

# Handtering av alunskifer på R4. Forundersøkingar, nødvendige løyve og tverrfagleg vinkling i prosjektet

*Per Hagelia*

*Tunnel og betongseksjonen – TMT*

*Vegdirektoratet*





# Alunskifer krev meir enn vanleg!

- Alunskifer og enkelte andre svartskifrar reagerer med vatn og gir giftig avrenning. Stor variasjon i potensial!!
- Forundersøkingane krev mykje meir enn tradisjonell ingeniørgeologi
- Hb 018 Vegbygging og Hb 021 Vegtunneler seier ikkje noko om dette: Ulike tilnærmingar i konsulentbransjen.
- Problemstillinga er delvis mineralkjemisk og geokjemisk: Kor aggressiv? Kor mange m<sup>3</sup> av aggressiv ? Kor mykje forureining kan vi vente «her» ?
- Resipient. Vernestatus? Kor sårbar?
- Deponering: Hittil har all alunskifer gått til godkjente deponi, i praksis Langøya som egentleg er reservert for farlegare avfall. Kostbart! Neppe riktig forvaltning!
- Utsleppstillatelse frå Fylkesmannen: meir krevande enn vanleg.
- Må i praksis søke både Miljødirektoratet og Statens strålevern!



# Tema i dag:

- Generelt om alunskifer og Forureiningsmyndighetene
- Alunskifer og svartskifer
- Eksempel: Rv 4 Gran grense – Jaren
  - Fagleg problematikk (geologi, kjemi, vatn, avrenning m.m.)
  - forundersøkingar
  - Lokal «deponering» av alunskifer
  - m.m.
- Oppsummering – vegen vidare

*Rv 4 Gran grense – Jaren: Statens vegvesen har utfordra tradisjonen og fått lov til å lagre alunskifer lokalt*



## Formaliterar i korte trekk:

- Søker Fylkesmannen om utsleppstillatelse på vanleg måte
- Alunskifer er nå rekna som forureina grunn ein må derfor søke:
  - Statens strålevern (SSV) vedlagt dokumentasjon ( $> 1 \text{ Bq/g}$  = radioaktivt avfall, må spesialdeponerast)
  - Miljødirektoratet (MD); i alle tilfelle dersom ein søker om utradisjonelle deponeringsløyisingar, i praksis vil MD bistå Fylkesmannen i kompliserte saker.
- Det er opna for at ein kan lagre alunskifer innan områder der det er alunskifer i grunnen, *dersom dette kan betraktast som nyttig-gjering av steinmassen.*
- Dette er *i lova si forstand ikkje deponi*, men krava er i praksis like strenge som godkjente deponi for alunskifer



## Alunskifer fører til mange problem:

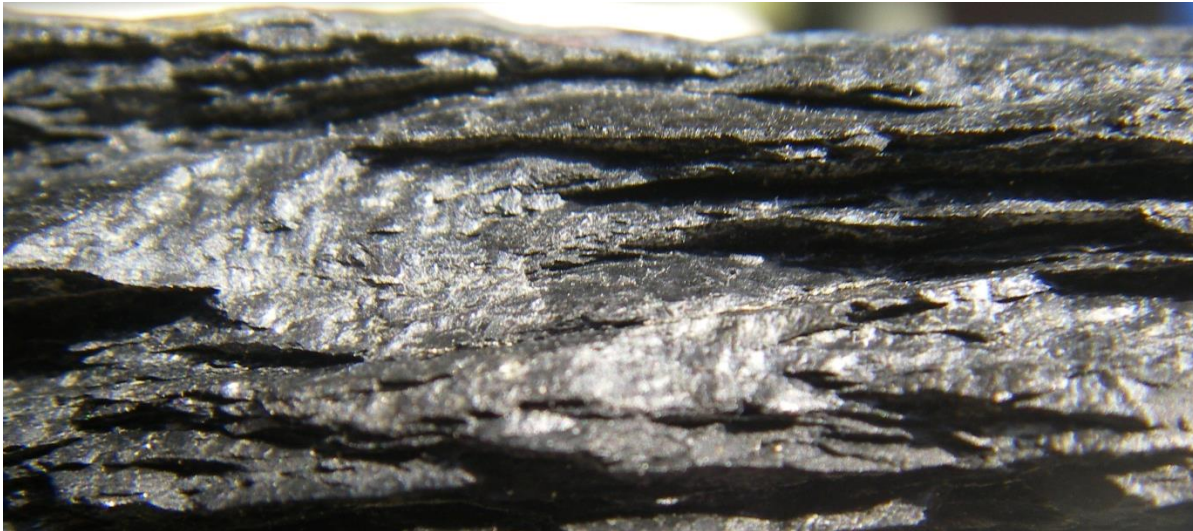
*Alunskiferkomiteen (1947-1973)*

- Alunskifer varierer mykje i samansetning (pyritt, pyrrhotitt, organisk karbon/grafitt, +/-kalkspat, og kvarts, feltspat, illitt m.m.)!
- Oksidasjon av jernsulfida: svovelsyre, frigjør sulfationar og metall
- Syre og sulfatangrep på betong
- Korrosjon: stålrør, armering
- Geoteknisk: Sveller, vekst av gips er ein av årsakene

*Miljøproblematikken:*

Uran, tungmetall, sur avrenning, bufferevne (bl.a. Jeng 1991,1992)

Arbeidsmiljø - tunnel: Ikkje spesielt problematisk ved normal utlufting



Frisk, uforvittra alunskifer, med typisk svart kol-liknande preg

Alunskifer inneholder svovel (Fe-sulfider) og organisk materiale (karbon). Jernsulfida er reaktive. I kontakt med luft og vatn vil det skje ei kjemisk forvitring (oksidasjon). Det blir danna svovelsyre.

## Det er viktig å handtere alunskifer riktig!



Virkninger av sigevatn frå alunskiferdeponiet på Taraldrud, S. for Oslo. Eksempel på at ting er ute av kontroll (svært surt vann,  $\text{pH} < 2$  /utfelling av giftige metall)

Årsak: Gjennomstrøying av oksigenrikt vatn (ikkje tett nok)



Forvitra alunskifer (Slemmestad). Brune og gule utfellinger av rust og sulfater.

Forvitring fører til avrenning av **giftige tungmetaller, inklusive uran og arsen, samt svovelsyre.**





# Kambrium og Ordovicium i Oslofeltet:

## *Det er nødvendig å ha stratigrafisk kontroll!*

Original numbering of stages	Oslo – Asker Formations	<u>Hadeland</u>	<u>Hamar Region (Mjøsa)</u>	NGU Groups in Geol. maps	Age
4d	<u>Skogerholmen</u>			Oslo	Mid 4aα to Late Ordovician (5b)
4cy	<u>Skjerholmen</u>			Oslo	
4cβ	Grimløya			Oslo	
<b>4cα</b>	<u>Venstøp</u>			Oslo	
4bδ	Solvang			Oslo	
<b>4by</b>	<u>Nakkholmen</u>			Oslo	
4bβ	<u>Frognerkilen</u>			Oslo	
4bα	Arnestad	Arnestad	Arnestad	Oslo	Early Ordovician (2c-3c)
4aβ	Vollen	Vollen	Vollen	Oslo	
<b>4aα</b>	Elnes	Elnes	Elnes (Bjørge)	Oslo	
3c	Huk FM	Huk FM	Huk FM	Røyken	
<b>3b</b>	Tøyen FM	Tøyen FM	Tøyen FM	Røyken	Mid Cambrian (1c – 2d)
3aγ	<u>Bjørkåsholmen</u>	<u>Bjørkåsholmen</u>	<u>Bjørkåsholmen</u>	Røyken	
<b>1 – 3aβ</b>	<u>Alum shale FM</u>	<u>Alum shale FM</u>	<u>Alum shale FM</u>	Røyken	

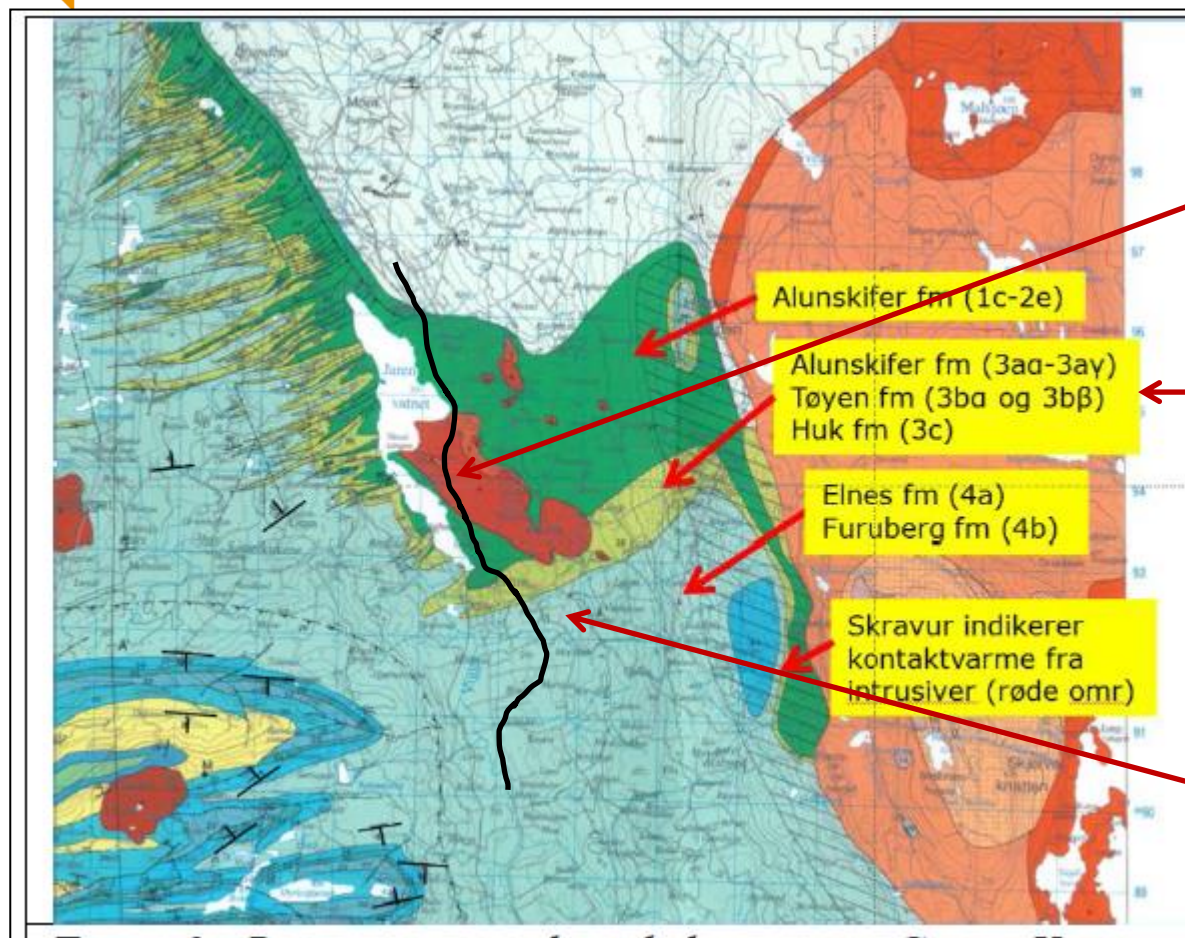
NGI (2013)

GRAN

Alunskifer formasjonen gir størst problem, samt Galgebergledet i Tøyen fm.

→ = Andre svarte skifrar, med potensiale for avrenning

## Lokal problemstilling nye Rv 4: Geologi i grove trekk



Mænaitt m.m.  
i veksling med  
Alunskifer (5-10 %, dels  
kontaktmetamorf)

Alunskifer (grøn)

Svartskifer 3bβ

Mørk kalkstein,  
leirskifer, svartskifer  
(etg. 4)

NGI (2013)



## Forundersøkingar på Gran 2001-2013

*Problem: svært liten blotningsgrad (< 1 %)*

- Geologisk kartlegging (oversikt) Oppdrag E-234 A, Iversen, 2001-2002)
- Grunnboringar - stort omfang over tunneltrase og høge skjeringar (lausmasse og 5 m ned i berg) – (E. Sloreby 2005). Undersøking av borekaks, stratigrafisk plassering (Geokart AS v/I. Rui, & B. Funke 2005)
- Undersøking av utvalde borekaks med basis i Rui's undersøking:, **Statisk utlekkingstest (pH, vasskjemi), mineralidentifikasjon (Hagelia 2005)**
- Vannprøver/kjemisk analyse: Jarenvannet; bekker, brønnar, samt råd om deponiløysingar m.m. (v/T Dekko, Multiconsult 2011-2012)
- Kjerneboringar (4 stk) i tunnelområdet , inklusive ingeniørgeologisk logging (Multiconsult 2010)
- Lithologisk logging av kjernene; stratigrafisk -geokjemisk karakterisering for samanlikning med Oslofeltstratigrafien generelt (NGI v/Erik Endre, bistand frå paleontolog Fredrik Bockelie 2013: *under arbeid*). Hensikt bl.a. kalibrering av hh XRF for måling av utsprengt masse og «foran stuff».



## Undersøkingar og arbeid 2012-13

- Supplerande kaksboring 3 plassar over tunnel traseen til 20 m)
- Supplerande kjerneboringar (2stk) i tunnelområdet
- Meir detaljert geologisk tolking av geologien langs tunneltraseen (for endeleg geologisk rapport)
- Etablering av pumpetest i område reservert for lagring av alunskifer og svartskifer, inklusive undersøkinging av lausmasser (mineral, sorpsjon etc) og kjemiske analysar av grunnvatn (NORWAT)
- Utlekkingsforsøk (sekventiell ekstraksjon m.m.) ved UMB (to MSc: Halldis Fjermestad; nå SVV og Tari Helmers)



## Alunskifer i felt



Frå Rv 4 rett nord  
for Gran sentrum

Merk forvitring  
med sannsynleg størst  
forureiningspotensiale



Alunskiferlag & kalkstein  
(venstre)

Alunskifer og mænaitt  
(høgre)



## Mænaitt i veksling med alunskifer nord for Gran sentrum aust for Jaren



Mænaitt har ofte utfelling av jarositt-liknende mineral. Også kvite/lyse.

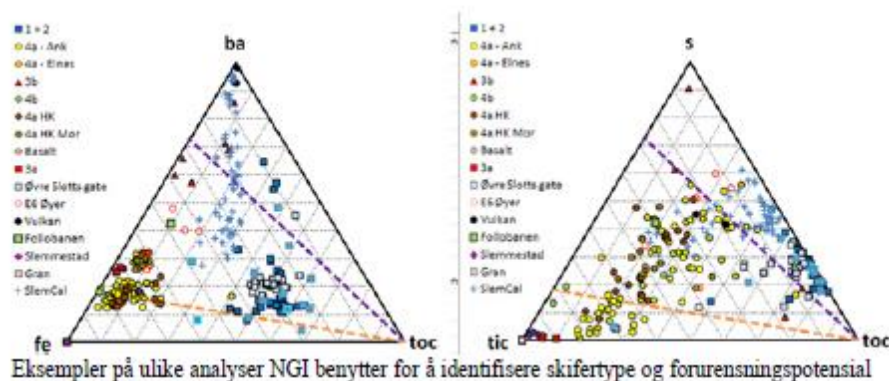


**Ikkje undersøkt**  
Muleg syregivande



NGI v/ Erik Endre har etablert ny klassifisering av alunskifer og svart skifer, basert på geokjemisk stratigrafi:

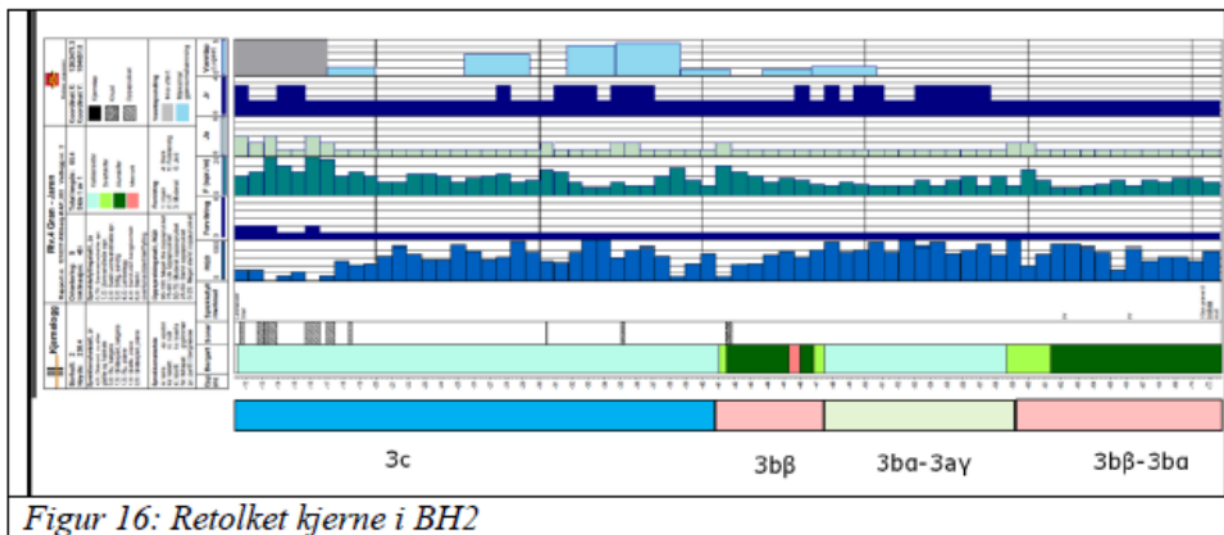
Resultat Rv 4 Gran basert på stort antal prøver fra borekjerter



Høgt syrepotensiale (og dermed metallmobilering):

- Skifer med høg totalt organisk karbon (TOC) og svovel (S)
- Høgt total uorganisk karbon (TIC = karbonat) gir bufferevne

## Eksempel – NGI (2013)



Vi kan bruke total kjemisk analyse til å skille mellom ulike varianter av svart skifer

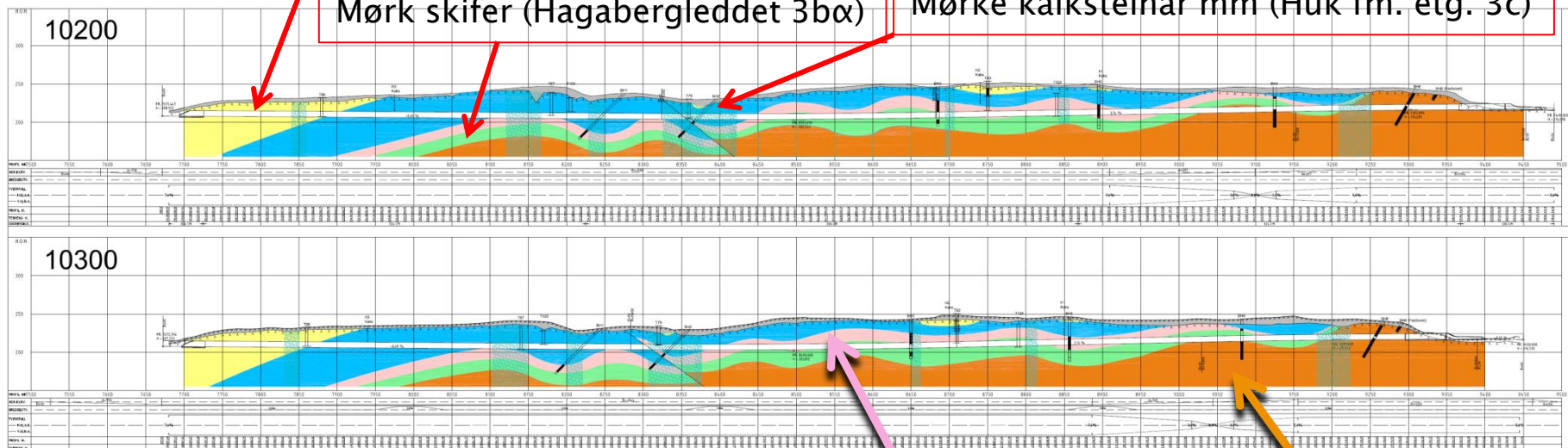


# Grantunnelen: Sannsynlig geologisk tolking; Den detaljerte geologien avdekkast på stoff

Mørk-lys kalkstein m/leirskifer og svartskifer (Elnes fm. etg. 4 a)

Mørk skifer (Hagabergleddet 3b $\alpha$ )

Mørke kalksteinar mm (Huk fm. etg. 3c)



Må til deponi:  
(ref. NGI 2013)

*Svartskifer: av ein viss  
type (frå  
Galgebergleddet 3b $\beta$ )*

*Alunskifer*

## Alunskifer og svartskifer



Alunskifer (2-3a) har mikroskopisk kis

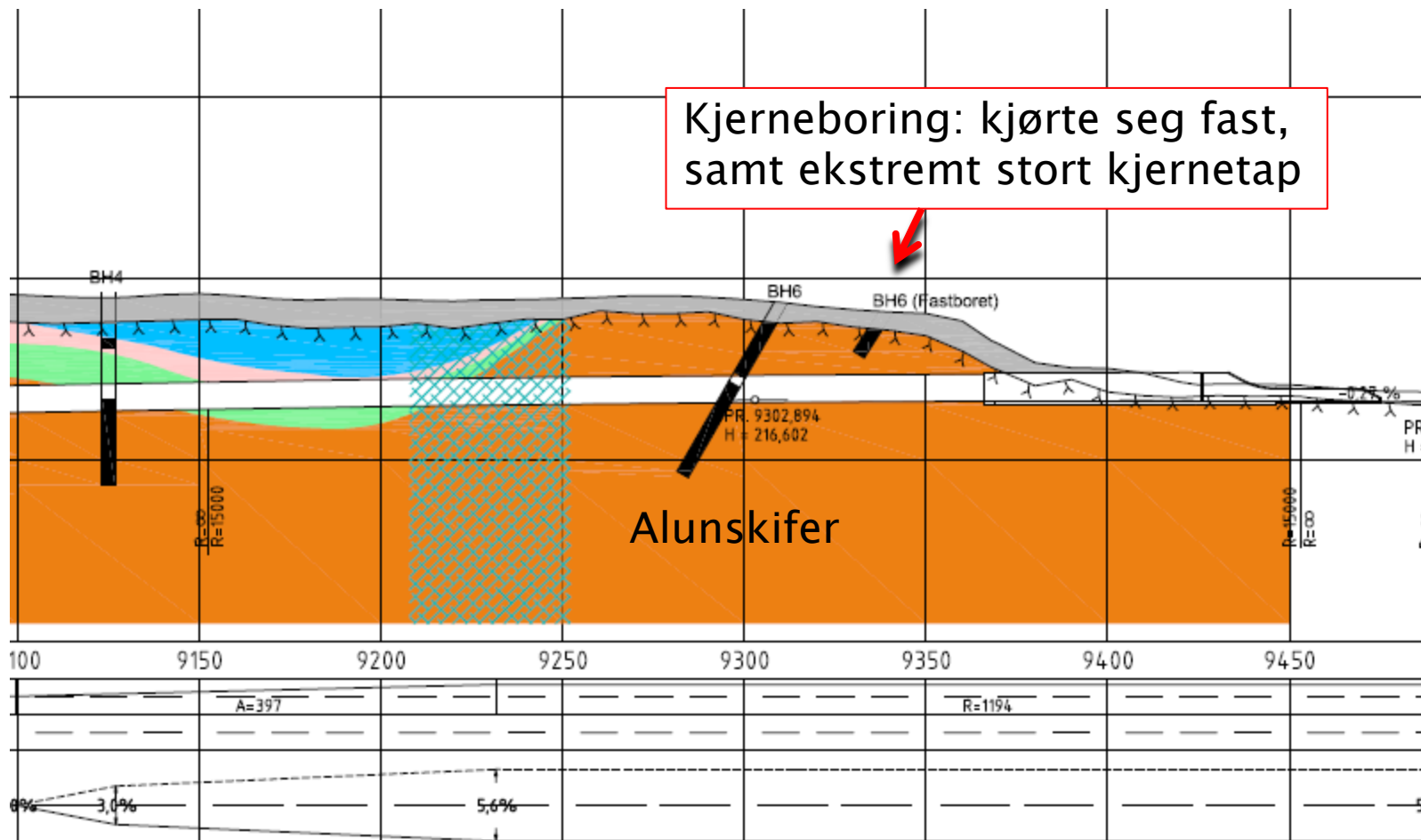
Svartskifer (3b $\beta$ ) har ofte innslag av store pyrittkorn  
Mindre reaktiv enn  
mikroskopisk





# Svak og forvitra alunskifer ved nordre påhoggsområde

## Fare for sur avrenning: Pel 9350–Pel 9450



## «Avbruttet hål» - BH 6 første forsøk (vinteren 2013)



Alunskifer (etasje 2–3a) og mænaitt (lys). Ekstremt stort kjernetap

## Det er nødvendig å analysere bergprøver kjemisk under driving mht. klassifisering

Analysar med handholdt XRF:



- På borekjerner 50–100 m framfor stuff
- Supplerande på stuff m.m.sonderboring

**Geologiske registreringar og XRF-resultat gir grunnlag for klassifisering av kvar salve**

Statens vegvesen har utarbeidd prosedyrer, og ansvarleg for klassifiseringa **(kva som skal til deponi)**

Alltid i tett kontakt med entreprenør, som har behov for **svar** straks etter at salva har gått

## *Finstoff* er ei utfordring; Er også mest reaktivt



Figur 36: Galgebergledet ved Sofienberg i Oslo. Tilsynelatende grov oppsprekking (rød pil), men her kom skiferen ut nesten av seg selv og kunne krafses med skuffe på gravemaskin (gul pil).

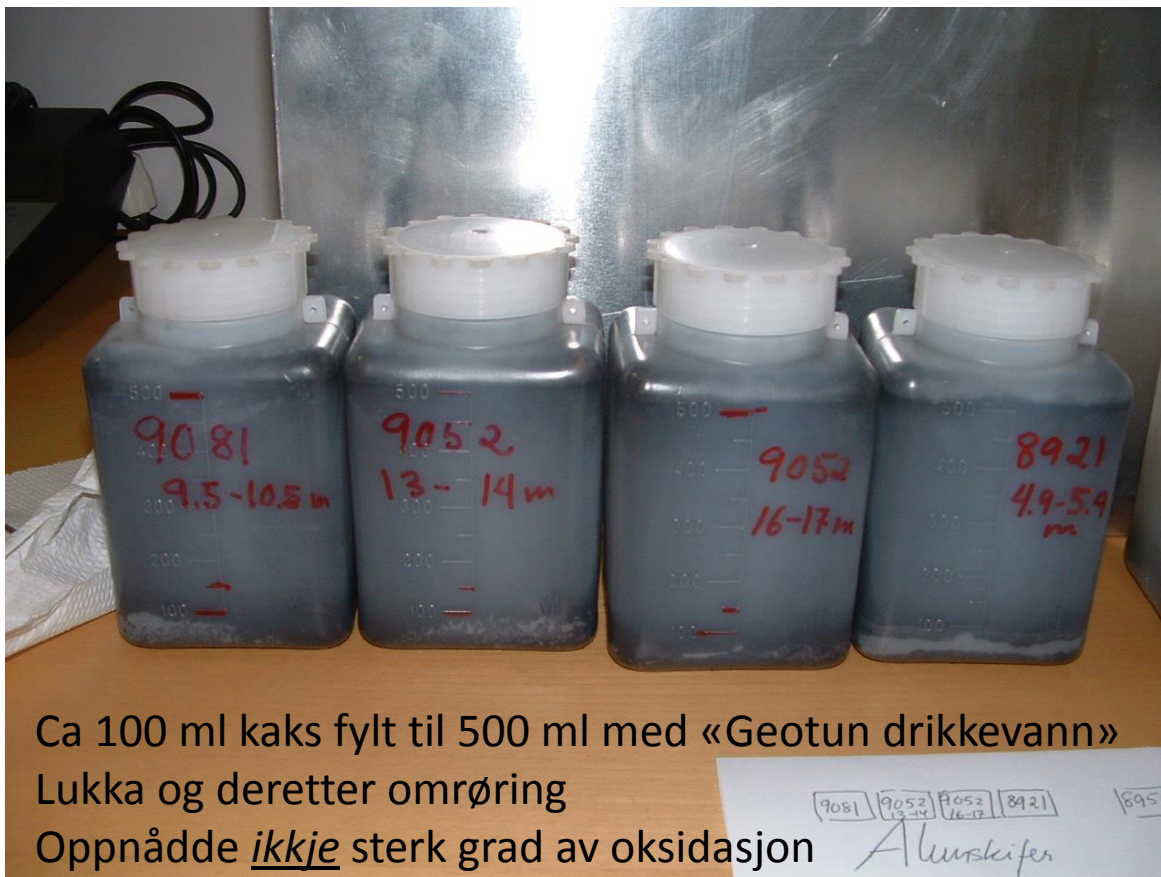
NGI (2013)



*Figur 42: Skiferen har lav styrke. Den tåler ikke friksjonskrefter. Når den er fragmentert (sprengstein) vil den forvitre til finstoff i kontakt med fuktighet. Ved mekanisk påkjenning som vist i bildet knuses skiferen ned til en leiraktig suppe. Dette kan bl.a registreres ved at det er som å gå på en "gummimatte" på utsprengte masser. NGI (2013)*



## 2005: Statisk utlekkingsstest på alunskiferkaks (ca. 0-250 $\mu\text{m}$ )



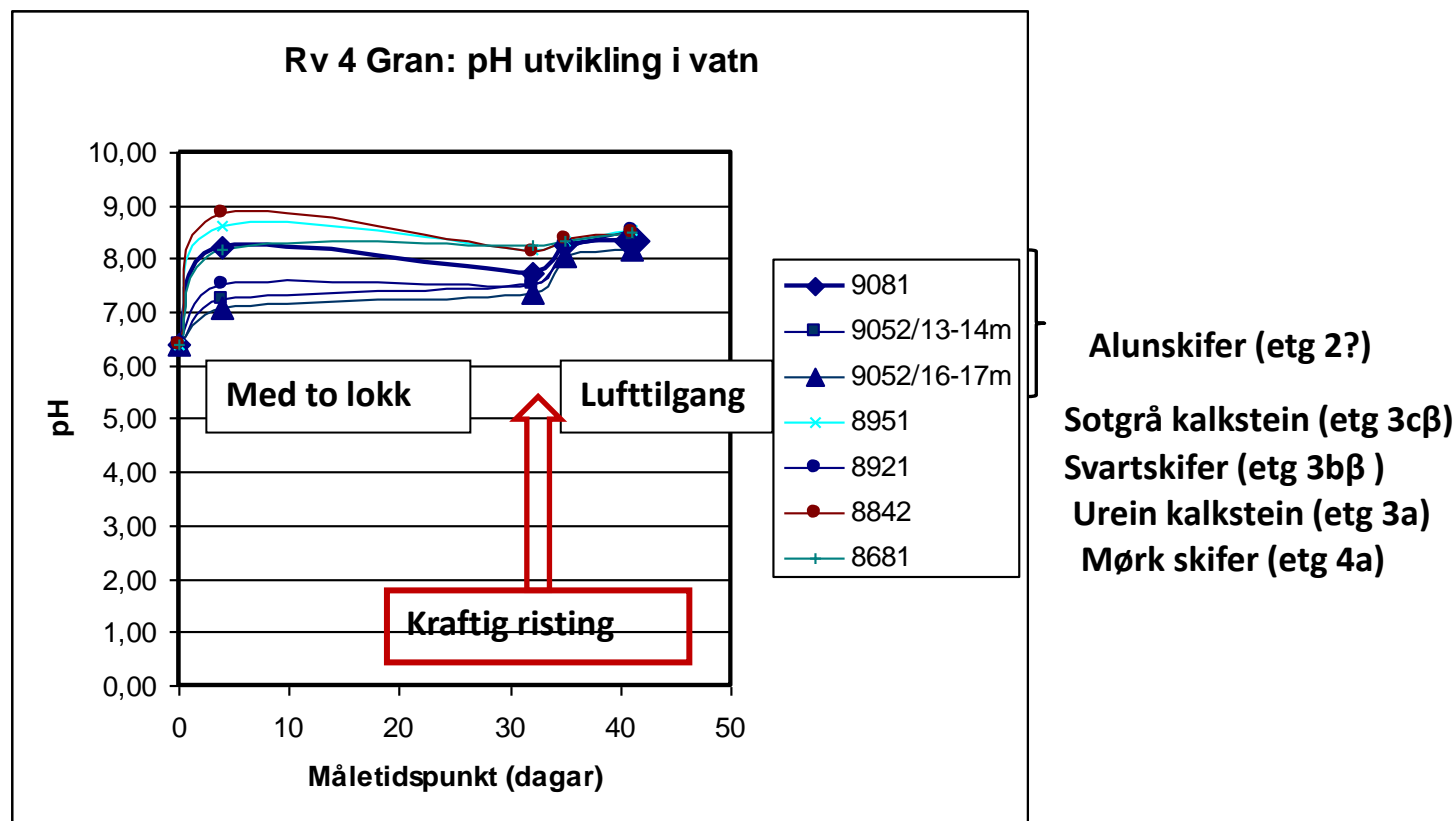




# Statisk utlekking: Resultat etter 42 dager

## Relativt uforvitra alunskifrar og kalkstein

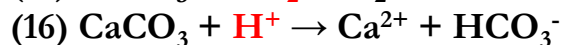
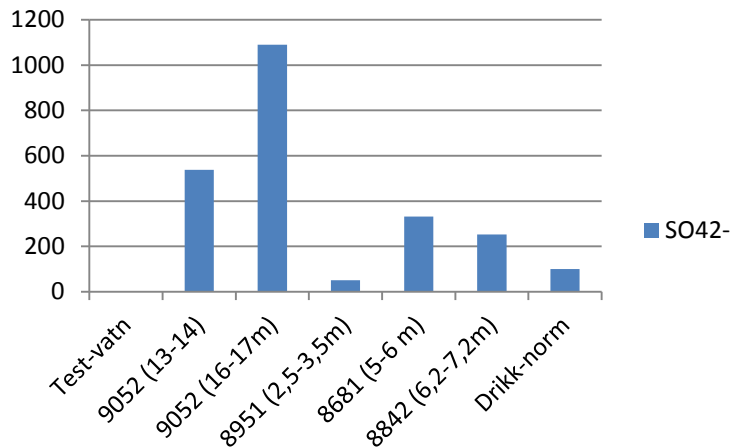
**NB! Meir forvitra alun gir ofte sterk forsurening**



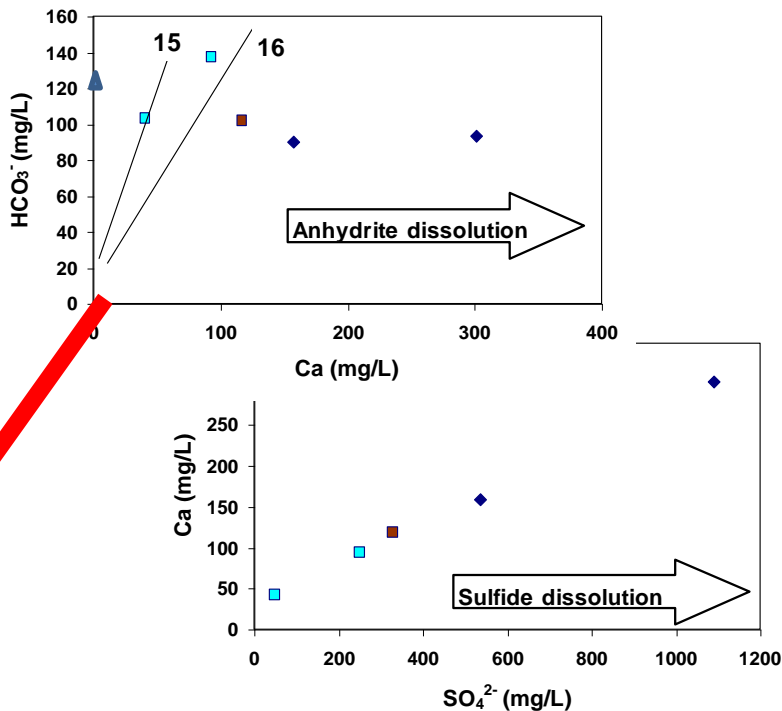


# Relativt uforvittra alunskifer og kalksteinar Statisk utlekking av ioner (alle i mg/liter i eluat)

SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> Mest frå uforvittra alunskifer,



Fe<sup>2+</sup> varierte mellom ca 0 – 0.6 mg/L i prøver med alunskifer. Sulfidbidraget er ikkje svært stort ved pH = 7-8



Sulfatkilder: sulfidoksidasjon og oppløysing av sulfat (anhydritt)

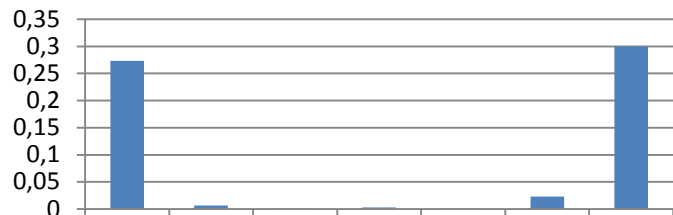
Anhydritt blei også påvist ved XRD

Oppløysing av kalkspat ved CO<sub>2</sub> = 15

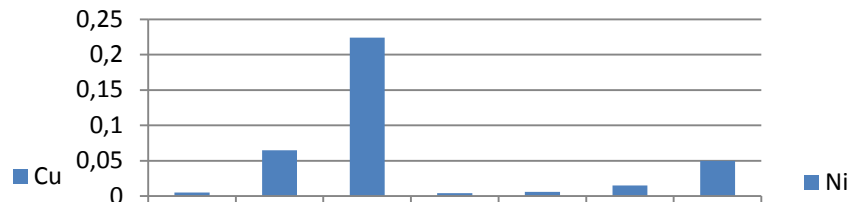
Oppløysing av kalkspat ved syre = 16



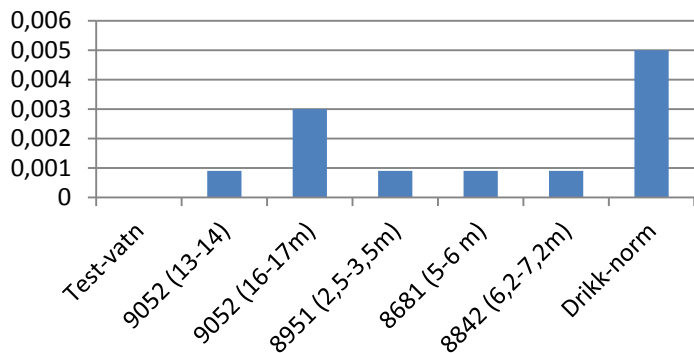
Cu



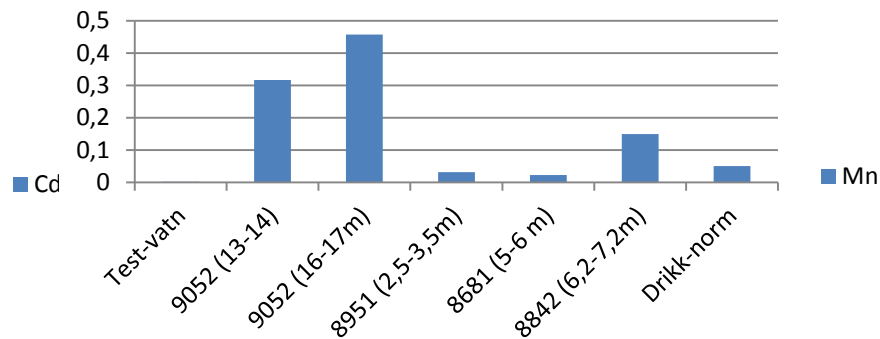
Ni mest frå feit alunskifer



Cd



Mn

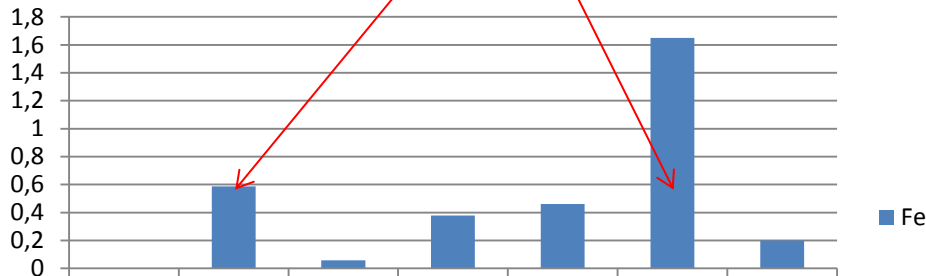


Viktig:

**Utlekking av tungmetall også ved nøytral pH!**



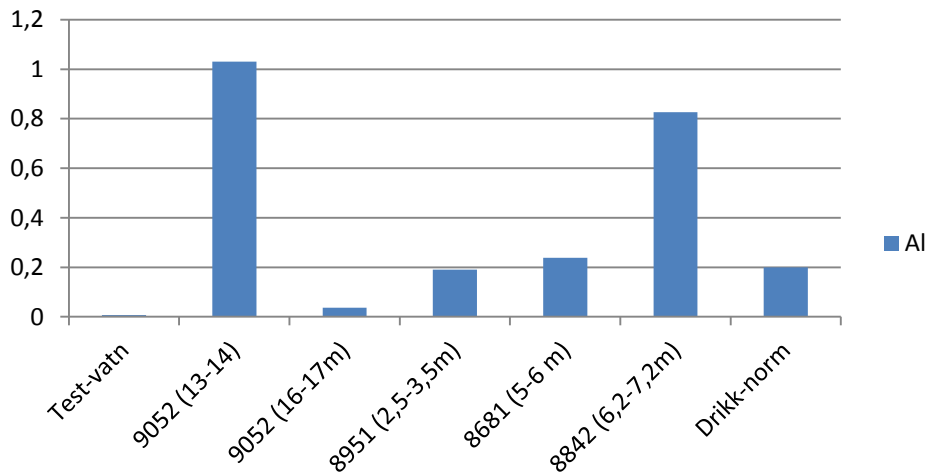
**Fe<sup>2+</sup> utlekking: høyest i alunskifer m rustflater og i urein kalkstein (etg 3c)**



Oksidasjon av Fe<sup>2+</sup>:  
Utfelling av rust gir syre

Svært lite Fe oppløyst

**Al utlekking: tilsvarende**



Al-frå feltspat & glimmer m.m  
Aukande ved låg pH (fisk)



## Resultat frå UMB/NMBU i samarbeid med etatsprogrammet NORWAT (2012-2015)

### ***NB! Statisk utlekking gir ikkje heile sanninga***

Det blei sett i gang tre MSc oppgåver med vekt på:

- Sekvensiell ekstraksjon (fleire trinn/ulike kjemiske vilkår)
- Fokus på tungmetall og uran
- etc

Ein PhD er også godt i gang: Gran er eitt deltema.

Mineralogisk analyse på utvalt materiale utført av Statens vegvesen ved Naturhistorisk museum



## Resultat MSc ved UMB/NORWAT – Hallis Fjermestad

- Sekvensiell ekstraksjon (fleire trinn/ulike kjemiske forhold)
- Ulike pH (2 t.o.m. 8)
- Prøver <2 mm borekaks i varierende aggressive trinn

DETTE GIR OSS MEIR REALISTISK OVERSIKT OVER KVA SOM  
KAN LEKKE UT

DIMENSJONERANDE FOR AVBØTANDE TILTAK (ANLEGG/DRIFT)



## Resultat MSc ved UMB/NORWAT – Hallis Fjermestad

Tabell 1: Sekvensiell ekstraksjonsprosedyre. RT = romtemperatur. 20mL ekstraksjonsmiddel vart tilsett der ikkje anna er spesifisert.

Steg	Fraksjon	Ekstraksjonsmiddel	Ekstraksjonsforhold	
			Kontakttid (h)	Temperatur
1	Vass-løysелеleg	H <sub>2</sub> O	1	RT
2	Utbyttbart	1M NH <sub>4</sub> Ac - pH 7	2	RT
3	Bunde til karbonat	1M NH <sub>4</sub> Ac - pH 5	2	RT
4	Bunde til Fe-/Mn oksid	0,04M NH <sub>2</sub> OH·HCl i 25% HAc (pH~ 3)	6	80°C
5	Organisk materiale/ sulfid	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 30% (pH~2) (15 mL)	5,5	80°C
		3,2M NH <sub>4</sub> Ac i 20 % HNO <sub>3</sub> (5 mL)	0,5	RT
6	Restfraksjon	7M HNO <sub>3</sub> (65 %)	6	80°C

Reduksjon →

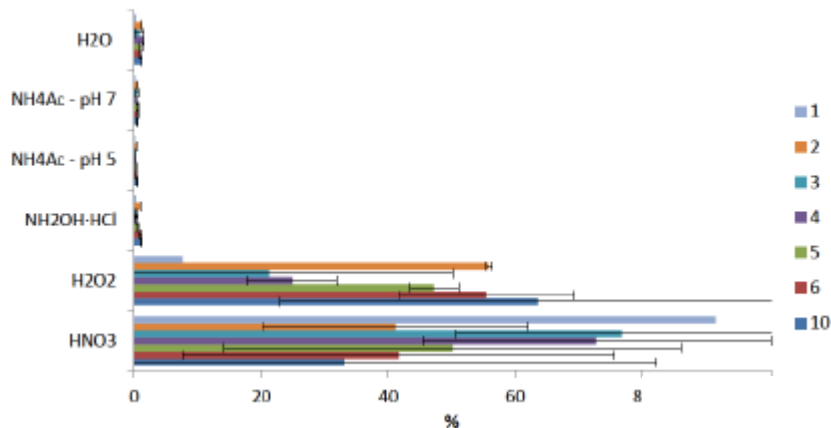
Oksidasjon →

- Zn på Gran litt høgare enn i Oslo-området,
- Andre er generelt lågare (også støtta av statistikk frå NGI)
- As og Al på Gran er svært vanskeleg mobiliserbare
- Høg bufferevne bekrefta
- Ved senking av pH aukar U, Th, Pb, Zn og Cd merkbart.



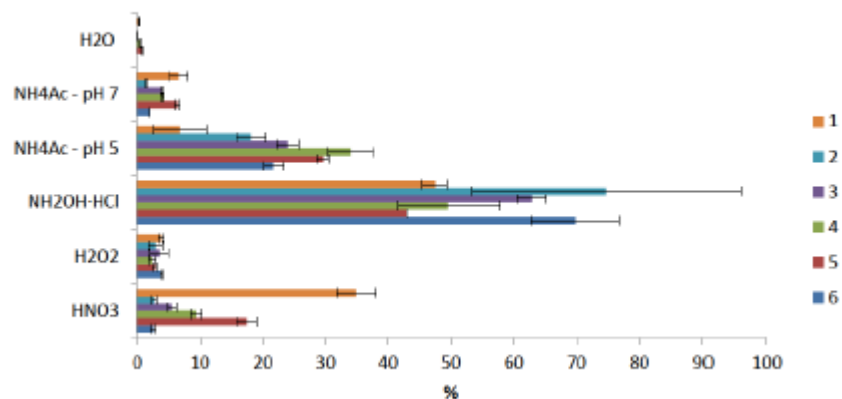
# Resultat MSc ved UMB/NORWAT – Hallis Fjermestad

S



Svovelkis oksidasjon bare ved hydrogenperoxid og pH ca 3

Ca

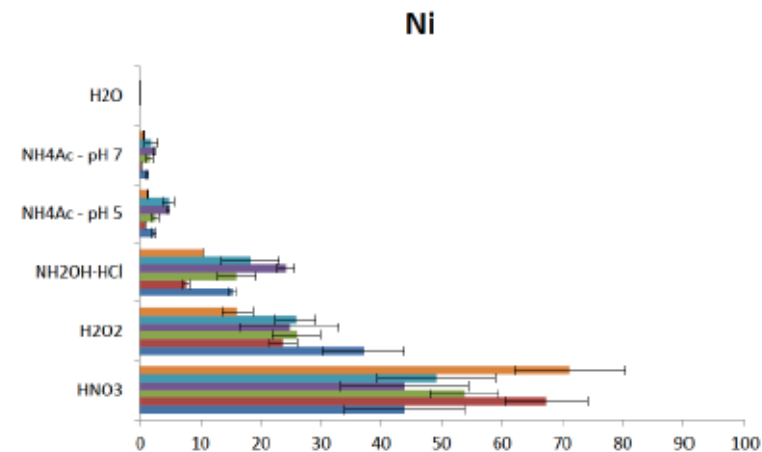
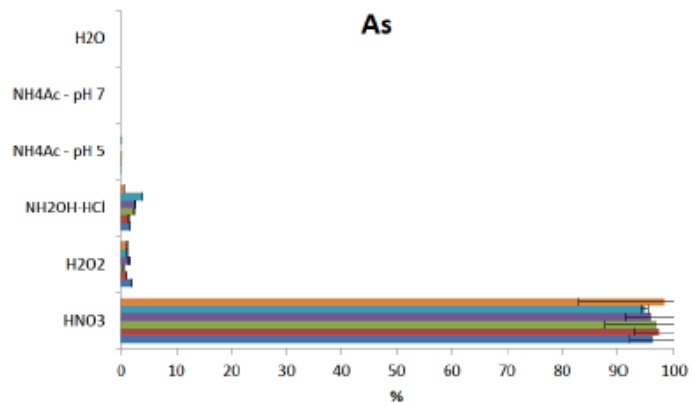
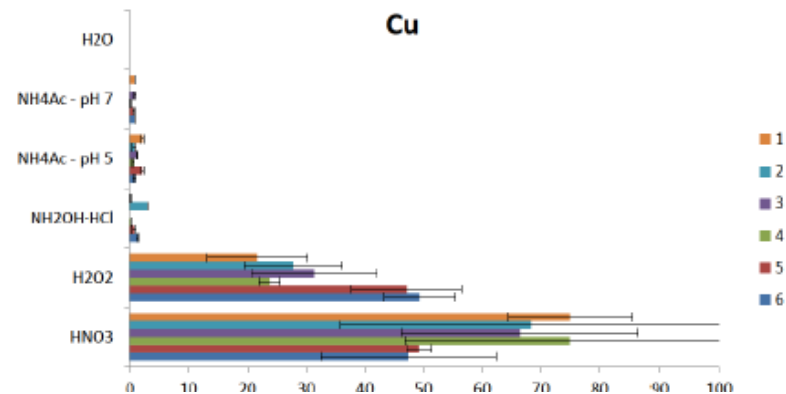
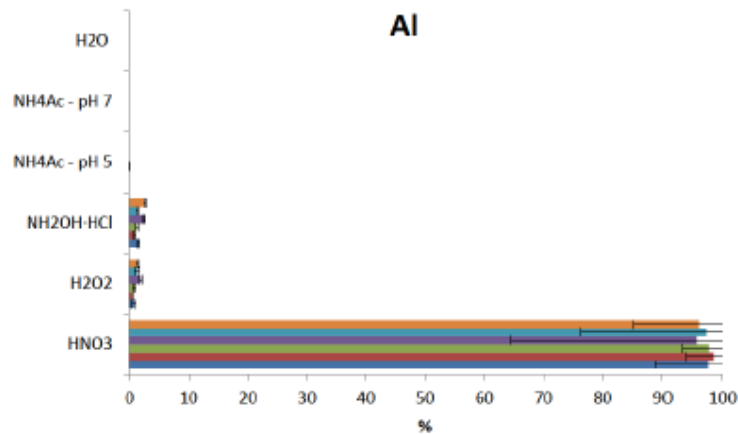


Ca frå karbonat aukar når pH - avtar.





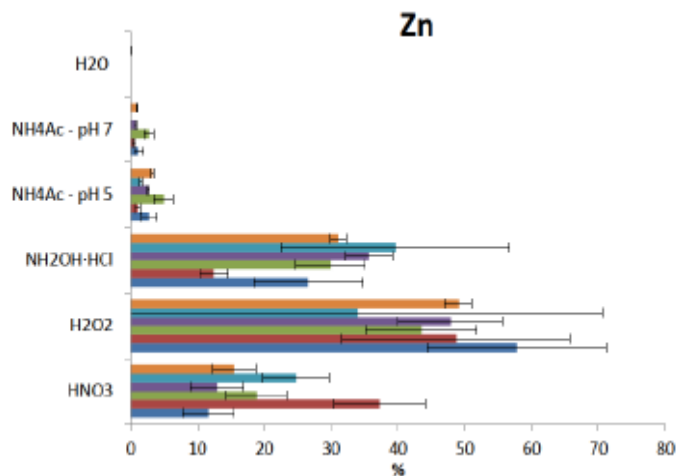
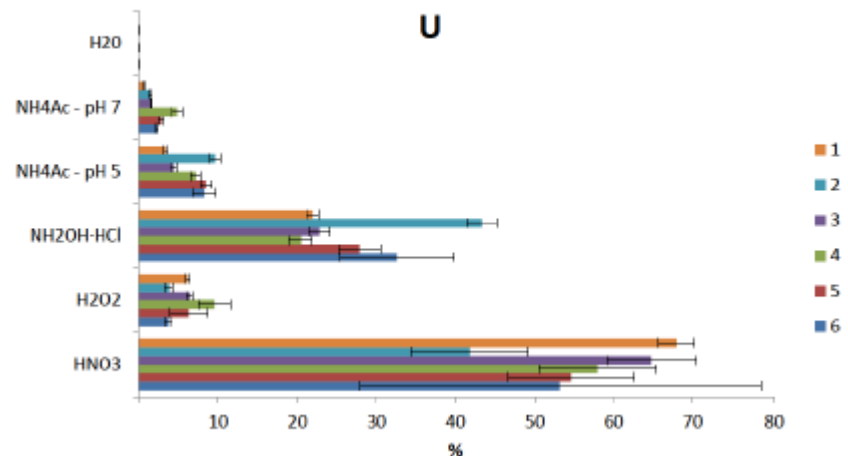
# Resultat MSc ved UMB/NORWAT - HallisFjermestad



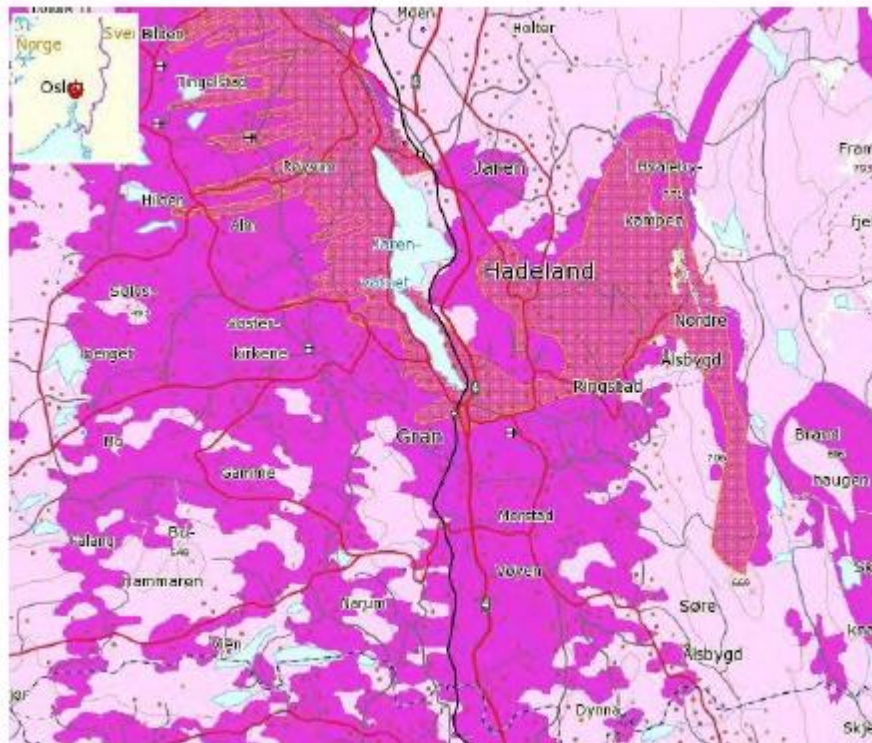


# Resultat MSc ved UMB/NORWAT – Hallis Fjermestad

Pb, Mo og U mobilisert  
relativt i reduserende steg



## Resultat MSc ved UMB/NORWAT -Tari Helmers



Map of Radon gas hazard. The dark pink represents regions of high concent

Fokus på Uran under varierende pH

Ikkje bare alunskifer bidrar med uran, men dei andre bergartane har lågare totalinnhald.

Utførte kinetiske studier

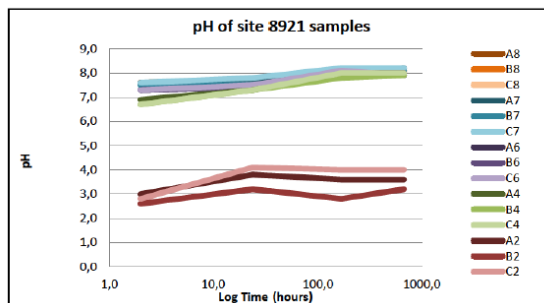


# Resultat MSc ved UMB/NORWAT -Tari Helmers

Eksempel svartskifer  
Type Galgeberg

Relative fraction (%) of uranium leached from site 8841 samples in accordance one month's time.

Site	Depth	pH	Range of U Leached	Total U in Bedrock Material	% of Total U Leached
			mg/kg	mg/kg	
8921	3.9-4.9	2	1.3-4.3		36
8921	3.9-4.9	4	0.023-0.33		2
8921	3.9-4.9	6	0.0015-0.26	32	1
8921	3.9-4.9	7	0.011-0.32		1
8921	3.9-4.9	8	0.014-0.35		2
8921	4.9-5.9	2	1.1-3.2		26
8921	4.9-5.9	4	0.033-0.43		2
8921	4.9-5.9	6	0.0015-0.51	31	2
8921	4.9-5.9	7	0.023-0.48		2
8921	4.9-5.9	8	0.019-0.53		2
8921	5.9-6.9	2	1.4-3.0		30
8921	5.9-6.9	4	0.046-0.53		3
8921	5.9-6.9	6	0.017-0.50	29	3
8921	5.9-6.9	7	0.016-0.49		2
8921	5.9-6.9	8	0.028-0.62		3





## Kjemisk klassifisering: (sjå foredraget til H. Fjermestad)

- SVV har sett opp interne grenseverdier for tunnelmasse, for å skilje mellom alunskifer, alunskiferliknande bergartar (til deponi) og andre bergartar (ikkje deponering)

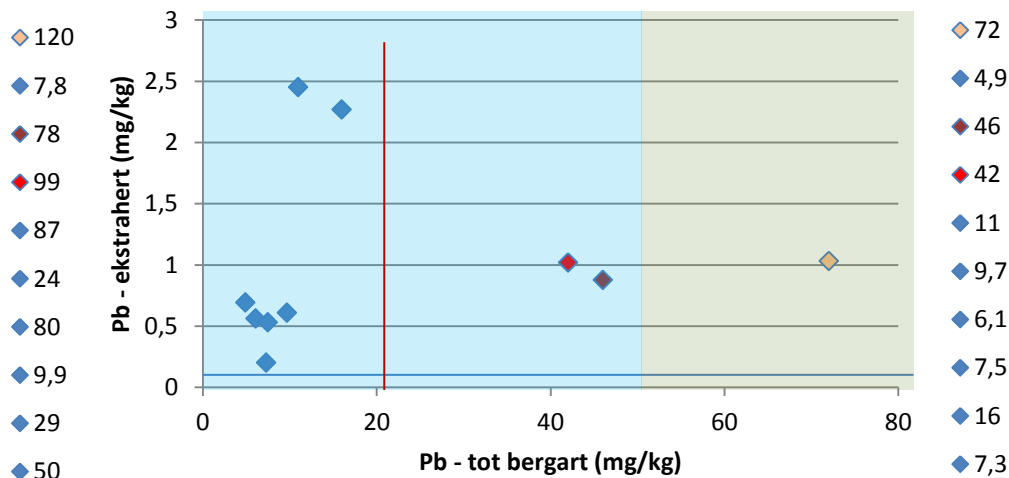
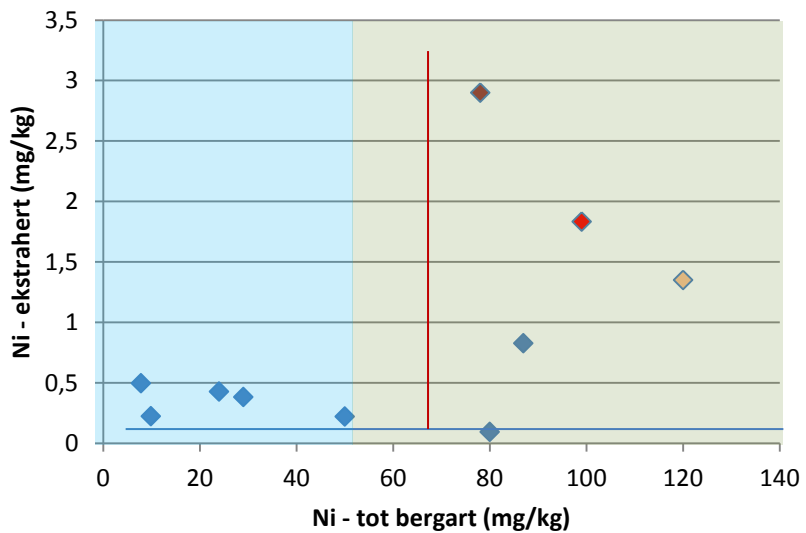
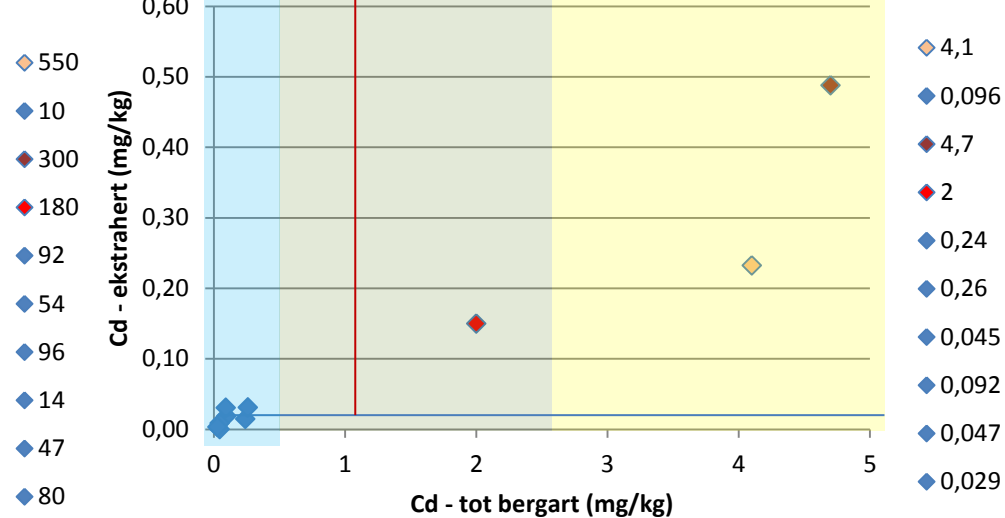
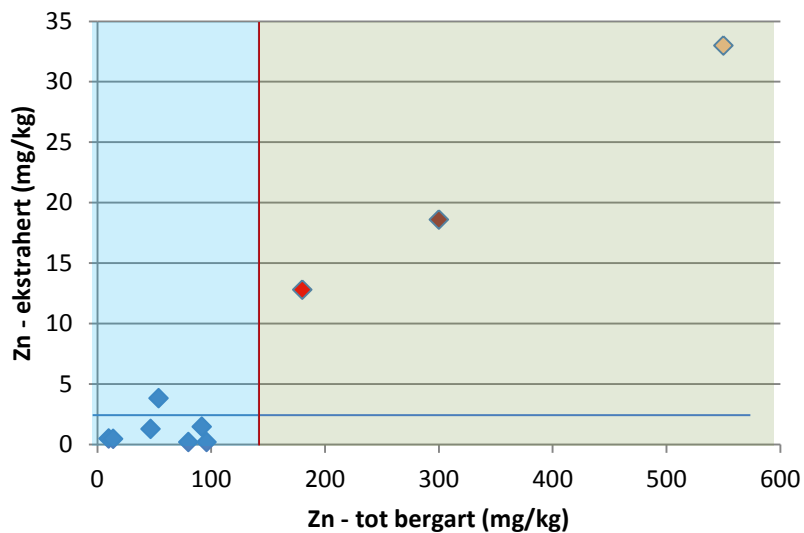
- Hovudfilosofi:

Alunskifer dimensjonerer og alle variantar av alunskifer formasjonen går til deponi.

Alle kalksteinstyper (mørke eller lyse) skal ikkje deponerast.

Bergartar som overlappar med alunskifer (gjeld delar av Galgebergledet) deponerast,

# Dimensjonerer etter pH = 5, (eks. frå H. Fjermestad)





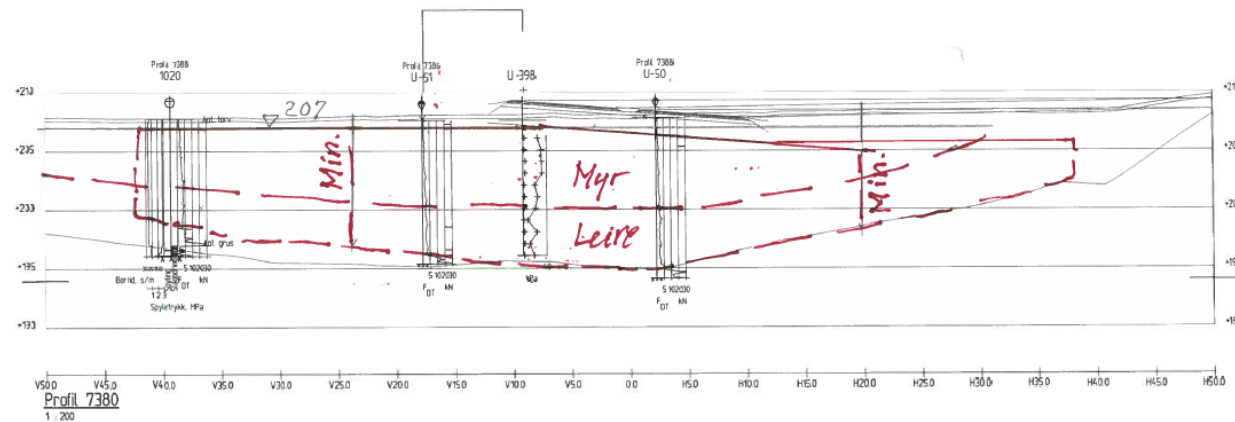
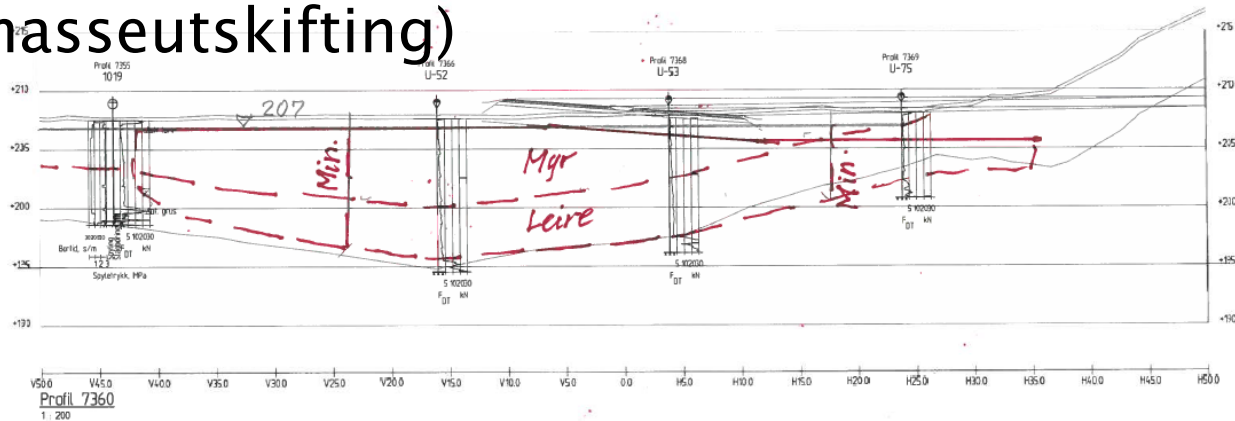
## Deponering av alunskifer og svartskifer på Gran

**Bakgrunn:** - 10 000 dumper-lass til Langøya er for dyrt  
- stort behov for masseutskifting av djup myr

- Søknad til KLIF nå MD (sendt 2012).  
Fekk tillatelse på 32 vilkår!
- Søknad radon: Undersøking viser at det ikkje er deponeringspliktig avfall: **under grensa på 1 Bq/gram** (NGI+IFE 2012)  
(søknad sendt 2012)



# Plassering av alunskifer og annen reaktiv svartskifer i myr (kombinert med behov for masseutskifting)







## Krav til masselager/masseutskifting på Gran

Kjemisk optimale forhold (nøytral pH og  $E_h < 0$ )

Unngå gjennomstrømming av oksygenrikt vann

Geoteknisk stabilt (graving og fortrenging)

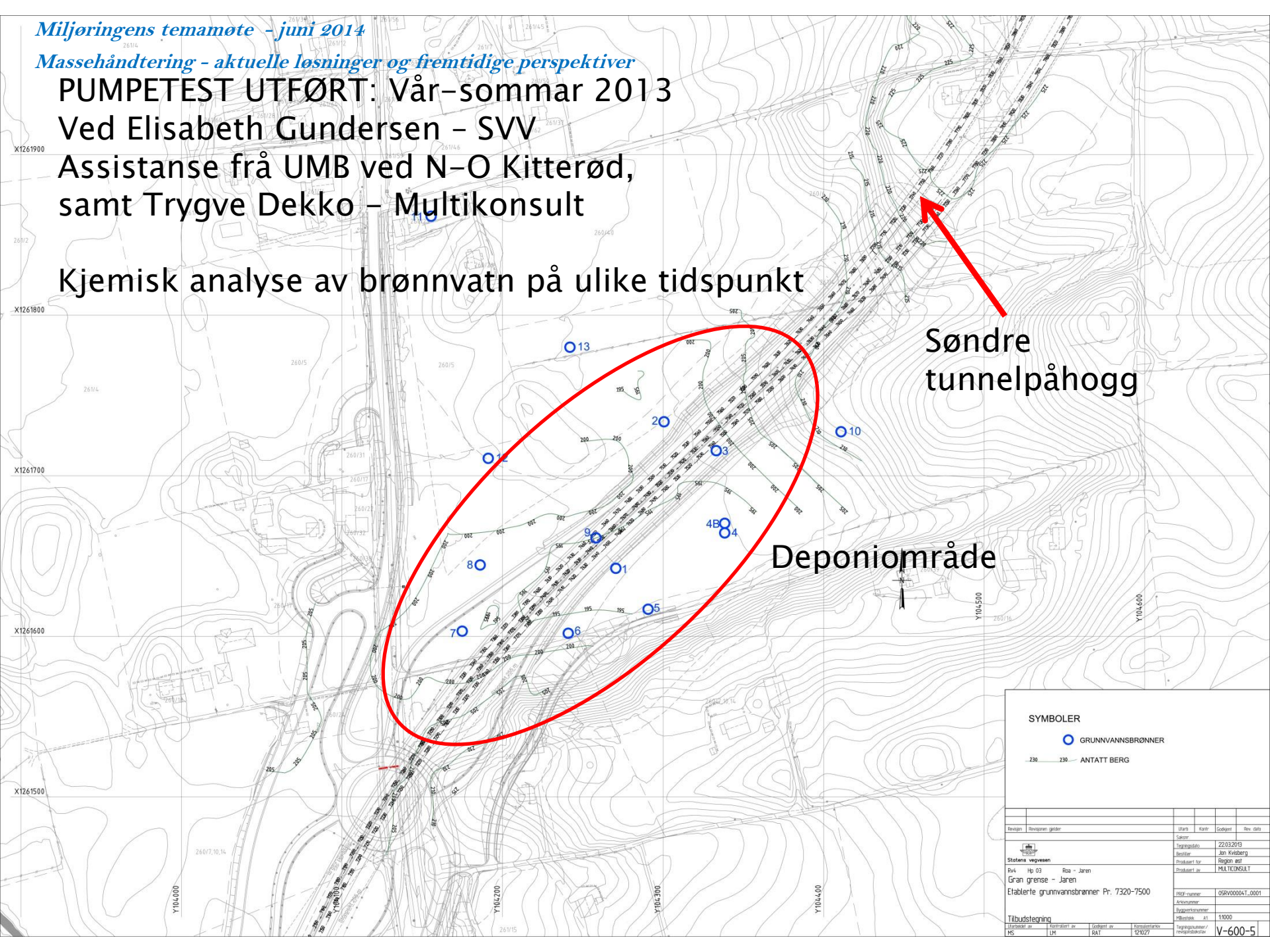
Det skal ligge veg oppå!

# PUMPETEST UTFØRT: Vår-sommer 2013

Ved Elisabeth Gundersen - SVV

Assistanse fra UMB ved N-O Kitterød,  
samt Trygve Dekko - Multiconsult

Kjemisk analyse av brønnvann på ulike tidspunkt



Søndre  
tunnelpåhogg

Deponiområde

### SYMBOLER

GRUNNVANNSBRØNNER

230 230 ANTATT BERG

Revisjon	Revisjonsperson	Utars	Korrt	Endring	Rev. dato
<b>Statens vegvesen</b>					
Rivt Hp 03 Røa - Jaren					
Gran grense - Jaren					
Etablerede grunnvannbrønner Pr: 7320-7500					
Prosjekt nr: MULTIKONSULT					
Prosjekt nummer: 05SV00004T_0001					
Arbeidsnummer: 12/12/27					
Skala: 1:1000					
Tegningsnummer/rev. nummer: V-600-5					



# Borekjerter fra myra (54 mm sylindere)

RV 4 Gran grense-Jaren

STATENS VEGVESEN		PRØVETAKING	
Blankett nr. 439		↑	
Sted <i>Deponi Gran</i>		Prøvetaker <i>54mm</i>	
Oppdragsnr. <i>10 51 50</i>		Grunnvannst.	
Hull <i>A 1</i>		Terrengkote	
Dato <i>27/8-12</i>		Sign. <i>K.O.H-1.B</i>	
Dybde i meter	Prove dybde	Sylinder nr.	Merknad
1	<i>0-1,2m</i>	<i>Pose</i>	<i>Myr</i>
2	<i>1,2-2m</i>	<i>20</i>	<i>Myr</i>
3	<i>2,2-3m</i>	<i>10A</i>	<i>Silt / myr ?</i>
4	<i>3,2-4m</i>	<i>B89</i>	<i>silt / myr ?</i>
5	<i>4,2-5m</i>	<i>1473</i>	<i>Silt</i>
6	<i>5,2-6m</i>	<i>624</i>	<i>silt / Fin sand</i>
7	<i>6,2-7m</i>	<i>1009</i>	<i>Leire</i>
8	<i>7,2-8m</i>	<i>61</i>	<i>Fin Sand</i>
9	<i>8,2-9m</i>	<i>C-124</i>	<i>Leire</i>
10	<i>9,2-10m</i>	<i>84</i>	<i>Leire</i>
11	<i>10,2-11m</i>	<i>167</i>	<i>Leire<sup>m</sup> noe grus</i>
12			
13			<i>stopp på <del>11m</del></i>
14			<i>P.g.a grus</i>

- Myrjord/torv (2-5(-7)m)
- Marin siltig leire med lokale innslag av sand (4-12 m)
- Morene nederst (ofte).



## Viktige resultat frå pumpetesten (sjå detaljar i foredraget til Elisabeth Gundersen)

- Torva viser ikkje nemneverdig lateral vanntransport
- Innslag av permeable lommer av sand, neppe kommunikasjon
- Nedre lag (berg +/- morene) fører mest vatn: *Ikkje artesisk!!*
- Gradienten går til ein viss grad frå berg mot overflate

Dette er ein fordel, fordi grunnvatnet i berg er reduserande!

Topografiske forhold gir ikkje direkte avrenning ut til resipient (elva Vigga); myrområder og fjelltopografi stenger

MEN, det er heilt nødvendig:

- å legge alunskifermassen under minste grunnvasstand
- Sørge for at overvatn renner godt til side for sjølve deponiet



# Reduserende forhold er viktig for og stabilisere Fe-sulfid

Redoksforhold	Bevaring	Redoks mV
Oksiderende	Elendig	200
Nitrat til oksiderende	Dårlig	100
Nitrat til jernred.	Middels	50
Jernreducerende	Middels	-100
Nitrat til sulfatred.	Bra	-200
Sulfatreducerende	Bra	-350
Sulfatred. til metanogene	Utmerket	-400

# In situ målinger dagen før pumpetesten starta.

## Varierer frå oks til red, men greit nok på djupet i kontakt med berg

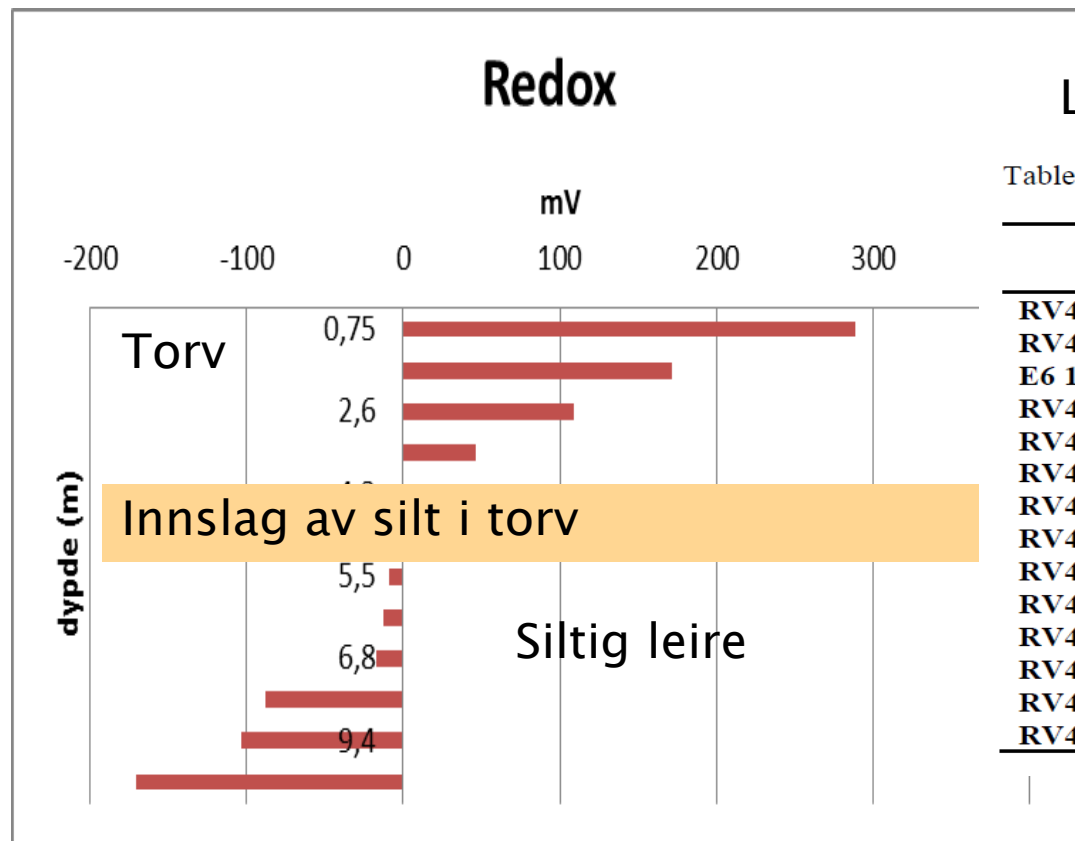


Statens vegvesen

Well	Depth [m] (Aproximatley)	Depth below watertable [m]	Temprature [C]	pH	O2 concentration [mg/l]	O2 saturation [% O2]	ORP (Redox) [mV]	Conductivity [mS]	Turbidity [NTU]
1	6	0,67	5,97	7,66	2,92	24,9	190,4	0,53	0,6
1	15	9,65	5,84	7,52	0,45	3,9	33,2	0,62	220,4
2	7	2,12	6,63	6,75	0,46	4,2	129,9	0,83	256,0
3	6	0,20	6,80	7,54	6,46	58,0	15,9	0,63	136,2
3	15	8,92	6,36	7,51	0,43	4,0	-273,0	0,72	0,9
4	6	1,58	6,30	7,25	4,78	42,4	226,0	0,63	247,0
4	25	20,57	5,99	8,96	1,03	9,1	-152,3	0,82	0,8
4b	6	0,78	6,13	7,00	4,07	36,0	143,5	0,69	44,6
5	6	0,94	5,74	7,30	3,78	32,7	-64,8	0,66	4,8
5	10	4,94	5,46	7,03	1,04	8,5	-172,0	0,73	44,2
6	5	0,18	6,48	7,70	9,95	88,8	256,0	0,54	3,0
6	12	7,18	5,31	7,17	1,38	12,0	261,4	0,73	57,9
7	5	0,68	4,86	6,49	1,23	10,5	98,6	0,55	3,4
7	10	5,67	5,02	6,53	0,41	3,5	50,6	0,62	205,5
8	7	0,17	6,54	6,45	1,07	9,1	87,8	0,62	12,6
8	10	4,16	6,40	6,52	0,34	3,0	50,2	0,70	11,1
9	6	0,56	6,40	7,46	4,29	36,6	147,8	0,62	17,5
9	15	9,57	6,08	7,35	0,42	3,7	-19,5	0,70	113,9
10	*	*	*	*	*	*	*	*	*
11	*	*	*	*	*	*	*	*	*
12	*	*	*	*	*	*	*	*	*
13	6	0,98	5,28	7,24	0,99	0,6	-277,7	0,73	1,3
13	13	8,14	5,46	7,25	0,46	4,0	-313,7	0,74	287,0



# Redoksprofil i 54 mm sylindrer in situ målinger Statens vegvesen



Lokalt låg pH i torv (2–3 m djup)

Table 5: pH results of the solid samples.

Sample Code	pH
RV4 0 m Hull 1	6.2
RV4 0-1.2 m	5.8
E6 1.2-2.0 m	5.3
RV4 2.0 m	4.4
RV4 2.6 m	4.3
RV4 3.2 m	7.3
RV4 3.4 m	7.5
RV4 3.6 m	7.0
RV4 3.7 m	6.6
RV4 4.4 m	7.0
RV4 4.9 m	8.0
RV4 5.5 m	7.7
RV4 6.8 m	7.4
RV4 7.8 m	7.3

Lokalt låg pH i torva pga “myrsulfid”: skal ikkje i kontakt med deponert alun



# In situ eigenskapar vs stabilitet av svovelkis ( $\text{FeS}_2$ ):

Miljø i kontakt med atm

Nedre stabilitet av  $\text{Fe}^{3+}$

Regn/bekker

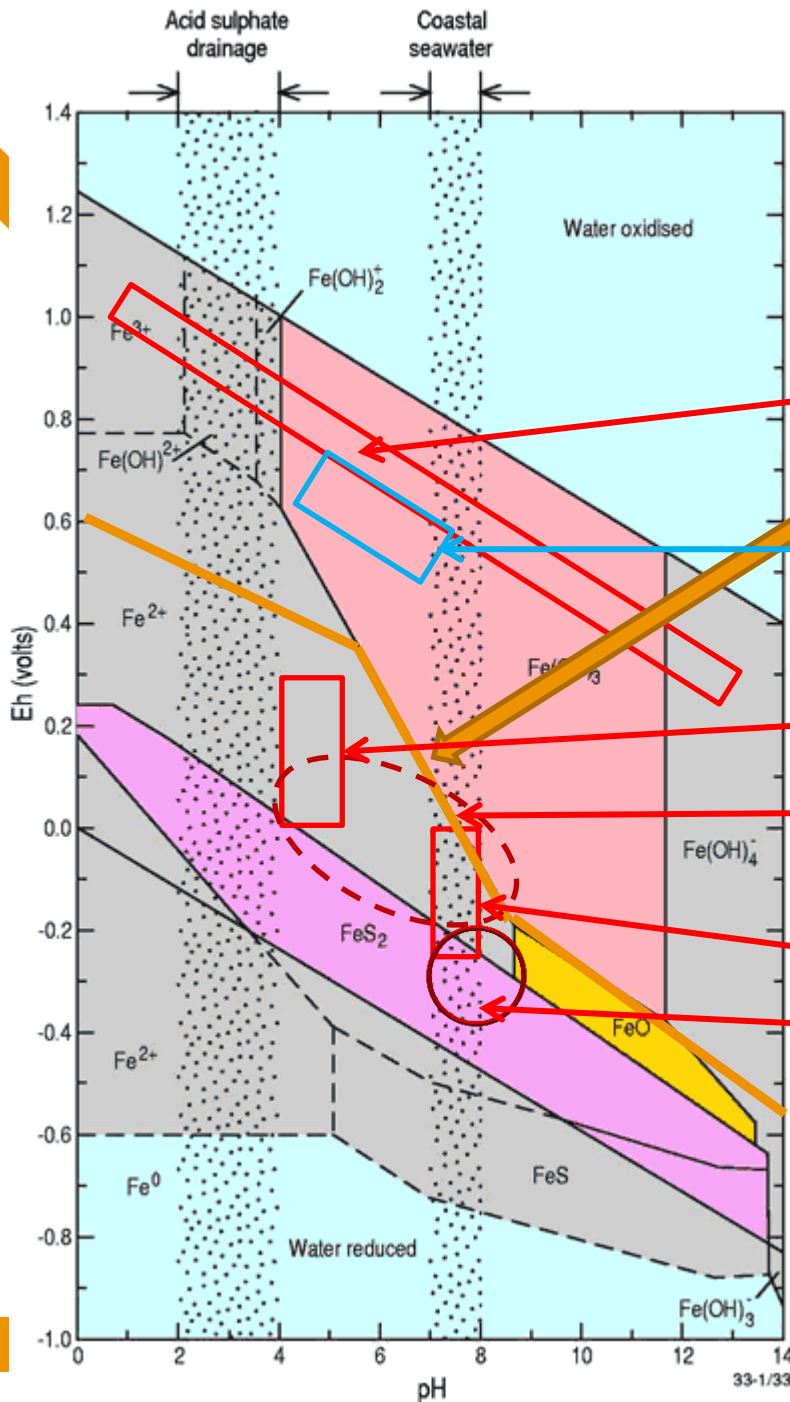
Torv - Gran *in situ*

Gran *in situ* (hovudvariasjon i lausmasse)

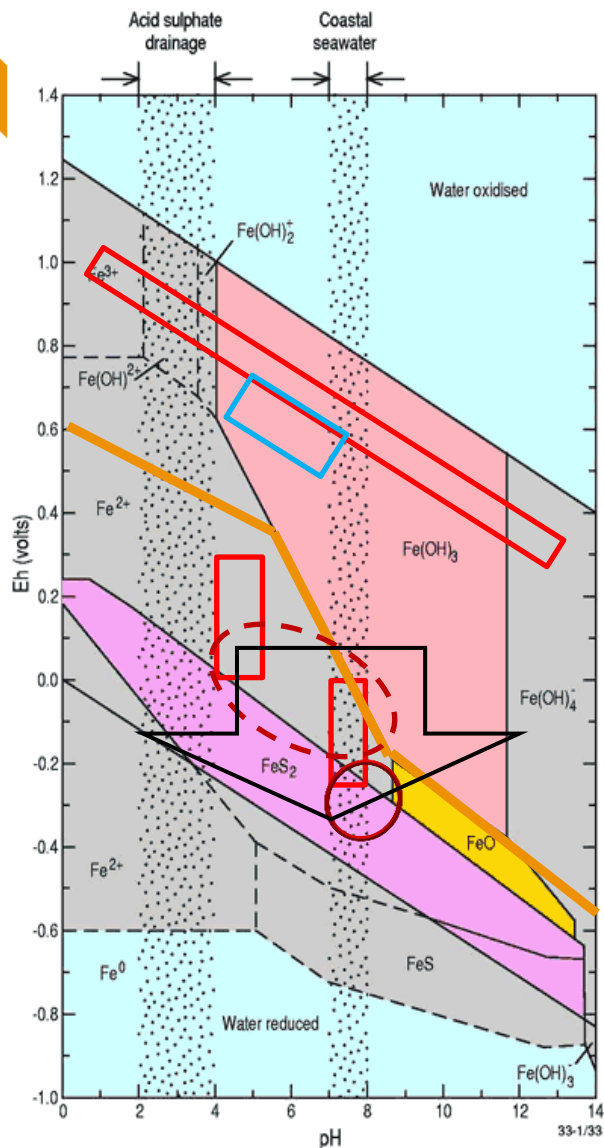
Silt/leire - Gran *in situ*

Djupt grunnvatn - Gran *in situ*

Vatn frå fjell vil vere på trygg side. Neppe problem med  $\text{Fe}^{3+}$  oksidasjon av sulfid (som er svært syregivande)







Vi vil oppnå permanent reduserende forhold:

Svart pil viser venta effekt av skjerming mot oksygenrikt overflatevatn i kombinasjon med innblanding av djupt grunnvatn (redusert).

Oppnår stabilitet av sulfid ved  
Eh = -200 mV til -300 mV  
pH = (5) 7-8



## Det bør være muleg å deponere andre stader også, MEN:

- Alunskiferen på Gran er noko “snillare” enn f.eks i Oslo
- Stort behov for analysar/dokumentasjon av lokal alunskifer
- Lokal deponering er avhengig av at ein kan lagre skiferen slik at ein unngår innverknad frå oksigenrikt vatn
- Design er svært viktig: må alltid skjermast mot overvatn, og må elles vere tetta i tilstrekkeleg grad. Det er nødvendig å spele på lag med naturen:
- IKKJE alle stader er eigna for deponering av alunskifer; topografiske forhold, kvartærgeologi, hydrogeologi etc, bestemmer!



## Konklusjoner om håndtering av alunskifer og svartskifer:

- Problematikken avrenning frå berg må komme klarare fram som tema i forundersøkingar/prosjektering
- Tverrfagleg arbeid/samarbeid er heilt avgjerande, også med tanke på overvaking i anleggs- og driftsfasen
- Det er behov for å etablere metodikk og haldningar som er eigna til å fange opp alle
- Behov for å komme fram til differensierte/alternative & sikre deponeringsløyningar
- Kontrakter må kvalitetssikrast i lys av resultat frå forundersøkingane
- Erfaringar bl.a. frå Gran vil bli viktige
- Etatsprogrammet NORWAT fokuserer sterkt på problemstillinga; men også Miljødirektoratet og Statens strålevern har aktivitetar