at det kan ha vært Galgeberg svart leirskifer til stede i morenematerialet. Alle disse viser også innslag av kvarts- feltspatiske bergarter (langtransportert). En nøyere gjennomgang av prøvematerialet vil gi sikrere vurderinger av det totale bildet fra prøvetakingen.

De tre referanser til testing i denne rapporten fra vårt prøvemateriale som omfatter ulike typer borer og sjaktning med gravemaskin viser at masser kan omdisponeres eller legges i masselager. Ingen prøvepunkter kan klassifiseres som hypersulfidiske.

Fordi disse massene inneholdt et for lavt innhold av sulfider og dermed også et overskudd av kalsitt i forhold til sulfid, dannes det ikke surt avrenningsvann ved oksidering av disse massene. Brunfargede overliggende lag forentes å ha lavere konsentrasjoner av grunnstoffer, vannløselige sulfater eller sulfider i form av pyritt. Brunfargen skyldes ofte oksidert jern (rustfarger).

Ved utgraving kan to alternativer benyttes. Hæhre-metoden som tar hele masser i profilet samlet ut, eller Skanska metoden som tar lagvis ut lag der det er forhøyede svovelkonsentrasjoner. Begge metodene legger massene i masselager, men oppbygging/oppfylling av masselagene vil være tilpasset de to alternativene.

Det eneste tungmetallet som det er knyttet risiko til, er kadmium ved opptak i næringsvekster. Risikoen reduseres i betydelig grad ved kalking, og iblanding av kalkrike jordmasser i masser med noe svart materiale.

Dersom en benytter fargekoding for å skille ut lag med sulfidiske materialer, anbefales å bruke fargebestemmelsene som angitt i kap. 4.4.2 for svarte og mørkfargede lag. En må da under anleggsarbeidet ha tilgang på Munsell fargebok. Fargekoding gir ikke tilstrekkelig korrelasjon for å karakterisere og klassifisere masser for gjenbruk, masselager eller deponi. Den kan være en støtte til XRF røntgenpistolen.

I vårt materiale er det prøven fra Spangen som ville fått hypersulfidisk karakterisering. Ut fra borer 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 vegetasjonsfrie områder med for surt jordsmonn for normal plantevekst, 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: masser med så lavt sulfidinnhold at de ikke kan igangsette akselerert forvitring og heller ikke er ikke syredannende kan flyttes til områder innenfor Brenneribekken nedslagsfelt. Det må tas stilling til hvordan bakgrunnsverdier skal legges til grunn i massehåndtering og flytting. Niton røntgenpistol med karakteriseringsmakro i Excel legges til grunn for vurderinger og klassifisering
- Når det gjelder løsmasser og jordsmonn som ligger innenfor området der det forventes kontakt med bergarten alunskifer (som Nesten-Skjerden området), må en dokumentere

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 74 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	---	--

med oppfølging i anleggsutførelsen om det er konsentrasjoner av uran og/eller grenser satt for sulfid (svovelinnhold) som tilsier at masser leveres godkjent deponi

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. Arealer som påvirker vannkjemien i Brenneribekken bør identifiseres og karakteriseres med tanke på gjenbruk, omdisponering, masselager eller deponi. 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. Det kan vurderes om utfylling av slike masser i myrområde ved Nesten-Skjerden vil være hensiktsmessig disponering av slike masser også ut fra et miljøperspektiv.

13.4 Prøvetakingen i felt

Det må benyttes prøvesplitter ved uttak av materiale til analyse. Det må tas hensyn til inhomogeniteten til prøvemateriale ved uttak av prøver.

13.5 Uttak av materiale hos ALS

Gjennomgang av uttak av materiale til analyse bør referere til tydelige prosedyrer for uttak av representativt materiale. Det er også en usikkerhet i hvordan ALS tar ut materiale til analyse. Overskudds materiale bør derfor sendes i retur fra ALS.

Prøvepreparering hos underleverandør er heller ikke i tråd med prosedyrer som gjelder for preparering av materiale til XRD.

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 75 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

14 OPPSUMMERING

Metoden basert på inkubasjon av masser med et innhold av sulfider er testet. Igangsetting av red-oks reaksjoner der sulfider oksideres til sulfater ved inkubasjon er avhengig av at det er monosulfider til stede. Når det kun er pyritt (di-sulfid) skjer det liten kjemisk oksidasjon av pyritt. Sulfatmengder i vannanalyser etter inkubasjon skyldes at sulfater er vannløselige. Det har ikke skjedd nevneverdig oksidasjon av pyritt.

Avsetningsmiljøet i bunnsubstratet over underliggende leirskifer var ikke anaerobt. Monosulfidene er derfor ikke stabile under slikt forhold. Dette fremgår også av diagrammer (Eh-pH). Det er pyritt (di-sulfider) som er identifisert.

Sulfatjord kan ikke brukes som en analogi for løsmasser derivert av alun/svartskifer, da svovel er bundet i ulike mineraler med forskjellige red-oks reaksjoner. Pyritt vs. Magnetkis

Metoden beskrevet i M310 er velegnet for klassifisering og karakterisering av morenemasser med innslag av svarte leirskifere. Metoden er også egnet for å skille masser til gjenbruk, masselager og deponi. Når det benyttes røntgenpistol (kalibrert) makro i Excel for tolkning av analyser, XRD og vannanalyser som supplement, er dette vurdert å være den mest rasjonelle og enkleste metoden for oppfølging i anleggsgjennomføring

- Konsentrasjoner av sulfider i sulfidisk masser har ikke samme verdier som for klassifisering etter M310.
- Fargegjenkjennelsesmetoden er ikke anvendbar under en anleggsfase, da masser med ulike svovelskonsentrasjoner har relativt like farger, som medfører at det er vanskelig å skille masser med forskjellig svovelinhold fra hverandre.
- Svovel er bundet i sulfater og sulfider i alle de undersøkte massene i denne studien.
- Sulfat er ikke bidragsyter til red-oksreaksjoner. Sulfater fra XRD brukes til å korrigere AP:NP diagrammer. Sulfater viser også at bunnsubstratet ikke er avsatt i anoksiske forhold. Monosulfidener er borte, gips er dannet og noe pyritt har bestått når oksygennivået er brukt opp.
- 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. Begrepet sulfidiske materialer omhandler masser som inneholder sulfider som kan oksideres til sulfat under gitte betingelser. Definisjonen av hypersulfidisk materiale kan stemme 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.
- De ulike undersøkelsene som har vært foretatt, er entydige og viser at massene i de tre referanseprøvene fra linjen ikke kan karakteriseres som syredannende.
- 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.
- 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 tungmetaller som kan skape problemer i forhold til opptak i mat- og fôrvekster som dyrkes i området. Løseligheten av kadmium er

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 76 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	---	--

sterkt pH avhengig, noe som både ristetest og analyser av opptak i vekster fra området viser.

- Etersom det er påvist svært liten sammenheng mellom konsentrasjonene av tungmetaller i løsmassene og utlekking i vannfase ved ristetest, anser vi ikke massehåndtering ut fra tilstandsklassevurderinger som hensiktsmessig i dette området. Dette er i tråd med Forurensningsforskriftens kapittel 2 med veileder. 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. 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 (pH avhengig). 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 Brenneribekken. 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.

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 77 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

15 DOKUMENTINFORMASJON

15.1 Endringslogg

Rev.	Endring
01A	Andre utgave 20.20.2020
00A	Første utgave 28.08.2020

15.2 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. NGI, *20120842-01-R - Identifisering og karakterisering av syredannende bergarter*, Erik Endre and Erlend Sørmo, Editors. 2015, Miljødirektoratet.
7. Nordmyr, L., et al., *Estimation of leakage of chemical elements from boreal acid sulphate soils.* Boreal Environment Research, 2006. **11**: p. 261.
8. 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.
9. 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.
10. Roos, M. and M. Åström, *Hydrochemistry of rivers in an acid sulphate soil hotspot area in western Finland.* 2005.
11. 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.

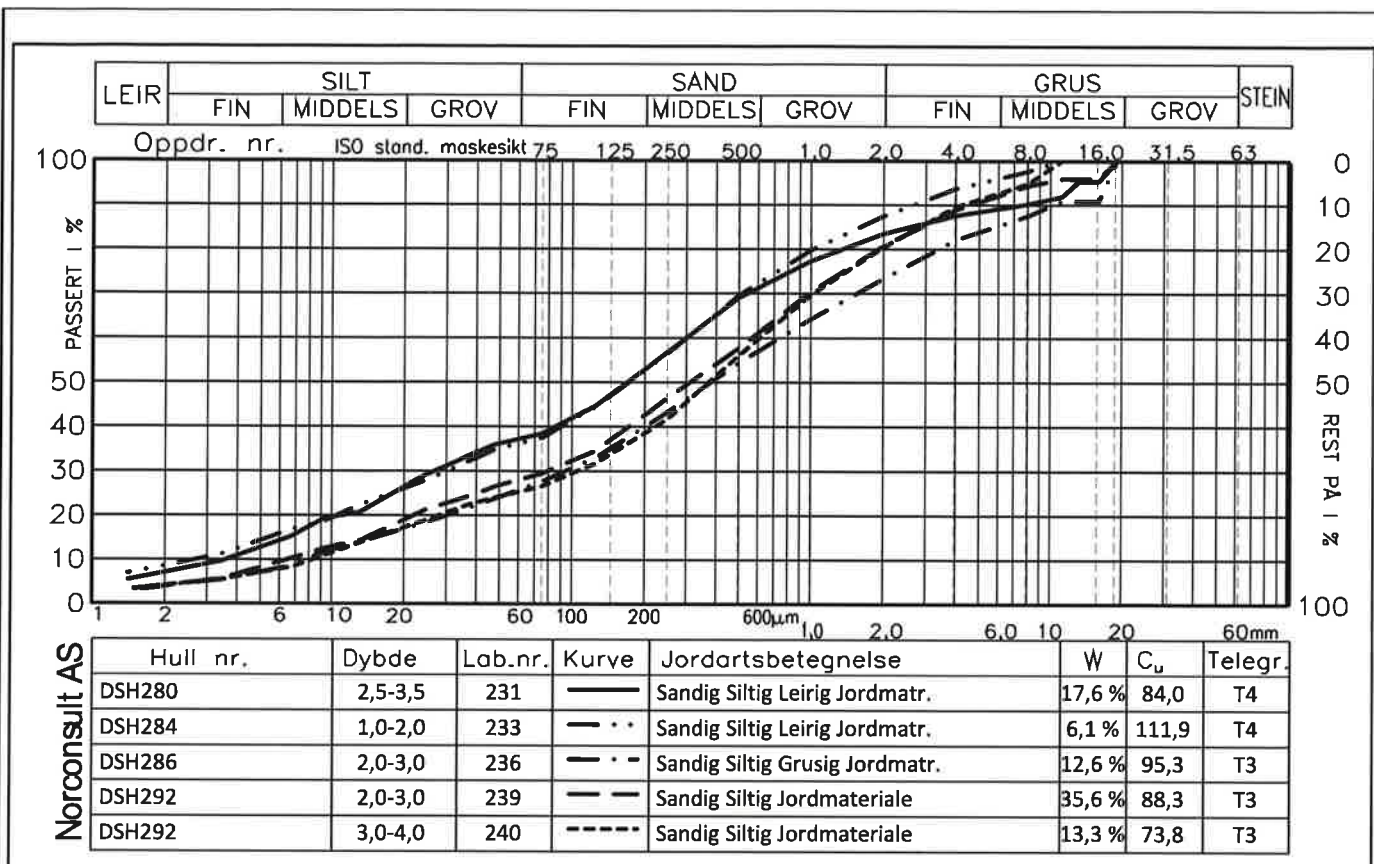
Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 78 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

12. Beucher, A., et al., *Mapping potential acid sulfate soils in Denmark using legacy data and LiDAR-based derivatives*. Geoderma, 2017. **308**: p. 363-372.
13. 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.
14. Breuning Madsen, H. and N. Henrik Jensen, *Potentially acid sulfate soils in relation to landforms and geology*. CATENA, 1988. **15**(2): p. 137-145.
15. Urbańska, E., P. Hulisz, and R. Bednarek, *Effects of sulphide oxidation on selected soil properties*. Journal of Elementology, 2012. **17**(3).
16. FAO, *World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*, in Reports 106 W.S. Resources, Editor. 2014.
17. ALS Laboratory Group Norway AS. *XRD - Kvalitativ og kvantitativ bestemmelse*. 2020 [cited 2020 21.04.2020]; Available from: <https://www.alsglobal.no/sok-analyse?selected-matrix=&selected-sub-matrix=&selected-area=&selected-sub-area=&q=XRD>.
18. Color, B.M., *Munsell soil-color charts: with genuine Munsell® color chips*. 2009: Munsell.
19. Miljødirektoratet. *Vannmiljø - Registrering og analyse av tilstand i vann*. 2014; Available from: <http://vanmiljo.miljodirektoratet.no/>.
20. Miljødirektoratet, *Helsebaserte tilstandsklasser for forurenset grunn*, in TA-2553/2009. 2009. p. 27.
21. RIF, *Bygging på alunskifre og andre grå leirskifere*, Erik Endre, Editor. 2019, RIF.

Utbygging Eidsvoll-Hamar Sørli-Åkersvika	Vurdering av metoder for karakterisering av morenemateriale med innhold av sulfider	Side: 79 av 79 Dok.nr: UEH-55-A-25149 Rev.: 01A Dato 20.10.2020
---	--	--

15.3 Vedlegg

Vedlegg 1. Kornfordelingsanalyser Sørli-Åkersvika



leirinnhold ~ 1,5 - 30 %

3010084 Intercity

Norconsult 

Grunnundersøkelser - laborierapport

Figur 2 Kornfordelingskurver i posisjon DSH280, DSH284, DSH286, DSH292

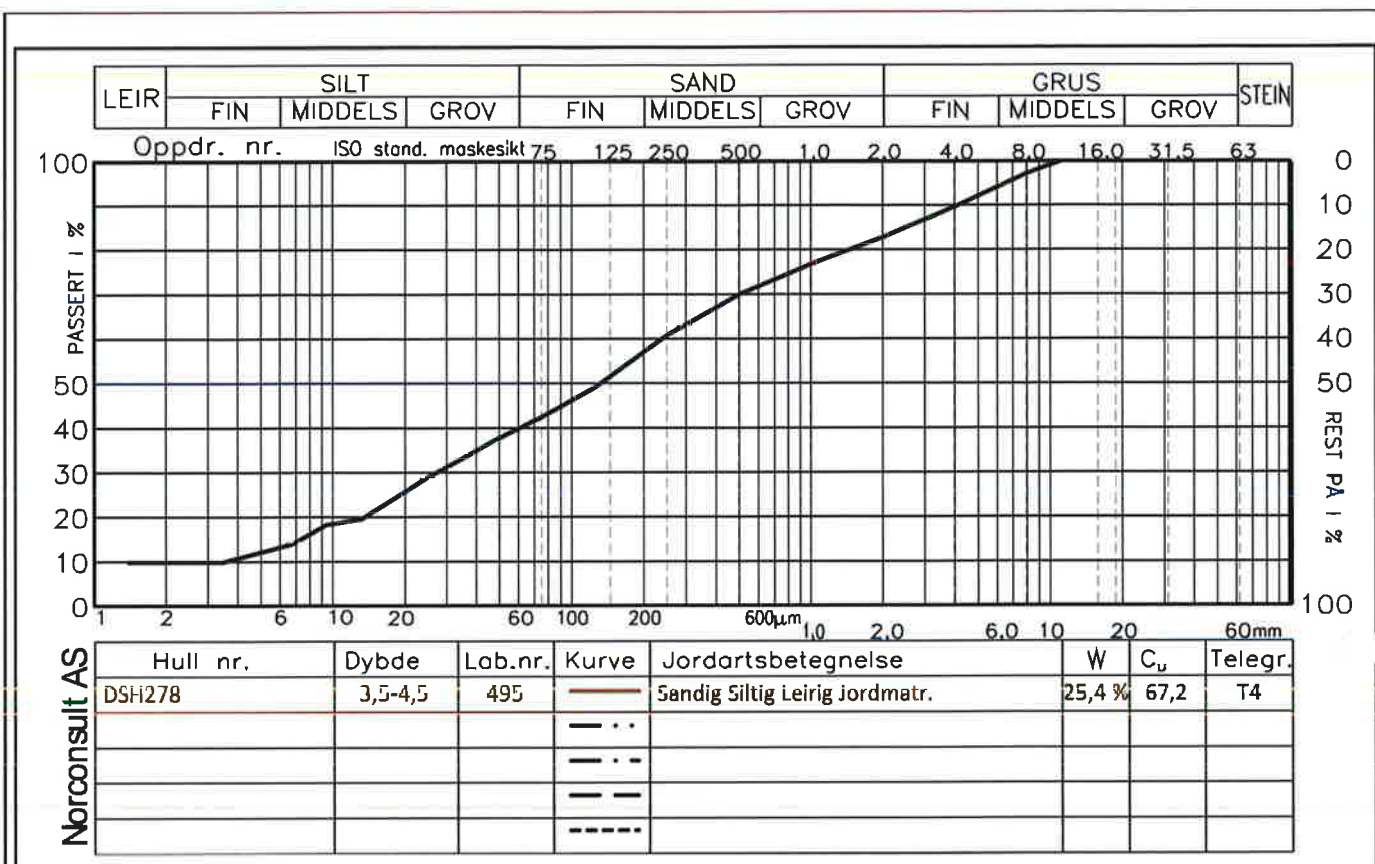
Utført
HiRis

Kontrollert
SyTve

Godkjent
SyTve

Rapport
3010084

Format
A4



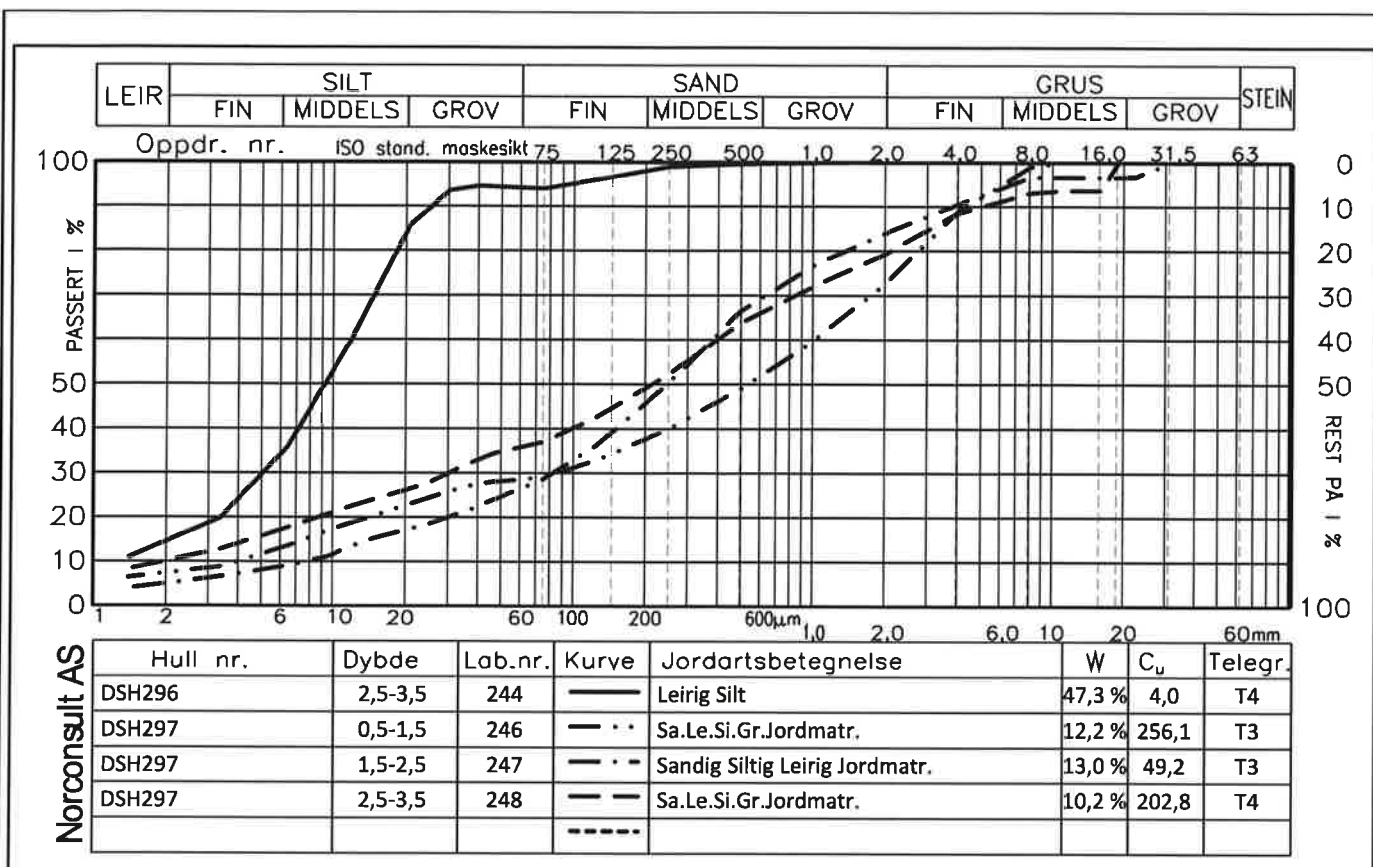
3010084 Intercity

Norconsult 

Grunnundersøkeiser - laboratorierapport

Figur 1 Kornfordelingskurve i posisjon DSH278

Utført HiRis	Kontrollert SyTve	Godkjent SyTve	Rapport 3010084	Format A4
-----------------	----------------------	-------------------	--------------------	--------------



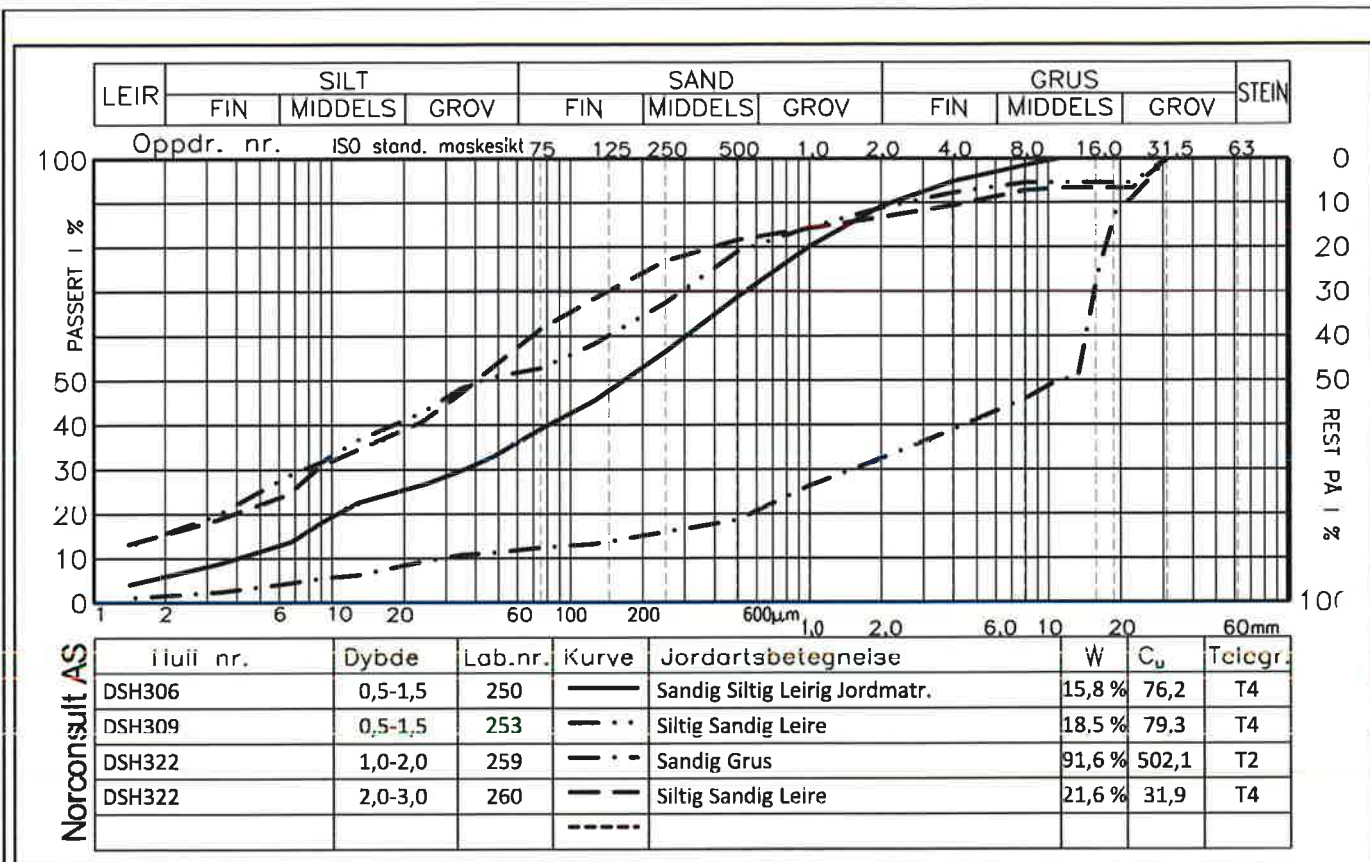
3010084 Intercity



Grunnundersøkelser - laboratorierapport

Figur 3 Kornfordelingskurver i posisjon DSH296 og DSH297

Utført HiRis	Kontrollert SyTve	Godkient SyTve	Rapport 3010084	Format A4
-----------------	----------------------	-------------------	--------------------	--------------



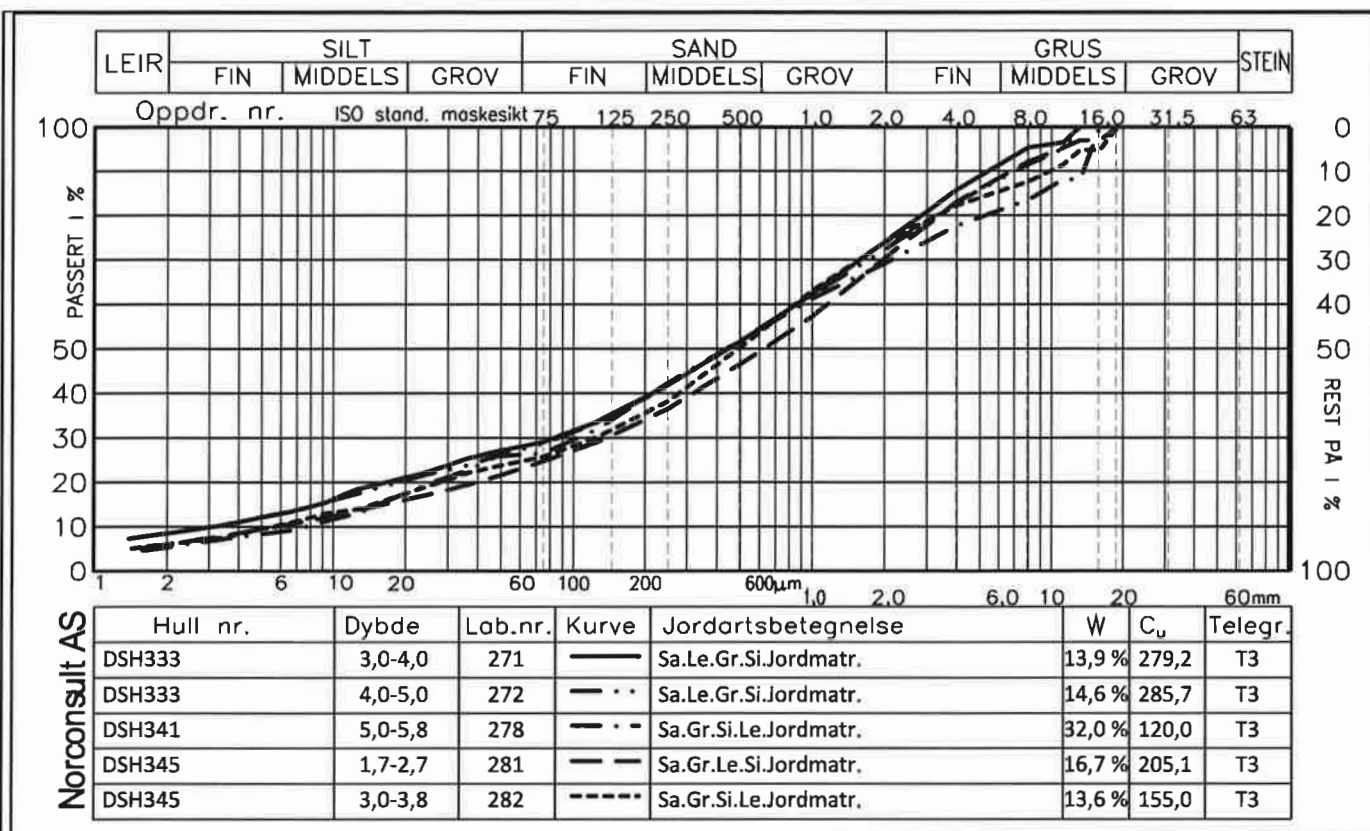
3010084 Intercity



Grunnundersøkelser - laboratorierapport

Figur 4 Kornfordelingskurver i posisjon DSH306, DSH309 og DSH322

Utført HiRis	Kontrollert SyTve	Godkjent SyTve	Rapport 3010084	Format A4
-----------------	----------------------	-------------------	--------------------	--------------



3010084 Intercity

Norconsult 

Grunnundersøkelser - laborierapport

Figur 6 Kornfordelingskurver i posisjon DSH333, DSH341 og DSH345

Utført HiRis	Kontrollert SyTve	Godkjent SyTve	Rapport 3010084	Format A4
-----------------	----------------------	-------------------	--------------------	--------------