



RAPPORT

# Identifisering og karakterisering av syredannende bergarter

VEILEDER FOR MILJØDIREKTORATET

DOK.NR. 20120842-01-R  
REV.NR. 0 / 2015-02-09  
M-310|2015

Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemann uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGI.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this risk and take full responsibility for use of this document.

This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document was prepared for. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the owner's consent. No changes to the document shall be made without consent from NGI.

## Prosjekt

Prosjekttittel: Identifisering og karakterisering av syredannende bergarter  
Dokumenttittel: Veileder for Miljødirektoratet M-310 2015  
Dokumentnr.: 20120842-01-R  
Dato: 2015-02-09  
Rev.nr. / Rev.dato: 0

## Oppdragsgiver

Oppdragsgiver: Miljødirektoratet  
Kontaktperson: Hans Jørund Hansen  
Kontraktreferanse: Avtale signert 2012-12-19

## for NGI

Prosjektleder: Anne Kibsgaard  
Utarbeidet av: Erik Endre, Erlend Sørmo  
Kontrollert av: Gijs Breedveld, Gudny Okkenhaug

## Sammendrag

Veilederen har som formål å gi retningslinjer for å identifisere og karakterisere potensielt syredannende bergarter slik at prosjektering og påfølgende håndtering og tiltak skal kunne foregå på en betryggende måte.

Egenskapene til syredannende bergarter og problemstillinger i forbindelse med håndtering av disse er spesielt knyttet til:

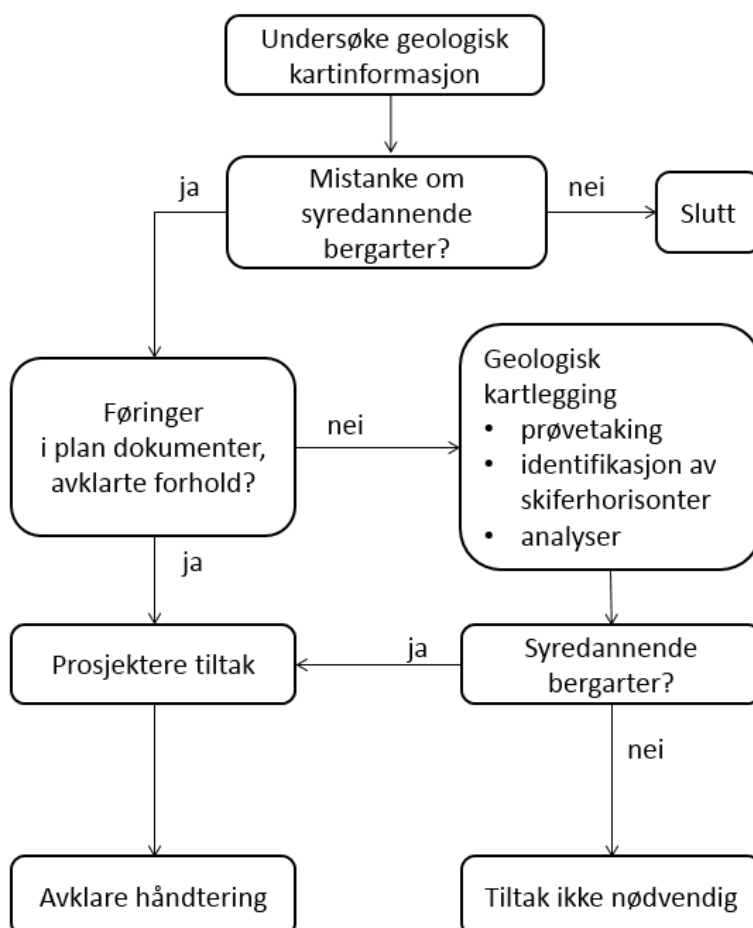
- Avrenning av vann med lav pH
- Utlekking av tungmetaller
- Forvitring og korrosjon av betong og stål
- Svelling og trykk mot konstruksjoner og fundamenter
- Redusert bæreevne/styrke av undergrunnen
- Potensiell dannelse av radongass

Veilederen gir en oversikt over mulige forekomster av syredannende leirskifre med vekt på geografisk plassering, og deres ulike egenskaper.

For å identifisere og karakterisere leirskifre foreslås en trinnvis prosedyre som består av 3 hovedelementer:

1. Sammenstilling av geologisk informasjon
2. Geologisk kartlegging i felt
3. Kjemisk karakterisering av massene

Denne metoden for å identifisere bergartene, gir et godt vurderingsgrunnlag og gjør identifiseringen sikrere. Forslag til fremgangsmåte knyttet til konkret håndtering av syredannende bergarter i forbindelse med bygge- og graveprosjekter vises nedenfor.



*Flytskjema ved håndtering av syredannende bergarter i byggeprosjekt.*

## Innhold

<b>1</b>	<b>Innledning</b>	<b>7</b>
1.1	Bakgrunn	7
1.2	Hensikt	7
1.3	Veilederens oppbygging	7
<b>2</b>	<b>Syredannende bergarter – problemer og konsekvenser for miljø, mennesker og eiendom.</b>	<b>9</b>
2.1	Syredannende reaksjoner fra sulfidforvitring	10
2.2	Utlekking av tungmetaller	10
2.3	Forvitring og etsing av betong og stål	11
2.4	Svelling og trykk mot konstruksjoner og fundamenter, setningsskader	12
2.5	Dannelse av radongass	12
2.6	Stråling fra spalting av uran	12
2.7	Temperaturøkning og risiko for selvantennning i deponi.	13
<b>3</b>	<b>Syredannende bergarter – Den faglige bakgrunnen for fenomenet.</b>	<b>13</b>
3.1	Hvor finner vi syredannende bergarter?	13
3.2	Kjennetegn og egenskaper til potensielt syredannende leirskiferbergarter	18
<b>4</b>	<b>Metode for identifisering og karakterisering av syredannende bergarter</b>	<b>22</b>
4.1	Geologisk kartgrunnlag	22
4.2	Geologisk/ ingeniørgeologisk kartlegging i felt/byggeplass	22
4.3	Prøvetaking og metoder	23
4.4	Analyser	25
4.5	Mineralidentifikasjon	27
4.6	Tolkning av analysedata	27
<b>5</b>	<b>Bruk og disponering av syredannende bergarter</b>	<b>34</b>
5.1	Helsemessige forhåndsregler	34
5.2	Håndtering av overskuddsmasser	34
5.3	Tilbakefylte masser	34
5.4	Gjenværende masser	34
5.5	Spesielle hensyn vedrørende radioaktivitet	35
5.6	Beskytte omgivelser og konstruksjoner	35
5.7	Unngå endring av grunnvannsspeilet	35

5.8	Drenering og grøfter	36
5.9	Tiltak for å unngå inntrengning av radongass i bygg	36
5.10	Fremgangsmåte ved bygg og anlegg	36
<b>6</b>	<b>Katalog over syredannende bergarter i Norge</b>	<b>38</b>
6.1	Aktuelle informasjonskilder	38
6.2	Oslo og omegn	43
6.3	Hamar regionen	44
6.4	Synnfjellområdet	46
6.5	Sør-Vestlandet	48
6.6	Sørlandet	49
6.7	Trøndelag	50
6.8	Nordland	51
<b>7</b>	<b>Oppsummering</b>	<b>52</b>
<b>8</b>	<b>Referanser</b>	<b>54</b>

## Vedlegg

Vedlegg A	Ordforklaringer
Vedlegg B	Eksempler
Vedlegg C	Tolkning av analysedata

## Kontroll- og referanseside

# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn

Forurensningsforskriftens kapittel 2 omhandler opprydding i forurenset grunn ved bygge- og gravearbeider. I henhold til § 2-3a i forskriften regnes "grunn som danner syre eller andre stoffer som kan medføre forurensning i kontakt med vann og/eller luft" også som "forurenset grunn dersom ikke annet blir dokumentert". Alunskifer er en av flere leirskifre med syredannende egenskaper som det har vært fokus på i forbindelse med grave- og byggearbeider. Ettersom forurensningsforskriftens § 2-3a er ment å dekke alle typer syredannende bergarter, har Miljødirektoratet, som forvalter forurensningsforskriften, sett behovet for å presisere begrepet "syredannende bergarter" utover forskriftsteksten og definere hvilke typer grunn som er inkludert i begrepet og hvordan slik grunn og genererte masser skal identifiseres.

## 1.2 Hensikt

Hensikten med veilederen er å gjøre det enklere for entreprenører, konsulenter, planmyndighet, samt miljøvernmyndigheten i fylker og kommuner å treffe de riktige beslutninger med hensyn til syredannende bergarter og redusere skadevirkningene på menneske, eiendom og miljø til et minimum. Det har vist seg å være vanskelig for de involverte i bygge- og gravesaker å utføre korrekt identifisering og klassifisering av syredannende bergarter som danner grunnlag for riktig vurdering og håndtering av disse massene. Veilederen er ment å bidra til å øke forståelsen for utfordringene knyttet til disse bergartene og sikre en enhetlig håndtering.

Veilederen vil i hovedsak være fokusert på syredannende leirskifre, ettersom disse er de mest vanlige syredannende bergartene i Norge. Samtidig vil metodene for karakterisering, identifisering og håndtering av syredannende leirskifre, som er beskrevet her, også kunne benyttes for andre syredannende bergarter.

## 1.3 Veilederens oppbygging

Veilederen har som formål å gi retningslinjer for å identifisere og karakterisere syredannende bergarter slik at prosjektering og påfølgende håndtering og tiltak skal kunne foregå på en forsvarlig måte. Oppbyggingen av veilederen er som følger:

1. **Syredannende bergarter – problemer og konsekvenser for miljø, mennesker og eiendom.** Beskrivelser av alle de ulike følger og skader som kan oppstå ved en uheldig eller feilaktig bruk og disponering av syredannende bergarter.
2. **Syredannende bergarter – Den faglige bakgrunnen for fenomenet.** Hva er de, hvordan oppstår de og hvilke geografiske områder bør en være aktsom? En oversikt

over de geologisk og kjemiske faktorene som er med på å bestemme hva som påvirker syredannelsesprosessen.

3. **Metode for identifisering og klassifisering av syredannende bergarter.** En beskrivelse av metodikk og vurderinger som gjøres, hvilke data som kreves, prøver som skal tas og bruk av kjemiske og geologiske analyser.
4. **Bruk og disponering av syredannende bergarter.** Kapitlet viser i hvilke situasjoner det er nødvendig å tenke på og vurdere om syredannende bergarter er tilstede og hvordan disse skal håndteres.
5. **Katalog over syredannende bergarter i Norge.** En regional oversikt over de syredannende bergartene som fins i Norge med en beskrivelse av den lokale utformingen og hvilke egenskaper som er dominerende.

Faguttrykk som brukes er nærmere forklart i Vedlegg A.

Eksempler for å øke forståelsen av hvordan en bør gå frem i ulike typer prosjekter og hvordan ulike problemstillinger kan løses er vist i Vedlegg B. Vedlegg C viser mer utfyllende informasjon for tolkning av kjemiske analysedata.



## 2 Syredannende bergarter – problemer og konsekvenser for miljø, mennesker og eiendom.

Det er kjemiske endringer i bergarten som under innflytelse av oksygen og vann fører til sur avrenning og mekanisk endring av bergarten som kan påvirke både miljøet og konstruksjoner. Sulfidmineraler i bergarten omdannes til svovelsyre og andre sulfatforbindelser og mineraler.



*Figur 1 Alunskifer som forvittrer ved tilgang på fuktig luft vil svulle til et volum som kan være 2-3 ganger opprinnelig volum (høyden på bildeutsnittet er ca. 5 centimeter). Gule utfellinger er  $Fe_2(SO_4)_2$  mineraler (jarositt eller kopiatitt).*

De syredannende bergartene fører med seg en rekke miljømessige og byggetekniske problemstillinger (Figur 1). Bygging på grunn som kan utvikle syre krever tiltak for å hindre/reducere negative effekter som forurensning, kortere levetid på konstruksjonen, økt avfallsproduksjon og økte samfunnskostnader.

Dersom potensielt syredannende bergarter ikke blir behandlet med tilstrekkelig aktsomhet kan det som konsekvens følge en rekke uønskede resultater:

- Syredannende reaksjoner, pH reduseres
- Utlekking av tungmetaller
- Forvitring og etsing av betong og stål
- Svelling og trykk mot konstruksjoner og fundamenter
- Dannelse av radongass
- Stråling fra spalting av uran
- Temperaturøkning og risiko for selvantennning ved deponi

En oversikt over potensiell skadeomfang knyttet til de vanligste syredannende bergartene, svarte og mørke leirskifre, vises i Tabell 1. En nærmere beskrivelse hvor disse bergartene kan påtreffes gis i kapittel 3.

**Tabell 1 Egenskaper og potensielt skadeomfang for leirskifre som kan påtreffes i Oslofeltet.**

Leirskifer	lav pH	svelleskade	radon	uran	styrke
Alunskifer	****	****	****	***(*)	*
Galgeberg Oslo	*(*)	*(*)	***	**	**
Galgeberg, Gran	*	(*)	***	**	*(*)
Elnes Oslo	*	*(*)	*(*)	*	**
Elnes Hamar	*	*(*)	*(*)	*	*
Brøttum/Biri	*(*)	*(*)	*(*)	*	*

I det følgende beskrives kort de viktigste egenskapene.

## 2.1 Syredannende reaksjoner fra sulfidforvitring

Det er de syredannende egenskapene som kontrollerer de fleste uønskede egenskapene for sulfidrike bergarter. Om pH synker til under ca. 4, vil forvitringen forsterkes. Den sterke syren tærer opp alle mineralene (særlig *silikatene*) slik at også aluminium blir mobilt. Syren (svovelsyren og sulfatene) tærer også aggressivt på mange bygningsmaterialer og kan medføre kortere levetid på konstruksjoner. Ved lav og moderat relativ fuktighet vil de nye mineralene som dannes (*sulfatmineralene*) medføre volumøkninger i skifervolumet (Figur 1). Ved lav pH <4 vil typisk sulfatmineraler med Fe<sup>3+</sup> og Al<sup>3+</sup> dannes.

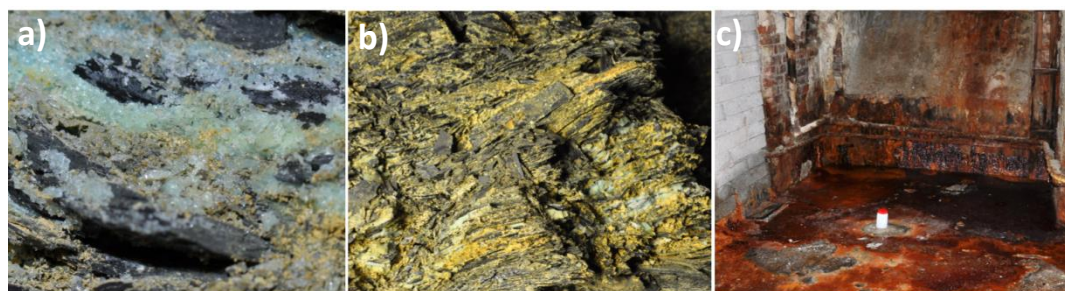
## 2.2 Utlekking av tungmetaller

Utlekking av tungmetaller skyldes forvitring av sulfidmineralene. Sigevann i kontakt med særlig Alunskifer kan ha meget høye konsentrasjoner av tungmetaller, uran og aluminium. pH i slikt sigevann er vanligvis lav (pH<4). På engelsk omtales dette som *Acid Rock Drainage* (ARD).

Ved lav og moderat relativ fuktighet vil forvitningsprosessen danne *sulfatmineraler*. Sulfatmineralene inneholder tungmetaller som før var bundet i sulfidene. Ettersom sulfatene er lett løselig i vann, vil en forvitret leirskifer med høy andel av sulfatmineraler kunne frigjøre store mengder tungmetaller i kontakt med vann. Sigevann kan derfor få svært høye konsentrasjoner av tungmetaller, uran og aluminium.

Ved pH >4 vil typisk jernhydroksider erstatte sulfater. Jernhydroksider er gode "feller" for tungmetaller som bindes i hydroksidmineralene som dannes (Figur 2), og en vil da få mindre utlekking av tungmetaller. Tross dette kan det også skje utlekking av tungmetaller i sigevann med høyere pH (pH>6), noe som på engelsk omtales som *Neutral Rock Drainage* (NRD).

Dersom den syredannende bergarten også har et høyt nøytraliserende potensial vil syredannelsen fra forvitrende sulfider utlignes, men tungmetaller som er mobile ved nøytrale pH-forhold (As, Cd, Co, Mo, Ni, Sb, U og Zn) vil fortsatt kunne lekke ut fra de forvitrede sulfidene. Dette forutsetter et høyt sulfidinnhold i den opprinnelige bergarten. I tillegg vil mobiliteten til tungmetallene være avhengig av kjemiske forhold i bergarten og grunnvannet.



*Figur 2 pH er den viktigste enkeltfaktoren for utvikling av forvitring og forurensende potensial til massene og mineraldannelse: a) grønn-blå Fe<sub>2</sub>+sulfat, b) gul Fe<sub>3</sub>+sulfat c) jernhydroksyder (goethitt, Fe-O-OH mineral).*

## 2.3 Forvitring og etsing av betong og stål

Syren som dannes ved de rette forvitningsforholdene, virker aggressivt på mange bygningsmaterialer og kan medføre kortere levetid på konstruksjoner. Når sulfidforvitringen er av et slikt omfang at pH synker, blir etseskadene større. Svovelsyre kan etse/løse opp mange bygningsmaterialer.

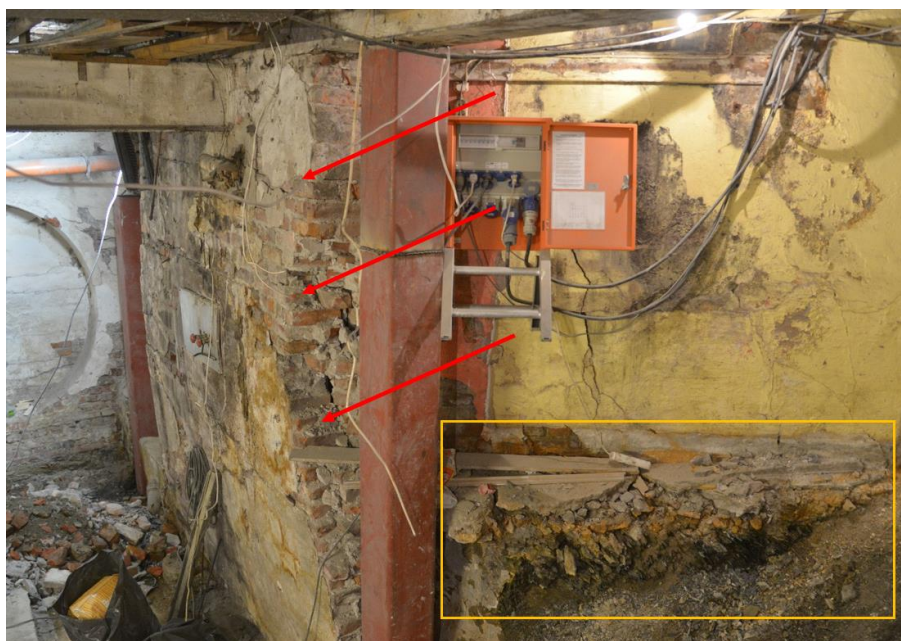


*Figur 3 Innlekkasje av aggressivt vann (pH < 3) i et kjellerrom. Kontakt med vannet kan medføre fare for etseskader på huden. For vannkjemi, se Vedlegg C, Tabell C3, Prøve 1.*



## 2.4 Svelling og trykk mot konstruksjoner og fundamenter, setningsskader

Svelltrykket som kan utvikles i leirskifer som forvitrer kan bli flere hundre tonn per kvadratmeter ( $> 2\text{MPa} \sim 200\text{ t/m}^2$ ). Skader på fundamenter og andre bygningskonstruksjoner er veldokumentert gjennom flere rehabiliteringsprosjekter (Figur 4). Typiske skader er fundamentskader, løft i vegger, knusing av infrastruktur i grunnen (vann og avløp).



Figur 4 Eksempel på skader på bygningskonstruksjoner som følge av forvitring av alunskifer. Vegg presses ut pga. svelltrykk fra forvitrende alunskifer (røde piler). Vegg er fundamentert direkte på alunskifer og står i fare for å rase ut pga. setninger (gult rektangel).

## 2.5 Dannelse av radongass

Radon er en radioaktiv gass som dannes som følge av spalting av uran. Når det dannes en gass inne i et mineral, oppstår et overtrykk der gassen presses ut av mineralkornet. Generelt gjelder at jo høyere uraninnhold i en bergart, desto større radonproduserende potensial. Radon transporteres langs sprekkeflater i skiferen og til overflaten. Forvitring øker overflateareal og gir dermed større spredning av radon til luft.

## 2.6 Stråling fra spalting av uran

Radioaktiv stråling fra uranrike bergarter kan medføre helserisiko. Tabell 2 viser eksempler på innholdet av uran i utvalgte leirskifere. Det er Alunskifer som har de høyeste

konsentrasjonene av uran. Dernest følger Galgebergskifer. Enkelte lag i Alunskiferen kan ha >200 mg uran per kg faststoff. Korrelasjoner mellom uraninnhold og stråling tyder på at leirskifere med uraninnhold < 50 mg/kg, har tilnærmet neglisjerbar stråling.

Tabell 2 Innholdet av uran (mg/kg) i enkelte leirskifertyper.

Skifer	Uraninnhold
Alunskifer	60 – 200
Galgeberg	Ca. 40
Elnes	< 15

## 2.7 Temperaturøkning og risiko for selvantennning i deponi.

Når sulfider forvitrer til sulfater utvikles varme (eksoterm reaksjon). Dersom Alunskifer legges i for store mengder i deponi uten at den behandles/forsegles, kan forvittringsreaksjonene bli så intense at deponiet kan begynne å brenne. Andre leirskifertyper vil ikke forårsake slik varmgang.

## 3 Syredannende bergarter – Den faglige bakgrunnen for fenomenet.

### 3.1 Hvor finner vi syredannende bergarter?

Berggrunnen i Norge har store variasjoner i bergartstyper (Figur 5). Tar vi utgangspunkt i den svarte leirskiferen, Alunskifer som kan finnes i kambro-silurlagrekken (lilla farge i Figur 5), vil den samme skiferen ha ulike egenskaper avhengig av geografisk forekomst. Den vil også beskrives med andre karakteristiske egenskaper og navngis annerledes. Alunskiferen, som er godt kjent i Oslo regionen, vil se annerledes ut i Rogaland, Trøndelag og Nordland. For eksempel har Alunskiferformasjonen på Gran på Hadeland halve innholdet av sulfider i forhold til Oslo/Slemmestad. Dette skyldes at den geologiske historien er forskjellig i ulike områder av landet.

De grønne arealene i kartet i Figur 5, omtalt som metamorfe og magmatiske bergarter, kan inneholde store mengder omdannede leirskifre som kan være sulfidførende. Noen hovedtrekk av geologien er omtalt i det følgende med fokus på Oslofeltet, mens mer detaljert informasjon gis i kapittel 5.

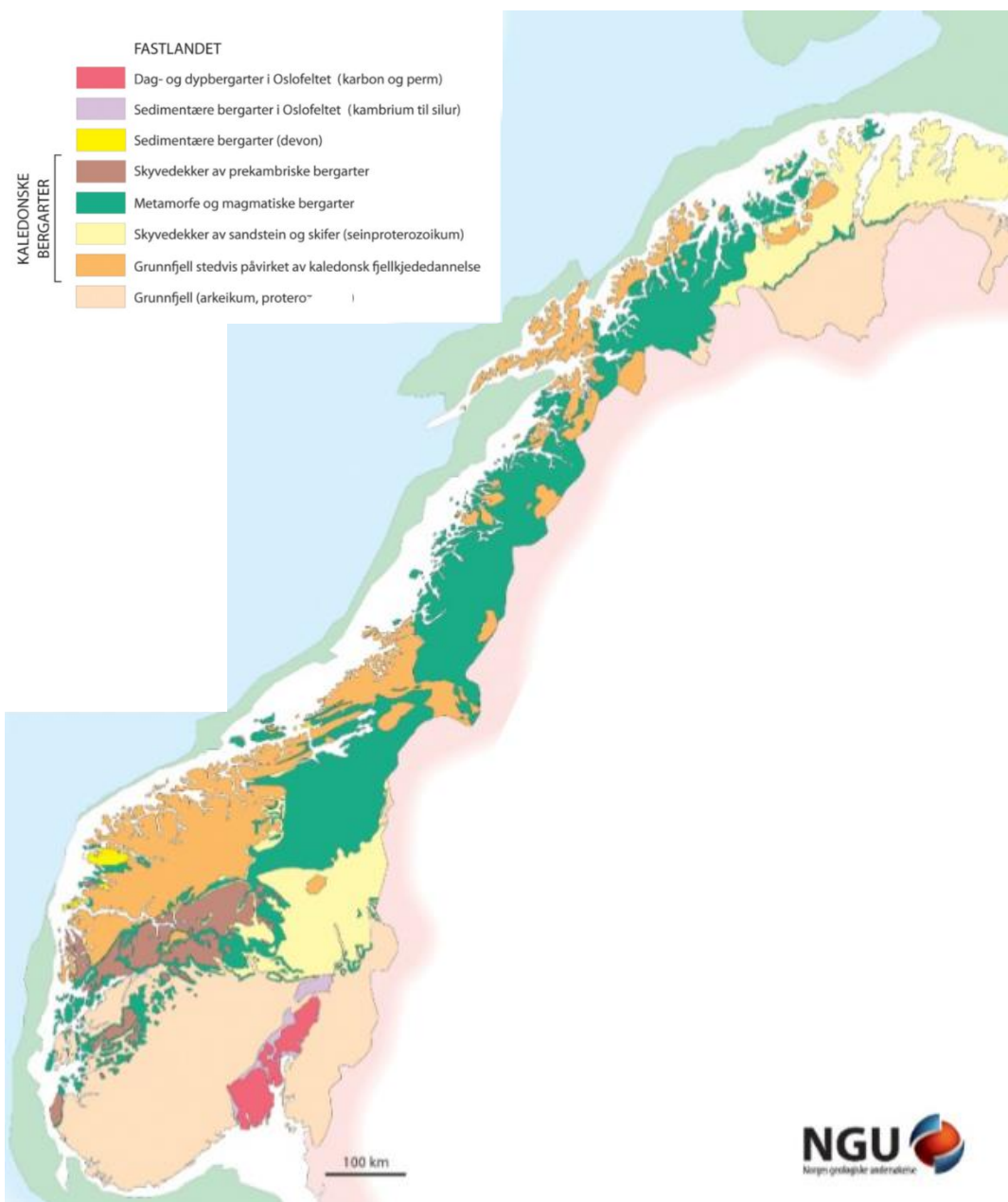
#### 3.1.1 Oslofeltet

Oslofeltet er dannet i den geologiske tidsperioden Perm, ved en innsynking av jordskorpen samtidig med omfattende vulkansk aktivitet. Områder som sank dypere er områder fra kambro-silur der vi kan finne leirskiferlagrekken (Figur 6).

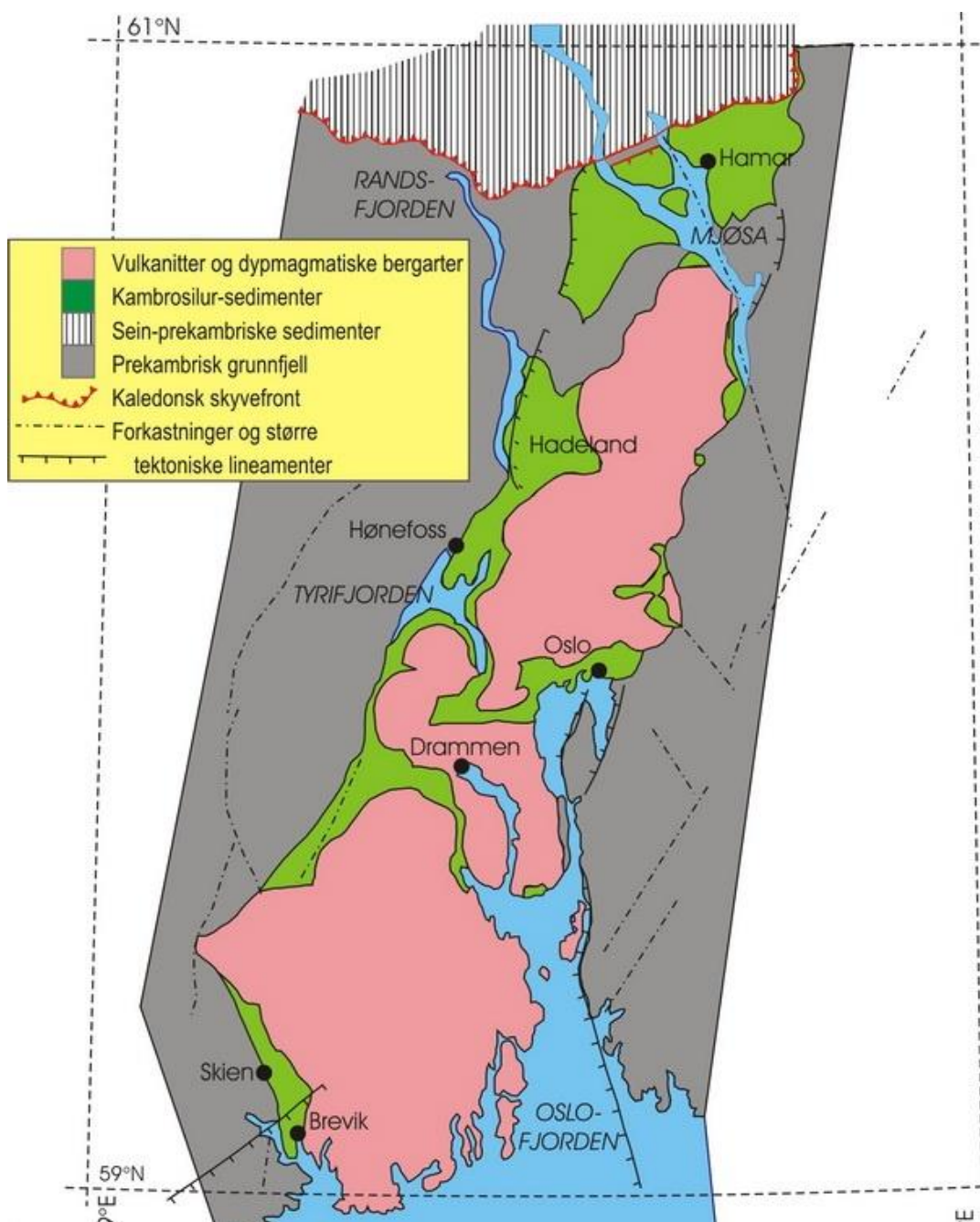
Bergartene omtales som leirskifer, kalkrik leirskifer, svart leirskifer eller grå leirskifer. Leirskifer er en laminert (skifrig) bergart som består hovedsakelig av leirmineraler dannet ved lav temperatur (i geologisk sammenheng). Leirskifer som er svart av utseende inneholder vanligvis rester av organisk materiale. Svarte leirskifre reflekterer anaerobe (oksygenfri eller oksygenfattige forhold) ved dannelsen av sedimentet som skapte grunnlaget for et høyere innhold av sulfider.

I lagrekken av leirskifre i Oslofeltet er alunskifer (svart leirskifer) den meste kjente syredannende skiferbergarten. Forekomsten av Alunskifer i grunnen har ofte vært ensbetydende med store kostnader, bygningskader, miljørisiko og spesielle krav til deponi. Alunskifer tilhører en bestemt formasjon i Oslofeltets kambro-siluriske lagrekke av skiferbergarter, nemlig Alunskiferformasjonen (Tabell 3, etasje 1-3aβ). Men svarte leirskifre og andre mørke leirskifre med potensielt syredannende egenskaper påtreffes også i andre nivåer i denne lagrekken.

Leirskifre generelt, har forhøyede konsentrasjoner av tungmetaller. Det er ikke dermed gitt at de skal karakteriseres som en forurensningskilde eller som forurenset grunn som tilfellet ville vært om tilsvarende konsentrasjoner av tungmetaller ble registrert i forbindelse med menneskeskapt forurensning i jord. Det er forvitringsegenskapene som avgjør om metallene kan frigjøres og danne en miljørisiko.



Figur 5 Norgeskartet ([www.ngu.no](http://www.ngu.no)) viser de viktigste enhetene i norsk berggrunn. Det er arealer med lilla farge der det forekommer svart leirskifer i grunnen. De grønne arealene viser områder der det kan forekomme svarte leirskifer. Potensielt syredannende berggrunn kan opptre i store deler av landet.



Figur 6 Kart over Oslofeltet (NGF, 2013).

Svarte leirskifre fra den geologiske tidsepoken kambrium-silur har vanligvis et visst innhold av kullforbindelser (organisk karbon) og et høyere innhold av sulfidmineraler, tungmetaller og uran. Alunskiferen er spesiell da denne kan forvitre mye raskere enn andre skifertyper. Fra å være en frisk uforvitret skifer kan Alunskifer i løpet av mindre enn ti år, under optimale forhold utvikle helt andre egenskaper. Dette skyldes hovedsakelig en akselerert forvitring av sulfidmineralene og skifrig/laminert tekstur i bergarten.



Tabell 3 viser oppbygging av leirskiferlagrekken fra kambrium til silur i Oslofeltet (modifisert etter Owen et al.,1990). I denne lagrekken veksler svarte leirskifre, grå leirskifre og kalkrike leirskifre. Denne vekslingen forteller at det var store endringer i sedimentasjonsforhold i denne perioden. I denne veilederen benyttes navn på formasjonene som vist i Tabell 3, slik som Alunskifer, Bjørkåsholmenskifer, Hagabergskifer, Galgebergskifer og Elnesskifer. Det er nyttig å merke seg nummerering av de ulike leirskiferne i lagrekken som er lettere å forholde seg til. Eldst er angitt med 1 og yngst med 4.

*Tabell 3 Lagrekken i kambro-silurskiferne, svarte leirskiferhorisonter er uthevet (mørk grå,) mens mulig forekomst er merket med lyse grå eldre enn kambro-silur som tilhører Biri og/eller Brøttum formasjonene er også inkludert. Lunner formasjonen er ikke en direkte parallell til Venstøp formasjonen selv om de er av omtrentlig samme alder.*

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				
4aα	Elnes	Elnes	Elnes/Bjørge	Oslo	60-80	Midt ordovicisk	471-443 mill. år		
3c	Huk3	Huk3	Svartodden Herran/Stein	Røyken	2-5 m				
3cβ	Huk2	Huk2		Røyken	2-5 m				
3cα	Huk1	Huk1		Røyken	2-5 m				
3bβ	Galgeberg	Galgeberg	Galgeberg	Røyken	5-10 m			Tidlig Ordovicisk	488-471 mill. år
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				Sen kambrium	501-488
1	Alunskifer-1	Alunskifer-1	Alunskifer-1	Røyken				Midt kambrium	513-501
	-	-	Biri Brøttum	Biri Brøttum		1500 m	Eokambrium	<542	

Legg merke til mektigheten av de ulike leirskiferne. Der lagrekken ikke er forstyrret, vil en finne rekkefølgen som vist i Tabell 3. Det kan imidlertid skje et skifte i hvilken type skifer som er i grunnen over korte avstander. Geologiske hendelser har stokket om på rekkefølgen

flere steder. En skal derfor ikke bli overrasket om rekkefølgen kan være omvendt eller at deler av lagrekken mangler eller er repetert.

### 3.1.2 Gneisområder

I sørlandsfylkene Aust- og Vest-Agder kan sulfider finnes som sulfidrike tynne bånd i ulike gneisvarianter, som anrikninger i ganger og oppkonsentrert i mørke bergarter (særlig amfibolitter). Gneisområder på Sørlandet kan inneholde sulfider i så høye konsentrasjoner at de kan forårsake lave pH verdier i sigevann. Disse bånd er vanskelige å oppdage uten en tilstrekkelig geologisk kartlegging (se kapittel 6 for nærmere detaljer).

### 3.1.3 Kaledon /Den norske fjellkjeden

Bergartene som utgjør den norske fjellkjeden viser stor variasjon. Store arealer utgjøres av leirskifer av samme opprinnelse som Oslofeltets leirskiferlagrekke (Figur 4). Det henvises til geologisk litteratur og geologiske kart for nærmere utdyping.

## 3.2 Kjennetegn og egenskaper til potensielt syredannende leirskiferbergarter

Bakgrunn for å identifisere og kvantifisere potensielt syredannende egenskaper hos bergarter har sammenheng med at forvitring av sulfidmineraler kan føre til en akselerert forvitring som følge av at pH verdien synker og dermed frigjøre tungmetallene som var bundet i mineralene.

Sulfidrike malmer og sedimentære bergarter dannet fra sedimenter avsatt under oksygenfattige forhold er de viktigste gruppene. Mørke bergarter som enkelte amfibolitter/grønnskifre kan også være rike på sulfider. Mer komplisert blir det geologiske bildet når sulfider ligger som tynne lag i gneiser som på Sørlandet. Generelt vil forvitring i sulfidrike bergarter medføre dannelse av miljøskadelig syre og spredning av tungmetaller. Andre bergarter med lavere innhold av sulfider vil være uten disse egenskapene, eller ha de i mindre grad. Ut fra sulfidinnhold alene kan en ikke avgjøre om en bergart er syredannende eller ikke. For eksempel vil Elnesskifer i Oslofeltets lagrekke ikke betraktes som syredannende. Viktige kjennetegn og egenskaper som påvirker forvitringsegenskapene:

- Geologisk historie
- Flakdannelse (skifrig struktur)
- Mineralinnhold (mengde sjiktsilikater)
- Fordeling av sulfider i bergarten (små korn finfordelt eller større aggregater)
- Syredannende potensial
- Svellepotensial

### 3.2.1 Geologisk historie

Den geologiske historien har stor betydning for hvordan bergarters egenskaper utvikles. Eksempelvis vil Alunskiferen slik den kjennetegnes i Oslo regionen ha vesentlig forskjellige egenskaper på Vestlandet. Leirskiferbergarter som Alunskifer kan være kildebergart for olje andre steder.

I det geologiske kartet vil en Alunskifer på Vestlandet gjerne ha navn som grafittførende leirskifer, pyrittførende (grønn)skifer på grunn av at den geologiske historien er ulik på Vestlandet og Østlandet. I Trondheimsregionen er grønnstein og grønnskifer eksempler på sulfidrike bergarter omdannet fra lavabergarter på sjøbunnen.

### 3.2.2 Flakdannelse i skifer

En skiferbergart er en bergart med en parallell struktur som kalles lagdeling. Lagdelingen er oppstått som følge av at det under dannelse av sedimentet skjedde variasjoner i dannelsesmiljøet. Det tok mange tusen år å bygge opp en tykkelse på sedimentet som i en skifer utgjør et par millimeter. På folkemunne har slike skifre lokale navn som flisberg og liknende beskrivende navn. Egenskapen til leirskifer, skifrihet, omtales på engelsk som *fissile texture*, (*the ease with which a stone can be split along or against, its natural bed*). Denne egenskapen er forskjellig for de ulike syredannende leirskifre og har vesentlig betydning for den faktiske syredannende egenskapen.

I skiferbergarter er tettheten på lagdelingsplan avgjørende for forvitringsegenskapene, fordi det er oppflakingen som styrer økningen i kontaktarealet mellom sulfidmineraler og fukt/oksygen i skiferen. Forvittringshastigheten vil øke med økt kontaktareal.

### 3.2.3 Mineralinnhold

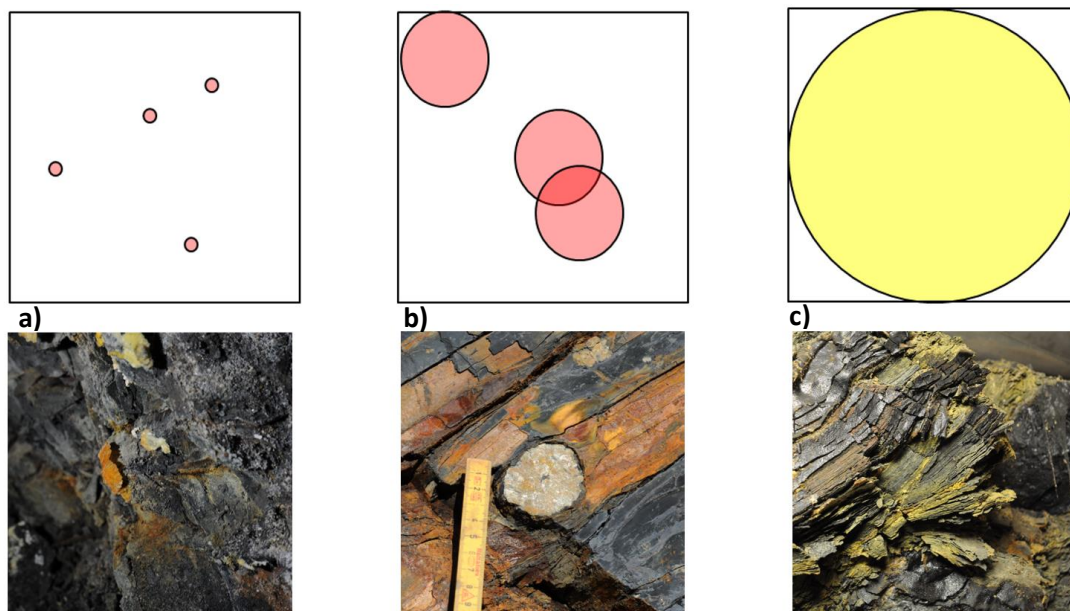
Bergarter inneholder hovedmineraler (bergartsdannende mineraler) og tilleggsmineraler (aksessoriske mineraler). Generelt er det hovedmineralene som medvirker til forvitringsegenskaper og mekaniske egenskaper. Tilleggsmineraler bidrar vanligvis i beskjeden grad. I sulfidrike bergarter og særlig i sulfidrike leirskifre er det sulfidene som styrer forvitringsegenskapene. Bakgrunn for sulfidenes sterke påvirkning på forvitring er at sulfidforvitring utvikler svovelsyre som fører til lav pH.

Her fokuseres det på bergarter med et høyt innhold av sulfidmineraler og da først og fremst jern (Fe) og svovel (S) mineralene pyritt (svovelkis) og magnetkis (pyrrhotitt). Når pH synker til <4 skjer en kraftig akselerert forvitring. Da vil de aller fleste mineraler gå i oppløsning mye raskere enn de ville gjort under pH-nøytrale forhold (pH 6-8). Form, størrelse og fordeling av mineralkorn påvirker syredannende egenskaper og forvittringshastighet. Jo mindre korn desto større kontaktareal har mineralkornet. Generelt gjelder at mindre mineralkorn er mindre stabile enn større mineralkorn. Er for eksempel mineralkorn samlet i mineralaggregater, vil kontaktflaten med vann/luft være langt mindre.

### 3.2.4 Fordeling av sulfider

Syredannende egenskaper til leirskifer vil i tillegg til konsentrasjonen av sulfidmineraler, kornform og størrelse på mineralkorn, avhenge av hvordan skiferen forvitrer og særlig om forvitringen øker kontaktarealet mellom sulfider og oksygen, se.

I Elnesformasjonen er syredannende forvitring begrenset til korte avstander fra sulfidmineralkornet (Figur 7a). I Alunskiferformasjonen vil hele skiferflaten utsettes for lave pH verdier (Figur 7c, hele flaten er dekket av Fe<sup>3+</sup>sulfater). Tøyenformasjonen (Figur 7b) har ikke sulfidene finfordelt på samme vis som i Alunskiferformasjonen. Syredannende forvitring vil derfor gå langsommere og i kort avstand fra sulfidene dannes det Fe-oxhydroksider.



Figur 7 Kontaktareal styrer omfang av sulfidoksidasjon og pH-reduserende kapasitet: a) sulfidforvitring i svart leirskifer som Elnes, b) Galgebergledet i Tøyenformasjonen og c) Alunskiferformasjonen. Rød farge på utfelling indikerer pH>5, mens gul farge indikerer pH<4.

### 3.2.5 Syredannende potensial

Både jern- og svovelinnhold er nøkkelparametere for syredannende bergarter da det er forvitring av sulfidmineralene i bergarter som er årsak til de syredannende egenskapene.

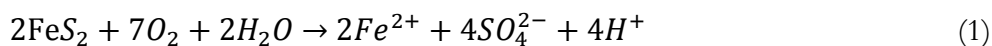
Variasjonene i dannelsesmiljøet og den geologiske historien legger premissene for årsak til og vurdering av de syredannende egenskapene. Syredannende egenskaper hos leirskifer avhenger av hvordan bergarten forvitrer og særlig om forvitringen øker kontaktarealet mellom sulfider og oksygen, som tidligere omtalt. Det er omfanget av syredannelse som

bestemmer hvor mye en bergart lekker ut til omgivelsene og som avgjør om en leirskifer betraktes som potensielt forurensende eller ikke. For bergarter som utvikler syre ved forvitring, vil syren akselerere forvitringen og dermed øke forurensningspotensialet. Dette skyldes i hovedsak at tungmetallene følger jern (Fe) bundet i sulfidmineralene og frigjøres i vannløselig form (sulfater) ved forvitring av mineralene.

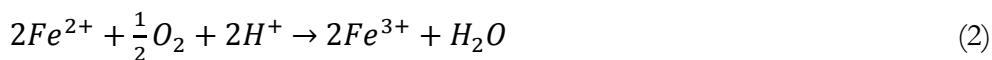
### Oksidasjon av pyritt

Det syredannende potensialet i leirskifer skyldes i hovedsak pyritt (FeS<sub>2</sub>) og pyrrhotitt (Fe<sub>(1-x)</sub>S, hvor x=0-0,17). Oksidasjonen av pyritt skjer normalt på to måter avhengig av hvilke elektronakseptorer som foreligger (Evangelou and Zhang, 1995):

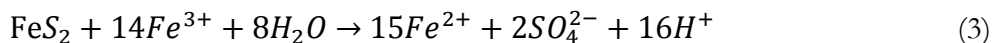
- Direkte oksidasjon med oksygen



Toverdig jern, Fe(II), kan oksideres videre til treverdig jern, Fe(III)



- Indirekte oksidasjon med treverdig jern, Fe(III)



Hvis pH blir lav nok (pH < 3,5), vil Fe(III) fungere som den viktigste elektronakseptoren i oksideringen av pyritt og den direkte oksidasjonen hemmes i stor grad. Når den indirekte oksidasjonen er initiert, vil genereringen av sur avrenning øke raskt, noe som kan resultere i en svært lav pH.

### 3.2.6 Svellepotensial

Når sulfider forvitrer og det dannes nye sulfatmineraler vil det medføre en volumutvidelse, da de nye sulfatmineralene krever større volum enn de opprinnelige sulfidmineralene. Dersom de nye sulfatmineralene kan vokse, vil volumutvidelsene kunne gi skader på bygningskonstruksjoner. Sulfatmineraler er vannløselige og leirskiferen kan derfor ikke svulle når den er vannmettet. Mineralene vil vokse ved relativ fuktighet på mellom 20 og 70 %. I tillegg bidrar leirmineraler som smekitt og vermikulitt også til svelletrykk.

Alunskifer har eksempelvis større svellepotensial og kan utvikle et større svelletrykk enn f.eks. Galgebergskifer og Elnesskifer. Dette skyldes en større spaltbarhet og tettheten på spalteplan.

## 4 Metode for identifisering og karakterisering av syredannende bergarter

De ulike syredannende bergarter har ulike egenskaper og forurensningspotensiale. Det har stor nytteverdi å kunne identifisere bergartstype i forbindelse med planlegging og prosjektering av byggeprosjekt, både nybygg og rehabilitering. Generelt gjelder dette alle typer tiltak og inngrep i grunnen. Identifisering av bergartstype gjøre det mulig å forutse egenskaper og potensielle problemer ved planlagt aktivitet. Eksempelvis om et byggeprosjekt bygges i grunn der det er Elnesskifer, vet man at Elnesskifer kan ha et svellepotensiale, den har lav mekanisk styrke og den har moderate radonproduserende potensial (Tabell 1).

Fremgangsmåten består av:

1. Geologisk kart
2. Geologisk kartlegging i felt
3. Prøvetaking
4. Geokjemiske analyser
5. Tolkning av resultater

### 4.1 Geologisk kartgrunnlag

Geologiske kart gir informasjon om hvilke bergarter en kan forvente å påtreffe i grunnen. Det er to viktige kartserier som ligger til grunn, 1:50.000 serien og 1:250.000 serien. Kart kan bestilles hos Norges geologiske undersøkelser (NGU). I tillegg inneholder nettstedet [ngu.no](http://ngu.no) informasjon om berggrunnen.

### 4.2 Geologisk/ ingeniørgeologisk kartlegging i felt/byggeplass

Mektigheten (tykkelsen) på de ulike bergartstyper/skiferhorisonter kan være for liten til at de kan vises på berggrunnsgeologiske kart. Kartlegging bør derfor inngå som en del av vurderingsgrunnlaget.

Type prosjekt og prosjektets størrelse og utstrekning avgjør behov og omfang for en geologisk og ingeniørgeologisk kartlegging. En slik kartlegging i felt/byggeplass skal avklare hvordan ulike bergarter opptrer i grunnen og danne grunnlag for å vurdere behov for prøvetaking og hvordan prøvetaking bør gjennomføres.

#### 4.2.1 Tunneler og undergrunnsanlegg

For tunneler og undergrunnsanlegg må en avklare hvilke leirskifertyper som kan påtreffes i tunneltraséen. Her vil det være riktig å bruke kunnskap en får gjennom den geologiske forståelsen til å velge ut punkter i overflaten for kjerneboring ned til traséens nivå. En kartlegger da (logger) kjernen(e) for en bedre forståelse og tolkning av hvordan ulike

bergarter kan påtreffes i traséen. Under driving av tunnel gjøres kjerneboring og logging foran stoff.

#### 4.2.2 Masseutskifting

Ved grøfting kan det krysses flere ulikeleir skifertyper. Dette bør avklares for å sikre at en gjør de riktige vurderingene ved valg av tiltak i forbindelse med planlegging og gjennomføring.

Ved stort behov for masseutskifting som for eksempel idrettsbaner eller liknende, kan en grave striper på tvers av skiferlagenes orientering for å få et representativ prøvegrunnlag. Ved større byggeproper stilles det strengere krav til kartleggingen.

#### 4.2.3 Rehabilitering

Rehabilitering av eksisterende bygninger/konstruksjoner viser vanligvis skader forårsaket av svelletrykk og/eller surt miljø som har tæret på og svekket bygningskonstruksjoner og særlig avløp. Ved slike arbeider må en kartlegge skadeomfang på bygningen og avløp/rør i grunnen. Rehabiliteringsarbeider forutsetter tett samarbeid med andre faggrupper og utførende, da en må avdekke en tilstand før en kan bestemme typer av tiltak.

### 4.3 Prøvetaking og metoder

Prøvetaking skal sikre at en har et tilstrekkelig antall prøver for en identifisering av bergartstype og vil variere fra prosjekt til prosjekt. Det er forståelsen av hvordan lagene er orientert i grunnen som avgjør hvordan en planlegger et prøveprogram. Ved prøvetaking er det viktig at plassering av prøve/observasjonspunkter blir godt identifisert med posisjon.

Det er visse karakteristiske trekk ved utseendet til de ulike leirskifere som kan benyttes til å kjenne igjen en leirskifertype. Tidligere har en sort strek ved riping med kniv eller liknende blitt benyttet for å identifisere Alunskifer. Sort strek er ikke en sikker identifisering av Alunskifer da det er flere leirskifertyper som kan ha sort strek. Det har også stor betydning om en betrakter en naturlig terrengflate, en nylig utsprengt byggegropp eller skjæring og på hvilken skala en gjør observasjonene. Visuelle trekk alene anbefales ikke som dokumentasjon av leirskifertype. Koblinger av flere karakteristiske trekk vil gi større sikkerhet for å identifisere ulike leirskifertyper.

Følgende må utføres for å sikre et godt grunnlag for identifisering av svart leirskifer i felt:

- Orientering på skiferlagene må kartlegges
- Tykkelse på aktuelle skiferhorisonter/bergartslag bør være kjent. Det er stor variasjon i tykkelse på de forskjellige formasjonene (Tabell 3)
- Geologisk befaring av område vil gi forståelse av den geologiske historien og danne grunnlag for vurdere skifrenes utbredelse i byggegropp og i omkringliggende områder.

For av skaffe frem informasjonen kan ulike prøvetakingsmetoder brukes.

### 4.3.1 Kjerneboring

En riktig planlagt kjerneboring vil gi best informasjon. Kjerneboring gir hel kjerne som kan inspiseres og tolkes (Figur 8). En kan da ta ut utvalgte lengder til videre analyse. Kjerner gir også informasjon om lagenes orientering.



*Figur 8 Kjerneprøver fra kjerneboring. Øverste fire kjerner er Galgebergskifer (3b6) og nederste seks kjerner er Hukskifer (3c).*

### 4.3.2 Prøvetaking med fjellboretegg

En praktisk og enklere måte å ta prøver kan være å bruke en fjellboretegg. Borekaks som samles opp for eksempel for hver meter boret lengde ned til ønsket nivå vil gi en viss informasjon om lagene i berggrunnen. Denne metoden vil medføre omblanding av materialet som kan gjøre identifisering av lagdelingen mer usikker.

### 4.3.3 Prøvetaking med gravemaskin

Prøvetaking med assistanse fra en gravemaskin kan være praktisk der det er overdekning av løsmasser og graveplan skal etableres omtrent i nivå med eksisterende kote for bergoverflaten. En graver da opp et profil. Bredde på profil tilpasses gravedybde. Orientering på graveprofilet skal være mest mulig vinkelrett på skiferlagenes orientering. En må være oppmerksom på at løsmasser som ligger over skifer kan være forvitret skifer. Maskinfører trenger ikke legge merke til dette, da konsistens for graving minner om jordmasser.



#### 4.3.4 Prøvetaking med håndholdt slagdrill

På forvitrede flater kan det være praktisk å benytte en *håndholdt slagdrill*. Borets diameter bør minimum være 18-20 mm og lengde 200-300 mm. De første centimeter skal ikke med i analysematerialet som samles da dette kan være forvitret materiale (forvittringshud). Borekakset (pulveret) samles i en plastpose. Eventuelle fargeendringer og forandringer i borebarhet skal registreres underveis.

#### 4.3.5 Prøvetaking med hammer og liknende

Hammer, kniv og liknende utstyr kan være egnet til prøvetaking. Dette gjelder særlig der det er friske flater. Valg av prøvetakingspunkter er viktig å vurdere da det kan være variasjoner over korte avstander.

#### 4.3.6 Vannprøver

Vann i kontakt med skifer vil gi informasjon om skifertype og skiferens forvittringsgrad og –forhold. Dette er spesielt tydelig når vann er i kontakt med Alunskifer som forvittrer. Vannet kan se klart ut, men pH kan være < 3 og konsentrasjoner av tungmetaller, aluminium og uran kan være svært høye (Vedlegg C, Tabell C3).

#### 4.3.7 Uttak av prøver/representativitet

Et tilstrekkelig antall prøver vil variere fra prosjekt til prosjekt. Det vesentligste ved vurdering av uttak av prøver er en forståelse av geologien for det aktuelle området, og lokale variasjoner. Hensikten med prøvetakingen er viktig å avklare før endelig program bestemmes, for denne avklaringen kan ha store konsekvenser for design av flere aspekter i et prosjekt.

Generelt gjelder at jo mindre prøven er jo flere må en ta for å få en representativ beskrivelse. Små prøver vil gi større usikkerhet i den representative analysen. Selv i Alunskiferformasjonen er det kalkrike horisonter. Om prøvematerialet tas i en slik kalkrik horisont, vil analysen ikke vise tegn på syredannende egenskaper. Om en inkluderer alle hoved- og sporelementer, vil denne kalkrike horisonten kunne kobles til Alunskiferformasjonen. Det er med andre ord viktig at den som utfører prøvetaking innehar kunnskap om hva en tar prøve av og feilkilder ved valgt metodikk.

### 4.4 Analyser

#### 4.4.1 Kjemisk analyse

Kjemiske analyser danner grunnlaget for identifisering og karakterisering av syredannende bergarter. Når prøver er valgt ut skal disse sendes til et laboratorium for kjemisk analyse. Analysen skal inkludere hoved- og sporelementer, uorganisk karbon (TIC), organisk karbon

(TOC), uran (U) og thorium (Th). Oversikt over grunnstoffer og andre forbindelser som skal analyseres er vist i Tabell 4. Normal analysetid er ca. 5-10 virkedager, avhengig av analyselaboratorium og pris. Analysen gir grunnlag for vurdering av syredannende potensiale, radonrisiko og forurensningsrisiko. Analysen kan gi støtte til identifikasjon og karakterisering av leirskifertype.

**Tabell 4 Kjemisk analyse av bergarter med hoved- og sporelementer, uorganisk karbon (TIC), og organisk karbon (TOC).**

Element	Hovedelement (H) Sporelement (S)	Analysemetode	Deteksjonsgrense/ enhet
Tørrstoff	-	Gravimetrisk	%
TIC	-	Kolometrisk	0,01%
TOC	-	Kolometrisk	0,01%
Glødetap (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/Kvikksølv	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

#### 4.4.2 Håndholdt XRF

Håndholdte røntgen fluoresens (XRF) instrumenter gjør det mulig å bestemme elementinnhold i prøvematerialet direkte i felt. Håndholdte XRF-instrumenter har ulike spesifikasjoner og eksisterer i flere modeller og fabrikater. Ved riktig bruk kan de gi kvantitative analyser av innhold av flere elementer, med unntak av karbon. XRF-instrumenter vil heller ikke kunne måle TIC, men konsentrasjonen av Ca vil indirekte indikere mengde karbonater som utgjør hovedbestanddelen av TIC. Generelt gjelder at tunge grunnstoffer gir sikrere analyseresultater enn lette grunnstoffer. Skal håndholdte XRF-instrumenter benyttes til kvantitative analyser må det enkelte instrument være kalibrert mot sikre kjemiske analyser. Dette hindrer systematiske feil. Det må følges faste prosedyrer for utførelse av analyser i felt for å minimalisere tilfeldige feil.

#### 4.4.3 Utlekkingstester

Utlekkingstester går ut på at skiferprøven ristes med vann i et døgn og vannkjemien analyseres deretter. Resultatene gir bare et øyeblikksbilde og et usikkert bilde av forvitringsgrad og har derfor begrenset verdi. Utlekking kan også måles i en kolonnetest der vannet pumpes gjennom massene i løpet av flere uker. Utlekkingspotensial kan nærmere vurderes ved å sammenligne utlekkingsresultater fra synlig uforvitret og forvitret leirskifer. Dette vil kunne gi en antydning hva som vil kunne skje på lengre sikt ved for eksempel deponering av masser som per i dag betegnes som uforvitret eller etablering av drenerte byggeløsninger i svarte leirskifre. Det skal i så tilfelle analyseres for parametre for avfallskarakterisering beskrevet i Avfallsforskriften.

### 4.5 Mineralidentifikasjon

For en mer detaljert og mer presis vurdering av leirskifernes egenskaper, vil en mineralidentifikasjon ved hjelp av røntgen diffraksjonsanalyse (XRD) gi verdifull informasjon. En vil da få en vurdering av hvilke mineraler leirskiferen består av og samtidig en omtrentlig mengde av de ulike mineralene. Det er visse nøkkelmineraler som er viktige å identifisere. Sulfatinnhold gir verdifull informasjon med hensyn til forvitringsgrad, forvitringsegenskaper og svulleegenskaper.

### 4.6 Tolkning av analysedata

#### 4.6.1 Generelt om metode for identifisering og karakterisering

Identifiseringen av bergartstype og skiferhorisonter gjør at man direkte kan identifisere de forventede egenskaper til materialet. For å kunne identifisere og karakterisere bergartstyper nærmere er det utviklet en metode basert på å gjenkjenne kjemiske fingeravtrykk til bergarten. I forbindelse med denne veiledningen er det fokusert på tolkningsmetoder som gjør det mulig å skille mellom bergarter som er:

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

De ofte avanserte tolkninger som er nødvendige for å vurdere **mulig syredannende** bergarter ligger utenfor målsetningen til denne veilederen.

Tolkningen av de kjemiske analysene består av følgende ledd:

- AP/NP diagram (acidification potential/neutralisation potential) som gir et bilde av bergarters syredannende potensiale
- Jern (Fe) – svovel (S) diagram som gir informasjon om forholdet mellom jern og svovel. Dette forholdet forteller om jern kan sitte bundet i andre mineraler enn sulfider, og dermed også om hvor andre tungmetaller kan være bundet.
- Trekant diagrammer som viser relativt elementinnhold i forhold til referanse bergarter. Dette er avanserte tolkningsmetoder som vil være avgjørende for å identifisere **mulig syredannende bergarter**.

Samlet gir disse tre diagram-typene god informasjon om syredannende bergartstyper. Dette er nærmere omtalt i det følgende.

#### 4.6.2 AP-NP diagram

Syredannende potensial (AP=Acidification potential) vurderes i forhold til nøytraliserende potensial (NP=Neutralisation potential). Metoden baserer seg på målte konsentrasjoner av TIC (uorganisk karbon) og S (svovel) i bergarten (Lawrence and Wang, 1997). Konsentrasjonene av TIC og S regnes om til mengde kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) i kg/tonn som foreligger i bergarten i forhold til potensiell mengde  $\text{CaCO}_3$  som er nødvendig for å nøytralisere den potensielle mengden syre som kan dannes. All uorganisk karbon (TIC) antas å stamme fra karbonater og all svovel antas å stamme fra sulfider. Metoden kan derfor føre til en overestimering av både det nøytraliserende og syredannende potensialet.

Det nøytraliserende potensialet (NP) kan beregnes ved følgende formel:

$$\text{NP} = 83,33 \times \% \text{TIC} \quad (6)$$

Hvor

NP: Nøytraliserende potensial av karbonater [kg  $\text{CaCO}_3$ /t]

%TIC: Uorganisk karbon innhold i prosent [ - ]

Det syredannende potensialet (AP) kan beregnes ved følgende formel:

$$\text{AP} = 31,25 \times \% \text{S}_{\text{sulfider}} \approx 31,25 \times \% \text{S} \quad (7)$$

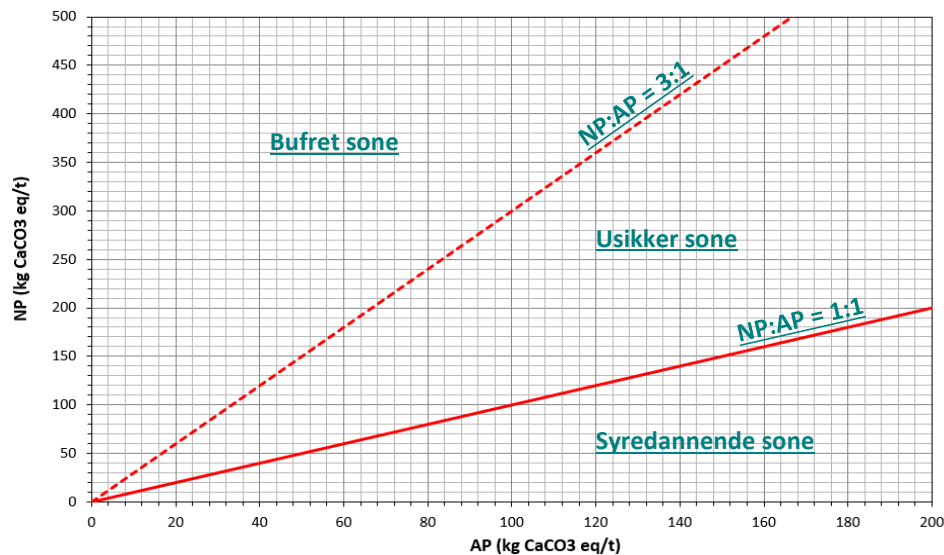
Hvor:

AP: Syredannende potensial av sulfider [kg  $\text{CaCO}_3$ /t]

%  $\text{S}_{\text{sulfider}}$ : Sulfidinnhold i prosent [ - ]

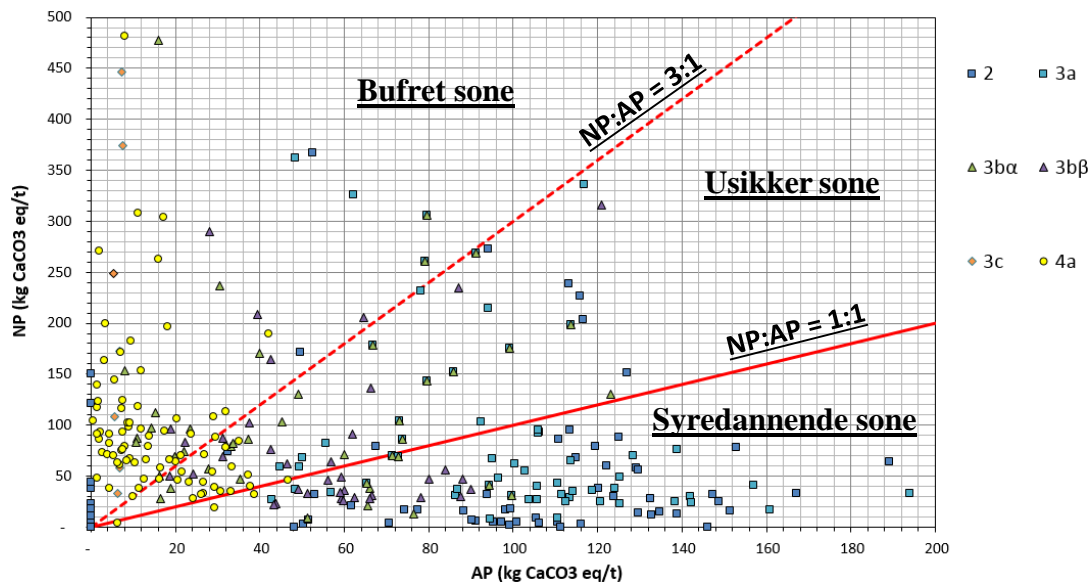
% S: Svovelinhold i prosent [ - ]

Figur 9 viser et diagram med forholdet mellom AP og NP (begge angitt i kg CaCO<sub>3</sub> per tonn). Det er i diagrammet lagt inn linjer som viser NP:AP forhold på 1:1 og 3:1. Dette deler diagrammet inn i tre soner; syredannende sone (NP:AP < 1:1), usikker sone (1:1 < NP:AP < 3:1) og bufret sone (NP:AP > 3:1).



Figur 9 AP-NP diagram som viser 3 soner: syredannende sone (NP:AP < 1:1), usikker sone (1:1 < NP:AP < 3:1) og bufret sone (NP:AP > 3:1).

Det understrekes at denne vurderingen er basert på forenklinger, og jo lengre vekk en prøve befinner seg fra "Usikker sone" i diagrammet, desto sikrere kan man være på resultatet. Viser resultatene at prøven din befinner seg i eller i nærheten av usikker sone, bør det gjøres nærmere vurderinger for å unngå feiltolkning av bergartens syredannende potensial. Figur 10 viser eksempler på syredannende potensial for skiferprøver fra Oslofeltet, hvor skiferhorisontene ble identifisert i felt. Prøver fra ulike skiferhorisonter grupperer seg i ulike deler av diagrammet, men det er også overlapp mellom horisonter.



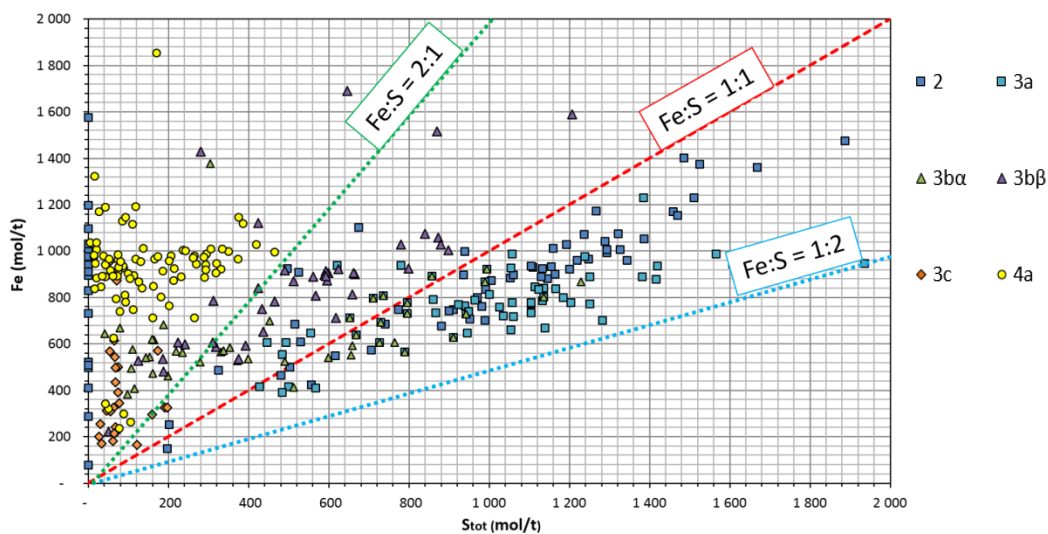
Figur 10 AP-NP diagram som viser eksempler for skiferprøver tatt fra ulike skiferhorisonter i Oslofeltet: Alunskiferformasjonen (2 og 3a), Hagabergformasjonen (3b $\alpha$ ), Galgebergformasjonen (3b $\beta$ ), Hukformasjonen (3c) og Elenesformasjonen (4a).

#### 4.6.3 Fe-S diagram

Forholdet mellom jern (Fe) og svovel (S) indikerer om en kan knytte innhold av tungmetaller (sporelementer) til sulfider og/eller silikater. Et overskudd av jern i forhold til svovel kan indikere at en del av tungmetallene i prøven er bundet i silikater eller oksider. Tungmetaller bundet i andre mineraler enn sulfider vil ikke være utsatt for den samme oksidasjonseffekten som tungmetaller bundet i sulfider. Ved lav pH (< 4), vil imidlertid også silikatene gå i oppløsning og øke frigjøring av tungmetaller til omgivelsene. En skal være oppmerksom på at enkelte sporelementer (As, Cd, Co, Mo, Ni, Sb, U og Zn) også kan frigjøres ved nøytrale pH forhold (NRD).

Figur 11 viser forholdet mellom Fe og total S ( $S_{tot}$ ) for referanseprøver fra ulike etasjer i leirskiferrekken fra Oslofeltet. Forholdet mellom Fe og S kan gi følgende informasjon:

- **Fe:S >2:1** indikerer at Fe og tungmetaller også er bundet i silikater.
- **Fe:S = 1:1** indikerer at alt Fe er bundet som sulfider.
- **Fe:S = 1:2** indikerer pyritt ( $FeS_2$ ).
- **Fe:S < 1:2** indikerer at S også er bundet i andre mineraler enn sulfider.



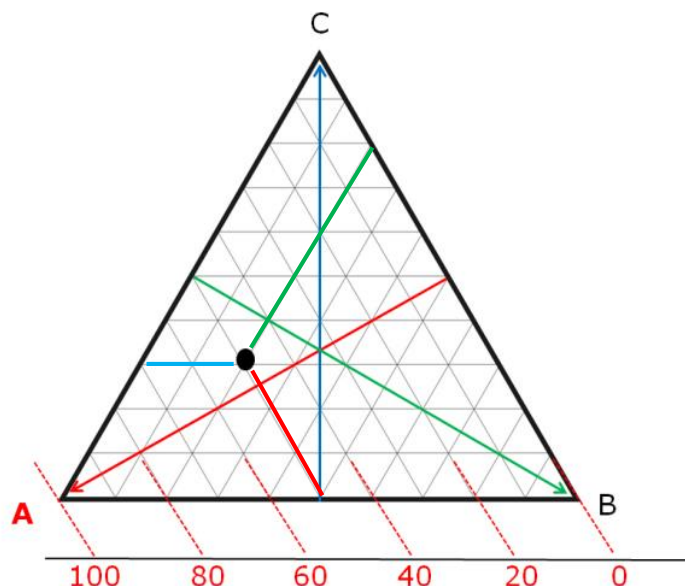
Figur 11 Forholdet mellom Fe (jern) og S (svovel) i mol/t. Denne figuren indikerer i hvilke grupper av mineraler jern og svovel er bundet. Plasseringen av referanseprøver fra Alunskiferformasjonen (2 og 3a), Hagabergformasjonen (3ba), Galgebergformasjonen (3bβ), Hukformasjonen (3c) og Elenesformasjonen (4a) er også vist.

Hovedmengden av Alunskifer plasseres i feltet mellom  $\text{Fe:S} = 1:1$  og  $\text{Fe:S} = 1:2$ . Dette tyder på at sulfider i en svart leirskifer forekommer som både pyritt ( $\text{FeS}_2$ ) og magnetkis (pyrrhotitt,  $\text{Fe}_{(1-x)}\text{S}$ ). I prøver fra Alunskiferformasjonen kan det også forekomme at analysene viser en høy andel av svovel i forhold til jern. Om svovelinnholdet (i mol) er høyere enn det er jern til å danne sulfider, må svovel være bundet enten i sulfater, eller som organisk svovel i organisk karbon (TOC) delen.

#### 4.6.4 Identifisering av bergarten ved hjelp av trekantdiagrammer

Bruk av trekantdiagrammer er en relativ avansert tolkningsmetode som krever en god referansedatabase for å gi pålitelige resultater. Trekantdiagrammer konstrueres på følgende måte: En tar konsentrasjoner av tre grunnstoffer og summerer. Denne summen settes så lik 100%. Deretter regner en ut mengde i prosent-vekt for hvert av de tre grunnstoffene og plotter de i et trekantdiagram (Figur 12).

I tillegg til en sammenligning av grunnstoffer kan trekantdiagrammer som omfatter uorganisk karbon (total inorganic carbon, TIC), organisk karbon (total organic carbon, TOC) og S også inkluderes i karakteriseringen.

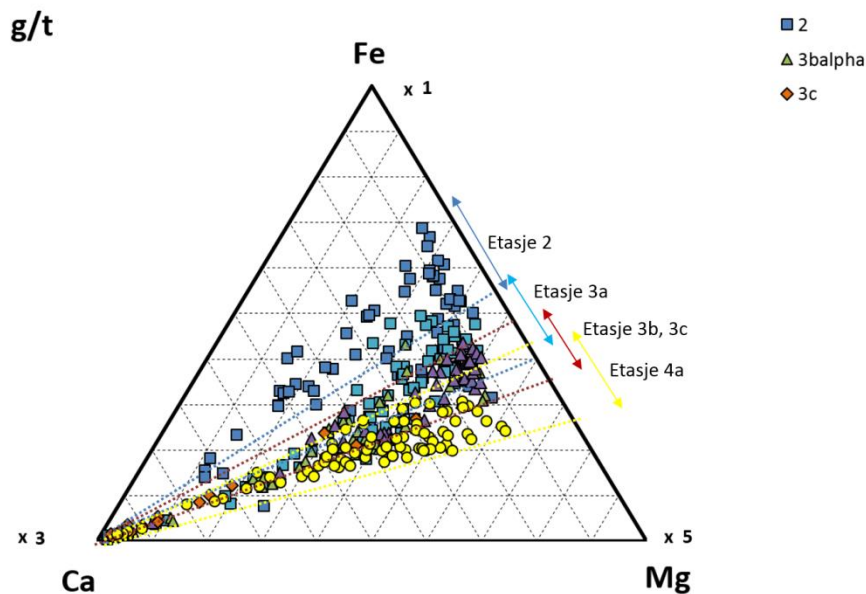


Figur 12 Prinsipp for trekantdiagram (ternary plot) for "parameterne" A, B og C. Sort sirkel representerer en prøve som inneholder A= 50%, B= 20% og C=30%.

Leirskifere som omtales i denne veilederen er opprinnelig sedimenter avsatt i havet. Leirskifertypenes lagrekke dokumenterer at det har vært store skiftninger i avsetningsforhold, fra oksygenrike (kalkrike leirskifre) til oksygenfattige (svarte leirskifre). Metodikken for å identifisere leirskifertypen benytter kombinasjoner av kjemiske grunnstoffer, som gjenspeiler dannelsesbetingelsene, og den geologiske historien. Noen grunnstoffer kommer fra kilder på land, mens andre grunnstoffer kommer fra kilder i sjøen. Trekantdiagrammer gjør det mulig å vurdere innhold av ulike grunnstoffer i forhold til hverandre. Dette gjør det mulig å konstruere sammenlignbare profiler for de ulike leirskifertypene.

Det må påpekes at det vil være noe overlapp mellom trendene til de ulike leirskiferformasjonene (Figur 13). En pålitelig identifisering krever derfor at en kombinerer resultater fra trekantdiagrammer med ulike sammensetninger av parametere (se Vedlegg C).





Figur 13 Eksempel på trekantdiagram der ulike kombinasjoner av grunnstoffer sammenlignes for å se på sammenfallende egenskaper i prøvene. Diagrammet viser forenklete utviklingstrender for prøver fra Alunskiferformasjonen (2 og 3a), Hagabergformasjonen (3b $\alpha$ ), Galgebergformasjonen (3b $\beta$ ), Hukformasjonen (3c) og Elenesformasjonen (4a).

#### 4.6.5 Uraninnhold, radioaktivitet og radonproduserende potensiale

De fleste skiferbergarter med syredannende potensiale har også høyere konsentrasjoner av uran. Uran medfører radioaktiv stråling og produksjon av radon gas. Disse egenskapene må også kvantifiseres ved vurdering av leirskiferprøver.

Analyse for å avklare aktivitet for naturlige forekommende radioaktive elementer (nuklider) kan utføres av IFE (Institutt for energiteknikk) på Kjeller. En skal være oppmerksom på at analysen av total innhold nuklider ikke friskmelder et materiale med hensyn til radonproduserende potensial.

Masser med en total aktivitet på >1 Bq/g defineres som radioaktiv avfall og skal håndteres i henhold til Avfallsforskriftens regelverk for radioaktivt avfall. Uraninnholdet i svarte leirskifre varierer sterkt. Erfaringsmessig indikerer et uraninnhold på >90 mg/kg at en burde måle radioaktiviteten for å avgjøre om den ikke overstiger 1 Bq/g. I forhold til potensial for dannelse av radongass kreves det at aktiviteten til radium-226 i tilkjørte masser, som skal brukes under eller rundt bygninger, ikke overstiger 0,3 Bq/g.

## 5 Bruk og disponering av syredannende bergarter

### 5.1 Helsemessige forhåndsregler

Det er viktig å ta hensyn til helsemessige forhåndsregler ved arbeider i og håndtering av syredannende skiferbergarter. Frisk leirskifer vil utvikle mye støv ved boring og pigging. Egnede åndedrettsvern skal derfor benyttes. Forvitret skifer vil inneholde jernsulfater. Jernsulfater og andre sulfatmineraler i forvitret skifer kan betraktes som salter av svovelsyre. Særlig  $\text{Fe}^{3+}$  sulfater (gule, svovelfargede mineraler) er etsende og kan danne svært sure miljøer med pH ned mot 1. Arbeid med syredannende svarte leirskifer medfører derfor fare for etseskader på hud.

Ved rengjøring og vedlikeholdsarbeider i bygninger med innsig av aggressivt vann og utfellinger av jernsulfater, kan man komme i kontakt med vann med meget lav pH, gjerne ned til pH 2. Dette vannet kan se ut som rent vann, særlig ved så lav pH at jern ikke feller ut. Direkte kontakt med slikt vann kan gi alvorlige etseskader. Vannkjemiske analyser vil legge til rette for forsvarlig håndtering av slikt vann.

### 5.2 Håndtering av overskuddsmasser

Legger en steinmasser fra Alunskifer i en åpen fylling vil sulfidene i skiferen oksidere til svovelsyre og svovelsyrens mineralsalter (sulfatene). Sulfatene løser ut tungmetaller i avrenningen fra deponiet. Dette gir en giftig avrenning som kan forårsakemiljøproblemer. Slik avrenning vil være brunfarget med utfelling av store mengder rustfarget slam. Avrenningen kan være skadelig nok til å drepe fisk, bunndyr og planter i bekker og vassdrag nedstrøms fyllingen, samt ødelegge lokalt grunnvann. Det er utarbeidet en egen veileder som omtaler lagring og deponering av overskuddsmasser.

### 5.3 Tilbakefylte masser

Tilbakefylte masser er som regel nedknuste masser. Knusingen gir en betydelig økning i overflateareal og dermed større sannsynlighet for at forvitningsprosesser kan akselereres. Dette vil kunne medføre endring av mekaniske egenskaper (svelle/setning/styrke) og utlekking av metaller. Tilbakefylling av syredannende leirskifer innenfor et anleggsområde anbefales derfor ikke, med mindre tiltak for å hindre helse- og miljørisiko iverksettes.

### 5.4 Gjenværende masser

Det må alltid vurderes hvor mye av særlig forvitret leirskifer som skal fjernes i et byggeprosjekt. Helst bør det være minst mulig gjenværende forvitrede masser da disse kan forårsake både miljømessige og byggetekniske problemer. Faktorer det må tas hensyn til er

om det er gradienter som f.eks. vannsig gjennom eiendommen. Gjenværende masser må også vurderes for radonproduserende potensiale som kan gi innsig i byggemassene.

## 5.5 Spesielle hensyn vedrørende radioaktivitet

Aktivitet for naturlige radioaktive nuklider bør også vurderes ved deponering. Prøvetaking og hvordan denne utføres har stor betydning for karakterisering og deponeringsalternativer for overskuddsmasser. Erfaringen viser at uran ikke er jevnt fordelt i leirskiferen, men foreligger som hotspots som ved feiltolkning kan føre til en overvurdering av massenes egenskaper.

## 5.6 Beskytte omgivelser og konstruksjoner

Følgende momenter er viktige å ta hensyn til ved bygging på svart leirskifer:

- Forurensning til omgivelser fra byggegrøp/eiendom
- Indre miljø (radon problemstillinger)
- Levetidsbetraktninger
- Budsjett, kostnader og logistikk.

Konsekvensen av å prosjektere feil løsninger vil være kortere levetid på konstruksjoner og behov for tiltak etter relativt kort tid. Dette vil føre tilproduksjon av overskuddsmasser som igjen krever deponi både av bygningsmaterialer og av forvitret, syredannende leirskifer.

Følgende forhold må ivaretas ved bygging i svart leirskifer for å redusere/hindre uønskede forhold:

- Ikke påvirke grunnvannsspeilet
- Ikke prosjektere drenert løsning
- Radon/oksygen/diffusjonstett sperresjikt under bygget
- Eventuelt impregnering av forvitret skifervolum for å hindre utlekking

## 5.7 Unngå endring av grunnvannsspeilet

Ved etablering av byggegrøper bør man ikke drenere terrenget eller senke grunnvannsspeilet permanent, særlig i urbane/tettbygde områder. Generelt gjelder at i områder med potensielt syredannende bergarter, skal det ikke etableres gradienter som setter i gang grunnvannsig inn i byggegrøp. Grunnvannsnivået må identifiseres og opprettholdes under hele byggeprosessen.

I byggeprosjekter bør det stilles krav om at grunnvannsspeilet ikke skal endres. Det er en vanlig misoppfatning at Alunskifer er "pottetett." Det er ikke tilfelle. Når en etablerer høydesprang som skjæringer, byggegroper og tunneler, vil det over tid utvikles et vannsig gjennom Alunskiferen.

## 5.8 Drenering og grøfter

Grøfter kan sidestilles med etablering av vertikale terrengflater med høydesprang. Grøfter kan krysse eiendomsgrenser og legges gjerne med fall. Grøfter, kan om de ikke konstrueres riktig derfor medføre økt forurensning og miljøbelastninger på annen matts grunn. Grøfter inneholder ofte kostbar infrastruktur. De fleste materialer kan få redusert levetid i det aggressive miljøet som kan oppstå grunnet syredannende bergarter. Materialer av betong og metall vil få redusert levetid. Det er utarbeidet et eget datablad som omhandler utforming av grøfter.

## 5.9 Tiltak for å unngå inntrengning av radongass i bygg

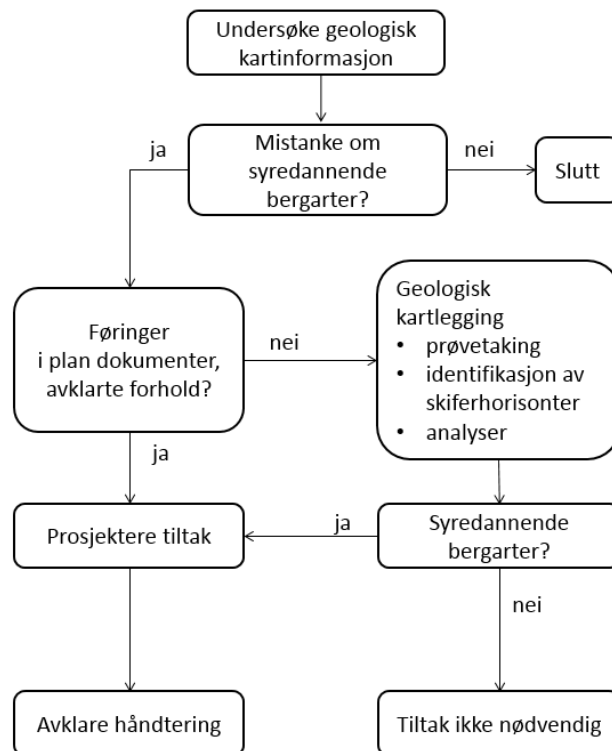
Der det er syredannende (=uranholdige) leirskifre i grunnen må det velges løsninger som ivaretar både forsegling og radonsperre. I byggeprosjekt på syredannende leirskifre anbefales derfor type A membran. Den bør være diffusjonstett og godkjent i henhold til radondiffusjon. Det finnes flere fabrikater av type A membran. En gunstig løsningen er en der membranen fester seg til underlaget. En løst lagt membran kan transportere gass og fukt mellom underlaget og membranen. Slike tiltak burde prosjekteres av en fagkyndig person.

## 5.10 Fremgangsmåte ved bygg og anlegg

En kan ikke detaljprosjektere hvordan eventuell svart leirskifer i et prosjekt skal håndteres før man har undersøkt den nærmere. Overordnet kan dette avklares tidlig i byggeprosess/prosjektering. Det er imidlertid flere spesifikke forhold som først kan bli avklart ved etablering av byggegrop og uttak av masser. Detaljer med tilpasning kan normalt gjøres først etter at skiferen er avdekket i byggegropa. Følgende prosedyre for undersøkelse og håndtering av svart leirskifer i byggeprosjekter foreslås (Figur 14):

- Undersøke geologisk kartinformasjon
- Avklare føringer i plandokumenter
- Geologisk/ingeniørgeologisk kartlegging
  - prøvetaking
  - identifisering av leirskiferhorisonter (plassering i lagrekke)
  - kjemiske analyser
  - tolkning av resultatene

- Tiltak
  - i byggegrøp for å unngå forurensning til omgivelsene.
  - i byggegrøp for å unngå skader på bygningskonstruksjoner som følge av reaktiv berggrunn.
  - for å unngå inntrengning av radongass i bygg
- Avklare massehåndtering, egnet deponeringsmetode.



Figur 14 Flytskjema for håndtering av svarte leirskifre i byggeprosjekter.

Arealene i en kommune har ulike bruksverdi og – potensial. Det er kommuneplaner som legger føringene for arealbruk. Beskrivelse av berggrunn bør inngå i kommuneplanens arealdel. Kommunen vil da få en bedre bevissthet om forhold som må avklares videre i prosess med utarbeidelse av reguleringsplan/bebyggelsesplan og byggetillatelse. Overordnede føringene også for deponeringsbehov bør inngå i enhver kommuneplan. Deponier er som regel ikke ønsket noen steder.

Kommunen kan da legge inn føringene og rekkefølgebestemmelser for arealer og når i saksbehandlingen forhold skal være avklart og dokumentert. I reguleringsplan bør det avklares om usikkerheten som ligger i kommuneplannivå bør avklares. I dette ligger også avklaringer for eventuelle deponeringsbehov for ulike typer masser, inkludert spesielle deponihensyn for bergarter som kan medvirke til forurensning om de deponeres på feil måte.

I byggesak bør det fremgå at valg av løsninger ikke vil bidra til økt forurensning. Feil løsningsvalg er en vanlig årsak til at eiendommer på særlig Alunskifer lar vannsig fra eiendommen ledes ut, enten til omgivelsene/naboeiendommer eller ut på det offentlige ledningsnettet.

Utbyggingsprosjekter for veg og bane er ofte prosjekter som båndlegger store arealer, gjerne på tvers av flere kommuner, og som kan produsere betydelige mengder overskuddsmasser. Det bør stilles krav til konsekvensanalyser, som inngår i tidlige faser, for at massebalanse for ulike massetyper (bergarter og jordarter) utføres. Det er ikke tilstrekkelig å anta at massene i linjen kan gjenbrukes.

## 6 Katalog over syredannende bergarter i Norge

### 6.1 Aktuelle informasjonskilder

Den mest detaljerte informasjon vi har som kartgrunnlag er Norges geologiske undersøkelses (NGU) berggrunnsgeologiske kart i målestokk 1:50.000. Deretter følger berggrunnsgeologiske kart i 1:250.000. NGU sin nettsider ([www.ngu.no](http://www.ngu.no)) inneholder informasjon fra både 1:50.000 serien og 1:250.000 serien. Papirkartene har imidlertid den fordel at de kommer med tegnforklaring. Det anbefales å skaffe kart fra disse kartseriene over aktuelle områder for nærmere avklaringer.

Andre kartutgivelser med geologisk informasjon er radonkart utgitt av Statens Strålevern og NGU i fellesskap. En bør i tillegg se på kvartærgeologiske kart som viser type overdekning.

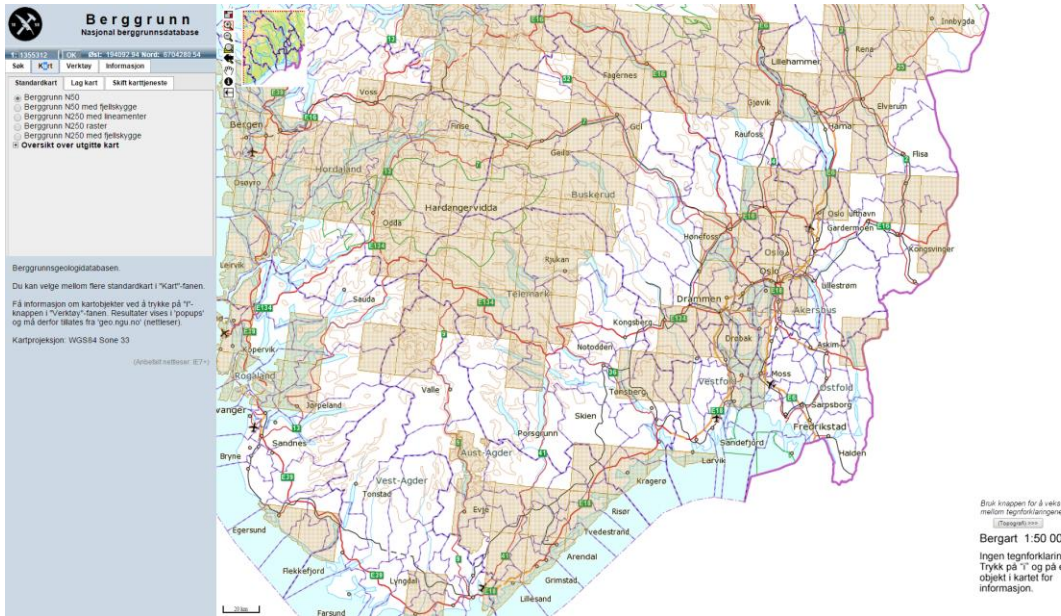
#### 6.1.1 NGUs databaser på [www.ngu.no](http://www.ngu.no)

Nettstedet til Norges geologiske undersøkelser (NGU) har flere kartfunksjoner. Kartfunksjonen "Berggrunn" gir en oversikt over tilgjengelig kartmateriale. Her kan en også gjøre en første vurdering.

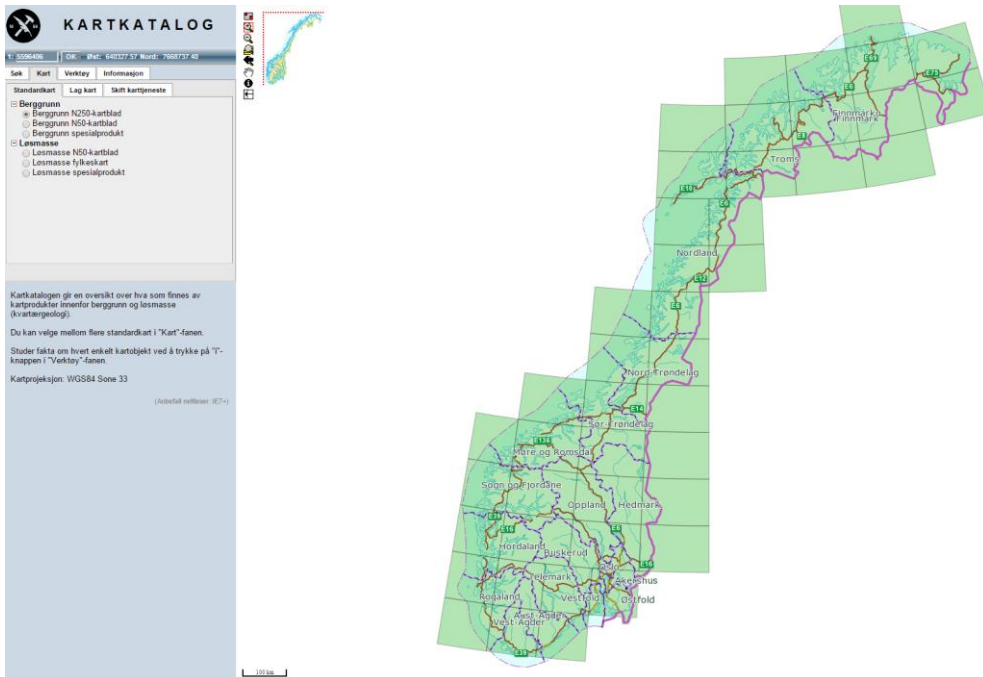
I visningsbildet er en informasjonsknapp. Ved å trykke "i" (informasjon) kommer det frem et vindu med informasjon om objektet som er klikket på. Om det fremkommer tekst med kambro-ordovicisk eller kambro-silur, så er det bergartslag i dette objektet som kan være svarte leirskifre, som Alunskifer og Gølgebergskifer. Mot vest er gjerne fyllitter /gråvakker bergarter som kan være omdannede (mer metamorfe) kambro-ordoviciske leirskifre. Ord som pyritt og grafitt kan her indikere svarte leirskifre som på Østlandet kan karakteriseres som syredannende.

Hele Norges berggrunn er for tiden ikke dekket på nettstedet [ngu.no](http://www.ngu.no) i 1:50.000 skala. Områder en kan finne informasjon om berggrunn for er vist i Figur 15. Skraverte rektangler viser kartblad i 1:50.000 serien som er kartlagt. For arealer som er hvite i Figur 15 må en innhente informasjon fra berggrunnsgeologiske kart i 1:250.000 serien (Figur 16).

Per 2014 inneholder ikke nettstedet ngu.no tilstrekkelig detaljert informasjon om hvor det er svart leirskifer / Alunskifer med syredannende egenskaper.



Figur 15 Utsnitt av Sør Norge som inneholder informasjon om berggrunnen. Rutene i kartet tilsvarer kartblad 1:50.000 serien. For hvite arealer i kartutsnittet må en fremskaffe informasjon om berggrunnen fra berggrunnsgeologiske kartblad i den landsdekkende 1:250.000 serien.



Figur 16 Den landsdekkende 1:250.000 serien av berggrunnsgeologiske kartblad. Grønne rektangler viser inndelingen av kartbladene



### 6.1.2 Kartblad i 1:250.000

Landsdekkende geologiske kart over berggrunnen i Norge er gitt ut i en skala på 1:250 000 av NGU. Berggrunnskartene gir en oversikt over forekomsten av bergarter i de forskjellige kartbladene. Kartene inneholder også bergartsbeskrivelser hvor de viktigste geologiske prosessene (alder, avsetning, omdanning, etc.) er nevnt. På grunn av målestokken vil bergarter og lagdelinger med begrenset utbredelse ikke komme tydelig fram.

Kartblad hvor svart leirskifer/mørk grå leirskifer er inntegnet er for eksempel i Haugesund, Lillehammer og Saltdal. Alunskifer er nevnt som en egen bergart i kartbladene Hamar, Oslo, Sauda og Skien. Utbredelsen innenfor hvert kartblad er sterkt varierende.



Figur 17 Utsnitt fra berggrunnsgeologisk kartblad 1:250000 Odda (NGU). Mesteparten av de grønne feltene er fra kambro-silur.

Tabell 5 beskriver skiferhorisonter og geografiske navn på enheter der disse opptrer. Merk at det er stedvis lokale navn som benyttes i stedet for skifertype. Tabellen viser et utdrag av informasjon en bør se etter når en studerer berggrunnskartene. Bergartsbeskrivelsen i tabellen er skifer, grå og svart. Tidsperiode opplyser *senprekambrium*, som tilsvarer *eokambrium*. I kommentarfeltet nevnes hvilke enhet bergarten tilhører. Her er de knyttet til dekker. Dekker er per definisjon bergarter som er skjøvet dit de nå kan observeres. Bergarter og sekvenser av bergarter som er skjøvet fysisk til nåværende posisjon kalles *alloktone*, mens bergarter som ikke er fysisk skjøvet men er i den posisjon der de ble avsatt kalles *autoktone*.



Tabell 5 Eksempler på Alunskifer og svart leirskifer beskrevet i 1:250 000 berggrunnskartblad.

Navn på kartblad	Bergarts-beskrivelse	Tidsperiode	Kommentarer*
Hamar	Mørkegrå skifer	Senproterozoikum til kambro-ordovicium	Synnfjelldекket (22)
Hamar	Alunskifer, skifer	Kambro-silur	Os-Rødekkekomplekset, Oslofjordovergruppa, kontaktomdannede bergarter ikke delt inn i gr eller fm. Alunskifer (27) annen skifer (24, 25, 26)
Hamar	Alunskifer, skifer	Mellomkambrium til tidligordovicium	Os-Rødekkekomplekset, Oslogruppa, Alunskifer (49, 50 (Alunskifer fm)) annen skifer (37, 38, 39, 40, 41, 43, 44, 45 (Elnes fm), 46, 48 (Tøyen fm))
Haugesund	Leirskifer, mørk grå, graptolittførende	Tidligsilur	Hardangerfjorddekket, Vikanes fm (15). Bømlo
Haugesund	Svartskifer	Mulig ordovicium	Lyklingfjordenheten (46)
Haugesund	Svartskifer	Tidligordovicium	Søre Lyklingholmenheten (47). Øygrupper ved/V for Bømlo
Lillehammer	Skifer, grå og svart	Senprekambrium	Synnfjelldекket, Vangdåsfm/Dalselvm (53)
Oslo	Alunskifer	Kambrium-ordovicium	Sedimentære bergarter (43). Oslo sentrum, Skøyen, Slemmestad
Saltdal	Svartskifer	Kambrium-ordovicium	Stedegne omdannede bergarter, Skertasfm (109)
Saltdal	Grafittførende svartskifer og kvartscerisittskifer	Kambrium-ordovicium	Gargatidekket, Mierkenisgr (88)
Sauda	Alunskifer	Kambrium-ordovicium	Autoktone bergarter. Haukeli, Grønafjell
Skien	Skifer, alunskifer	Kambrium-ordovicium	Oslofeltes kambrosilurske bergarter. Øst i kartbladet (Porsgrunn, Skien, Kongsberg, Eikeren)

\* Numre refererer til referansenummer til bergarten i kartbladet  
 Fm - formasjonen

Tabell 5 viser en annen viktig informasjon: *Tidsperiode*. I alle kartbladene det refereres til i tabellen er det beskrevet bergarter fra kambrium-ordovicium. Av det kan en slutte at i tidsperioden kambrium ble det avsatt sedimentære skifer over store deler av landet. Men en skal være oppmerksom på at de senere geologiske hendelser har påvirket Alunskiferformasjonen og Tøyenformasjonen (kambrium/tidlig ordovicium) i forskjellig grad (trykk, temperatur, kjemisk påvirkning, deformasjon med mer).

Alunskiferformasjonens skifre vil ha forskjellig utseende i Osloregionen, Sørvestlandet, Trøndelag og Saltdal.

Tabell 5 er ikke uttømmende, men gir et innblikk i de stikkord som er knyttet til svarte leirskifre i berggrunnskartene. Kartene er satt sammen av flere personer over et lengre tidsrom. Det er derfor variasjoner mellom kartbladene. Videre var ikke inndelingen i skyvedekker etablert like detaljert alle steder i landet.

Da den kaledonske fjellkjededannelsen utgjør en sentral del i Norges geologi, er ofte bergartsenhetene knyttet til skyvedekkene (alloktone enheter).

Videre er en del av sedimentlagrekken i kambro-silur bygget opp av tynne lag som ikke kan skilles ut i kartene. Derfor er flere opprinnelige svarte og grå og kalkrike leirskifre slått sammen i disse kartbladene.

### 6.1.3 Kartblad i 1:50.000

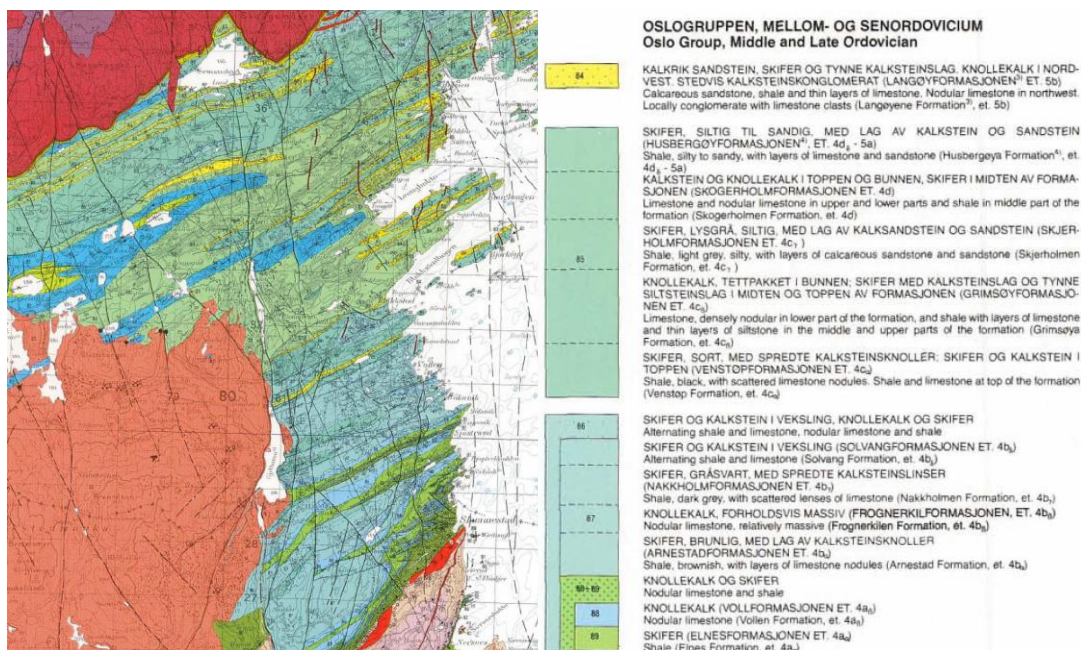
Berggrunnsgeologiske kart i 1:50.000 fra NGU inneholder den mest detaljerte informasjonen om berggrunnen. Flere leirskiferformasjoner er så tynne at de ikke kan vises i kartmålestokken 1:50.000 (se Tabell 3). Av den grunn er flere formasjoner slått sammen i enheten "gruppe". Disse sammenslåtte gruppene er gitt navn som for eksempel Røykengruppen i Oslo området. De geologiske kartene er produsert over et tidsspenn. Navngiving og inndeling i grupper er derfor ikke gjennomført for alle kart. Dette fremkommer i kapitlene 6.2 til 6.8 hvor det vises kartutsnitt fra ulike deler av landet.

## 6.2 Oslo og omegn

For å danne seg et bilde av hvor en finner kambrisk/ordovicisk svart leirskifer kan en se på kartblad 1814 Asker i NGU 1:50.000 berggrunnsgeologiske kart, se utsnitt i Figur 18. Her er skiferlagrekken fra tidsepoken kambrium-ordovicium (ca. 550-450 millioner år siden) inndelt i to hovedgrupper, Røykengruppen og Oslo gruppen.

Informasjonen i kartet (Figur 18) skal leses slik:

- Røykengruppen (i dette kartet vist med olivengrønn bunnfarge) inneholder de to viktigste syredannende svarte leirskiferhorisontene. Røykengruppen har i kartet tre ulike skravurer/farger, som er nummerert 90, 91 og 92.
- 89 Lysere olivengrønn farge uten skravur: 4a Elnesformasjonen.
- 90 Olivengrønn bunnfarge: (Etasje 1 – 3c). Arealer i kartet med olivengrønn bunnfarge kan inneholde leirskifer både fra gruppe 91 og 92, da skifertypene kan veksle på en skala som er for fin til at den kan vises i 1:50.000 kartet, eller at kartlegging ikke var mulig i nødvendig skala.
- 91 Blå bunnfarge: Etasje 3c (Hukformasjonen).
- 92 Olivengrønn bunnfarge med prikker: (Etasje 1 – 3b) Alunskiferformasjonen og Tøyenformasjonen (Hagabergskifer og Galgebergskifer).



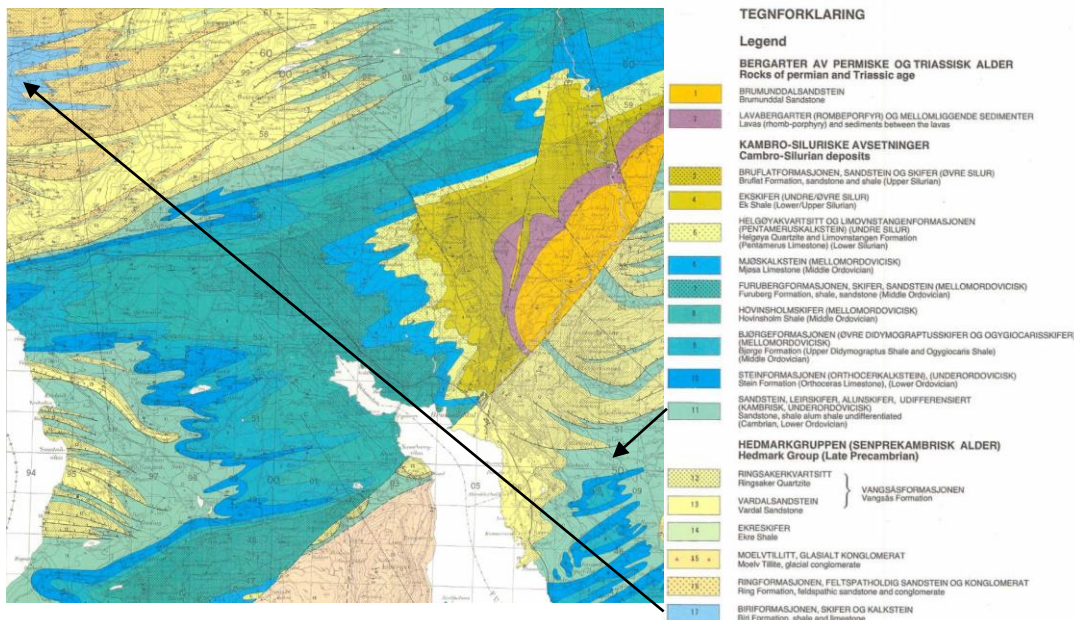
Figur 18 Utsnitt fra berggrunnsgeologisk kartblad 1:50.000 Asker (NGU).

## 6.3 Hamar regionen

### 6.3.1 Kartblad Hamar

Tegnforklaringen i kartblad Hamar (Figur 19) skal leses slik:

- Nr. 11 Sandstein, leirskifer, alunskifer, tidsepoke: kambrium til nedre ordovicium: Her er Alunskiferformasjonen (1-3a $\beta$ ), Bjørkåsholmen (3a $\gamma$ ) og Tøyenformasjonen (3b $\alpha$  og 3b $\beta$ ) slått sammen.
- Nr. 10 Steinformasjonen (Orthocerkalkstein) er den samme som Hukformasjonen (3c).
- Nr. 9 Bjørgeformasjonen tilsvarer Elnesformasjonen. Bjørgeformasjonen er et lokalt navn.

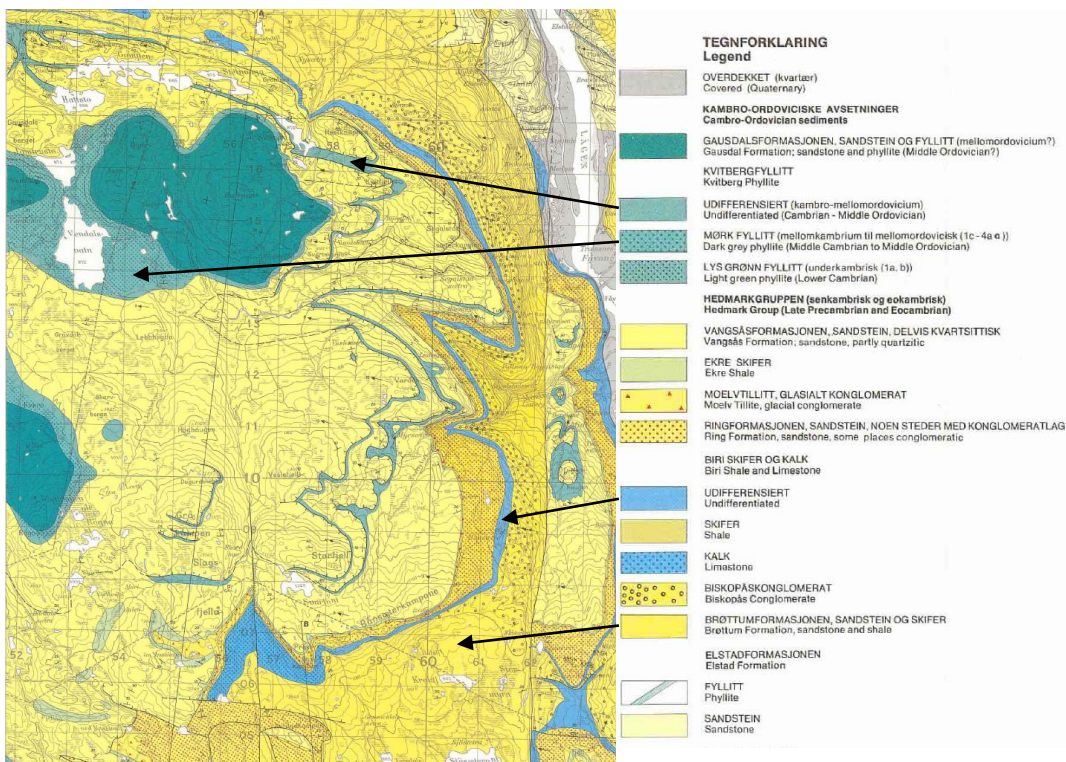


Figur 19 Utsnitt av kartblad 1:50.000 Hamar (NGU). Her er Alunskiferformasjonen vist med lys grønn farge. Her har Alunskiferformasjonen og Tøyenformasjonen nr 11 i kbl Hamar og nr 3 i kbl Løten. Steinformasjonen (etasje 3c, orthocerkalken) er samme formasjon som Hukformasjonen. Her er Biriformasjonen også vist. Denne kan også bestå av syredannende svart leirskifer.

### 6.3.2 Kartblad Fåvang

Som det fremgår av kartblad Fåvang (Figur 20) er det hovedsakelig gule arealer. Disse arealene består av Brøttum formasjonen (vist med pil) og kvartsrike sedimentære sandsteiner (sparagmitt).





Figur 20 Utsnitt kartblad 1:50.000 Fåvang (NGU). Mellom Hamar og Lillehammer er det to bergartsformasjoner som inneholder horisonter med svart leirskifer. Begge er eldre enn Alunskiferformasjonen. Brøttumformasjonen (pil mot gult areal) er til sammen 1500 meter mektig. I denne formasjonen ligger svarte leirskiferlag som kan være opptil flere meter mektige. Biriformasjonen (pil mot blått areal) inneholder også svarte leirskiferhorisonter med ukjent mektighet. Piler mot grønne arealer viser kambriske-ordoviciske leirskifer (Alunskiferformasjonen, Tøyenformasjonen og Hukformasjonen)

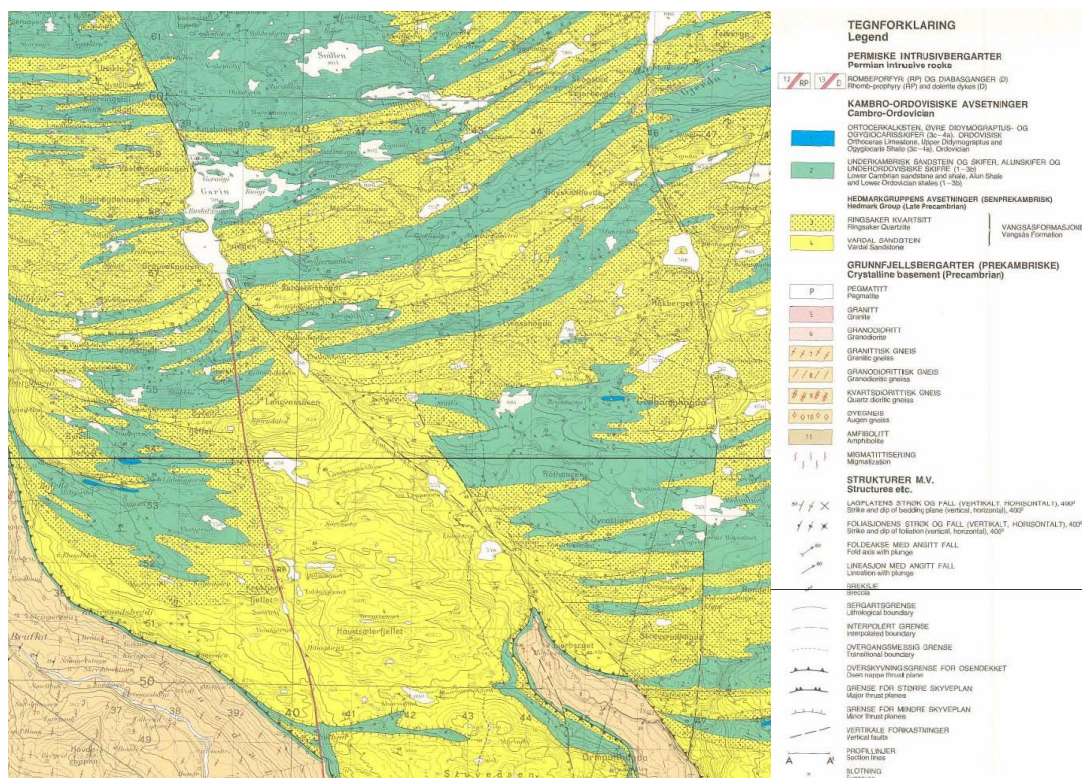
### 6.3.3 Lagrekken ved Mjøsområdet

I den geologiske tidsperioden eokambrium før kambrium perioden ble det også dannet svarte leirskifer med syredannende potensiale. Disse er mindre kjent og dermed også mindre påaktet. I tillegg er det store variasjoner i avsetningsmiljø i en og samme formasjon. Dette vises her med eksempel fra Biriformasjonen. Denne er kartlagt mellom Hamar og Lillehammer.

Brøttumsformasjonen er mellom Hamar-Lillehammer mer enn 1500 meter mektig. Brøttumsformasjonen beskrives som hovedsakelig turbidittavsetninger (avsatt under vann, der terrenget er steil) avbrutt av stille perioder uten erosjon på overflaten og dannelse av anaerobe miljø med organisk materiale som favoriserer svart leirskiferdannelse. Analyser fra Øyer-Tretten viser sammensetning av slik svart leirskifer. Svarte leirskiferhorisonter med opptil fem meter mektighet er kartlagt i Lillehammerområdet.

## 6.4 Synnfjellområdet

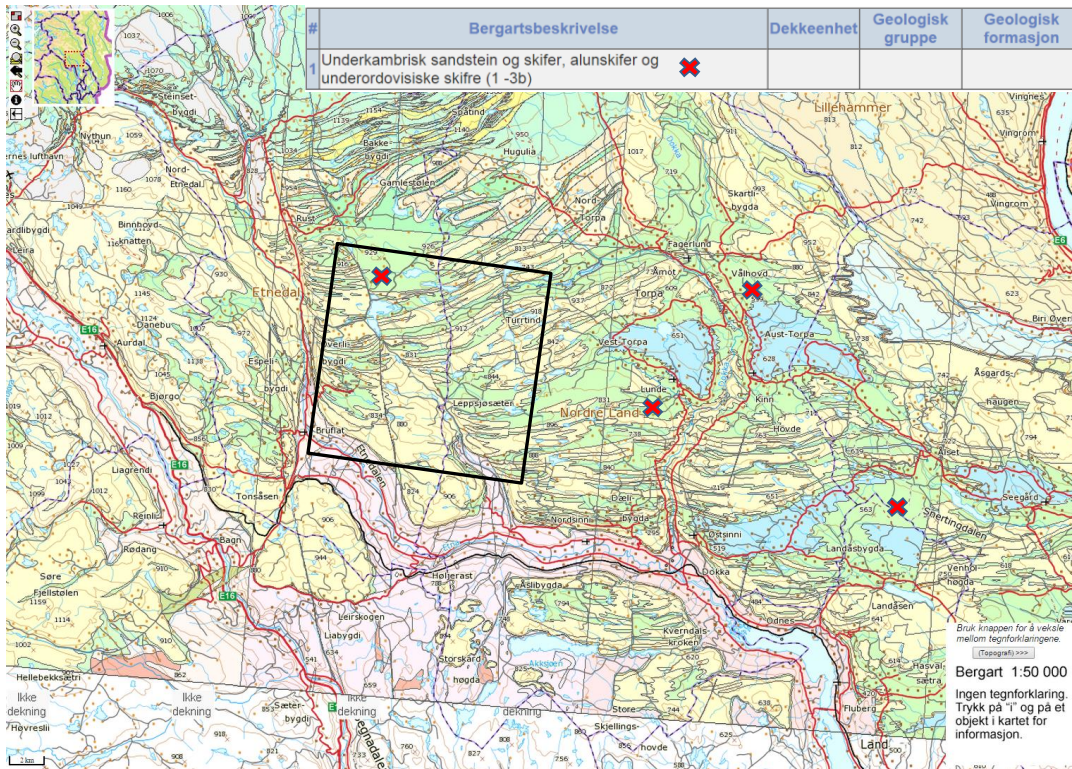
Synnfjellområdet er beskrivende for områder der den samme skiferhorisonten med svart leirskifer repeteres flere ganger i en lagrekke (Figur 21). Her er referansen navn på skyvedekke (alloktone bergarter). Dette skyldes at skiferformasjoner (og andre bergartsformasjoner) er komprimert sideveis slik at de brekker opp og skyves over hverandre. På et geologisk kart kan dette fremkomme som striper med samme farge som veksler med striper med en annen farge. I kartlegging av slike geologiske trekk søker en å identifisere skyvegrensene og hvilke bergartssekvenser som ble skjøvet samtidig. En navngir ofte skyvedekkene og de bergarter som kan knyttes til et skyvedekke med ulike geografiske navn.



Figur 21 Utsnitt av kartblad 1:50.000 Bruflat (NGU). Tegnforklaringen til kartet beskriver grønne arealer som kambriske skifre og underordoviciske skifre (1-3b). De grønne arealer i kartet er leirskifre fra kambrium-ordovicium (Alunskifer og Galgebergskifer).



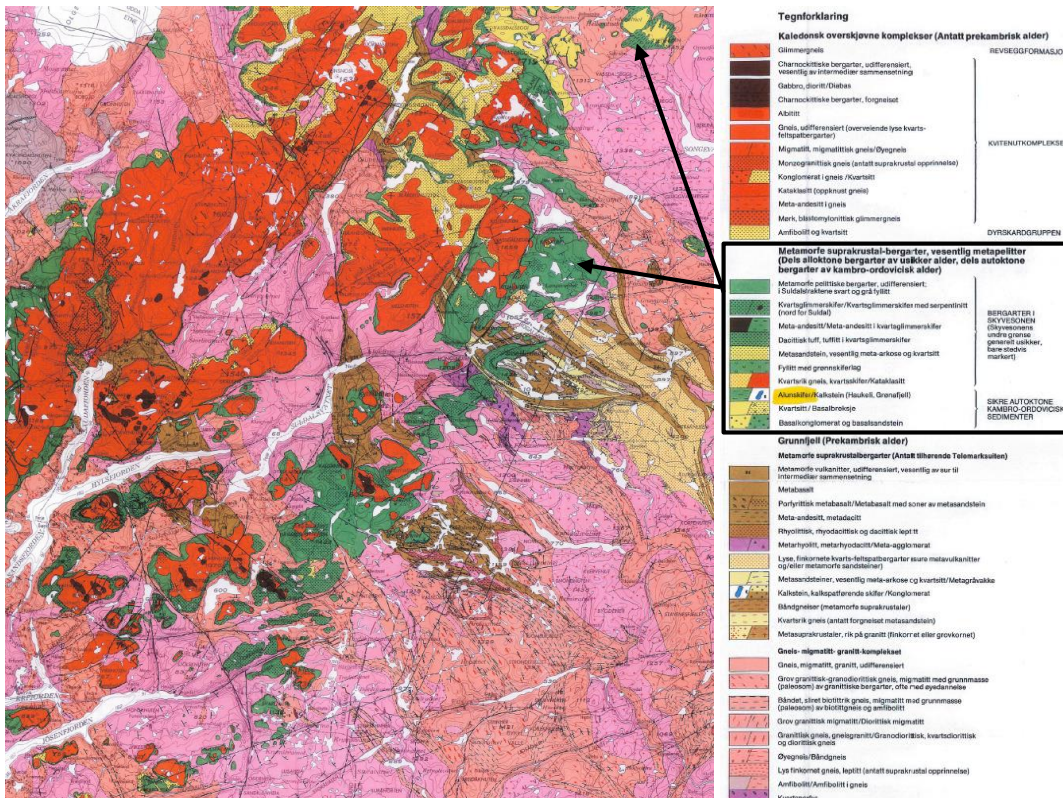
Utsnittet i kartblad Bruflat kan korreleres med kartutsnitt fra [www.ngu.no](http://www.ngu.no) vist i Figur 22. I figuren er sort rektangel omriss av utsnittet fra kartblad Bruflat i Figur 21. En kan ved å innhente informasjon fra tilgrensende 1:50.000 kartblad få mer detaljert og riktig informasjon enn den informasjon er som er tilgjengelig på ngu.no. En stor fordel med karttjeneste på ngu.no er muligheten å se arealer større enn ett kartblad.



Figur 22 Kartutsnitt som viser viktige formasjoner og informasjon ([www.ngu.no](http://www.ngu.no)). Røde stjerner viser grønne arealer der det kan være syredannende svart leirskifer. Infoknappen i skjermbilde forteller at dette er hele Alunskiferformasjonen og Tøyenformasjonen. Omriss av utsnitt fra kbl. 1:50.000 Bruflat (Figur 21) er vist som sort rektangel. Vekslende bånding av gule og grønne arealer forklares med at i dette området er formasjonene repetert i skyvedekker.

## 6.5 Sør-Vestlandet

Området fra Haukeli til Haugesund/Stavanger kan ha store arealer med fyllitt som kan være rik på sulfider. Denne fyllitten kan være samme lag som Alunskiferen. Kartblad Sauda (Figur 23) har arealer med grønn farge som knyttes til tidsepoken kambro-ordovicium. Bergartene i de grønne arealer er mer omdannet fra øst mot vest.

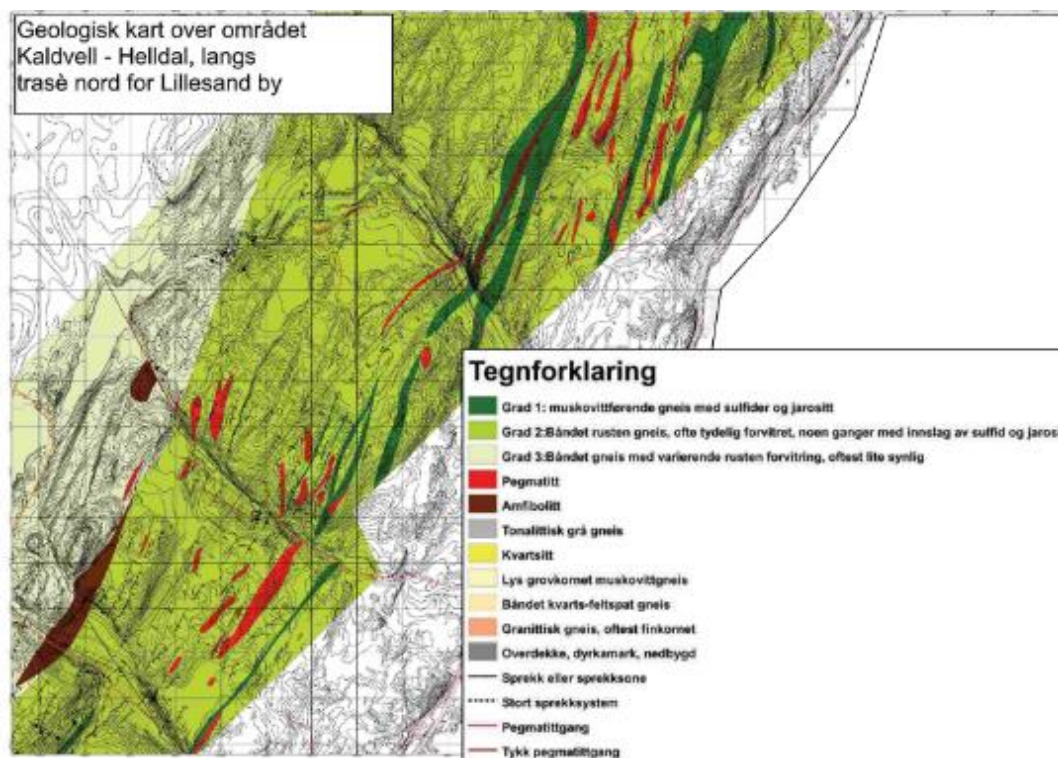


Figur 23 Utsnitt av kartblad 1:50.000 Sauda (NGU). Grønne arealer knyttes til bergarter fra kambro-ordovicium.



## 6.6 Sørlandet

Sørlandet har områder med sulfidførende bergarter. Noe som kom tydelig frem i forbindelse med ny trasé for E-18 og arealbruk i Lillesand kommune. Lillesand har fått utført berggrunnsgeologisk kartlegging knyttet til arealene kommunen forvalter (Figur 24).

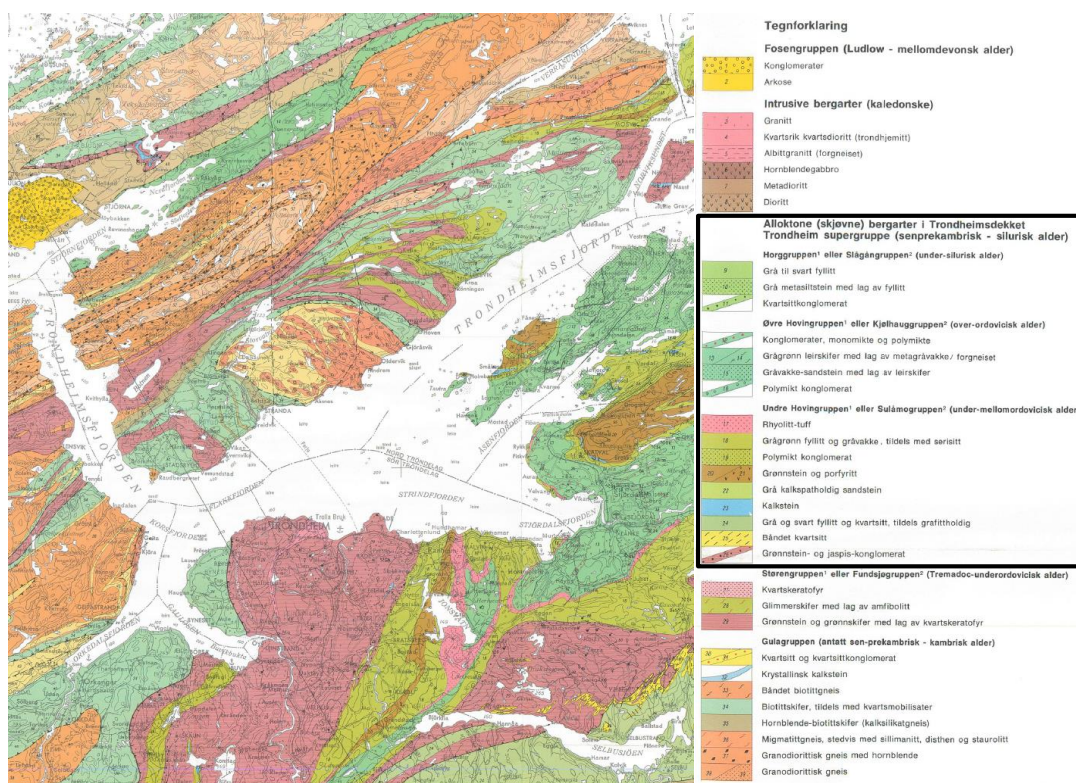


Figur 24 Utsnitt av utført kartlegging av geologi for Lillesand kommune og Statens vegvesen. Her er berggrunn delt inn i klasser, 1-3, etter mulige miljøkonsekvenser fra sulfidforvitring

## 6.7 Trøndelag

Trøndelag har leirskifre f.eks. i Støren dekket som beskrives som pyrittholdige. Dette kan godt være for eksempel den nedre del kambro-silur (etasje 1 – 3(4a)).

Det er i Trondheimsområdet veksling med innslag fra grønnsteiner og sedimentære bergarter som er omdannet ved metamorfose (Figur 25). Det er ikke tilstrekkelig kunnskap om de kjemiske egenskapene til metamorft omdannet Alunskifer og andre svarte leirskifre. Det mest sannsynlige er at de syredannende egenskaper er redusert og at forvitringsegenskapene med den karakteristiske fissile struktur (laminering i tynnere flak enn 1 millimeter) også er endret.



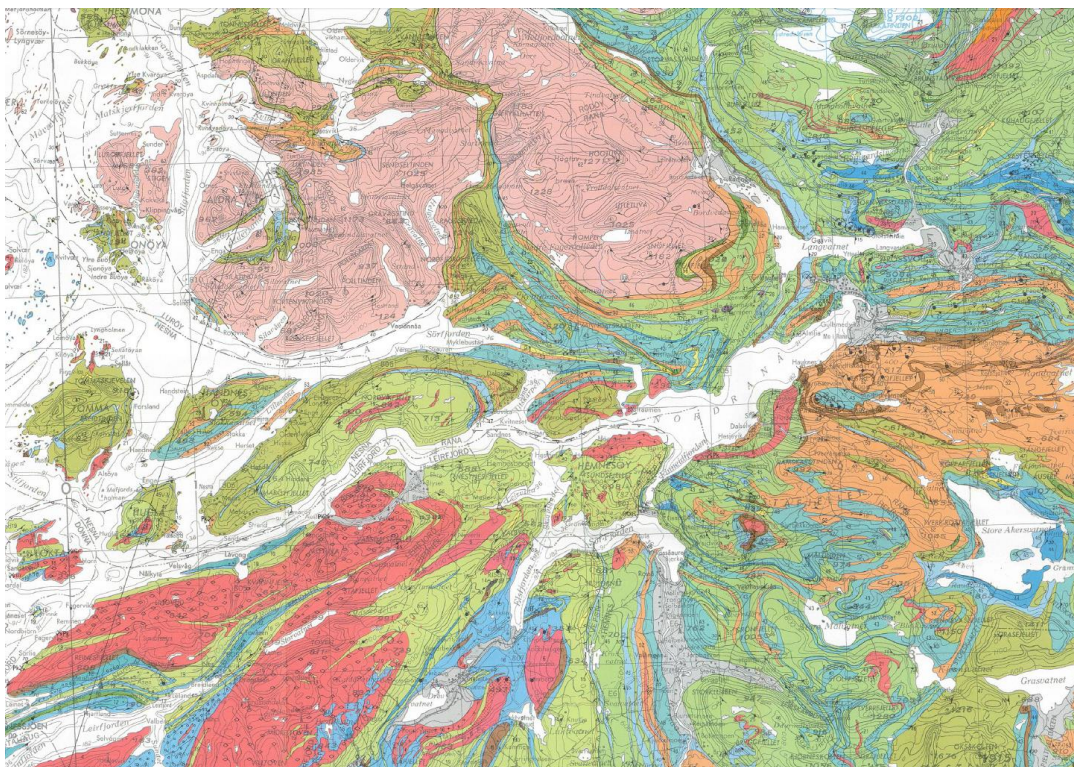
Figur 25 Utsnitt av kartblad 1:250.000 Trondheim (NGU). Den geologiske informasjon knyttet til kartet viser at de opprinnelige sedimentene er omdannet ved metamorfose. Inndelingen i bergartstyper viser at det er stor variasjon og at flere sekvenser har for liten mektighet til at de kan vises separat



## 6.8 Nordland

### 6.8.1 Mo i Rana

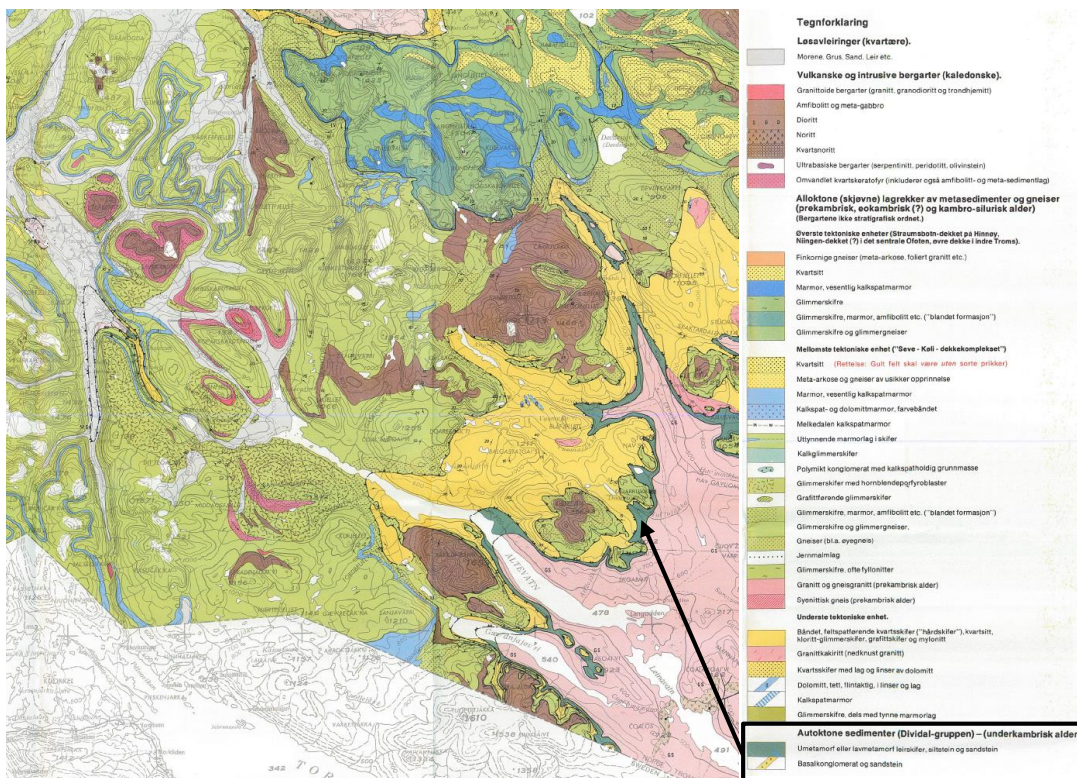
En bør, i arealer som beskrives som kambro-silur bergarter, kontrollere om de fortsatt er sulfider tilstede i leirskifrene og i hvilket omfang. Bergartene generelt i kartutsnittet fra Mo i Rana (Figur 26) kan være så omdannede at mineralene har fått en mer rasjonell form og samtidig har blitt større (og mer stabile). Det er graden av metamorfose som leirskifrene har vært utsatt for som påvirker hvordan egenskapene er endret.



Figur 26 Utsnitt av kartblad 1:250.000 Mo i Rana. Mesteparten av de grønne feltene er fra kambro-silur.

## 6.8.2 Narvik

I kartutsnittet fra Narvik (Figur 27) viser tegnforklaringen at det er flere tektoniske grenser mellom bergartene. Innrington er lavmetamorfe bergarter fra kambrisk tid. Dette er bergarter som kan ha felles trekk med de nedre formasjoner i Oslo-området kambo-silurlagrekke. Mesteparten av bergartssekvensene har en metamorf påvirkning med høyere temperatur og trykk slik at de opprinnelig sedimentære bergartene er meget omdannede.



Figur 27 Utsnitt fra kartblad 1:250.000 Narvik. Innrington enhet i tegnforklaring til kartet henviser til lavmetamorfe sedimenter av kambrisk alder.

## 7 Oppsummering

For å identifisere og karakterisere leirskifer har det blitt foreslått en trinnvis prosedyre som består av 3 hovedelementer:

1. Sammenstilling av geologisk informasjon
2. Geologisk kartlegging i felt
3. Kjemisk karakterisering av massene

Denne metoden for å identifisere bergartene, gir et godt vurderingsgrunnlag og gjør identifiseringen sikrere. Fremgangsmåte er oppsummert i sjekklisten nedenfor.

Geologisk informasjon	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hva er sannsynlig forekomst av type(r) leirskifre i området? Sjekk tabellen (Figur 1) mot tilgjengelig geologisk informasjon.</li> <li>• Berører prosjektet flere typer leirskiferformasjoner?</li> <li>• Er det tilgjengelig geologisk informasjon?</li> <li>• Er det foretatt en geologisk kartlegging i tilknytning til uttak av prøve?</li> </ul>
Geologisk/ ingeniørgeologisk kartlegging	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prøveprogram - hensikt med prøvetaking.</li> <li>• GPS koordinater for prøver.</li> <li>• Hva er et sannsynlig antall prøver for å avdekke hvilke typer leirskifre som er tilstede og som prosjektet vil/kan komme i kontakt med?</li> <li>• Vurder om prøvene(e) er representative.</li> <li>• Hvordan er prøven fremskaffet (borekaks, kjerneboring, fra terreng, utsprengte masser)?</li> <li>• En skal være oppmerksom på at det kan være en blandprøve særlig der analys materialet er fra borekaks eller sprengestein fra tipp eller deponi.</li> <li>• Ta bilde(r) av området prøve er tatt.</li> <li>• Hvordan er prøvematerialet valgt ut.</li> </ul>
Kjemisk karakterisering	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se på konsentrasjoner av grunnstoffer i analysen.</li> <li>• Legg analysen (fortrinnsvis) inn i et regneark som kan regne ut verdier i et ternærplot (trekantplot). Sammenlign med diagram som viser referanseanalyser.</li> <li>• Legg analysen(e) inn i et diagram som viser forholdet mellom jern og svovel i mol/tonn. En må her regne konsentrasjoner om fra vektprosent til mol</li> <li>• Legg analysen(e) inn i et diagram som viser NP mot AP med omregningsfaktor for ekvivalenter for CaCO<sub>3</sub> som må tilføres for å nøytralisere en analyse.</li> <li>• TIC-TOC-S diagram.</li> <li>• Ca-Mg-Fe diagram. Hvor plasseres analysen?</li> <li>• Sammenlign diagrammene med referanser for leirskifrene i kambo-silurlagrekken.</li> <li>• Uran og bestemmelser for radioaktivt avfall. Analyser utføres tilpasset dette kravet.</li> </ul>



## 8 Referanser

Evangelou, V.P., and Zhang, Y.L. (1995). A review, pyrite-oxidation mechanisms and acid mine drainage prevention. *Critical Rev. Environ. Sci. Technol.*, 25, 141-199.

Forurensningsforskriften (2012) Forskrift om begrensning av forurensning. Klima- og miljødepartementet, Oslo.

Lawrence, R.W., and Wang, Y. (1997). Determination of neutralization potential in the prediction of acid rock drainage. In *Proceedings of the 4th Int. Conf. On Acid Rock Drainage*. MEND, NRC, Ottawa, ON, 1: 451-464.

NGF (2013) Landet blir til - Norges geologi. Norsk Geologisk Forening, Trondheim.

Norges Geologiske Undersøkelse (NGU). Berggrunnsgeologiske kart i 1:250000 og 1:50000 seriene.

Owen et al. (1990). The Ordovician successions of The Oslo Region, Norway; NGU, special publication 4

Statens strålevern (2012). Alunskifer – Kilde til radioaktivt avfall og radioaktiv forurensning. StrålevernInfo 7-12.

Statens strålevern (2011). Alunskiferkart for vurdering av hensynssoner for radon i henhold til plan- og bygningsloven.

<b>Dokumentinformasjon/Document information</b>		
<b>Dokumenttittel/Document title</b> Identifisering og karakterisering av syredannende bergarter. Veileder for Miljødirektoratet.		<b>Dokumentnr./Document No.</b> 20120842-01-R
<b>Dokumenttype/Type of document</b> Rapport / Report	<b>Distribusjon/Distribution</b> Ingen/None	<b>Dato/Date</b> 2015-02-09
		<b>Rev.nr.&amp;dato/Rev.No.&amp;date</b> 0 /
<b>Oppdragsgiver/Client</b> Miljødirektoratet		
<b>Emneord/Keywords</b> Black shale, excavation, deposit sites, landfills, construction, sampling, chemical characterization, stratigraphy		

<b>Stedfesting/Geographical information</b>	
<b>Land, fylke/Country</b> Norge, Oslo	<b>Havområde/Offshore area</b>
<b>Kommune/Municipality</b> Oslo	<b>Felt navn/Field name</b>
<b>Sted/Location</b> NGI	<b>Sted/Location</b>
<b>Kartblad/Map</b>	<b>Felt, blokknr./Field, Block No.</b>
<b>UTM-koordinater/UTM-coordinates</b>	

<b>Dokumentkontroll/Document control</b>					
<b>Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001</b>					
<b>Rev/Rev.</b>	<b>Revisjonsgrunnlag/Reason for revision</b>	<b>Egenkontroll av/ Self review by:</b>	<b>Sidemanns- kontroll av/ Colleague review by:</b>	<b>Uavhengig kontroll av/ Independent review by:</b>	<b>Tverrfaglig kontroll av/ Inter- disciplinary review by:</b>
0	Originaldokument	2015-02-09 Erlend Sørmo	2015-02-09 Erik Endre	2015-02-09 Gijs Breedveld	

<b>Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release</b>	<b>Dato/Date</b> 9. februar 2015	<b>Prosjektleder/Project Manager</b> fungerende PL, Gijs Breedveld
--	-------------------------------------	---

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen ingeniørrelaterte geofag. Vi tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg, og hvordan jord og berg kan benyttes som byggegrunn og byggemateriale.

Vi arbeider i følgende markeder: Offshore energi – Bygg, anlegg og samferdsel – Naturfare – Miljøteknologi.

NGI er en privat næringsdrivende stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskaper i Houston, Texas, USA og i Perth, Western Australia.

[www.ngi.no](http://www.ngi.no)

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting within the geosciences. NGI develops optimum solutions for society and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the natural and built environment.

NGI works within the following sectors: Offshore energy – Building, Construction and Transportation – Natural Hazards – Environmental Engineering.

NGI is a private foundation with office and laboratories in Oslo, a branch office in Trondheim and daughter companies in Houston, Texas, USA and in Perth, Western Australia

[www.ngi.no](http://www.ngi.no)



