



Behandling av alunskifer

Frøydis Meen Wærsted, Gøril Aasen Slinde, Gunvor
Baardvik, Christian Totland, Marion Børresen, Jenny Langford

SVV: Per Hagelia, Haldis Fjermestad

Agenda

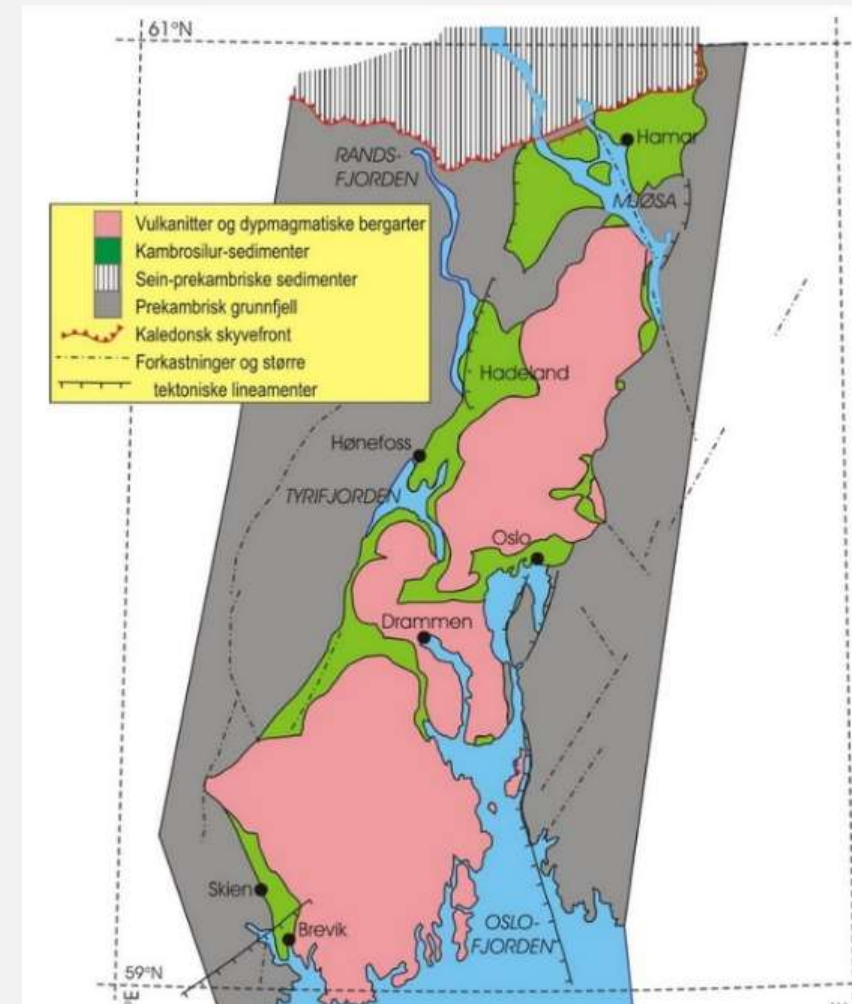
- Hvorfor er alunskifer forurenset? Gjelder det bare alunskifer, eller andre svarte leirskifer også?
- Hvilke problemstillinger kan en møte på når en tar ut alunskifermasser, her omtales:
 - Hvordan håndterer vi syredannende masser som er blandet med masser som ikke er syredannende?
 - Hvor lenge kan syredannende masser mellomlagres?
- Hvordan har NGI forsket på problemstillingene, og hva er resultatene?
- Ny fagrappport på Svartskifer: M-2105

Hva er problematisk med svarte leirskifre?

➤ 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 uforstyrret grunn



Syredannelse

- Svarte leirskifre inneholder sulfider
 - Svovelkis (pyritt) FeS_2
 - Magnetkis (pyrrhotitt) $\text{Fe}_{(1-x)}\text{S}$
- Sulfider reagerer med luft og vann og produserer svovelsyre
- Surt vann øker løseligheten til metaller
- Bestandighet av konstruksjoner med sur avrenning
- Svelling



Foto: www.ktla.com



Foto: Erik Endre

Hvordan ser en svart leirskifer ut?

Alunskifer etasje 2 og 3a



Kalkrik leirskifer



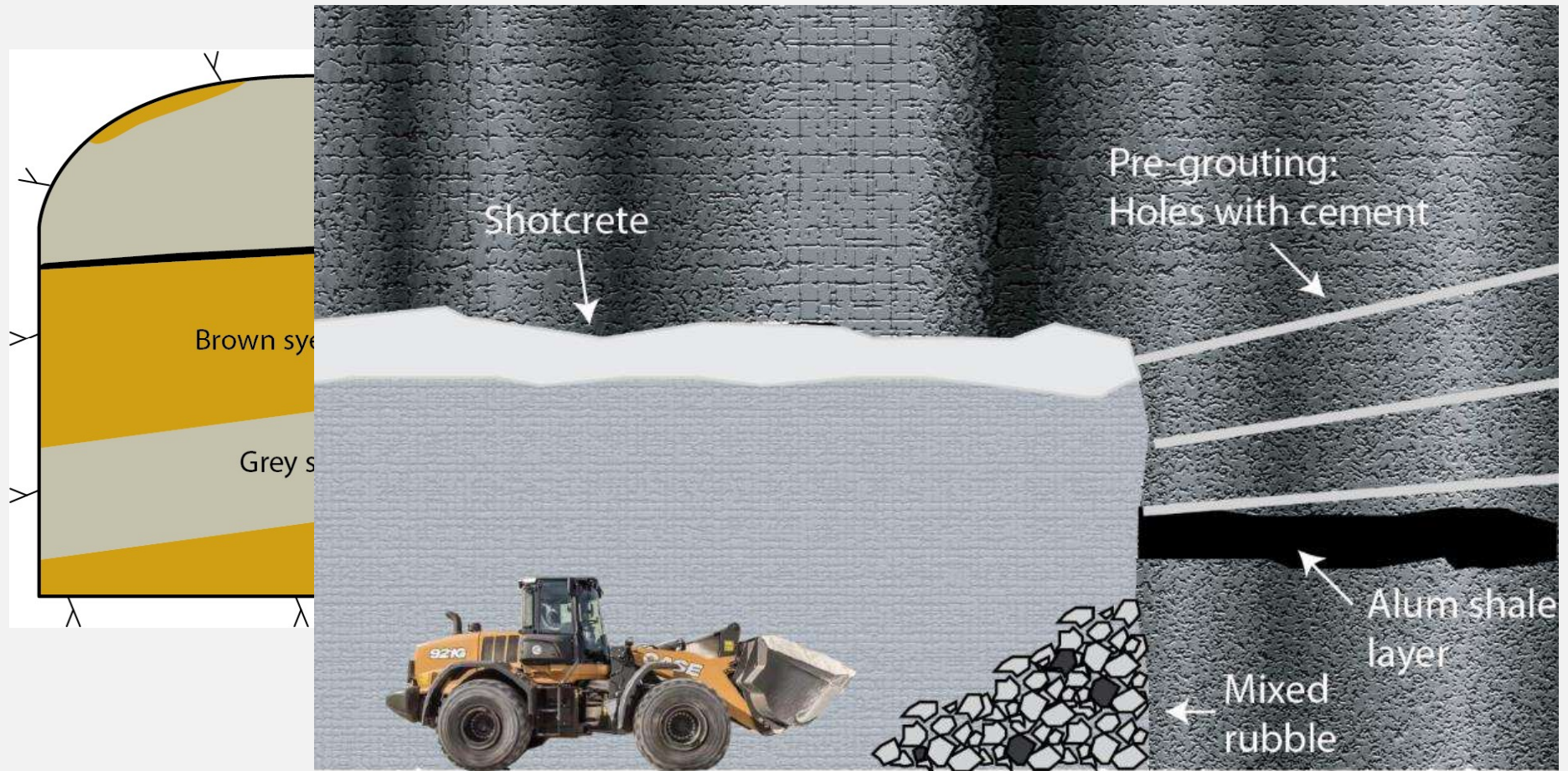
Elnesskifer
Etasje 4a



En skjæring i svartskifer på Jevnaker



Naturlige blandmasser



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

Hvordan er syredannelse fra naturlige blandmasser?

Alunskifer (E16 Kleggerud, Skanska)



Rene masser:
Rombeporfyr

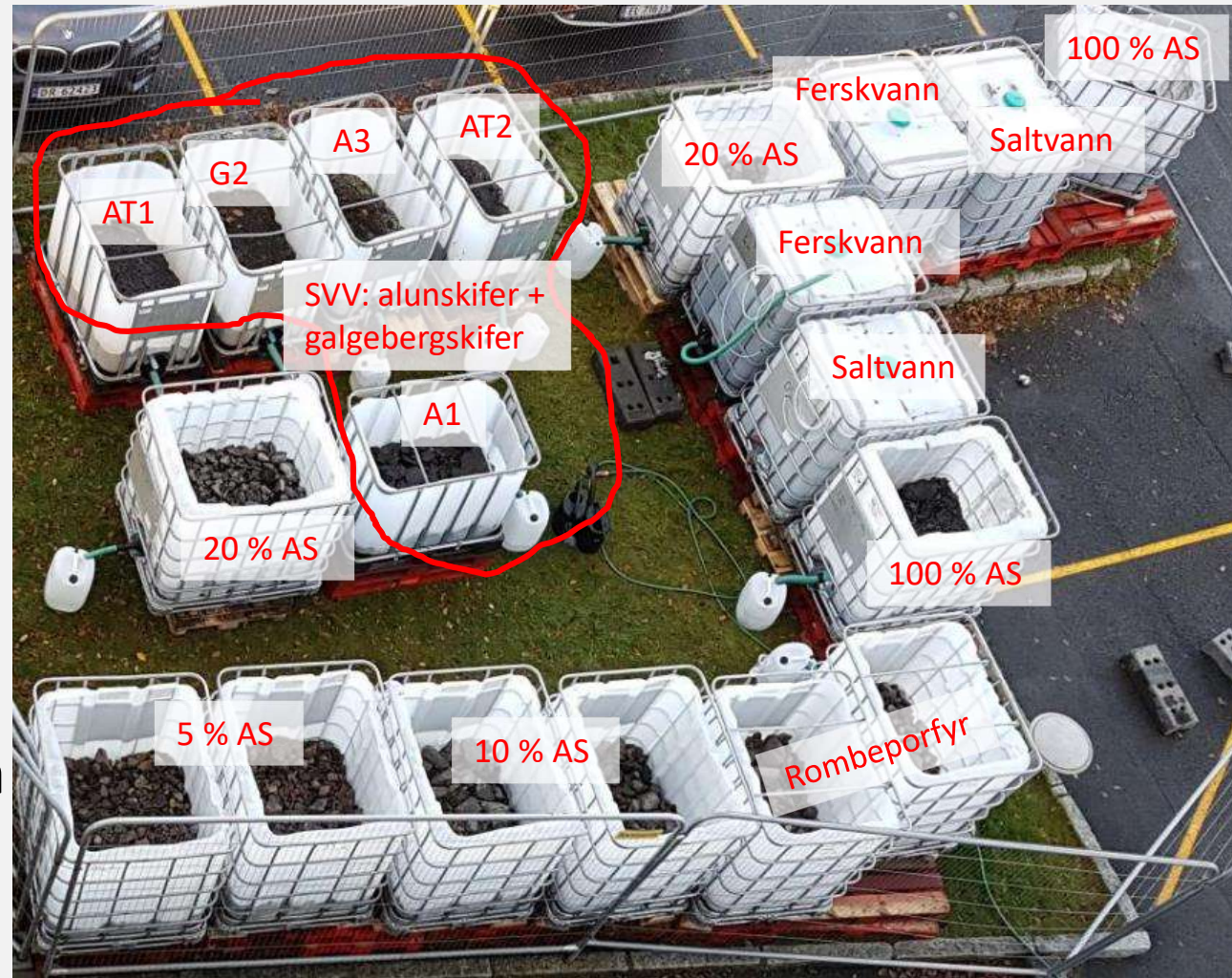
Kontainerforsøk

Går til 2028 (også tilknyttet SFI earthresQue)

Effekt av lagringsforhold:

- Lukket
- Åpen, regner gjennom
- Referanser:
 - Dekket av ferskvann
 - Dekket av saltvann

Stein fra SVV fra Rv4 på Gran og Kleggerud (Skanska)



Kontainerforsøk

Går til 2028 (også tilknyttet SFI earthresQue)

Effekt av lagringsforhold:

- Lukket
- Åpen, re
- Referanser:
 - Dekket av ferskvann
 - Dekket av saltvann

Stein fra SVV fra Rv4 på Gran og Kleggerud (Skanska)



Kontainerforsøk SVV

Startet i 2014/2015

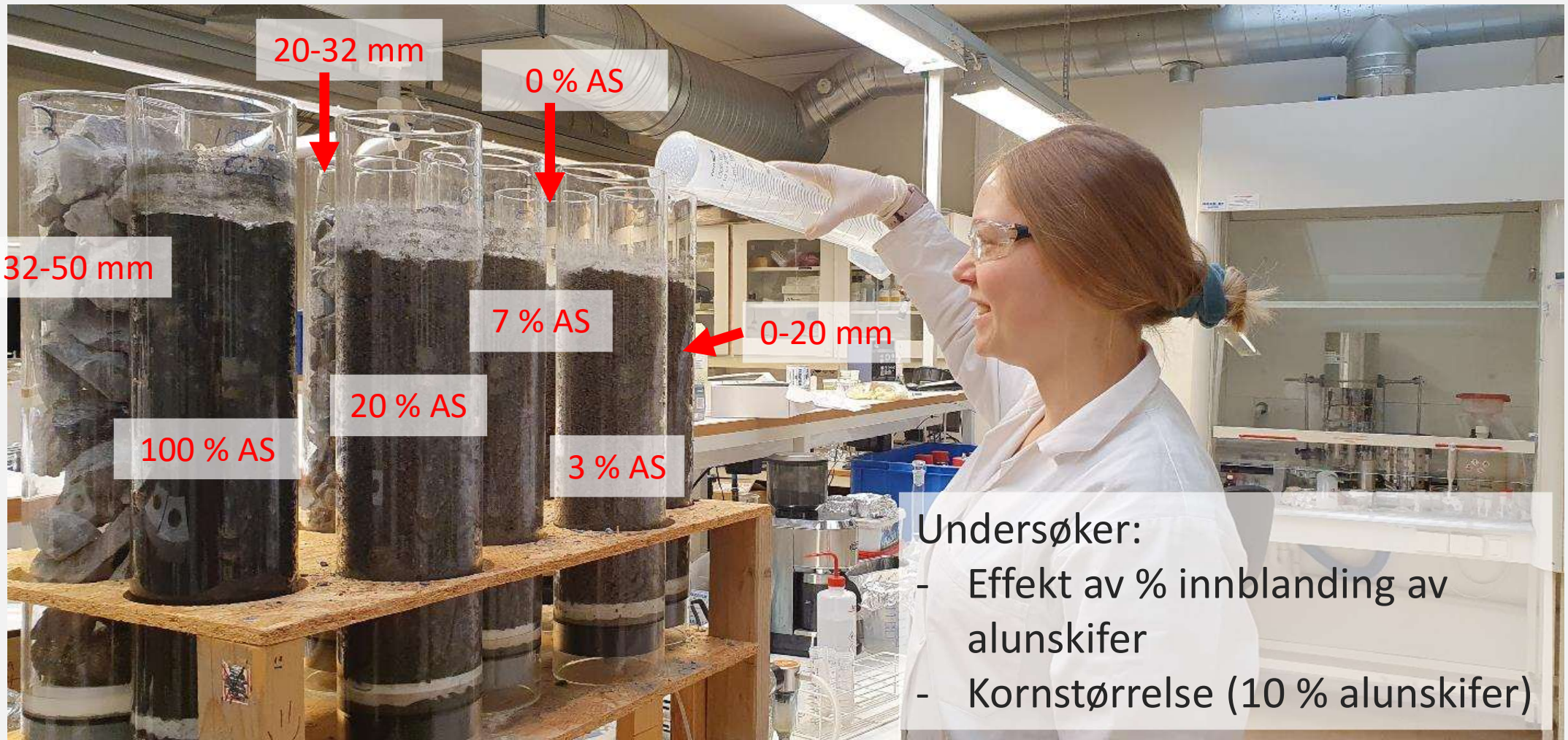
Prøvetatt 2014-2016

Flyttet til NGI okt. 2020

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

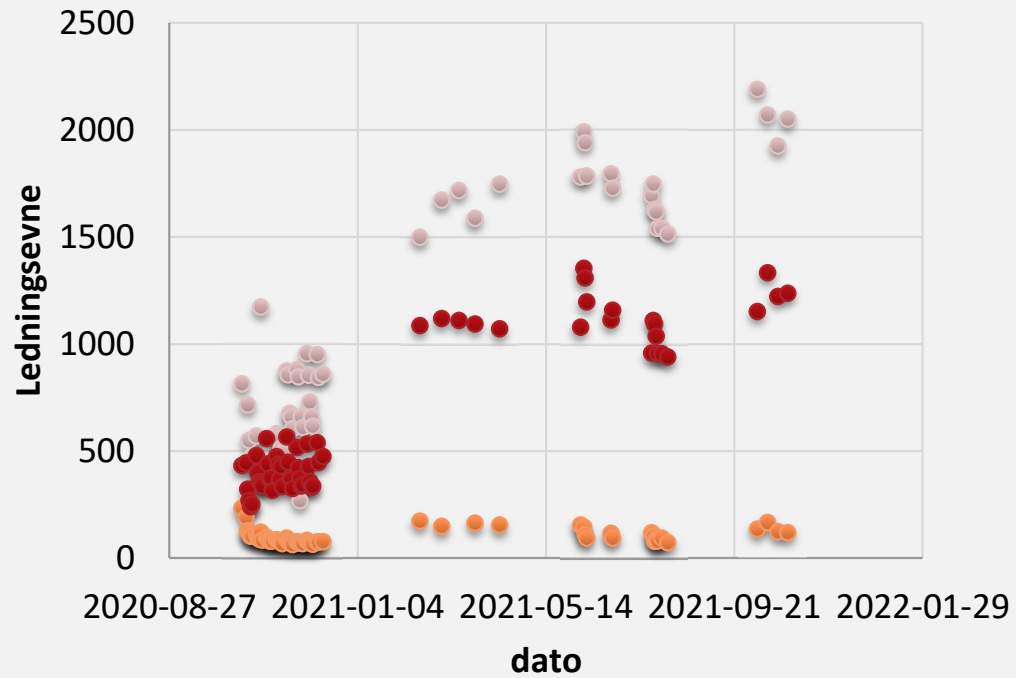


Kolonneforsøk på NGIs miljølab



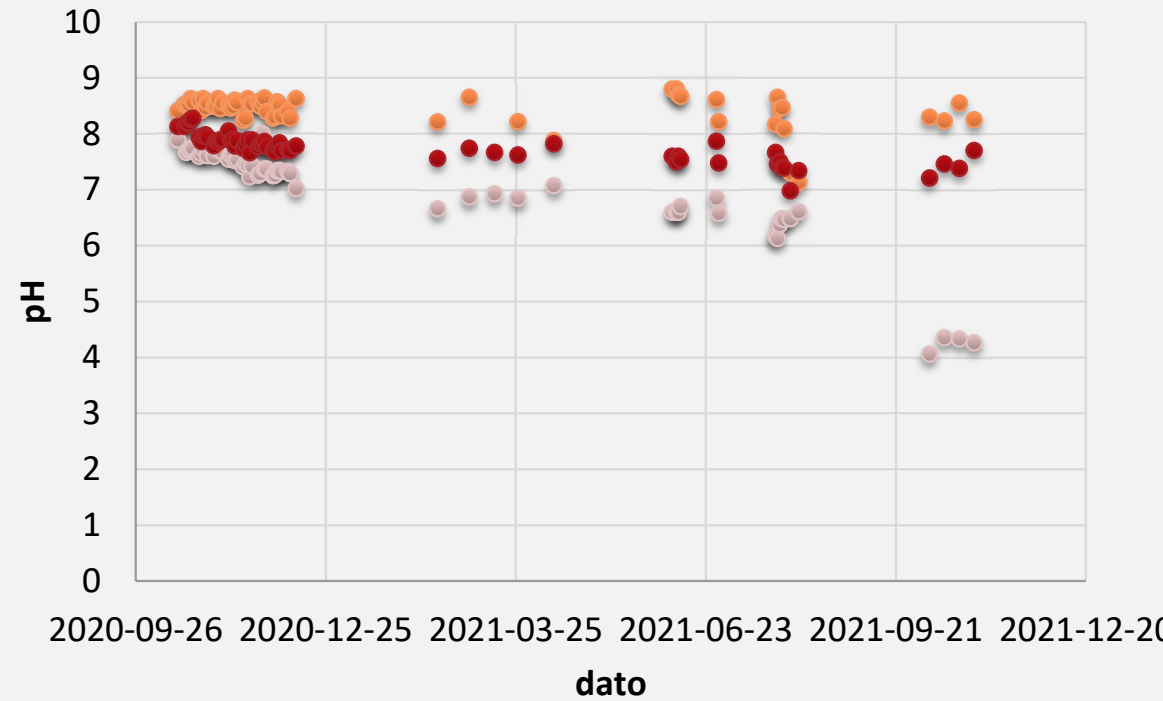
Effekt av % innblanding

Ledningsevne



● 100 % AS, 0-22 mm ● 0 % AS, 0-22 mm ● 20 % AS, 0.22 mm

pH



● 100 % AS, 0-22 mm ● 0 % AS, 0-22 mm ● 20 % AS, 0.22 mm

Mellomlagring

- Kan være behov for mellomlagring av skifer i anleggsfasen
- Tidligere tillatt: Maksimalt i åtte uker for frisk skifer



pH synker etter > 1 år

→ 6 mnd mellomlagring er trygt med hensyn til syredannelse

Ny anbefaling: Maksimalt 6 mnd mellomlagring, men tiden må fordeles mellom utbygger og deponi



Fagrapport: Svartskifer

NGI

RAPPORT

Identifisering av syredannende bergarter
VEILEDER FOR

DOK.NR. 201208-01-R
REV.NR. 0 / 2013-12-13
M-310|2015

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT
NGI.NO

- Ny versjon planlagt siden M-310 ble publisert i 2015
 - Formidling/brukervennlighet
 - Oppdatert kunnskap
 - Publisere grunnlagsdata for trekantdiagrammer
- Gjennomgang av både MDir og DSA
- Mangler: gneis og andre syredannende bergarter

NGI

NGI

M-310

M-385

NGI

RAPPORT

Håndtering av potensielt syredannende svartskifer
FAGRAPPOR TIL MILJØDIREKTORATET

DOK.NR. 20200680-01-R
REV.NR. 0 / 2021-12-13
M-2105|2021

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT
NGI.NO

➔ Grunnlag for webveileder

Innhold

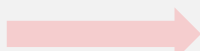
Sammendrag	4
English summary	6
1 Innledning	10
1.1 Hensikt og begrensninger	11
1.2 Bakgrunn	12
1.3 Nøkkelbegreper for syredannelse	15
1.4 Utbredelse	15
1.5 Relevant regelverk og anbefalinger	20
2 Identifisering og karakterisering av svartskifer og avfallstype	21
2.1 Informasjon fra geologiske kart	22
2.2 Geofysiske metoder for å identifisere svartskifer	22
2.3 Geologisk kartlegging med prøvetaking i felt	23
2.4 Bestemmelse av etasje ved hjelp av indeksfossiler	24
2.5 Geokjemiske analyser	25
2.6 Tolkning av analyseresultatene: er massene syredannende?	27
2.7 Klassifisering av avfallstype	34
3 Graving i og mellomlagring av svartskifer	40
3.1 Forarbeid før graving	40
3.2 Forvitrede masser, tidligere oppgravde masser og løsmasser	41
3.3 Disponering av massene	43
3.4 Mellomlagring før transport til deponi	43
3.5 Mottak av masser på deponi	44
3.6 Temperaturøkning og risiko for selvantennning	45
4 Tiltak og sluttdeponering	45
4.1 Tiltak for å begrense syredannende reaksjoner	45
4.2 Etablering av deponiceller for svartskifer	46
4.3 Tilsats av pH-regulerende materialer	47
4.4 Bunn- og sidetetting	48
4.5 Tildekking i driftsfasen	49
4.6 Redusere overflate	49
4.7 Komprimering	49
4.8 Sigevann	50
4.9 Toppdekke ved ulike deponiløsninger	54
4.10 Overvåking og etterdrift	57
4.11 Lokal disponering av svartskifer	58
5 Oppsummering og anbefalinger	59
6 Referanser/Leseliste	60

Vedlegg

Vedlegg A	Ordforklaringer
Vedlegg B	Eksempel på tolkning av analyserte data fra svartskifer
Vedlegg C	Referansedata for trekantdiagrammer
Vedlegg D	Faglig fordypning

Leirskiferlagrekken fra kambrosilur

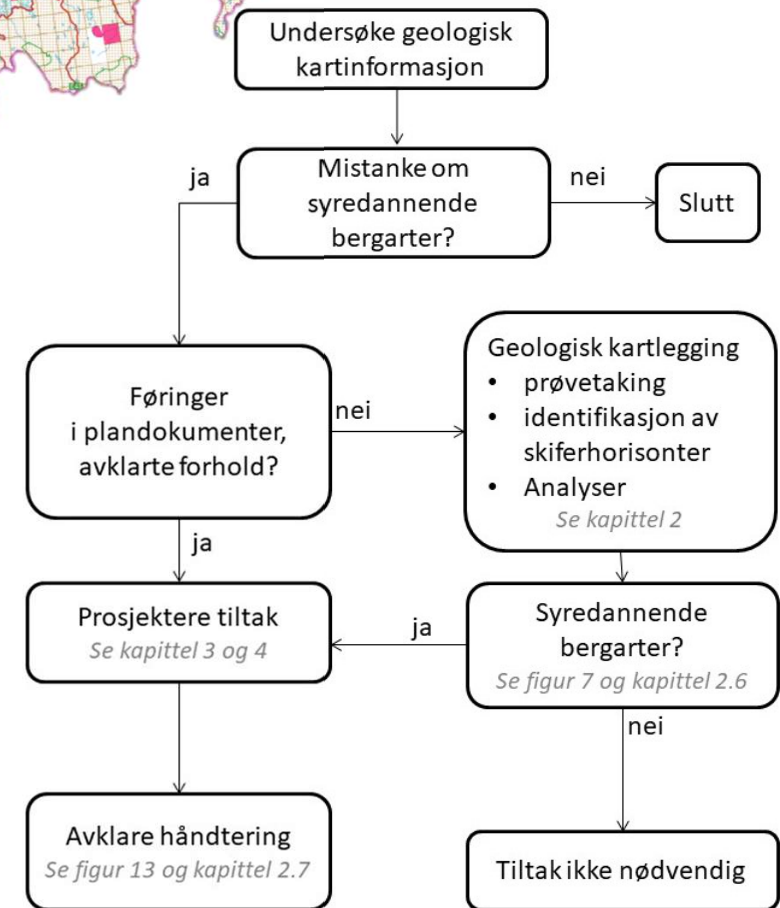
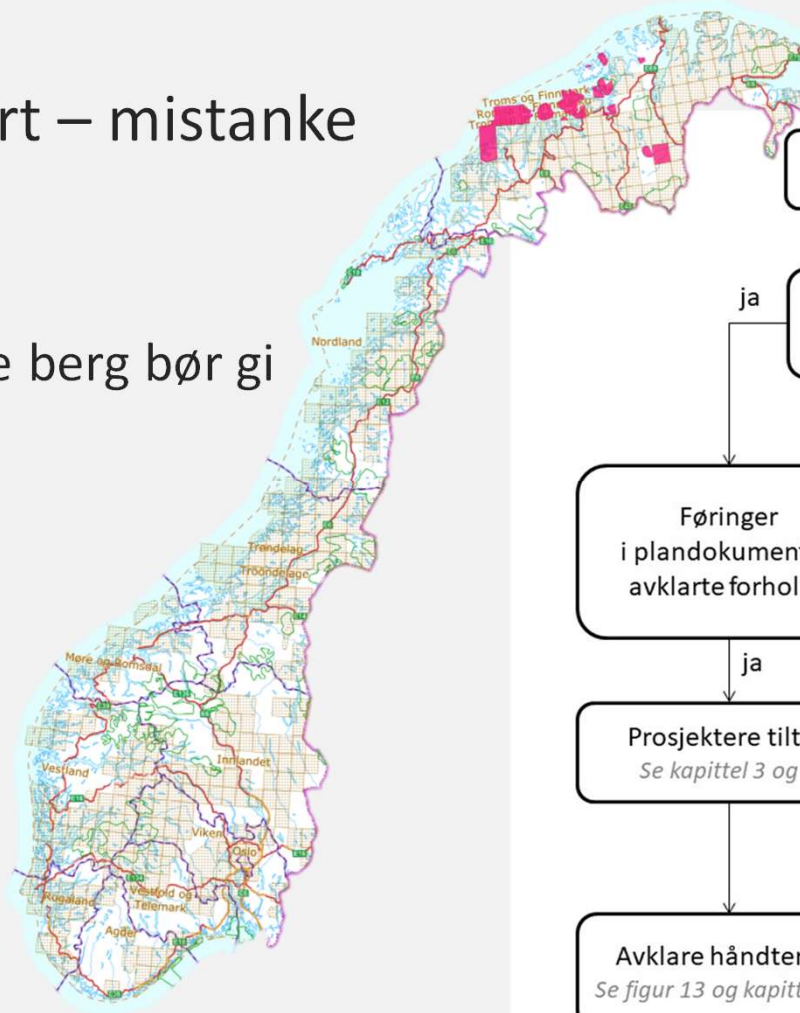
Etasje	Navn formasjon	Navn ledd	Utseende	Egenskaper	Mektighet
4d	Grimsøya	-	Knollekalk	-	-
4cα	Venstøp	-	Leirskifer	-	-
4bδ	Solvang	-	Leirskifer med kalk	-	-
4bγ	Nakkholmen	-	Leirskifer	Leirskifer med knoller av pyritt i nedre del.	-
4bβ	Frognerkilen	-	Knollekalk	-	-
4bα	Arnestad	-	Leirskifer	-	> 50 m
4aβ	Vollen	-	Knollekalk	Kalkrik skifer	-
4aα	Elnes	-	Leirskifer. Grå-svart til grå farge. Rød-brunt forvittringslag.	Kalkrik. Inneholder noe sulfider, men svært lavt potensial for syredannelse.	> 80 m
3c	Huk		Tredelt med kalkstein i topp og bunn og en kalkrik leirskifer i midtparti	Kalkrik. Vurderes ikke til å ha potensial for syredannelse.	Ca. 30 m
3bβ	Tøyen	Galgeberg	Svart til grå-svart farge. Rustbrunt forvittringslag. Innslag av gult.	Moderat til lavt potensial for syredannelse, varierende innhold av sporstoffer.	10 – 20 m
3bα	Tøyen	Hagaberg	Grønn-svart til grå-svart farge. Rød-brunt forvittringslag.	Mulig potensial for syredannelse, varierende innhold av sporstoffer.	5 – 10 m
3aγ	Alunskifer	Bjørkåsholmen	Grå farge.	Kalkrik, ofte massiv etasje.	1 – 4 m
3aα, 3aβ	Alunskifer	Alunskifer etasje 3	Svart farge med gult, rød-brunt og hvitt forvittringslag.	Høyt potensial for syredannelse, høyt til moderat innhold av sporstoffer, mulig innhold av radionuklider.	5 – 20 m
2a-2e	Alunskifer	Alunskifer etasje 2	Svart farge med gult og hvitt forvittringslag.	Høyest potensial for syredannelse i lagrekken, høyt innhold av sporstoffer, mulig innhold av radionuklider.	60 – 80 m
1	Alunskifer	Alunskifer etasje 1	Sandstein, leirskifer	Ingen potensial for syredannelse.	-



Kap. 2 Identifisering og karakterisering

➤ Undersøke geologiske kart – mistanke om syredannende berg?

- Oppløsning
- Nærliggende syredannende berg bør gi mistanke
- Andre etasjer i lagrekken
- Varierende navn



Kartlegging og felt

- Tidlig i prosjektet! Sparer tid og penger senere...
- Kartlegging i felt – helst med geolog
 - Etasjer, lagdeling
 - Representativ prøvetaking (separate prøver av ulike etasjer!)
- Prøver sendes til analyse
- Gamle masser

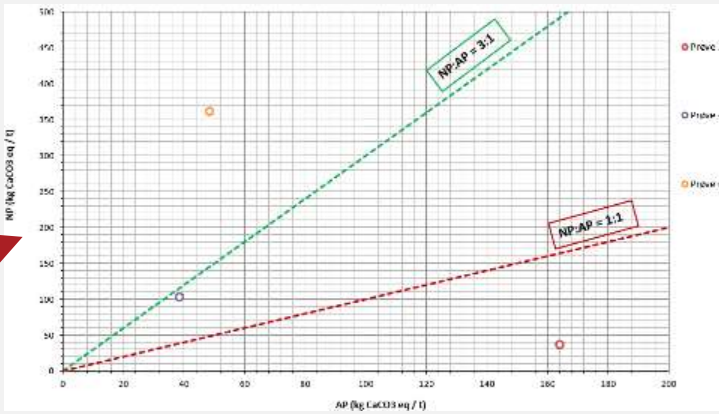


Tolkning av analyseresultater

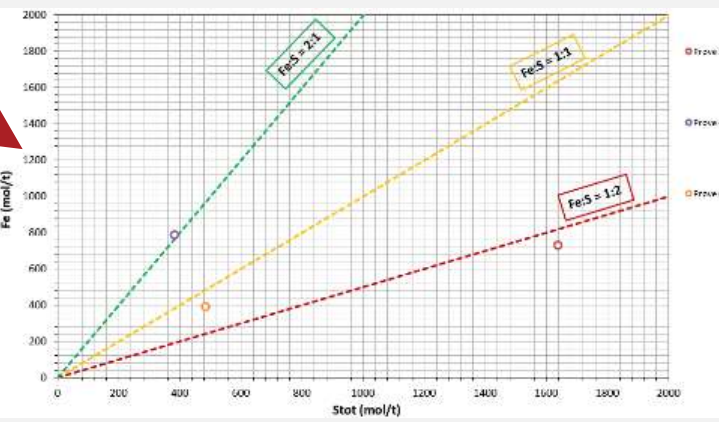
Analyseresultater

Parameter	Prøve 2	Prøve 4	Prøve 6
As (mg/kg)	73,4	13,1	56,2
Ba (mg/kg)	791	689	886
Cd (mg/kg)	3,80	0,11	3,80
Co (mg/kg)	27,8	22,2	9,24
Cr (mg/kg)	69,5	463	63
Cu (mg/kg)	103	53,8	67,2
Mo (mg/kg)	144,0	1,9	120,0
Nb (mg/kg)	11,5	11,8	9,12
Ni (mg/kg)	203	198	95,3
Pb (mg/kg)	36,1	13,4	32,7
S (mg/kg)	52500	12300	15500
Sc (mg/kg)	11,9	16,9	9,35
Sn (mg/kg)	2,69	2,46	2,63
Sr (mg/kg)	150	79,4	720
Th (mg/kg)	11,3	9,34	14,3
U (mg/kg)	86,2	3,85	244
V (mg/kg)	619	124	981
Y (mg/kg)	33,4	30,4	133,0
Zn (mg/kg)	146	103	197
Zr (mg/kg)	120	198	79,2
Al ₂ O ₃ (%)	10,7	15,5	8,64
CaO (%)	2,66	2,42	19,1
Fe ₂ O ₃ (%)	5,82	6,28	3,12
K ₂ O (%)	3,66	4,28	2,88
MgO (%)	0,94	3,58	1,55
MnO (%)	0,0259	0,0355	0,132
Na ₂ O (%)	0,523	0,769	0,354
P ₂ O ₅ (%)	0,174	0,0873	1,37
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

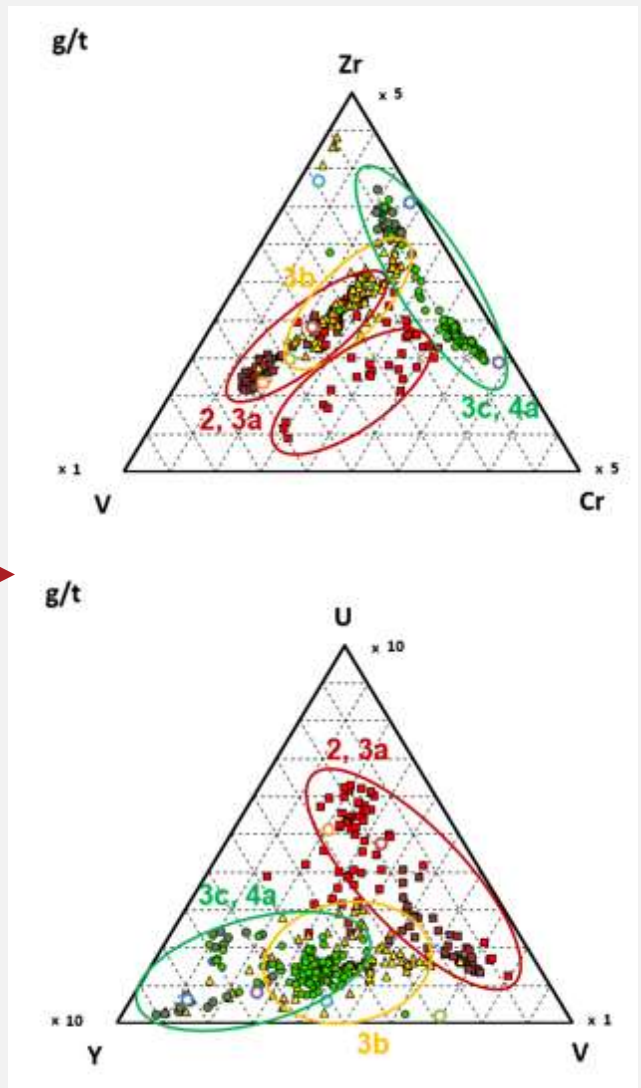
NP:AP



Fe:S



Trekantdiagrammer

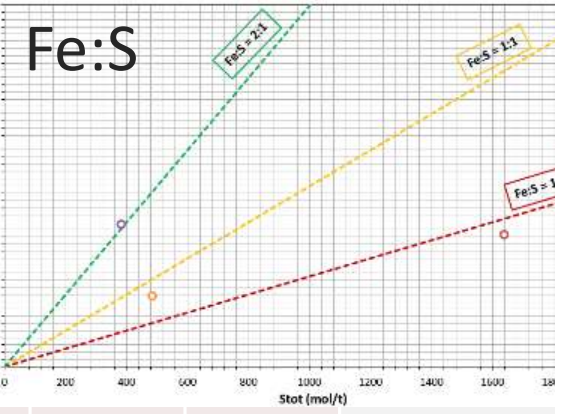
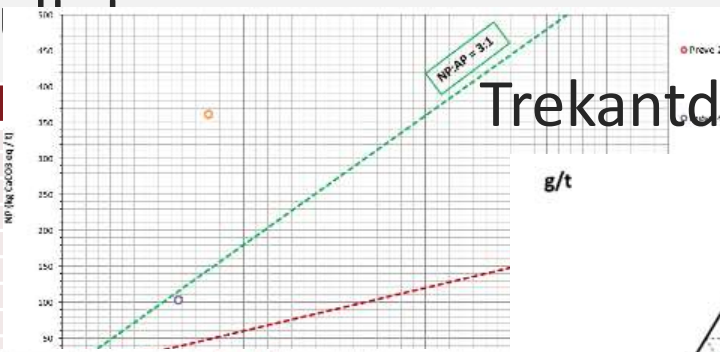


Tolkning av analyseresultater

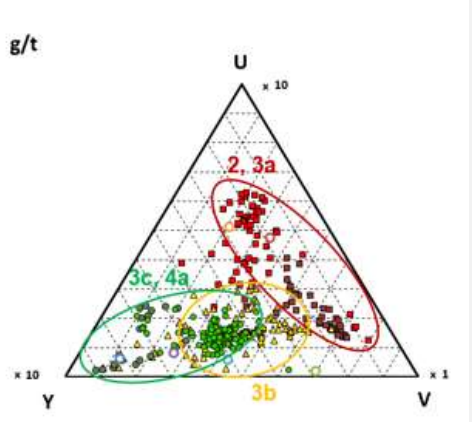
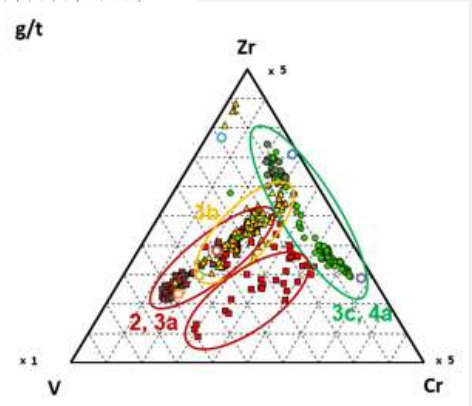
NP:AP

Analyseseres

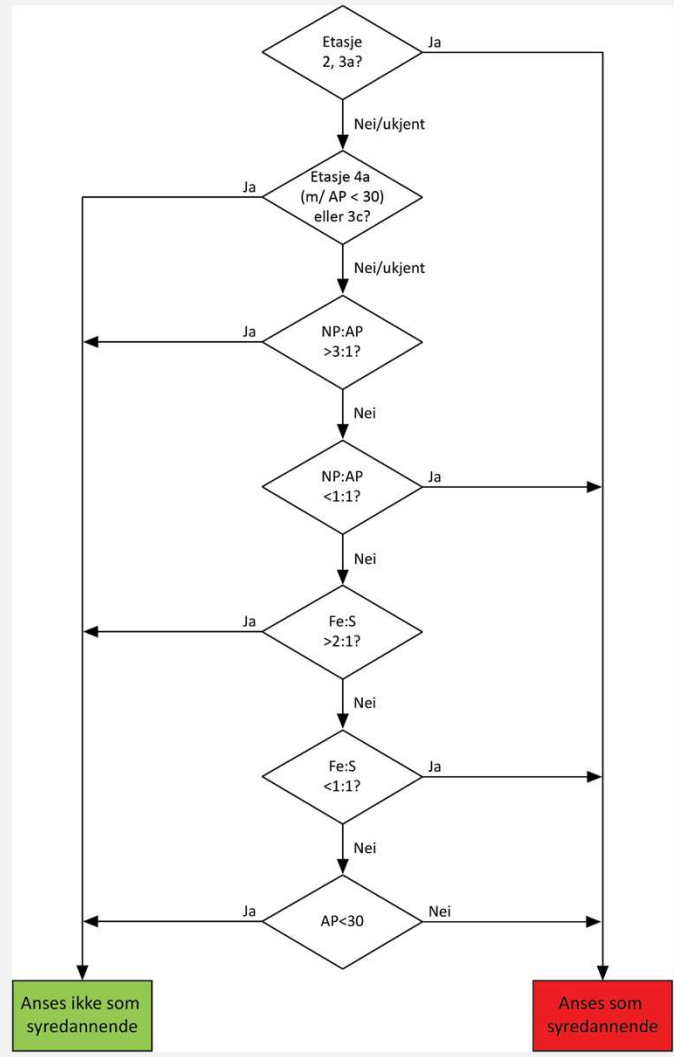
Parameter	Prøve 2		
As (mg/kg)	73,4		
Ba (mg/kg)	791		
Cd (mg/kg)	3,80		
Co (mg/kg)	27,8		
Cr (mg/kg)	69,5		
Cu (mg/kg)	103		
Mo (mg/kg)	144,0		
Nb (mg/kg)	11,5		
Ni (mg/kg)	2		
Pb (mg/kg)	3		
S (mg/kg)	52		
Sc (mg/kg)	1		
Sr (mg/kg)	1		
Th (mg/kg)	1		
U (mg/kg)	8		
V (mg/kg)	1		
Y (mg/kg)	3		
Zn (mg/kg)	1		
Zr (mg/kg)	1		
Al2O3 (%)	1		
CaO (%)	2		
Fe2O3 (%)	5		
K2O (%)	3		
MgO (%)	0,94	3,58	1,55
MnO (%)	0,0259	0,0355	0,132
Na2O (%)	0,523	0,769	0,354
P2O5 (%)	0,174	0,0873	1,37
SiO2	38,6	53,9	39,2
TiO2 (%)	0,727	0,673	0,469
TOC (%)	9,41	0,612	1,61
TIC (%)	0,444	1,24	4,34



Trekantdiagrammer



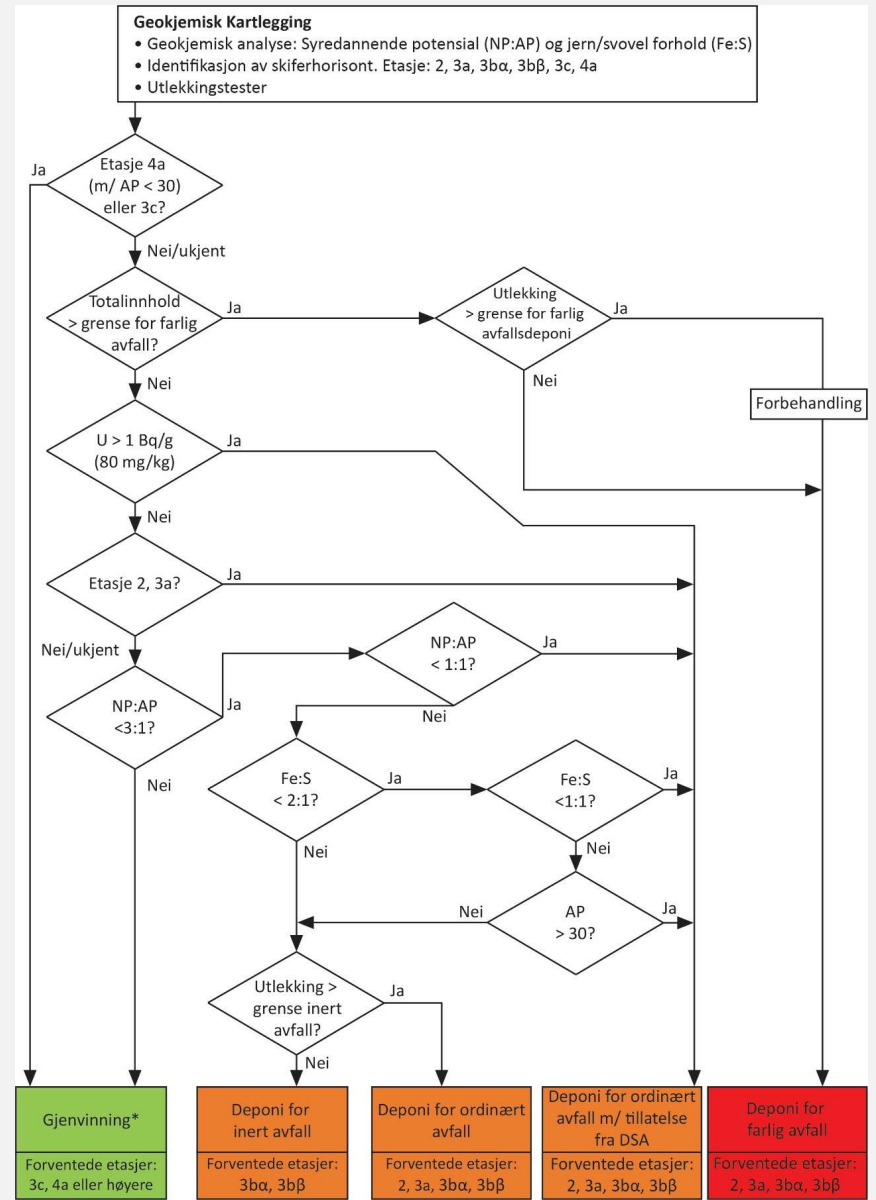
Flytskjema



Flytskjema deponering

Flytskjema for avfallskarakterisering av leirskifer i den kambrosiluriske lagrekken.

Oppdatert flytskjema fra M-385



Arbeid i alunskifer

- *Den beste håndteringen er å la det ligge urørt*
- Avklar disponering av masser tidlig
- Tiltaksplan i henhold til forurensningsforskriften
- Tillatelser til forurensning og for utslipp av radionuklider
- OBS endringer i grunnvannsspeil



Tiltak og sluttdeponering

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



Heggvin alun (Bilde: Norsk Gjenvinning)

Oppsummering

- Naturlige blandmasser er mindre syredannende enn rene skifermasser.
- NGI foreslår i fagrapport til Miljødirektoratet opptil 6 mnd mellomlagring. Dette er dokumentert trygt gjennom ulike forsøk.
- Riktig massedisponering kan spare prosjektet penger og være bærekraftig – avklar disponering tidlig i prosjektet.



Den aller beste håndteringen av skiferen er å la den ligge urørt!



Takk for meg!
Spørsmål? 😊



#påsikkergrunn

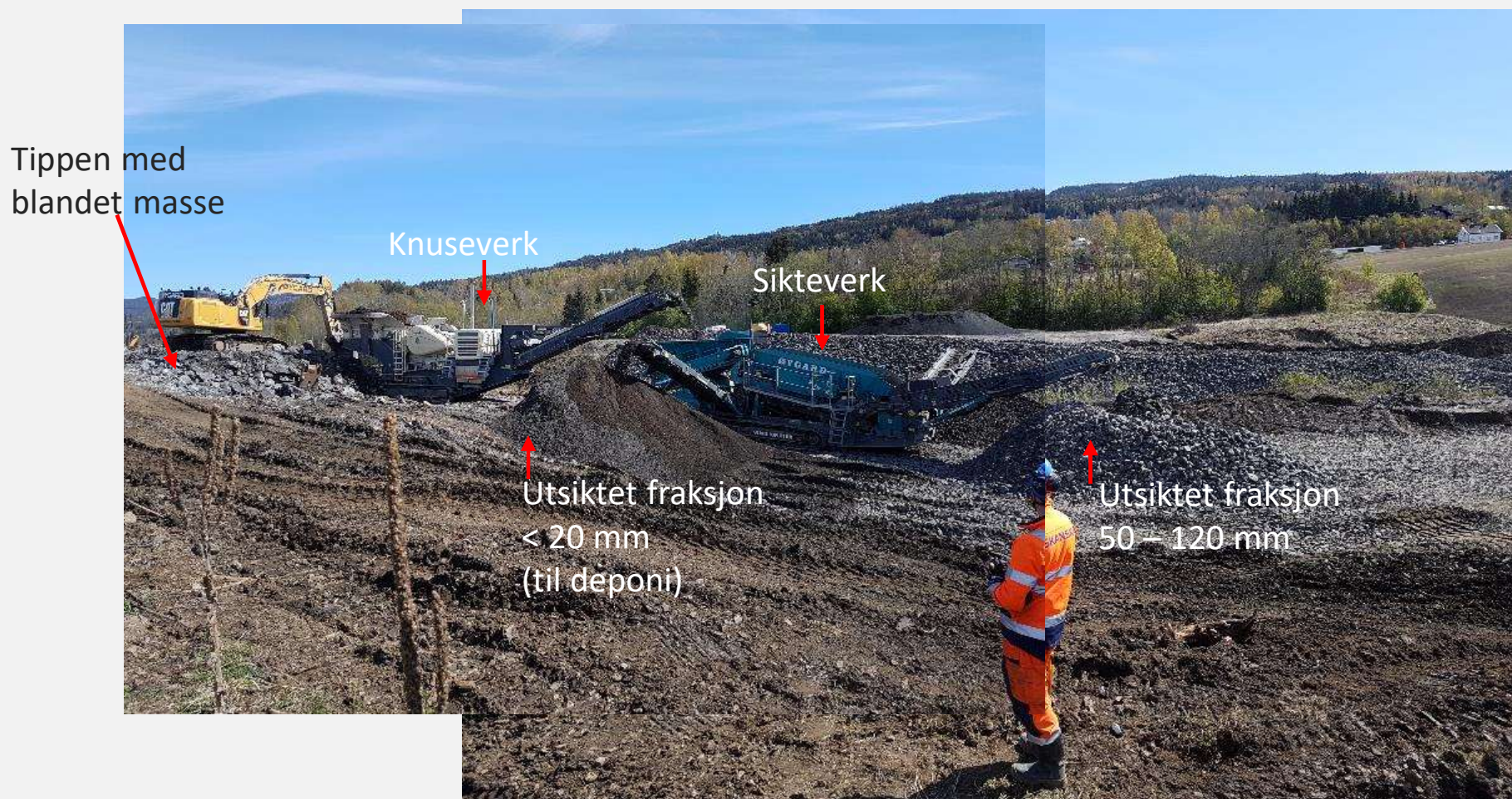
NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT
NGI.NO

Relevant regelverk og anbefalinger

- ↗ Forurensningsforskriftens kap. 2
- ↗ Avfallsforskriften
- ↗ Strålevernforskriften (radon)
- ↗ Byggteknisk forskrift TEK-17 (radon)
- ↗ Forskrift om radioaktiv forurensning og avfall

- ↗ OBS
 - Syredannende berg skal alltid på deponi med tillatelse fra DSA
 - Tillatelse til forurensning og utslipp av radionuklider kan være nødvendig ved arbeid i alunskifer

Praktisk eksempel: Knusing og sikting av naturlige blandmasser

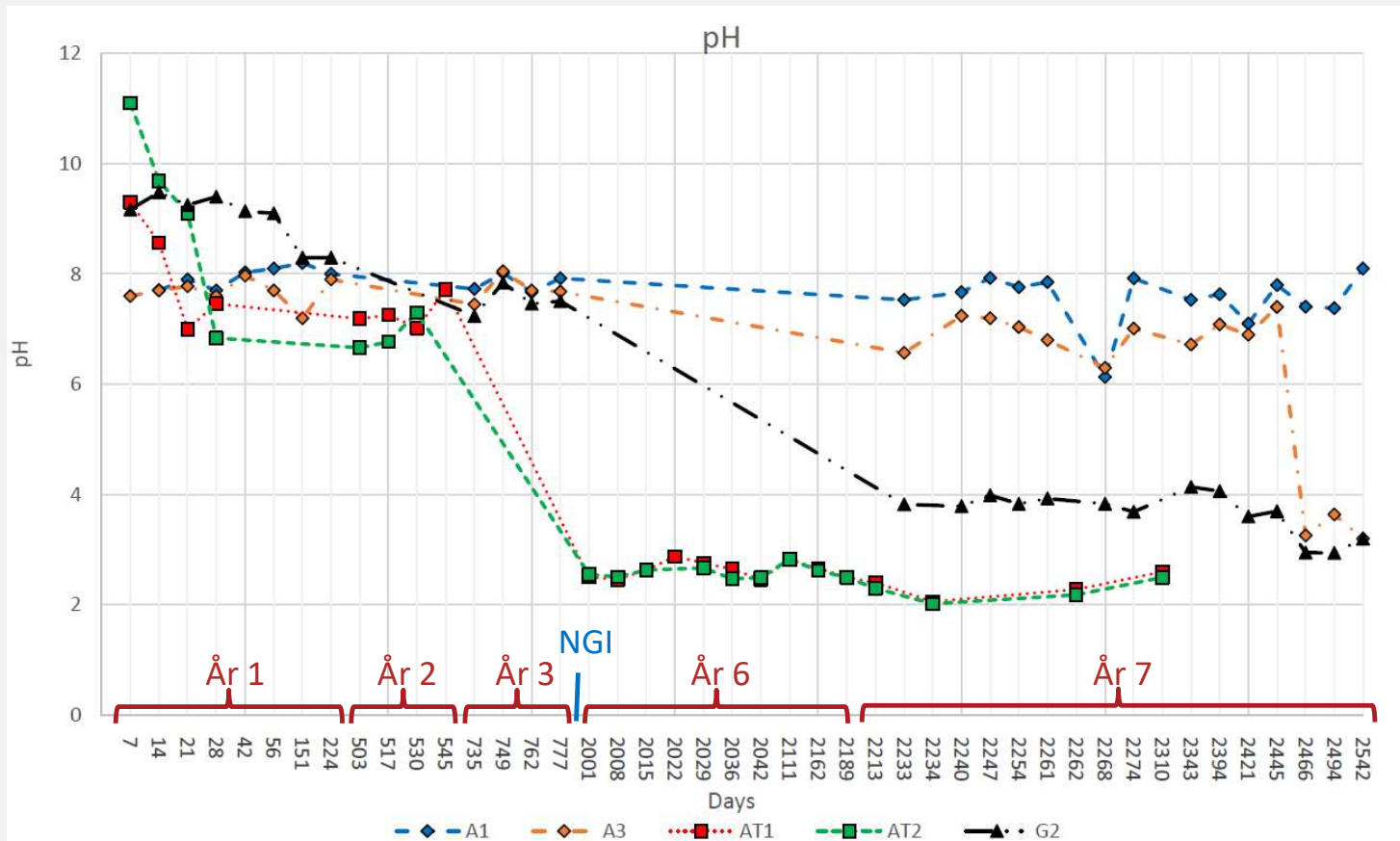


Sikting i tre fraksjoner

- ↗ < 20 mm
- ↗ 20 – 50 mm
- ↗ 50 – 120 mm



Resultater SVV kontainere (Gran)



Alunskifer tunnel:
pH nedgang mellom
2 og 6 år

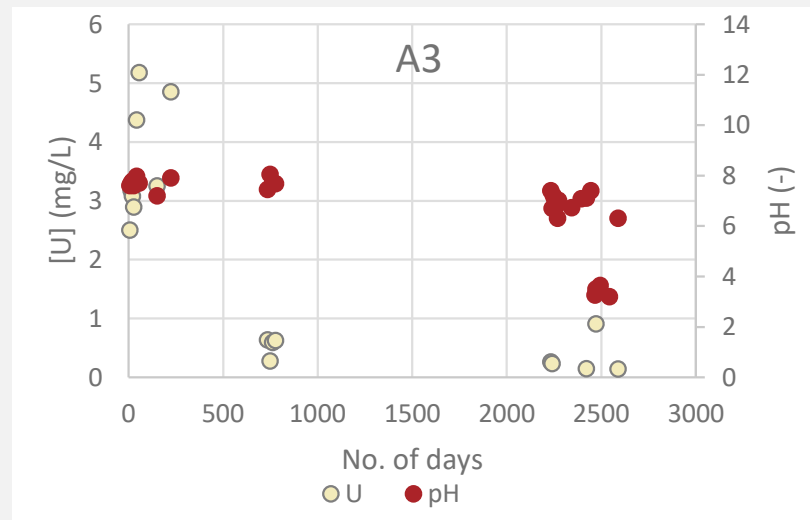
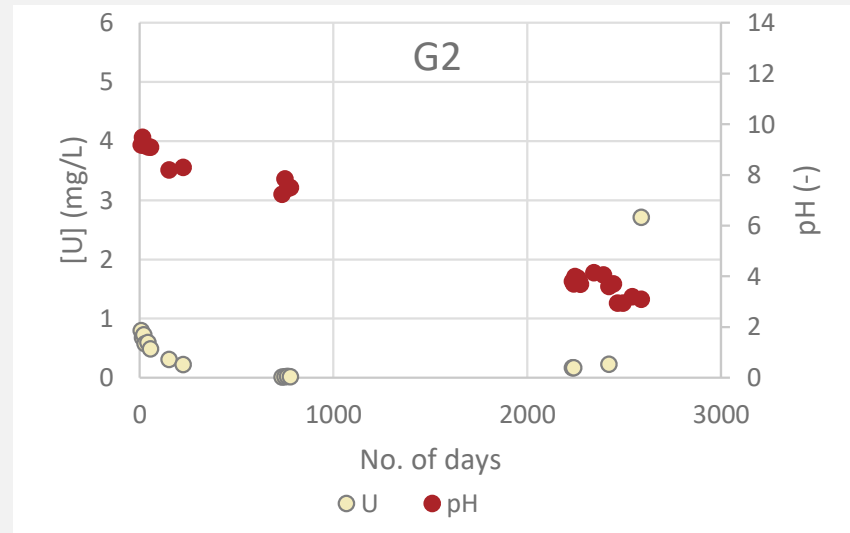
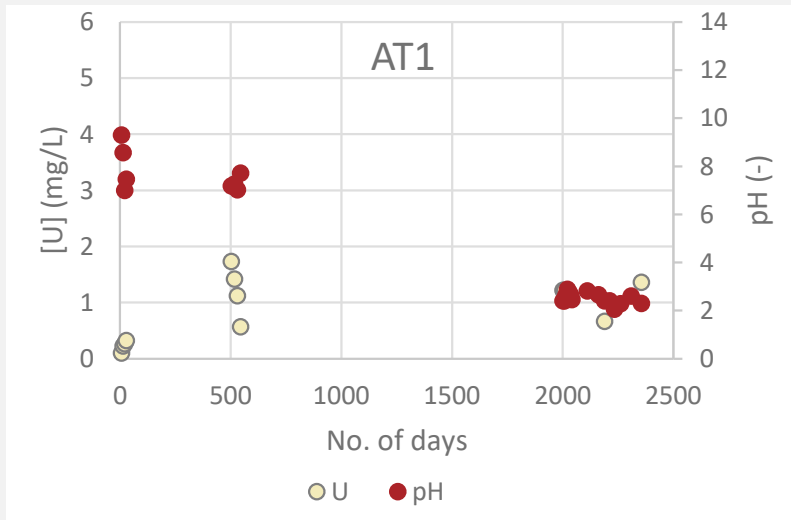
Alunskifer skjæring:
pH nedgang etter 7
år

Galgebergskifer:
pH nedgang mellom
3 og 7 år



Figur: Lars Andre Erstad (UiO)

Resultater SVV kontainere: Uran



Sur avrenning

Tabell 1 Eksempler på analyser av vann som har vært i kontakt med forvitret og uforvitret svartskifer (NGI, i arbeid; SVV, 2017). Metallanalysene gjelder for filtrerte prøver (0,45 µm).

Prøve	pH	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Al (µg/L)	Cr (µg/L)	Cu (µg/L)	Pb (µg/L)	U (µg/L)
Forvitret alunskifer (5 år)	2,4	2 900	27 600	39	3190	1,1	1 220
Forvitret galgebergskifer (6 år)	3,8	1 800	9 170	0,4	795	4,4	169
Uforvitret alunskifer (2 uker)	8,6	554	26	12	<5	<0,5	225
Uforvitret alunskifer (1 dag)	6,9	1 000	<60	<20	<7	<8	704
Uforvitret alunskifer (2 uker)	7,8	330	3,9	0,03	0,3	0,02	289
Uforvitret alunskifer (8 uker)	7,7	1 730	<10	<0,5	11,5	<0,5	5 180
Uforvitret Galgebergskifer (1 uke)	9,2	186	185	0,9	<5	<0,5	445

Mellomlagring av svartskifer

- Legge ulike typer masser hver for seg
- Forvitrede bør ikke mellomlagres
- Mellomlagring: opptil 6 mnd for uforvitrede masser (ref: Under Oslo)
- Risiko for selvantennning (ved særs uheldige lagringsforhold og langvarig mellomlagring)

