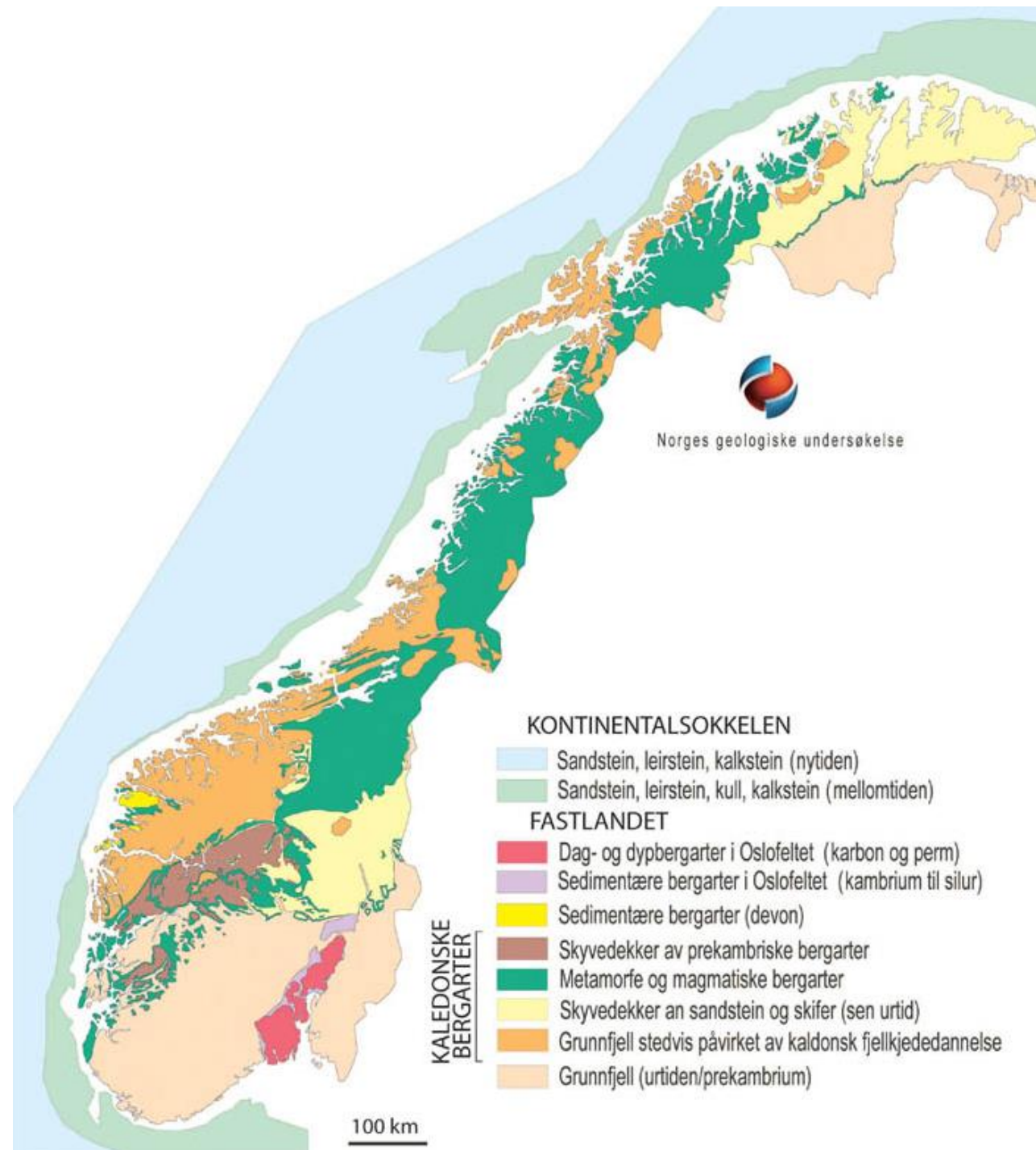


SULFIDFØRENDE BERG PÅ SØRLANDET

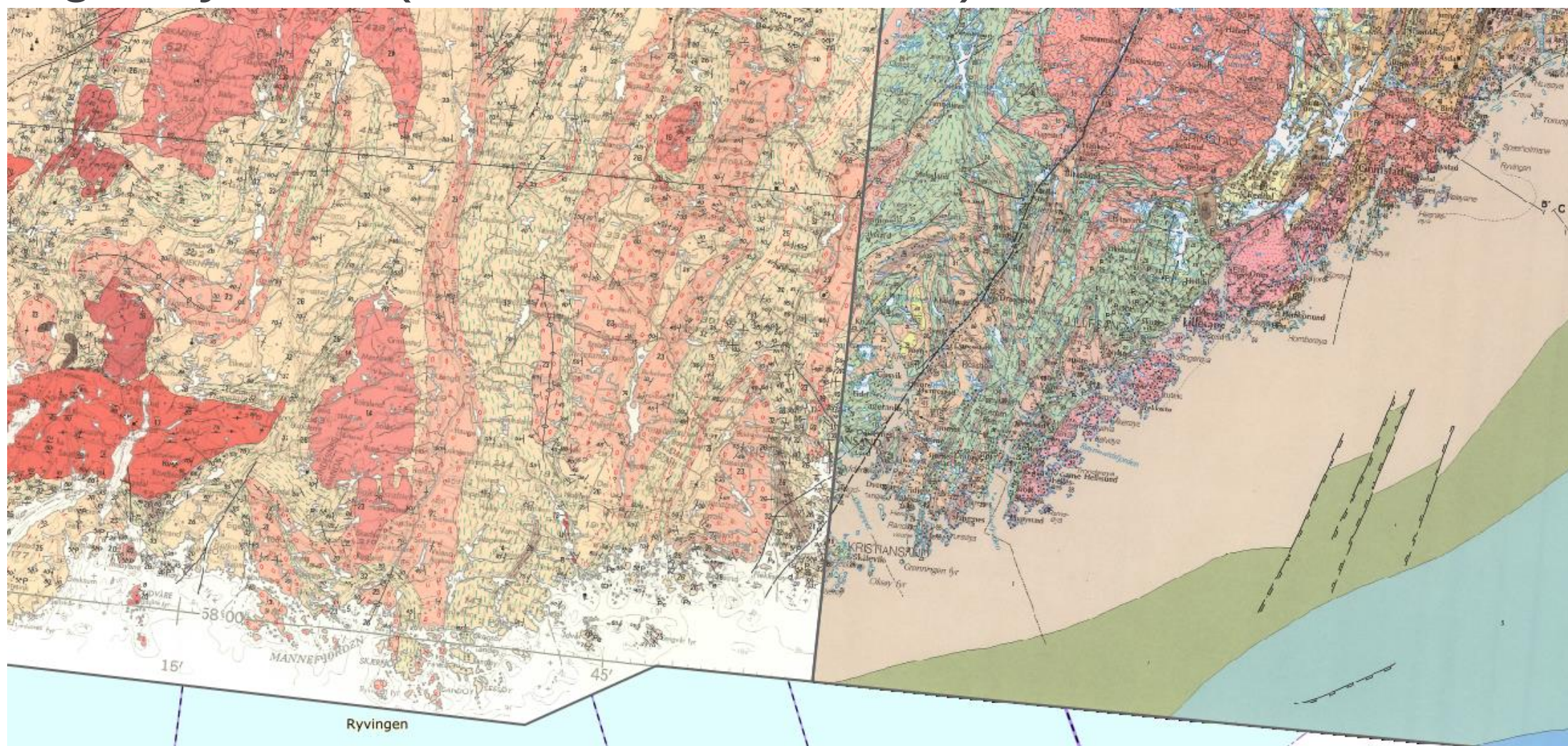
ERFARINGER, UTFORDRINGER OG UNDERSØKELSESMETODER

MORTEN CHRISTIANSEN

Geologi

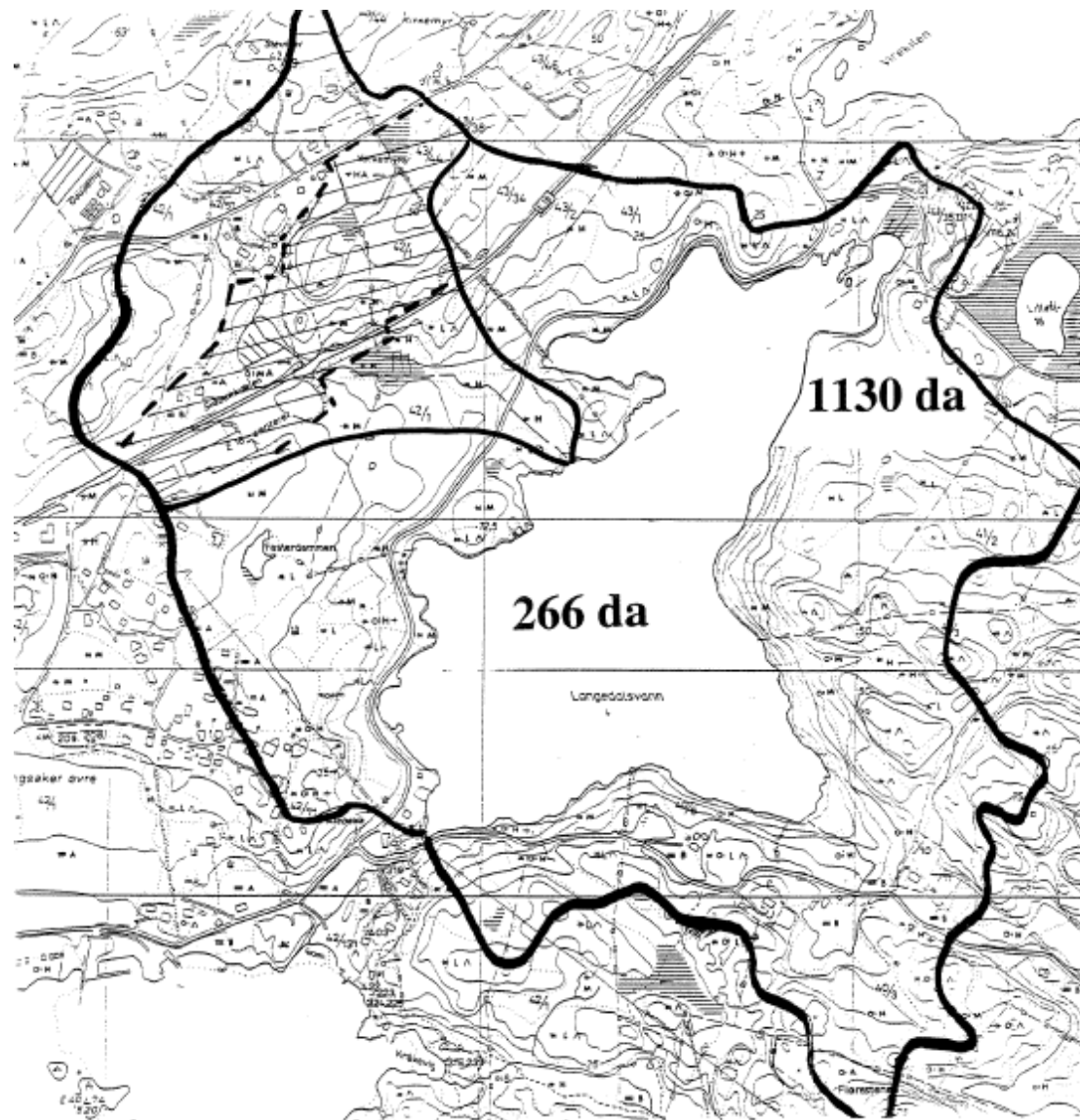


Agderfylkene (NGU:N250 kartserie)



Historikk

- Langedalstjønna Lillesand (NIVA 1992)
 - 200 000 m³ utsprengt masse førte til
 - pH 4.3 – 4.4
 - Høye Al-konsentrasjoner
 - Fiskedød



Historikk

- E18 Grimstad – Kristiansand (2009)
 - Gjennom kjente sulfidområder
 - Fortløpende klassifisering

→ Sur avrenning fra deponiområder
 → Høye Al-konsentrasjoner

Niva (2013): Fra deponi M15/16
 ca. **240 kg S/dag** eller
90 tonn S/år



Kilde: «E18 Grimstad-Kristiansand gjennom sulfidholdige bergarter – syreproduksjon og effekter på avrenningsvann», Atle Hindar, 2013 (NIVA)

Hva skjer?

1. Svovel fra berggrunnen + H_2O og $\text{O}_2 \rightarrow$ Syre
2. Syre $\rightarrow$ Utvasking av metaller
bl.a. Al som er svært giftig for fisk

Svovel i berggrunnen

- Kilden til svovel i bergmassen er:
 - sulfidmineraler som svovelkis og magnetkis
 - svovelholdige jernsulfater (f.eks. Jarositt), forvittringsprodukt på slepper
- Svovelinnholdet er ikke et problem i uberørt bergmasse
- Fragmentering øker tilgjengeligheten for O_2 og $H_2O \rightarrow$ syredannelse $\rightarrow$ Metaller
- Miljøproblem hvis:
 - S-innhold som fører til pH-senkning
 - Sårbar resipient
- Svovelet i bergmassen har sin opprinnelse fra tidligere tiders vulkansk aktivitet.

Svovelkis	
	
Svovelkis	
Generelt	
Formel	FeS_2
Gruppe	Sulfider
Identifikasjon	
Farge	lys gul, metallisk
Krystallsystem	kubisk
Kløv	utydelig
Hardhet (Mohs)	6–6,5
Strekfarge	svart-grønn
Tetthet	5,0

Kilde: Wikipedia

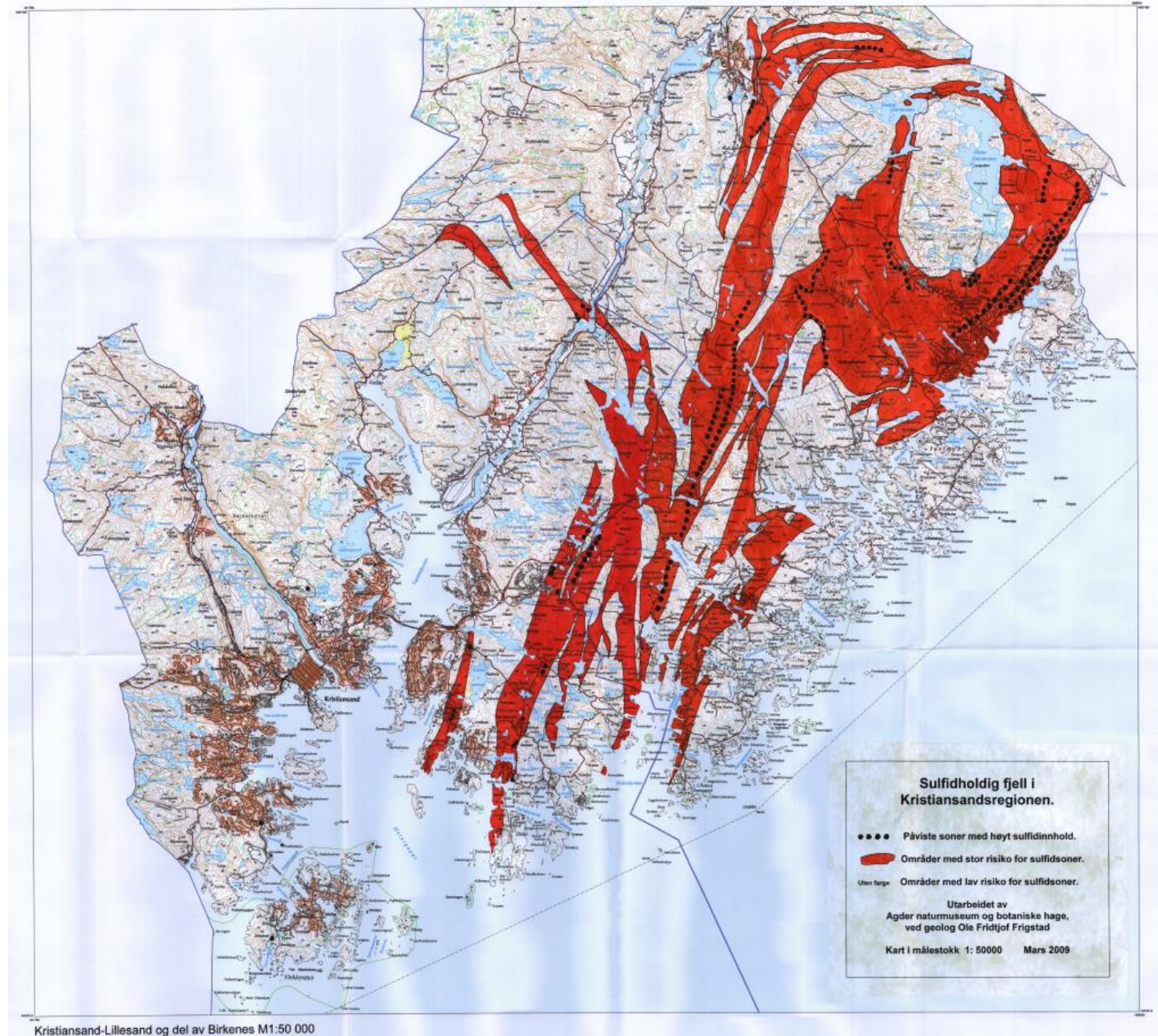
Sulfidsoner

- Finnes oftest i båndgneisområder
- Rustne, forvitrede, brune/gulgrønne soner
- Ofte ca. 1m brede, men flere parallelle
- Vanskelige å identifisere før avdekking av løsmassedekke



Aktsomhetskart

- «Sulfidholdige bergarter i Kristiansandsregionen» (Ole Fritjof Frigstad/Agder naturmuseum og botanisk hage, 2009)
- Dekker kun områdene øst for Kristiansand



Lillesand har stor utbredelse av «rusten gneis»





«Lillesands-problem»?



Travparken



Hvordan undersøker vi?

- Kartstudie, feltkartlegging
- Prøvetaking og lab.testing
- Lillesand kommunes bestemmelser

Minimumskrav til prøvetakingsfrekvens:

Antall m ³ evt. antall dekar	Antall borestøvsprøver	Merknad
Inntil 100m ³	2	Ved pålegg fra kommunen
100m ³ – 500m ³	2	
Over 500 m ³	2+ 1 prøve per 1000m ³ over 500m ³	Prøveantall kan reduseres dersom geolog er til stede under grunnarbeidene.

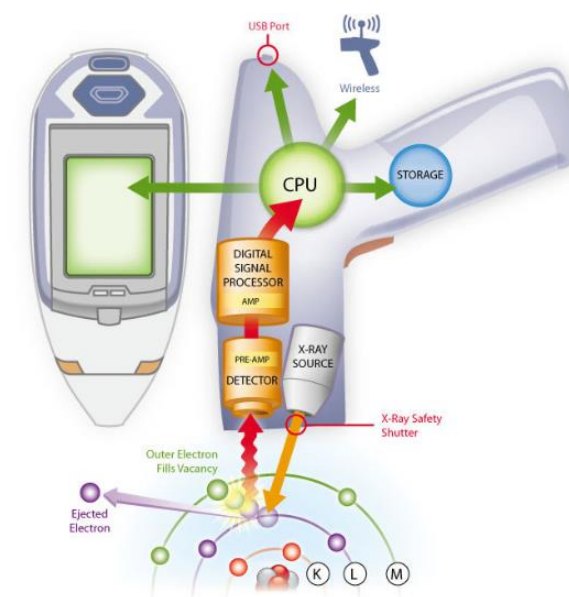
Prosentvis innhold av svovel-forbindelser	Krav til håndtering	Krav om tiltaksplan, jfr. Forurensningsforskriften § 2-6
< 0,18% totalt svovel	Massene ansees som rene. Avbøtende tiltak er ikke påkrevd.	I hovedsak ikke krav om tiltaksplan. Dersom avrenning fra tiltaket berører sårbare resipienter, kan kommunen kreve tiltaksplan eller på annen måte kreve avbøtende tiltak dersom utsprengt volum er større enn 1000 m ³ steinmasse og svovelinnholdet er nært opp til grenseverdien.
0,18 – 1,25% totalt svovel	Lav/moderat fare for forurensning fra steinmassene. Steinmassene kan lagres og benyttes i tiltaksområdet.	Det stilles krav om utarbeidelse av tiltaksplan etter forskriftens § 2-6.
> 1,25% totalt svovel	Stor fare for forurensning. Steinmassene må deponeres i spesialdeponi for sulfidholdig stein.	Krav om utarbeidelse av tiltaksplan. Tiltak som i vesentlig grad berører steinmasse med stor fare for forurensning kan utløse krav om utslippstillatelse etter forurensningslovens § 11 for både anleggsperioden og for etableringen av spesialdeponi.

Måling av Total S-innhold: XRF

- XRF betyr «X-ray fluorescence» - røntgenfluorescens
 - Laboratorieanalyse eller håndholdt apparat
 - Måler total svovel i %
 - Blandet borstøvprøve uttykk for gjennomsnitt av bergmassen
- Begrensninger/feilkilder:
 - Måler kun på overflaten av prøve (håndholdt)



Bilde fra «Bruk av XRF på bergartar for vurdering av miljørisiko» (Statens vegvesen rapport nr. 516)



Bilde: www.spectro.com

Hydrogenperoksid-test

- Baserer seg på eksoterm reaksjon mellom sulfidmineral og hydrogenperoksid
- Borstøv + H_2O_2
- Måling av ΔT etter 25 minutter

($\Delta T > 1.2^\circ\text{C}$ ble satt som grenseverdi på E18 Grimstad-Kristiansand)

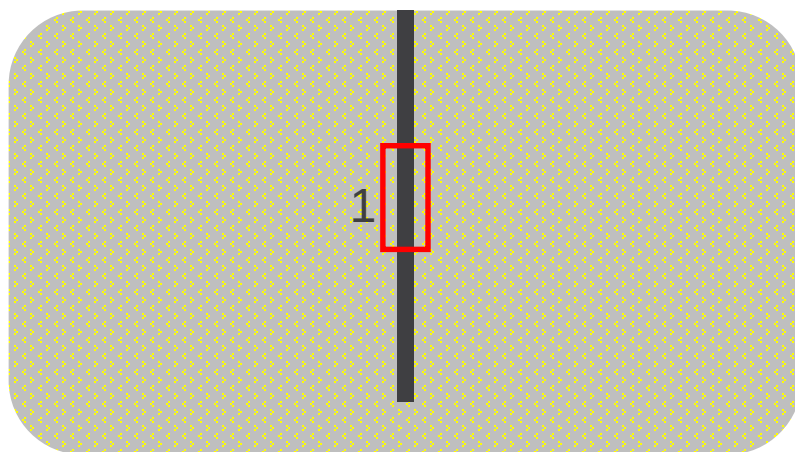
- Begrensninger/feilkilder:
 - sulfatmineraler som Jarositt gir ikke temperaturøkning
 - «rare» resultater når man sammenligner med XRF / Total-S

Sammenheng XRF/total-S og H₂O₂ – test?

Prøvenr.	XRF		H ₂ O ₂ -test		
	S-innhold [ppm]	S-innhold [%]	Temperatur start [°C]	Temperatur slutt [°C]	Temperatur diff. [°C]
1	12526	1,253	23,7	24,8	1,1
2	655	0,066	23,0	23,6	0,6
3	374	0,037	22,8	24,0	1,2
4	324	0,032	23,0	28,3	5,3
5	569	0,057	22,9	24,0	1,1
6	15728	1,573	22,8	34,4	11,6

Representativ borstøvprøve?

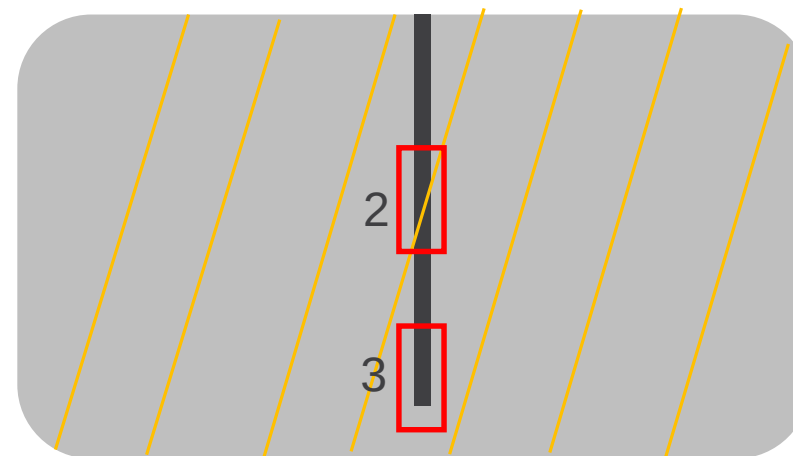
1: Utslag på Total S og H_2O_2



Sulfidmineral jevnt fordelt i bergmassen

2: Utslag på Total S, men ikke med H_2O_2

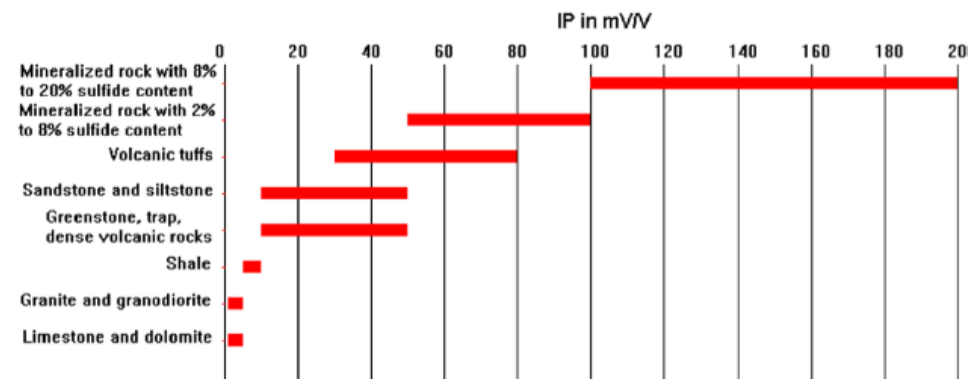
3: Ren stein



Forvittringsprodukt på sprekkeplan i bergmassen

Geoelektriske metoder – IP/resistivitet

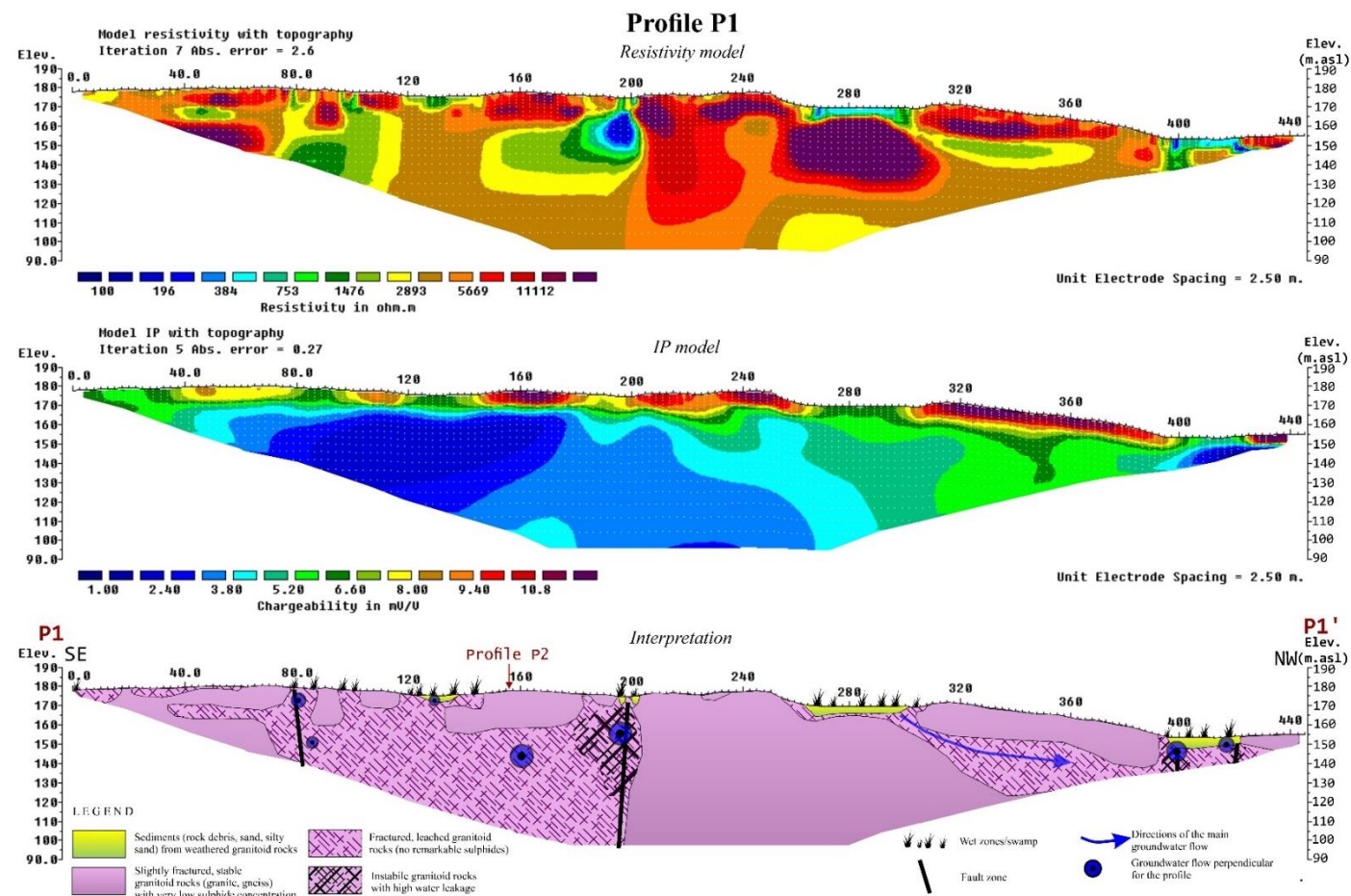
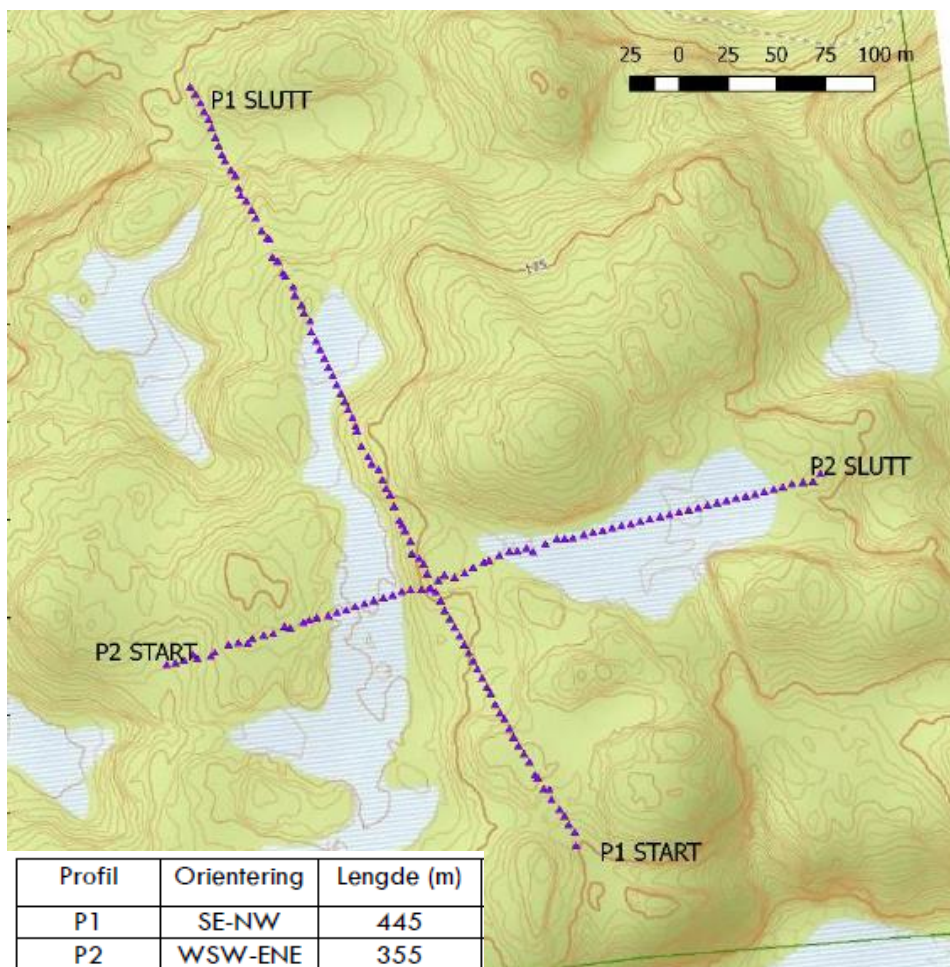
- Indusert Polarisasjon (IP)
 - Kan detektere sulfidinnhold ned mot 0,5 – 1%
 - Mulig å benytte for å få rask oversikt innenfor en vegkorridor, utbygningsområde o.l. før avdekking
 - Peke ut områder for mer detaljerte undersøkelser
 - Får også resistivitet



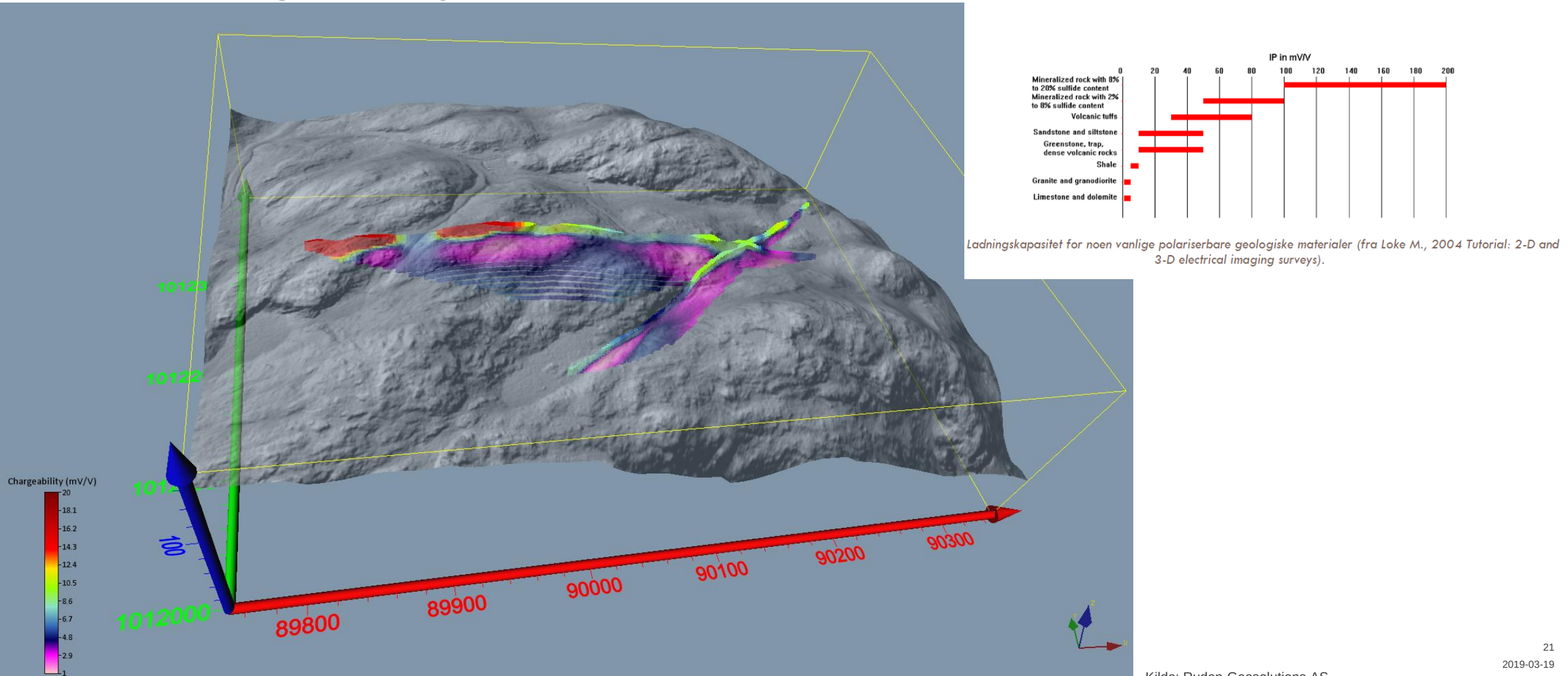
Ladningskapasitet for noen vanlige polariserbare geologiske materialer (fra Loke M., 2004 Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys).

Kilde: Ruden Geosolutions AS

Geoelektriske metoder – IP og resistivitet



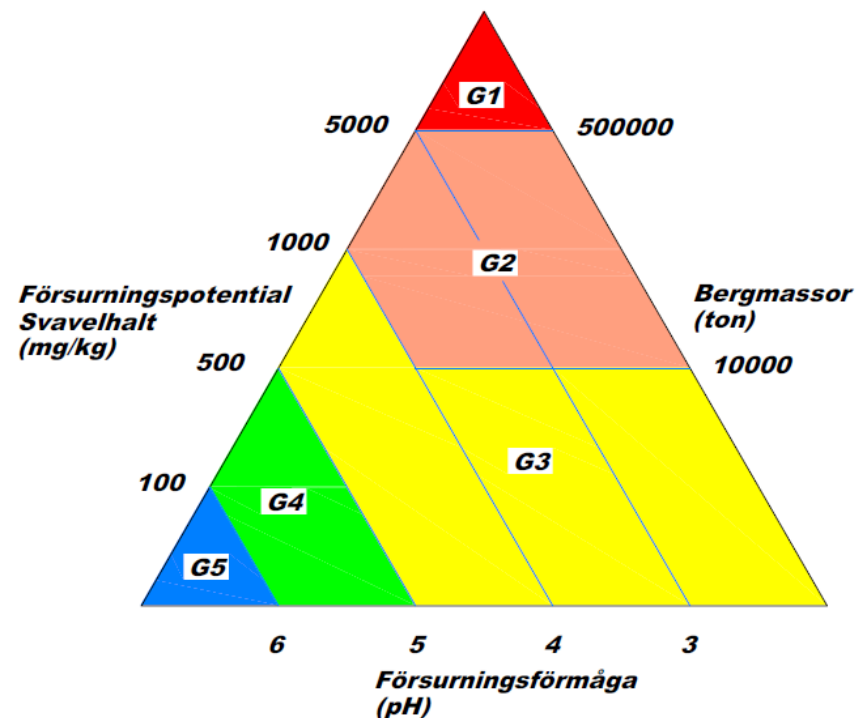
IP, Chargeability



Sverige har tilsvarende problemer



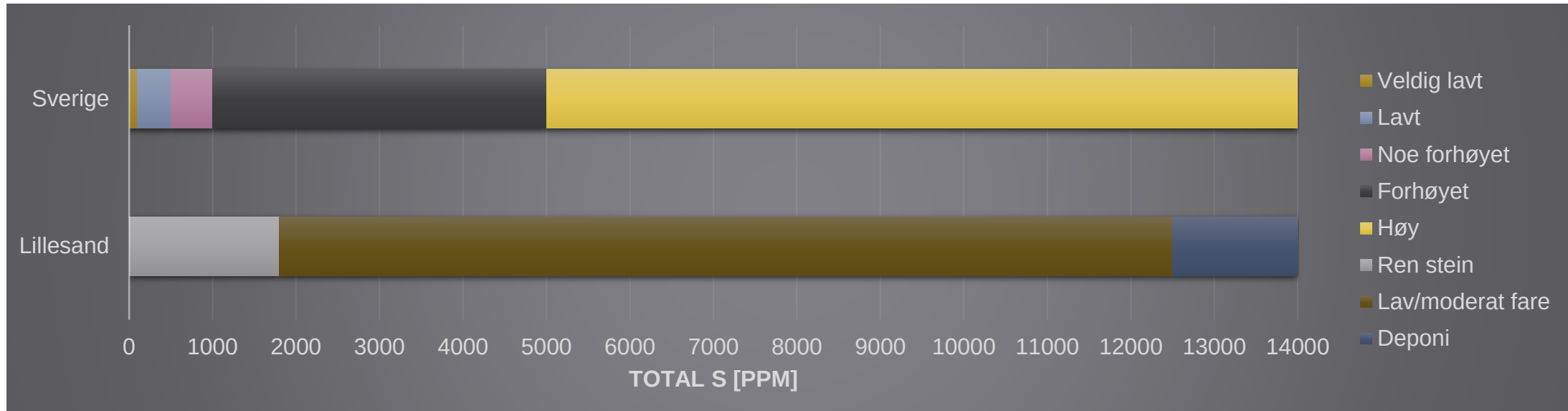
RAPPORT
Trafikverkets handbok för hantering av
sulfidförande bergarter



Grad 1 Mycket stor förurningsgrad (G1)
Grad 2 – stor förurningsgrad (G2)
Grad 3 – måttlig förurningsgrad (G3)
Grad 4 – liten förurningsgrad (G4)
Grad 5 – försumbar förurningsgrad (G5)

S [mg / kg TS]; totalhalt svavel (Förurningspotential)	
> 5000	Hög halt
1000 – 5000	Förhöjd halt
500 – 1000	Något förhöjd halt
100 – 500	Låg halt
< 100	Obefintlig halt
pH min, laktest av bergmassor (Förurningsförmågan)	
< 3	Mycket hög förurningsförmåga
3 – 4	Hög förurningsförmåga
4 – 5	Måttlig förurningsförmåga
5 – 6	Låg förurningsförmåga
< 6	Försumbar förurningsförmåga
Mängd (Bergmassor)	
< 10 000 ton	Liten mängd
10 000 – 500 000 ton	Måttlig mängd
> 500 000 ton	Stor mängd

Sammenligning Lillesand - Sverige



Halt	mg/kg TS (ppm)	Tvpbergart
Mycket låg halt	<100	t ex - Bohusgraniten
Låg halt	100-500	ofta förekommande i västsvenska gnejser
Något förhöjd halt	500-1000	vanligt i samlingsprov på gnejser tillhörande Stora Le Marstrand
Förhöjd halt	1000-5000	vanligt i prov på gnejser med mörka inslag tillhörande Stora Le Marstrand
Hög halt	>5000	t ex okulärt sulfidförande basiska bergartsinslag

Anbefalt utlekkingsstest

Prosentvis innhold av svovel-forbindelser	Krav til håndtering
< 0,18% totalt svovel	Massene ansees som rene. Avbøtende tiltak er ikke påkrevd.
0,18 – 1,25% totalt svovel	Lav/moderat fare for forurensning fra steinmassene. Steinmassene kan lagres og benyttes i tiltaksområdet.
> 1,25% totalt svovel	Stor fare for forurensning. Steinmassene må deponeres i spesialdeponi for sulfidholdig stein.

< 1800 ppm

1800 – 12500 ppm

> 12500 ppm

OPPSUMMERING OG AVSLUTTENDE KOMMENTARER

- Sur avrenning fra sprengstein skyldes svovelinnhold i berggrunnen
- Detaljene rundt geokjemiske forhold er fortsatt litt uklare/usikre
 - Forvitring av svovelkis
 - Stort syrepotensiale i forvitningsprodukter som Jarositt?
- Vi måler i dag total S og H_2O_2 som kan gi tvetydige svar
- Geoelektriske metoder kan bidra til å gi indikasjon på sulfidinnhold
- Svensk praksis: utlekkingsgrad som supplement for å vurdere forsuringsgrad
- Lillesand kommunes bestemmelser er grunnlag pr i dag, men foregår arbeid med ny veileder i samarbeid med fylkeskommune/kommuner/fylkesmann/Statens vegvesen



SWECO 