



Mellomlagring av svartskifer – når utgjør det en miljørisiko?

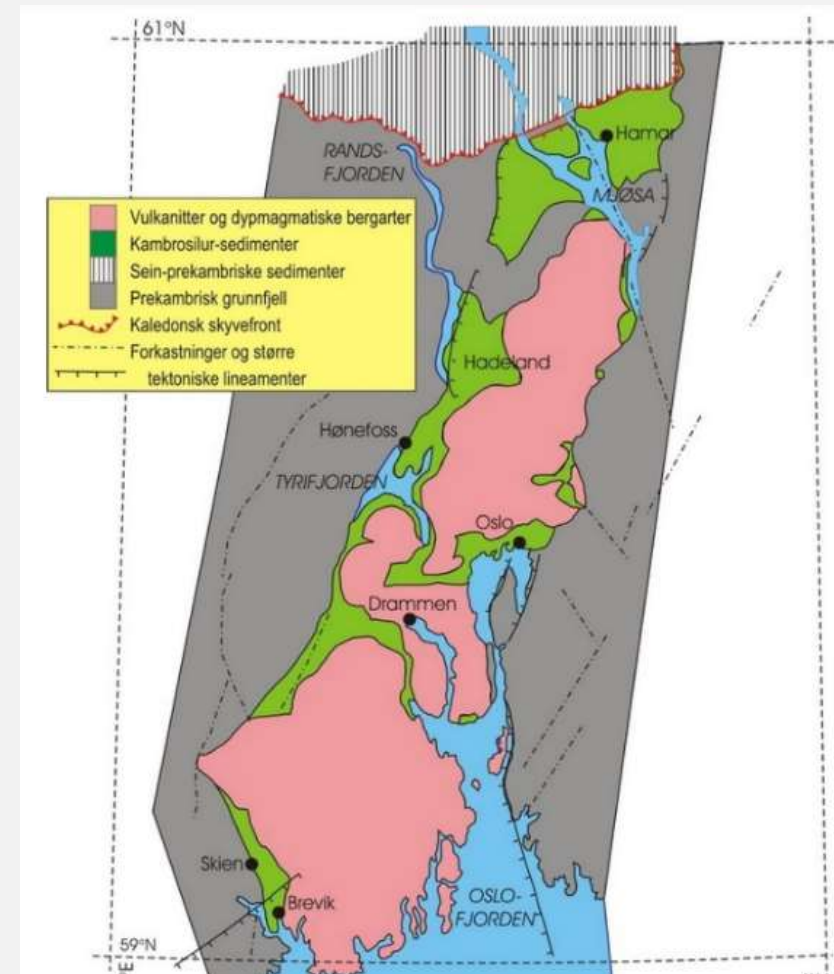
Marion Børresen, Frøydis Meen Wærsted,
Gøril Aasen Slinde og Gunvor Baardvik

Agenda

- Hva er svartskifer?
- Hvilke problemstillinger kan man møte når en tar ut slike masser og hvilke regler gjelder?
- Resultater fra utlekkingsforsøk med svartskifer

Hva er svartskifer?

- Svartskifer er en fellesbetegnelse på svarte leirskifre som er rike på organisk materiale (>0,5 % C)
- De har ofte et høyt innhold av sporstoffer (U, Th) og metaller (As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Zn, V)
- De har ofte et høyt innhold av S i form av sulfider
 - Svovelkis (pyritt) FeS_2
 - Magnetkis (pyrrhotitt) $\text{Fe}_{(1-x)}\text{S}$



Hvordan ser en svart leirskifer ut?

Alunskifer etasje 2 og 3a



Galgebergskifer
Etasje 3b β

Hvordan ser en svart leirskifer ut?



Elnesskifer
Etasje 4a



Kalkrik leirskifer



Hva er problematisk med svartskifre?

Generelt

- ↗ Syredannelse – sur avrenning
- ↗ Frigjøring av metaller og sporstoffer
- ↗ Radioaktivitet
- ↗ Selvantemming (i sjeldne tilfeller)

For konstruksjoner/bygninger

- ↗ Radongass
- ↗ Økt svelletrykk
- ↗ Forvitring av betong og stål



Syredannelse

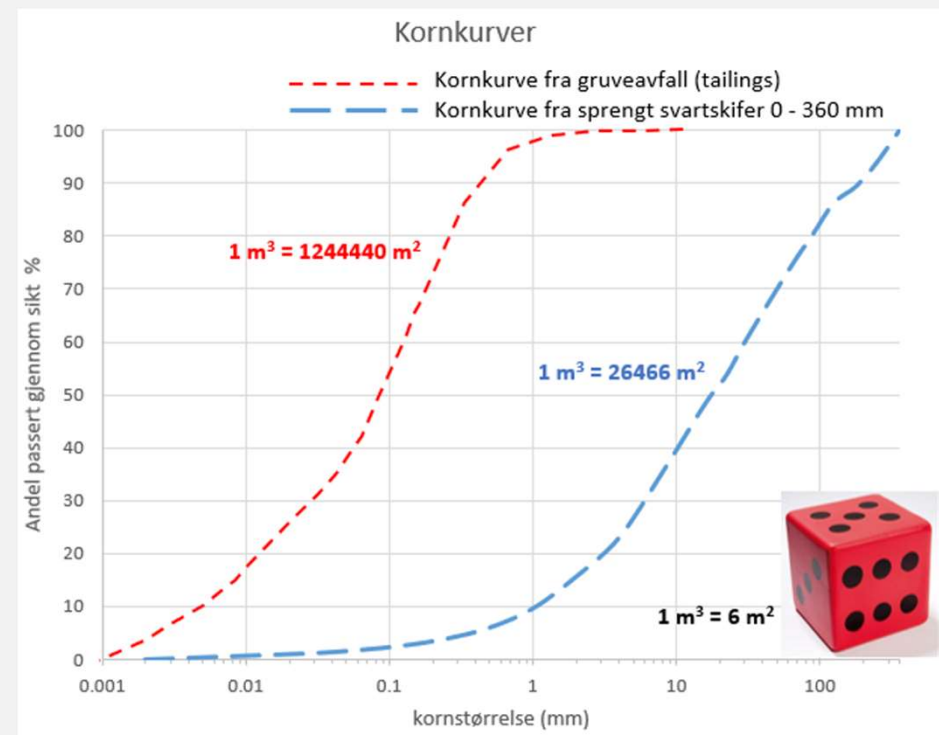
↗ Forurensningsforskriften § 2-3a:

«grunn som danner syre eller andre stoffer som kan medføre forurensning i kontakt med vann og/eller luft, regnes som forurenset grunn dersom ikke annet blir dokumentert»

→ Dette gjelder ikke urørte, naturlige løsmasser eller uforstyrret berggrunn

Overflateareal – betydning for forvittringshastighet

- Finkornet materiale har større tilgjengelig areal for forvitring, noe som fører til at forvittringsprosessene går raskere
- 1 m³ stein (som en terning) veier 2,62 tonn og har et overflateareal på 6 m²
- 1 m³ stein som er sprengt og kornene fordeler seg som den blå kurven, har et overflateareal på 26466 m²
- 1 m³ stein som tailings fra gruvedrift (malt opp) og kornene fordeler seg som den røde kurven, har et overflateareal på 1 244 440 m²



Radioaktivitet

- Forskrift om forurensningslovens anvendelse på radioaktiv forurensning og radioaktivt avfall, vedlegg Ia:

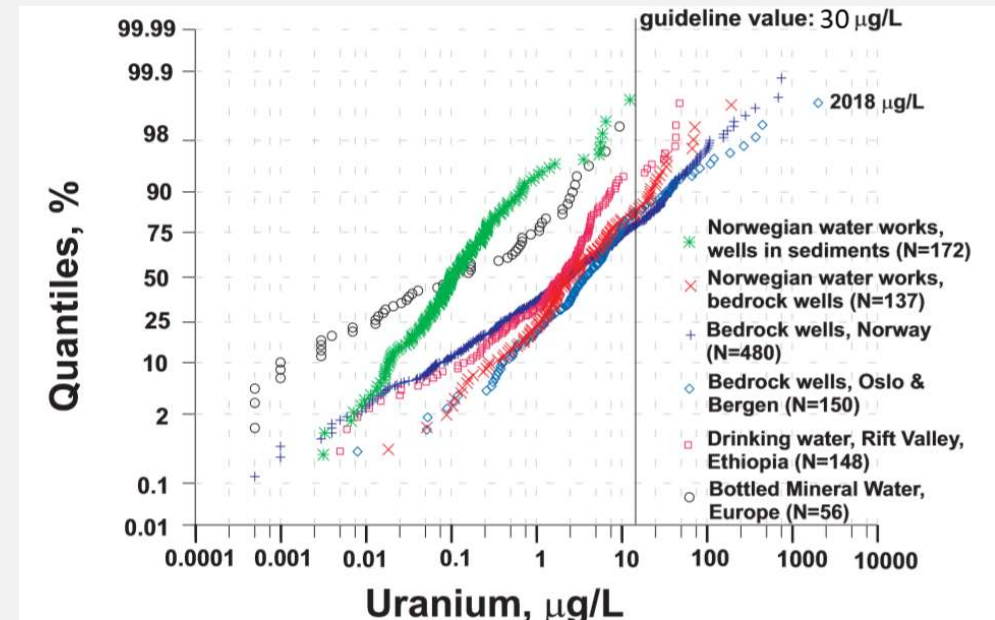
Utgravde masser med en total aktivitet på ≥ 1 Bq/g (≈ 80 mg/kg ^{238}U i likevekt med datternuklider) defineres som radioaktivt avfall og skal håndteres etter avfallsforskriftens kapittel 16.

- ➔ Dette gjelder ikke urørte, naturlige løsmasser eller uforstyrret berggrunn

| Bergart | Etasje | U (mg/kg) |
|-------------------------------|-------------|-----------|
| Alunskifer | 2 | 60 – 300 |
| Alunskifer | 3a | 30 – 150 |
| Hagabergskifer | 3b α | 5 – 20 |
| Galgebergskifer | 3b β | 10 – 40 |
| Huuskifer | 3c | 1 – 7 |
| Elnesskifer | 4a | <15 |
| Granitt | - | 5 – 40 |
| Rombeporfyr | - | 1 – 7 |
| Grense for radioaktivt avfall | - | Ca. 80 |

Radioaktivitet

- Det er ingen retningslinjer for innhold av U i vann i Norge.
- Det er restriksjoner på utslipp. For utslipp over 100 Bq eller 0,1 Bq/L må det søkes om utslippstillatelse hos DSA (Direktoratet for strålevern og atomsikkerhet).



Uranium in drinking water? NGU-fokus No. 6-2005 (NGU 2005)

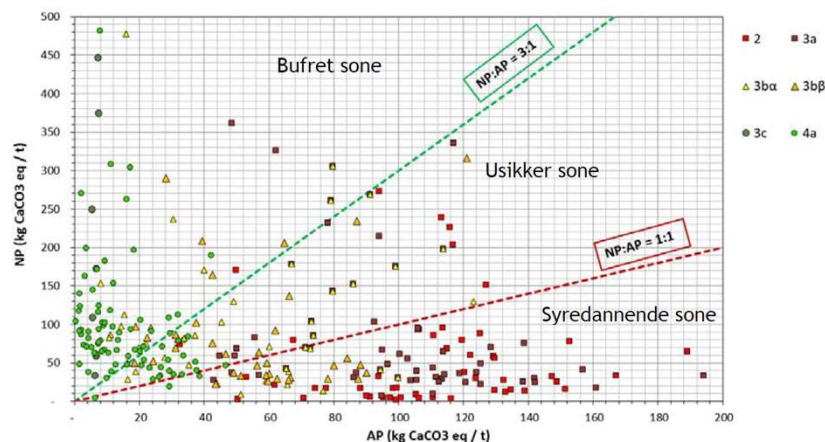
Hvordan avgjøre om svartskifer er potensielt syredannende?

Håndtering av potensielt syredannende svartskifer
Fagrapport M-2105/2021

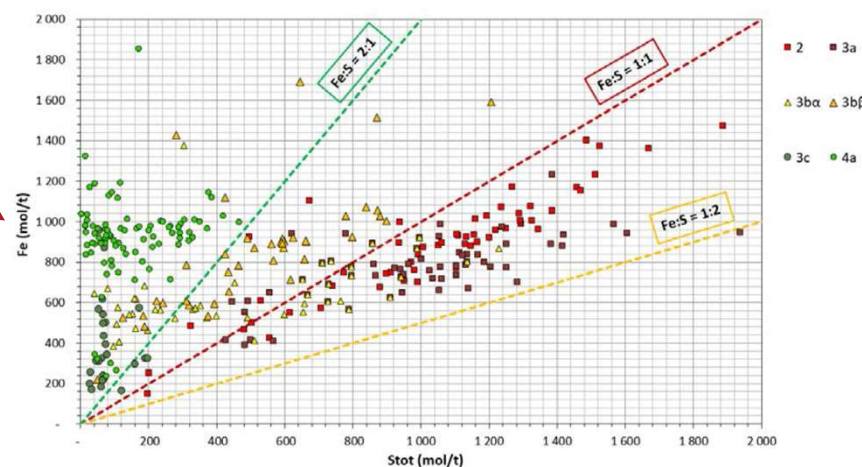
Kjemisk analyse

| Parameter | Prøve 1 | Prøve 2 | Prøve 3 |
|------------------------------------|---------|---------|---------|
| As (mg/kg) | 73 | 13 | 56 |
| Ba (mg/kg) | 791 | 689 | 886 |
| Cd (mg/kg) | 3,8 | 0,11 | 3,8 |
| Co (mg/kg) | 28 | 22 | 9,2 |
| Cr (mg/kg) | 70 | 463 | 63 |
| Cu (mg/kg) | 103 | 54 | 67 |
| Mo (mg/kg) | 144 | 1,9 | 120 |
| Nb (mg/kg) | 12 | 12 | 9,1 |
| Ni (mg/kg) | 203 | 198 | 95 |
| Pb (mg/kg) | 36 | 13 | 33 |
| S (mg/kg) | 52 500 | 12 300 | 15 500 |
| Sc (mg/kg) | 12 | 17 | 9,4 |
| Sn (mg/kg) | 2,7 | 2,5 | 2,6 |
| Sr (mg/kg) | 150 | 79,4 | 720 |
| Th (mg/kg) | 11 | 9,3 | 14 |
| U (mg/kg) | 86 | 3,8 | 244 |
| V (mg/kg) | 619 | 124 | 981 |
| Y (mg/kg) | 33 | 30 | 133 |
| Zn (mg/kg) | 146 | 103 | 197 |
| Zr (mg/kg) | 120 | 198 | 79 |
| Al ₂ O ₃ (%) | 11 | 16 | 8,6 |
| CaO (%) | 2,7 | 2,4 | 19 |
| Fe ₂ O ₃ (%) | 5,8 | 6,3 | 3,1 |
| K ₂ O (%) | 3,7 | 4,3 | 2,9 |
| MgO (%) | 0,94 | 3,6 | 1,6 |
| MnO (%) | 0,0259 | 0,0355 | 0,132 |
| Na ₂ O (%) | 0,523 | 0,769 | 0,354 |
| P ₂ O ₅ (%) | 0,174 | 0,0873 | 1,4 |
| SiO ₂ (%) | 39 | 54 | 39 |
| TiO ₂ (%) | 0,727 | 0,673 | 0,469 |
| TOC (%) | 9,4 | 0,612 | 1,6 |
| TIC (%) | 0,444 | 1,2 | 4,3 |

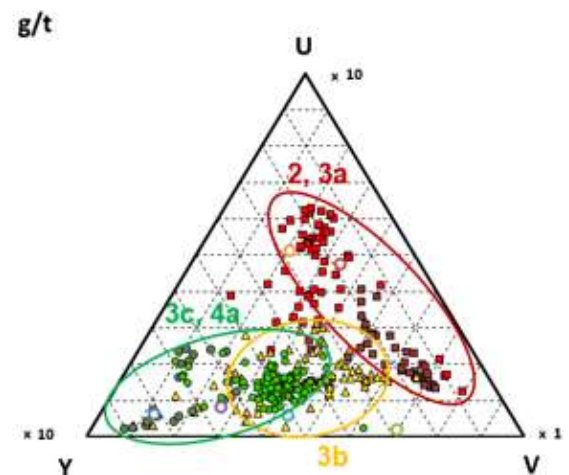
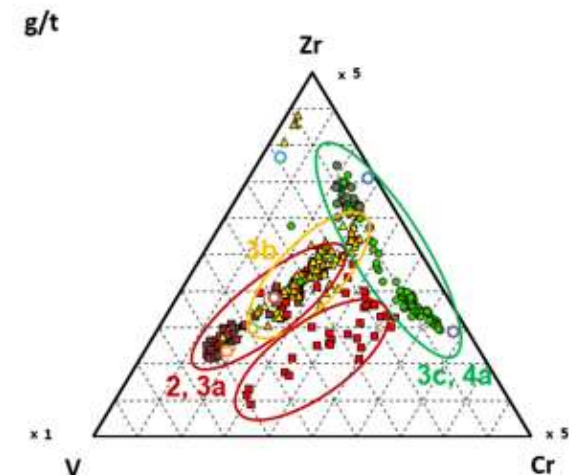
NP:AP



Fe:S



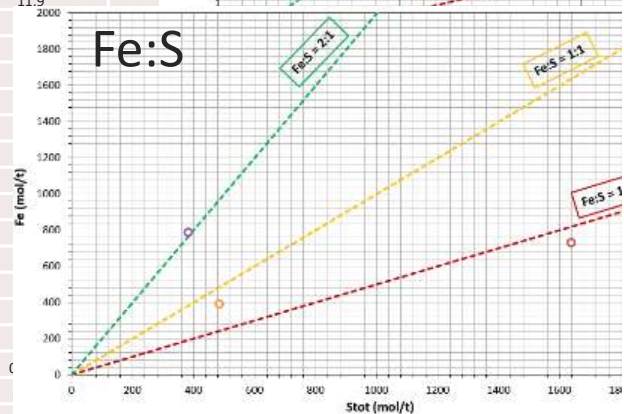
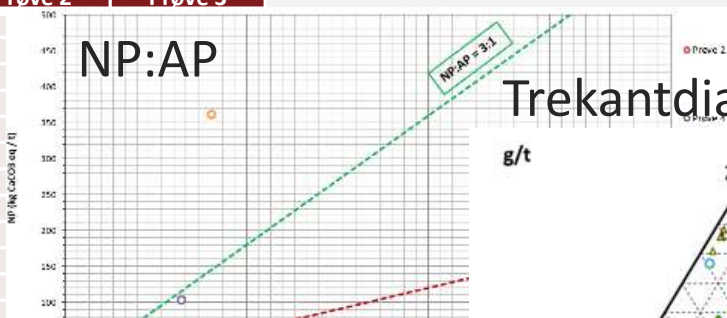
Trekantdiagrammer



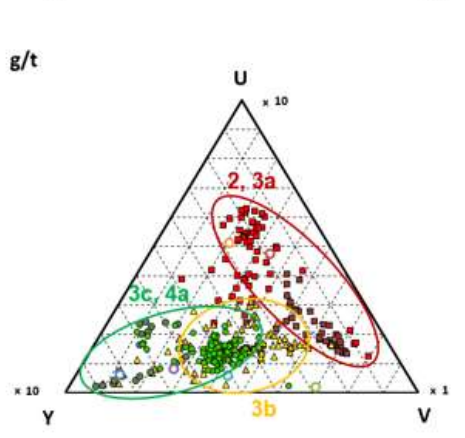
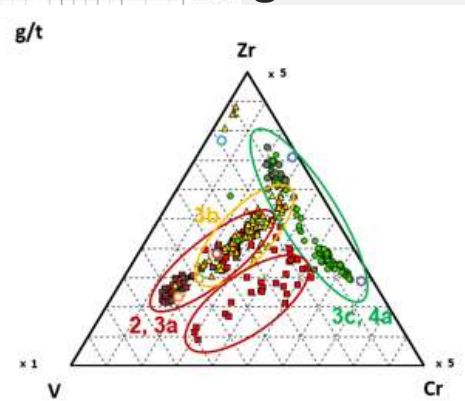
Hvordan avgjøre om svartskifer er potensielt syredannende?

Kjemisk analyse

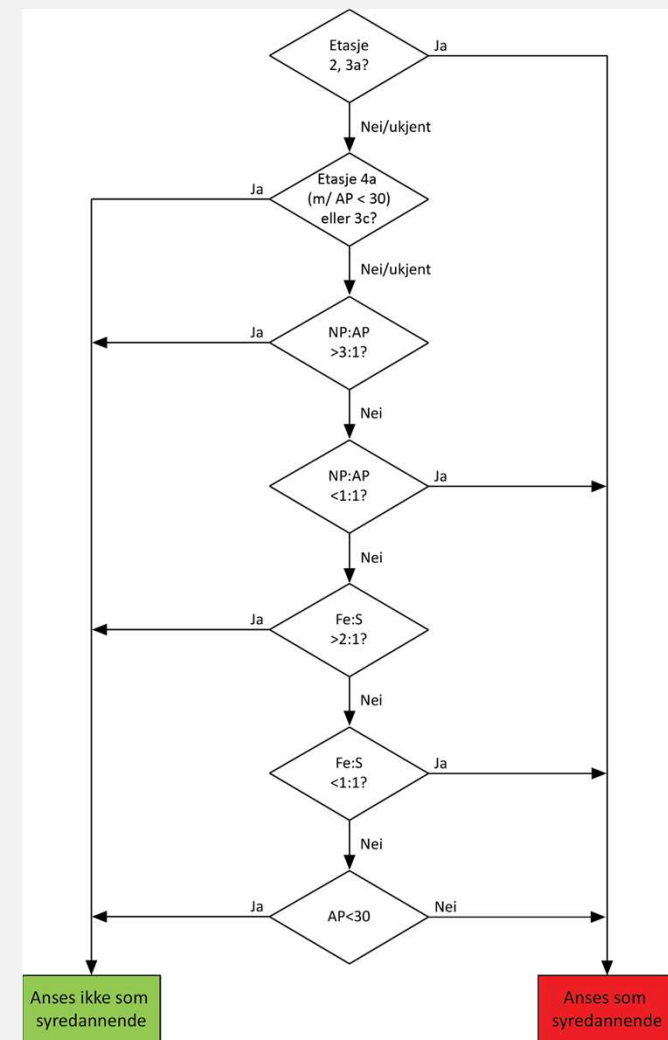
| Parameter | Prøve 1 | Prøve 2 | Prøve 3 |
|------------------------------------|---------|---------|---------|
| As (mg/kg) | 73,4 | | |
| Ba (mg/kg) | 791 | | |
| Cd (mg/kg) | 3,80 | | |
| Co (mg/kg) | 27,8 | | |
| Cr (mg/kg) | 69,5 | | |
| Cu (mg/kg) | 103 | | |
| Mo (mg/kg) | 144,0 | | |
| Nb (mg/kg) | 11,5 | | |
| Ni (mg/kg) | 203 | | |
| Pb (mg/kg) | 36,1 | | |
| S (mg/kg) | 52500 | | |
| Sc (mg/kg) | 11,9 | | |
| Sn (mg/kg) | | | |
| Sr (mg/kg) | | | |
| Th (mg/kg) | | | |
| U (mg/kg) | | | |
| V (mg/kg) | | | |
| Y (mg/kg) | | | |
| Zn (mg/kg) | | | |
| Zr (mg/kg) | | | |
| Al ₂ O ₃ (%) | | | |
| CaO (%) | | | |
| Fe ₂ O ₃ (%) | | | |
| K ₂ O (%) | | | |
| MgO (%) | | | |
| MnO (%) | | | |
| Na ₂ O (%) | | | |
| P ₂ O ₅ (%) | 0,174 | 0,0873 | 1,37 |
| SiO ₂ | 38,6 | 53,9 | 39,2 |
| TiO ₂ (%) | 0,727 | 0,673 | 0,469 |
| TOC (%) | 9,41 | 0,612 | 1,61 |
| TIC (%) | 0,444 | 1,24 | 4,34 |



Trekantdiagrammer



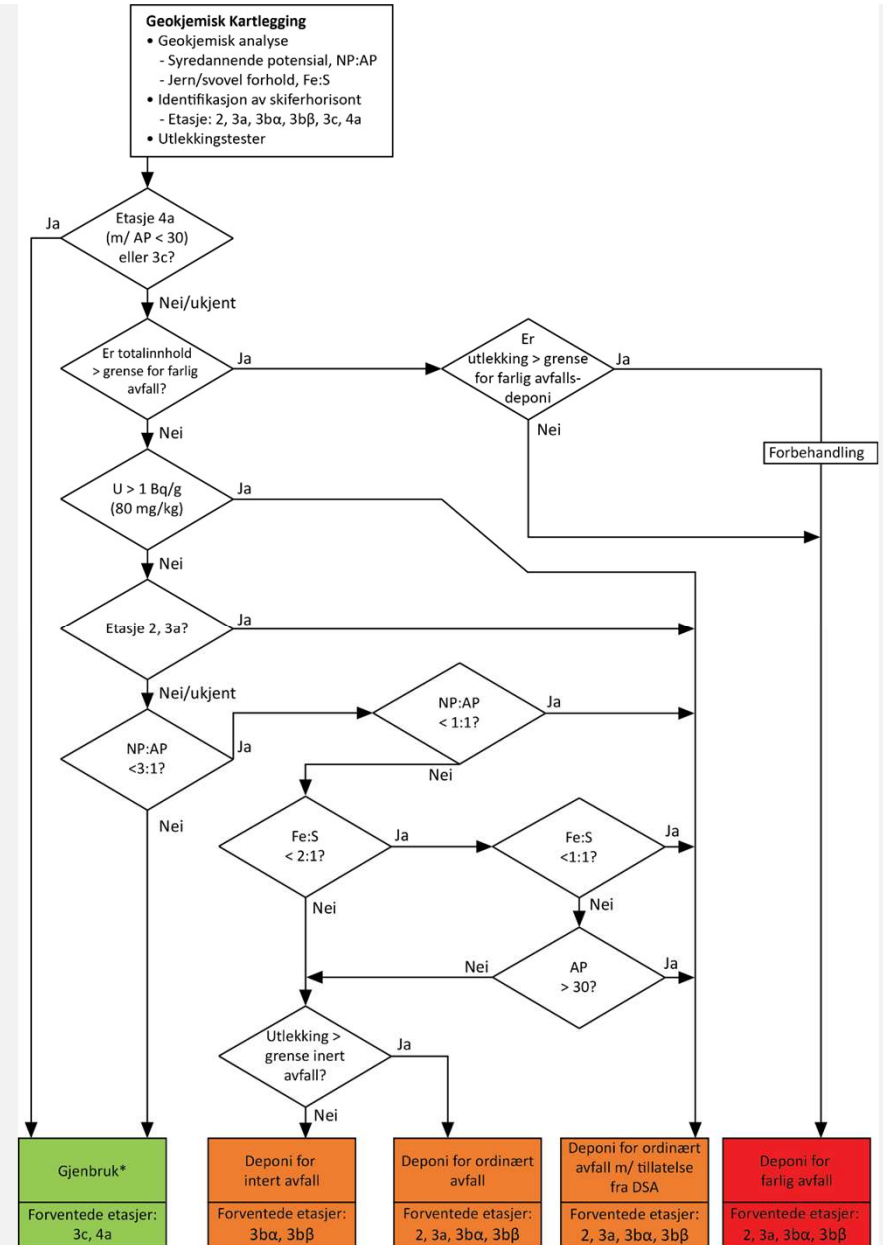
Flytskjema



Flytskjema deponering

Flytskjema for avfallskarakterisering av leirskifer i den kambrosiluriske lagrekken.

Viktig å få syredannende masser på riktig deponi, men også viktig å ikke fylle opp deponier med rene masser.



Mellomlagring

- Kan være behov for mellomlagring av skifer i anleggsfasen og på mottak og deponier
- Tidligere veileder: Mellomlagring av masser anbefales å være så kort som mulig og skal ikke overskride åtte uker for frisk skifer



Alt er mulig under bakken. Gjør vi det på den smarteste måten?
«Under Oslo» er et forskningsprosjekt som skal sette lys på blant annet innovasjon, bærekraft og økonomi knyttet til bygging under bakken.

- Intro til WP1 svartskifer:
<https://www.youtube.com/watch?v=K2zfMXKUSQk>
- Film om resultater fra WP1:
<https://www.youtube.com/watch?v=-6XQImCgGsE>



UNDER OSLO

Illustrasjon: Statens vegvesen/Aas-Jakobsen

NGI

WP1:
Svartskifer

WP2: Oppfølging
av poretrykk og
injeksjon

WP3: Helhetlig
planlegging

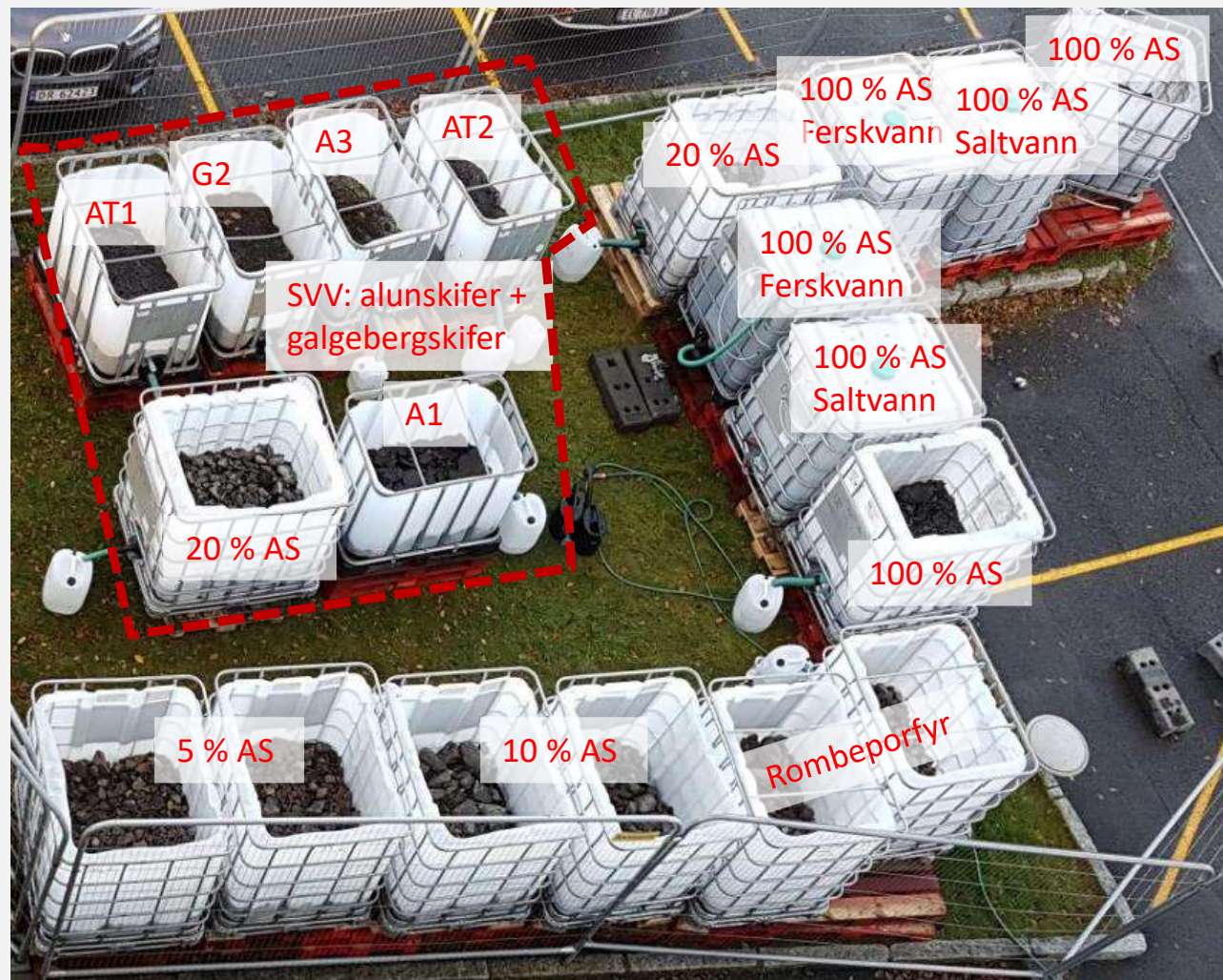
WP4: Bærekraftig
miljøpåvirkning
av grunnarbeider

Kontainerforsøk

- Effekt av lagringsforhold:
 - Åpen, regner gjennom
 - Lukket, uten tilførsel av luft
 - Dekket av ferskvann
 - Dekket av saltvann

- AS – svartskifer fra E16 Kleggerud (Skanska)
- Rombeporfyr fra pukkverk i Nittedal
- AT1, AT2, A1, A3, G2 – svartskifer fra Rv4 Gran

NGI (SVV)



Kontainerforsøk SVV

Startet i 2014/2015

Prøvetatt 2014-2016

Flyttet til NGI oktober 2020

- ↗ 2 x Alunskifer fra skjæring
- ↗ 2 x Alunskifer fra tunnel
- ↗ 1 x Galgebergskifer

Forsøkene er gjort uten tildekking





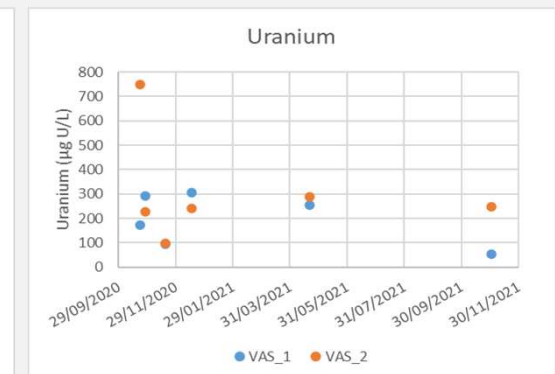
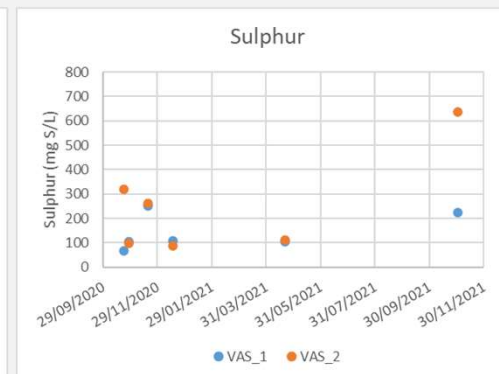
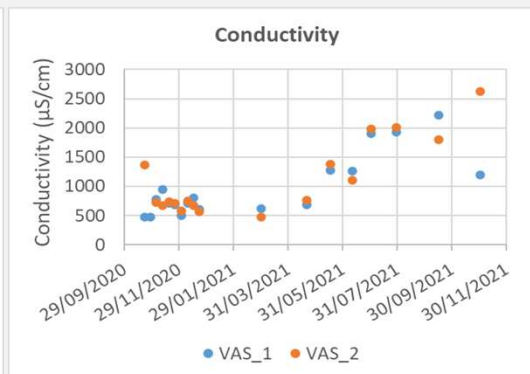
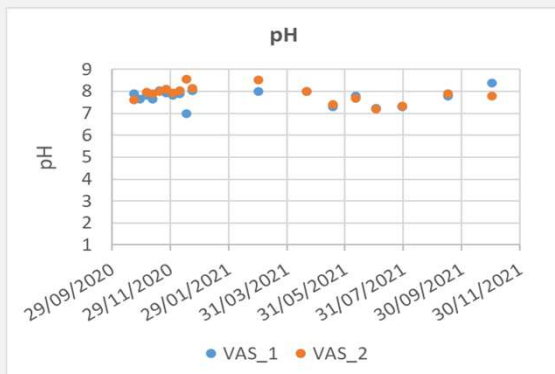
Kontainerforsøk, faststoffanalyser

| | Alunskifer (Kleggerud) | Alunskifer (Gran, tunnel) | Alunskifer (Gran, skjæring) | Galgeberg- skifer (Gran) | Rombe- porfyr (Nittedal) |
|--------------|---------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Etasje | 2 og 3a | 3a | 2 | 3b β | - |
| S (g/kg) | 19 | 47 | 54 | 12 | 0,6 |
| Uran (mg/kg) | 69 | 140 | 165 | 35 | 7 |
| Ca (g/kg) | 9 | 15 | 55 | 8 | 34 |

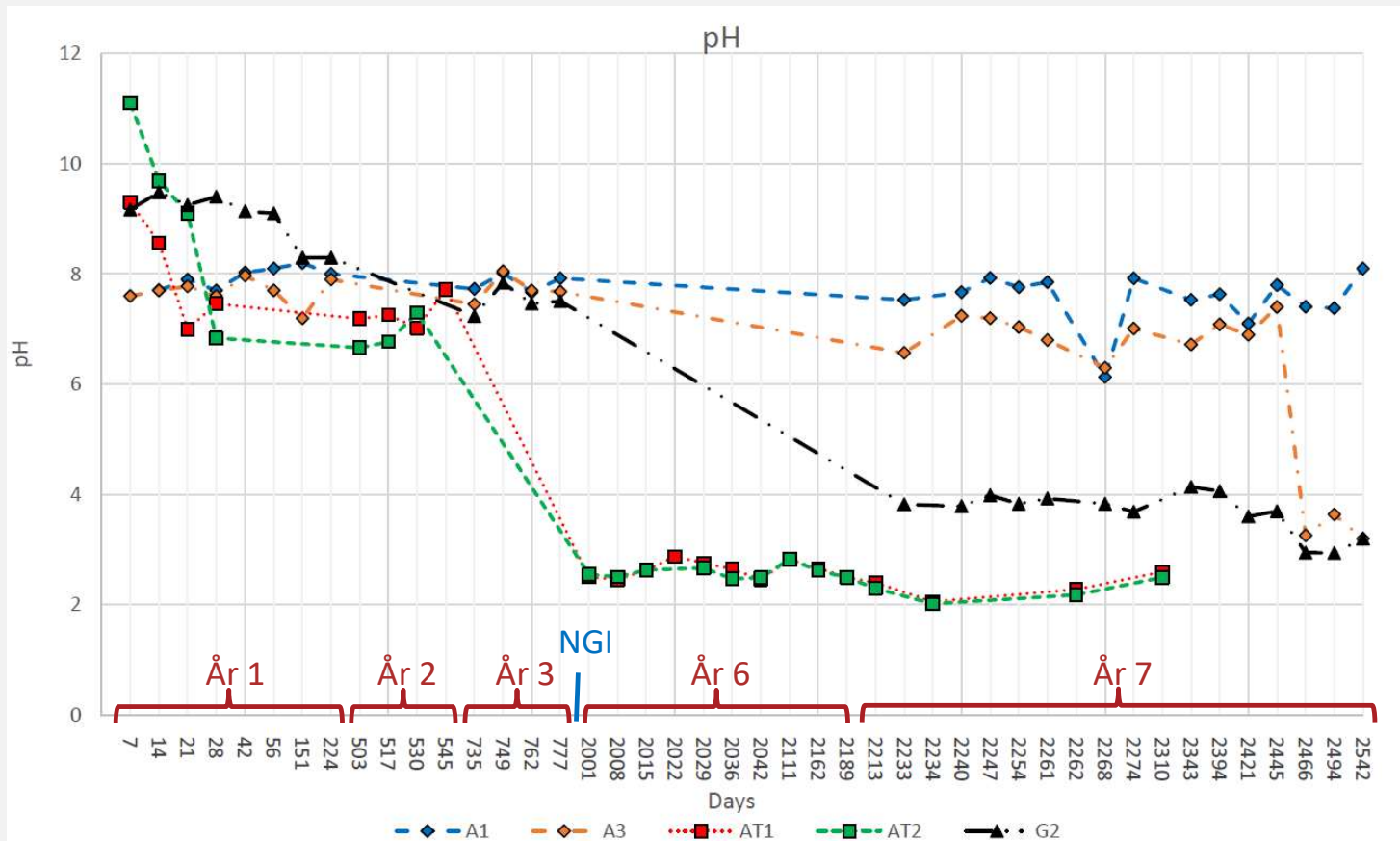
Kontainerforsøk – nyoppstartede Kleggerud

Etter 1 år (i oppsamlet eluat)

- pH er nøytral, ingen klar nedadgående trend
- Ledningsevnen og S er oppadgående
- Urankonsentrasjonen er nedadgående



Resultater SVV kontainere (Gran)



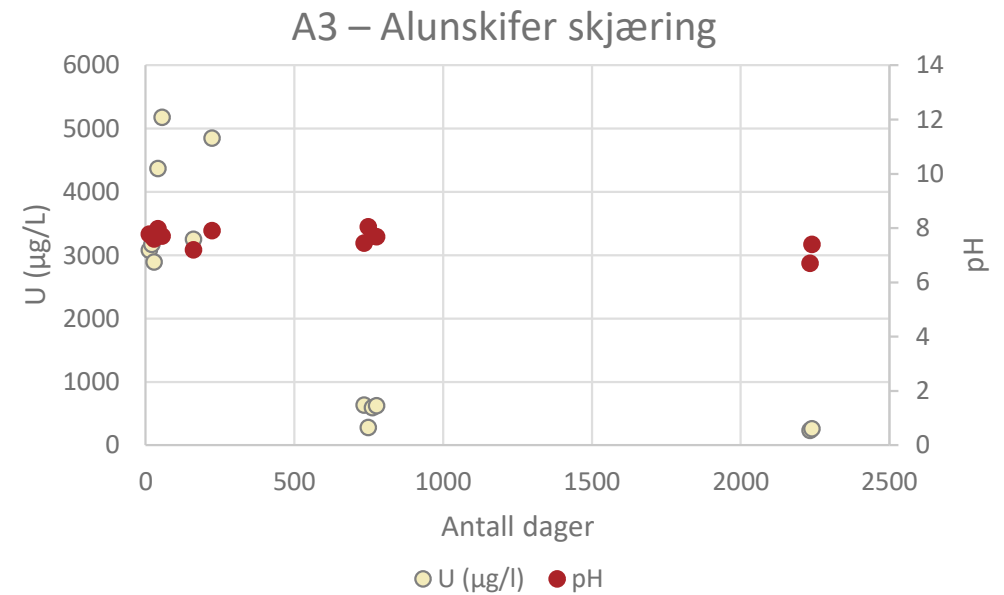
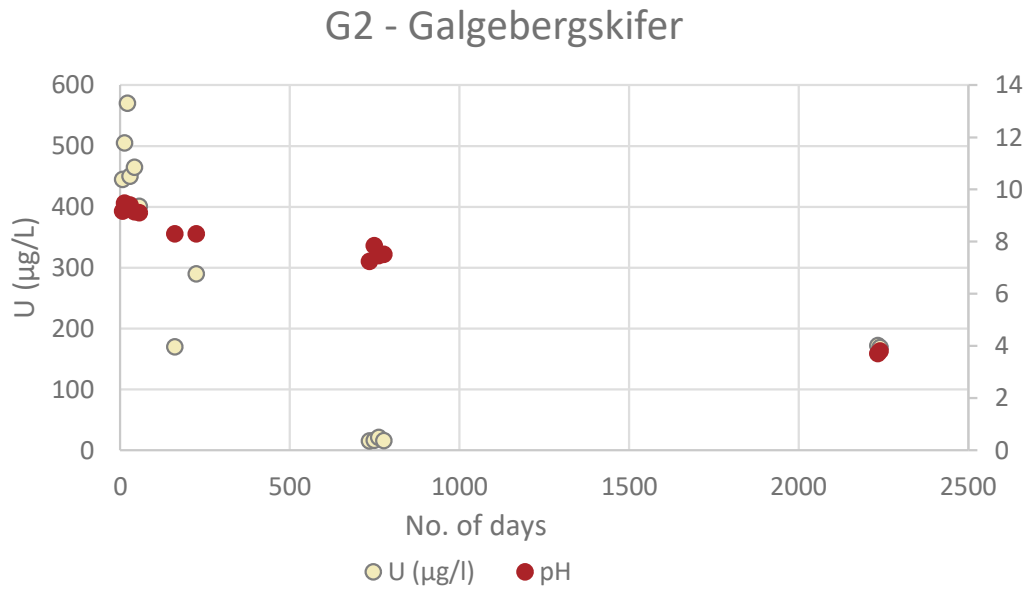
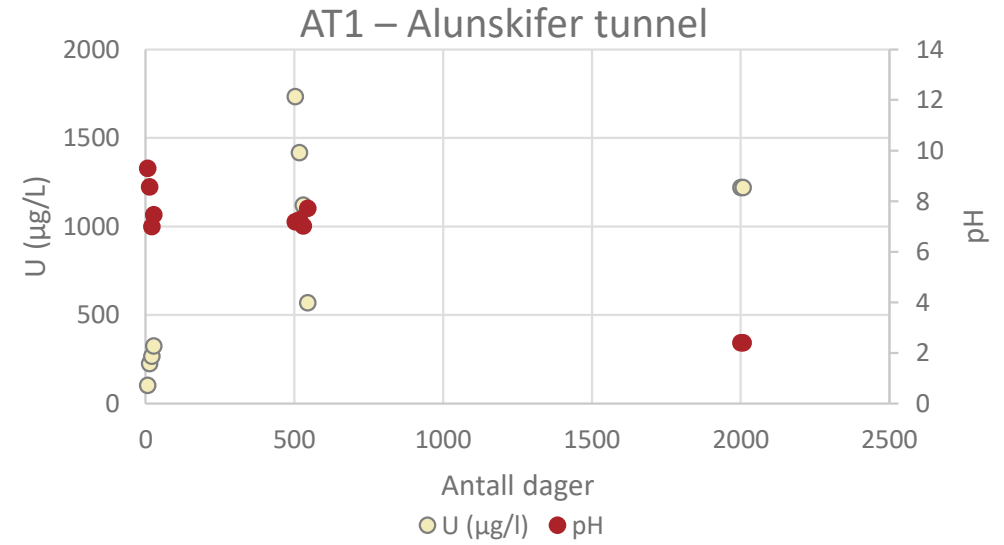
Alunskifer tunnel (AT1 og AT2):
pH nedgang mellom 2 og 6 år

Alunskifer skjæring (A1 og A3):
pH nedgang etter 7 år

Galgebergskifer (G2):
pH nedgang mellom 3 og 7 år

Figur: Lars Andre Erstad (UiO)

Resultater SVV-kontainere



Resultater - sammendrag

| Prøve | pH | SO ₄ (mg/L) | Al (µg/L) | Cr (µg/L) | Cu (µg/L) | Pb (µg/L) | U (µg/L) |
|-------------------------------------|-----|---------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| Forvitret alunskifer (5 år) | 2,4 | 2900 | 27 600 | 39 | 3190 | 1,1 | 1220 |
| Forvitret galgebergskifer (6 år) | 3,8 | 1800 | 9170 | 0,4 | 795 | 4,4 | 169 |
| Uforvitret alunskifer (8 uker) | 7,7 | 1730 | <10 | <0,5 | 12 | <0,5 | 5180 |
| Uforvitret alunskifer (2 uker) | 8,6 | 554 | 26 | 12 | <5 | <0,5 | 225 |
| Uforvitret alunskifer (2 uker) | 7,8 | 330 | 4 | 0,03 | 0,3 | 0,02 | 289 |
| Uforvitret galgebergskifer (1 uker) | 9,2 | 186 | 185 | 0,9 | <5 | <0,5 | 445 |
| Uforvitret alunskifer (1 dag) | 6,9 | 1000 | <60 | <20 | <7 | <8 | 704 |

Resultater fra Fagrapport til Miljødirektoratet – Håndtering av potensielt syredannende svartskifer M-2105/2021

Mellomlagring

- Det tar minst et år før det påvises senkning av pH i alle de undersøkte svartskifrene
- Ved mindre kornstørrelser går forvitningsprosessene raskere enn ved større

pH synker etter > 1 år

→ 6 måneder mellomlagring er trygt med hensyn til syredannelse

Anbefaling i ny fagrapport:

Maksimalt 6 måneder mellomlagring, men tiden må fordeles mellom utbygger og deponi





Takk for meg!
Spørsmål? 😊



#påsikkergrunn

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT
NGI.NO