



Er mineralsk svelling årsak til stabilitetsproblemer?

Og er svelletrykksteten relevant?



Statens vegvesen



Are Håvard Høien, Vegdirektoratet

Dagens innhold

- Vitenskapsteori
- Konklusjon
- Mineralsk svelling - teori
- Typer deformasjoner - teori
- Bakgrunn og labtest-resultater
- Diskusjon
- Konklusjon



Årsakssammenheng og korrelasjon

Årsakssammenheng (eller kausalitet)



A fører til B

Spuriøs sammenheng



Sammenhengen er tilsynelatende

Korrelasjon



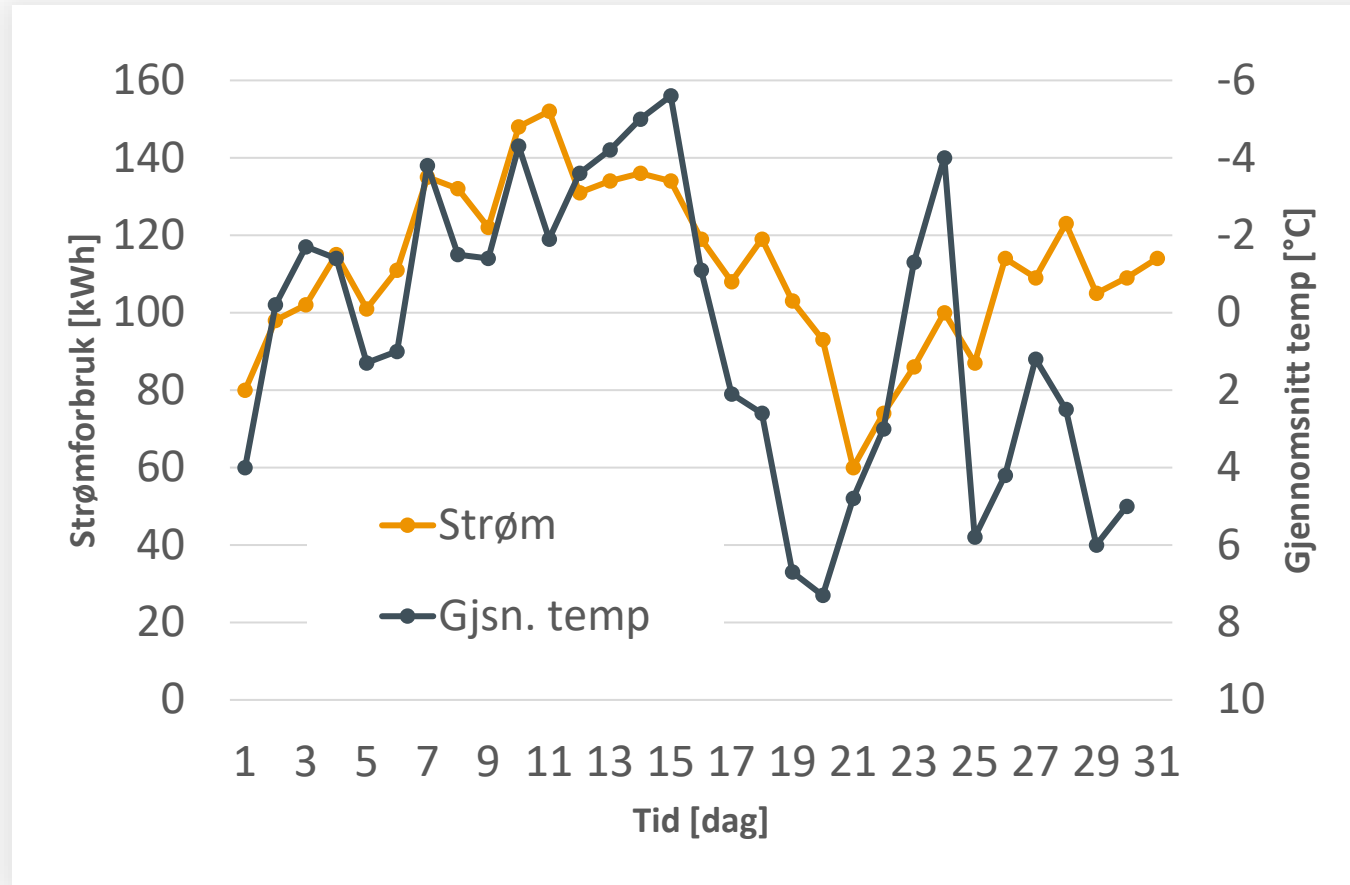
A samvarierer med B



Beviser ikke årsakssammenheng

Korrelasjon er en forutsetning for årsakssammenheng

Årsakssammenheng og korrelasjon



- Korrelerer strømforbruk og gjennomsnittstemperatur?
- Er det årsakssammenheng mellom strømregning og temperatur?
- Andre meteorologiske egenskaper
 - Vind
 - Luftfuktighet
 - Nedbør
- Strømforbruk
 - Varming av vann
 - Matlaging
 - Isolasjon
 - Pris på ved
 - Tilgang på fyrstikker
- Strømprisen endrer seg og bruker mindre ved dyr strøm

Årsakssammenheng

- Årsakssammenheng er en tolkning
- Årsakssammenheng er sjelden bevist
- Bradford Hills kriterier for årsakssammenheng (epidemiologien) sier bl.a.
 - Styrke i korrelasjon er viktig, men ikke avgjørende
 - En korrelasjon i seg selv er ikke nok, kan være mange sammenhenger
 - Det må være konsistent, f.eks. fra flere plasser og over tid
 - Det må være en plausibel forklaringsmodell på sammenhengen, men denne kan være ukjent

Konklusjon - kortversjon

Er minerals svelling årsak til stabilitetsproblmer?

Nei, svelling har allerede skjedd.

Men, hva skjer?

Mye, men oppsummert, tidsavhengig deformasjon

To tema:

- Mineralsk svelling
- Svelletrykktesten

Og er svelletrykksteten relevant?

Nei, den tester noe som har skjedd og er uansett unøyaktig og irrelevant i praksis.

Dette innebærer:

- Slutte å teste svelletrykk (og frisvelling)
- Må begynne å se mer helhetlig på situasjonen

Typer av svelling

- Intrakrystallin svelling
- Osmotisk svelling
- Mekanisk svelling

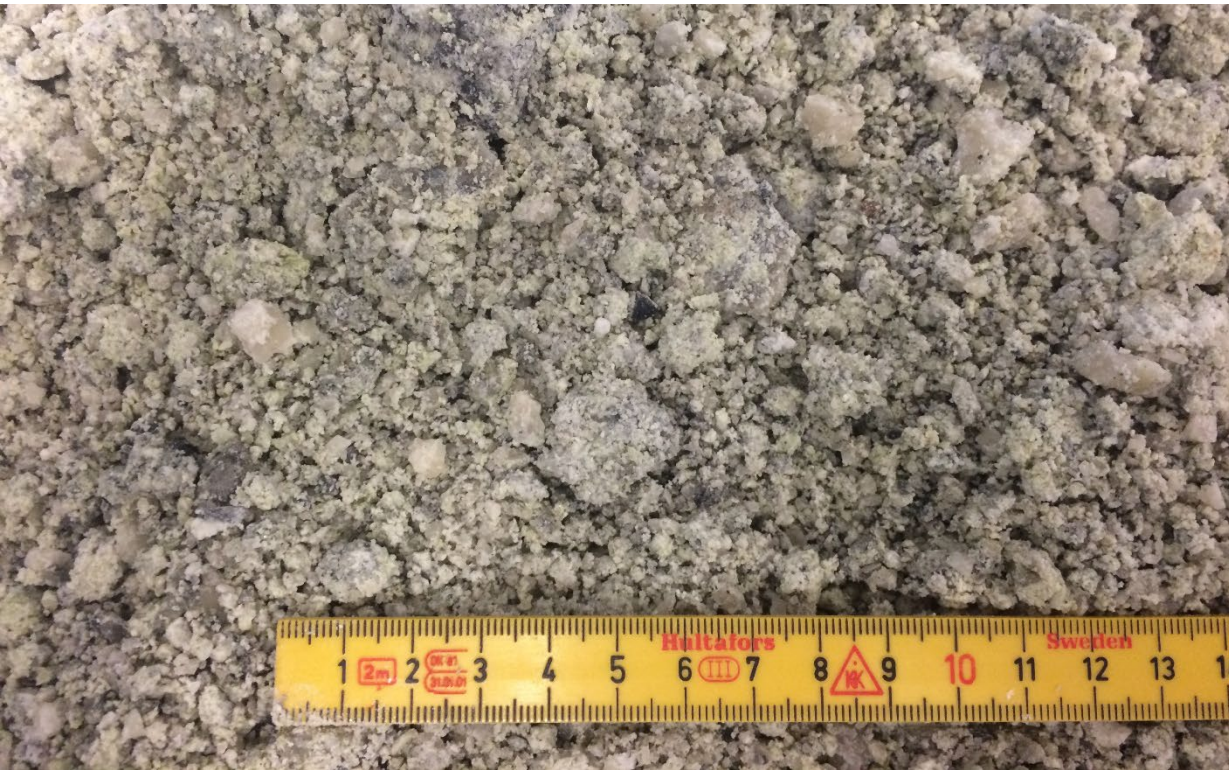
*Svellende bergarter er ikke med her!!!
(Annen type og annen problemstilling)*



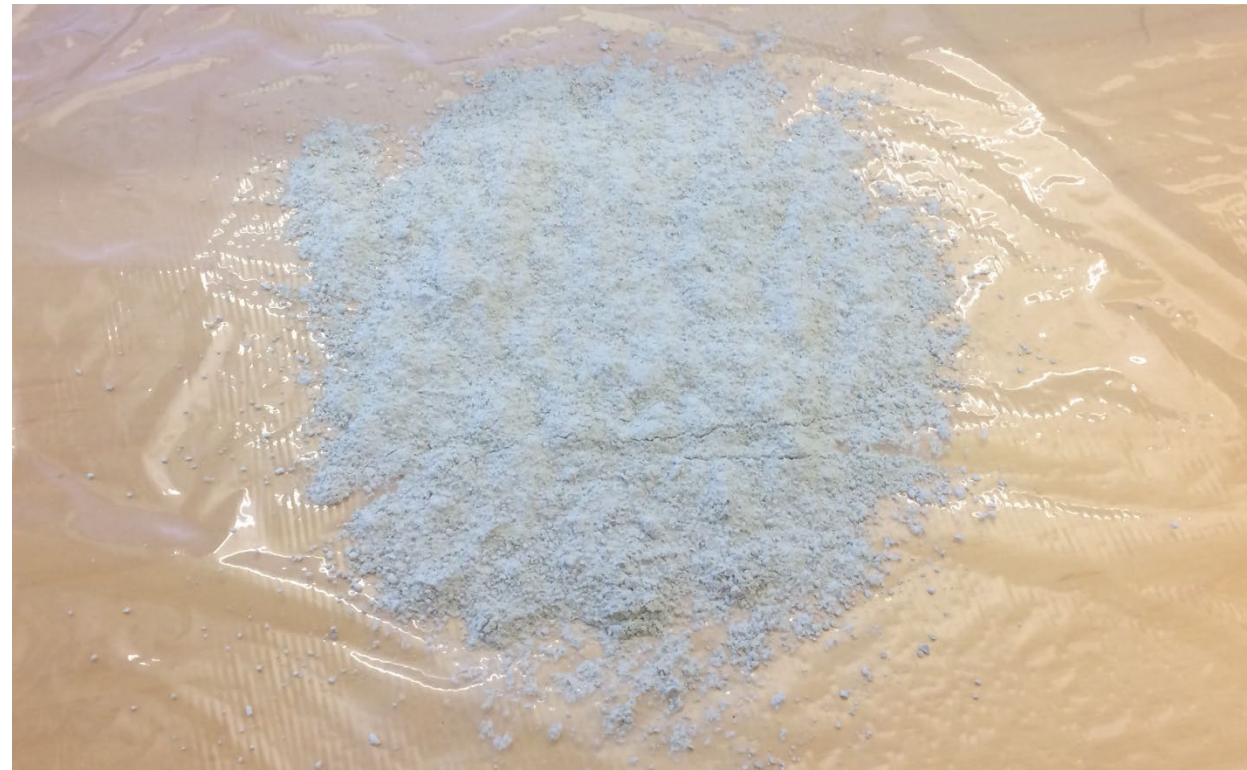
Mineralsk svelling av smektitt-mineraler

- Bare en liten del av det totale svakhetssonemateriale er svellende mineraler
- Fraksjonen < 20 mikrometer (0.02 milimeter) blir testet.

Svakhetssonemateriale fra E39 Svevatjørn – Rådal



Materiale mindre enn 20 micrometer

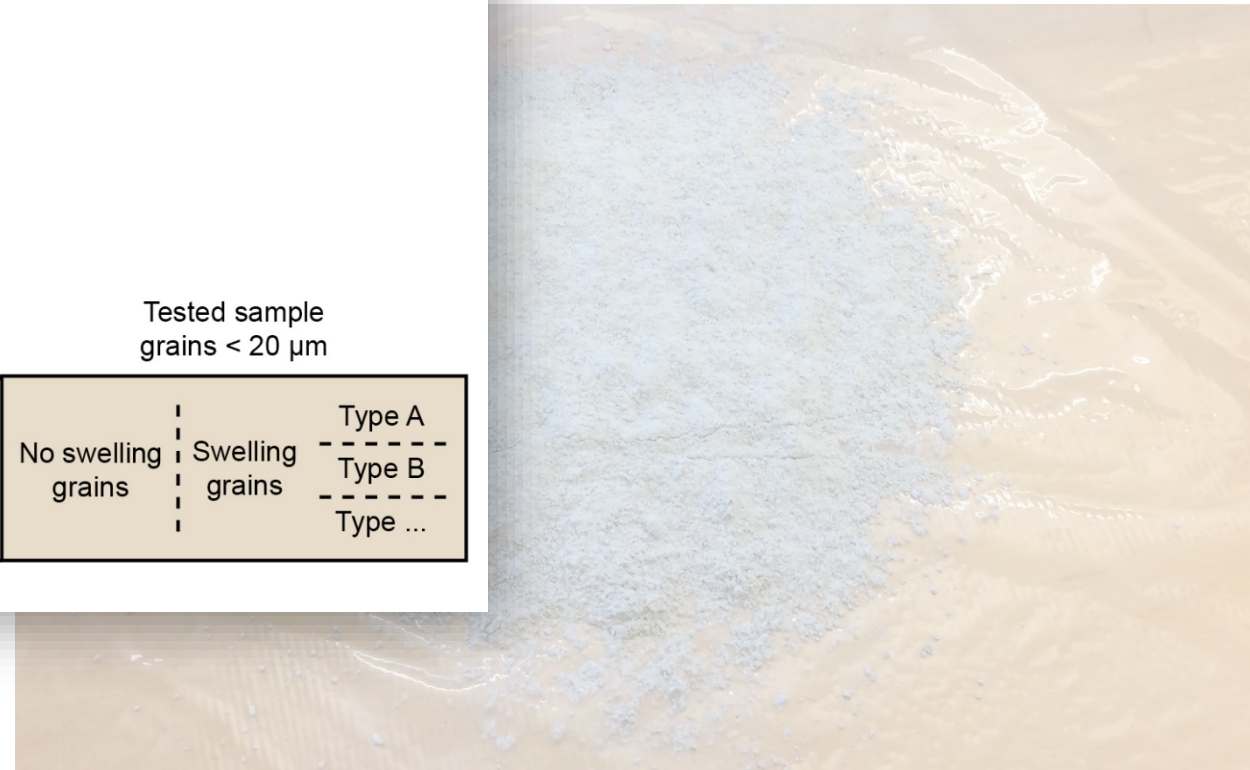
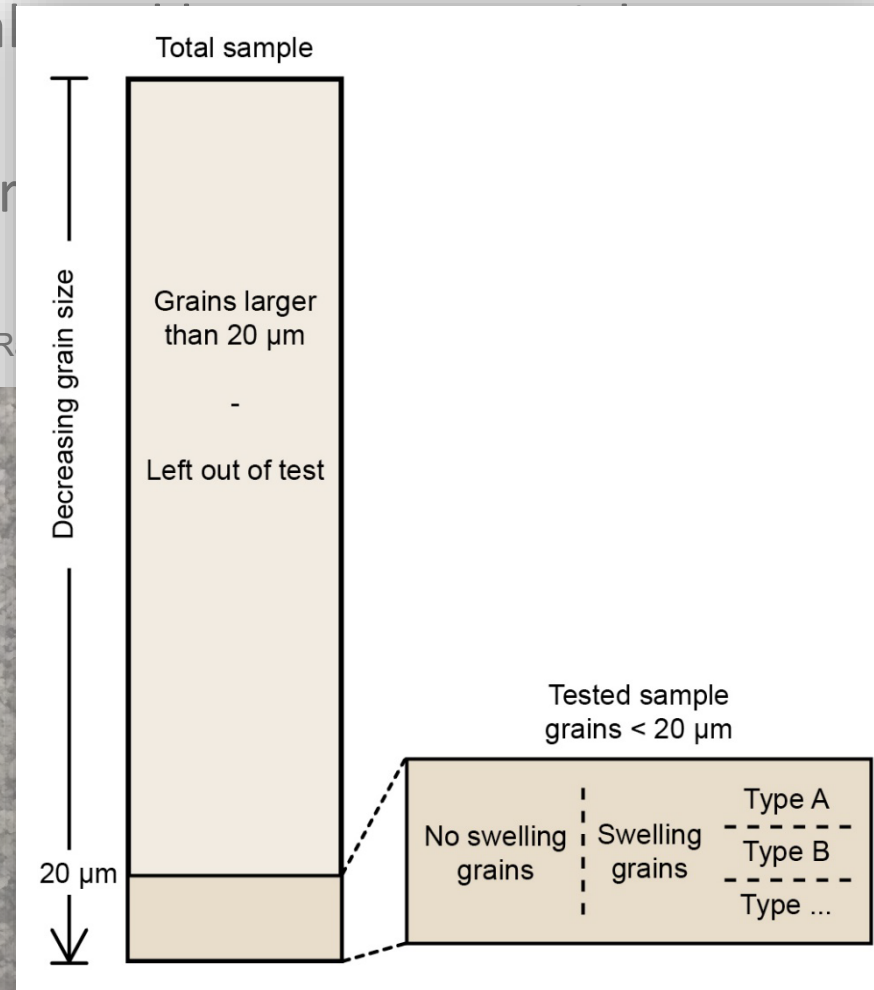
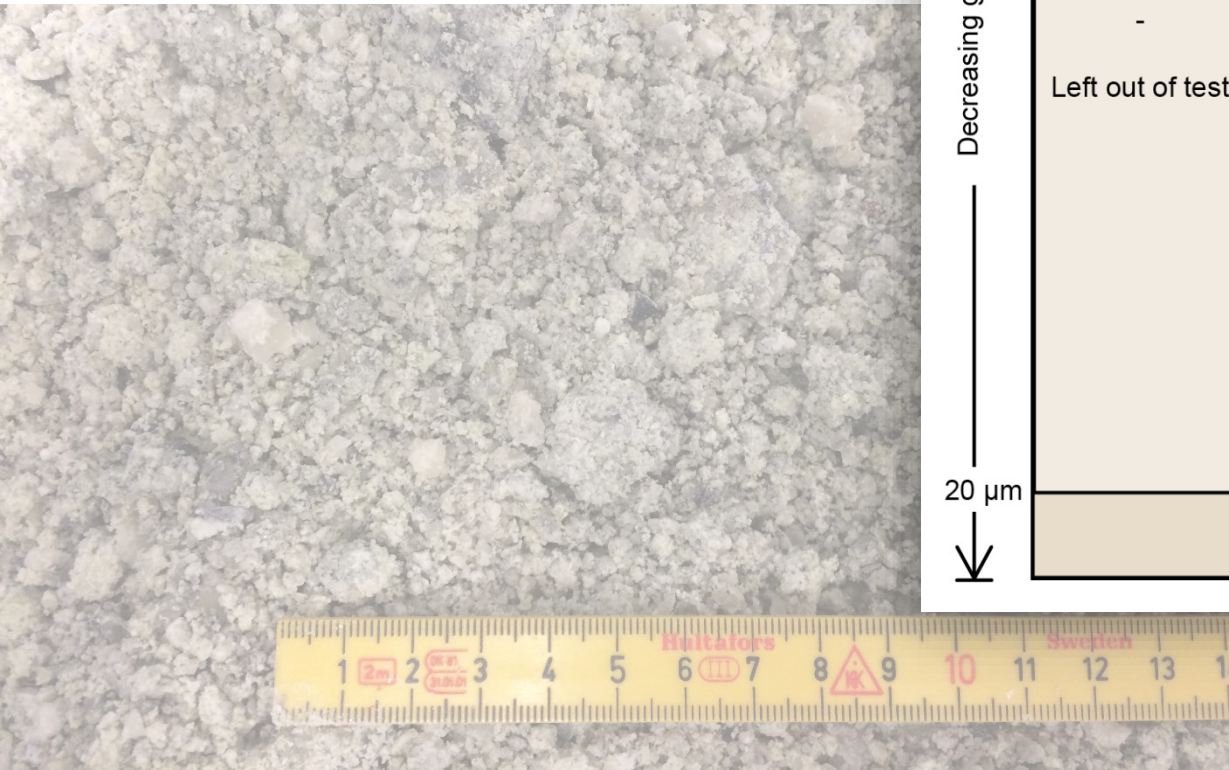


Mineralsk svelling av smektitt-mineraler

- Bare en liten del av det totalt svellende mineraler
- Fraksjonen < 20 mikrometer

Svakhetssonemateriale fra E39 Svevatjørn – R

e mindre enn 20 micrometer



Mineralsk svelling av smektitt-mineraler

Intrakrystalline swelling/hydratisering

- Skjer mellom leirlagene *inne i leirpartikelen*
- Vann blir bundet *inne i leirpartikelen*

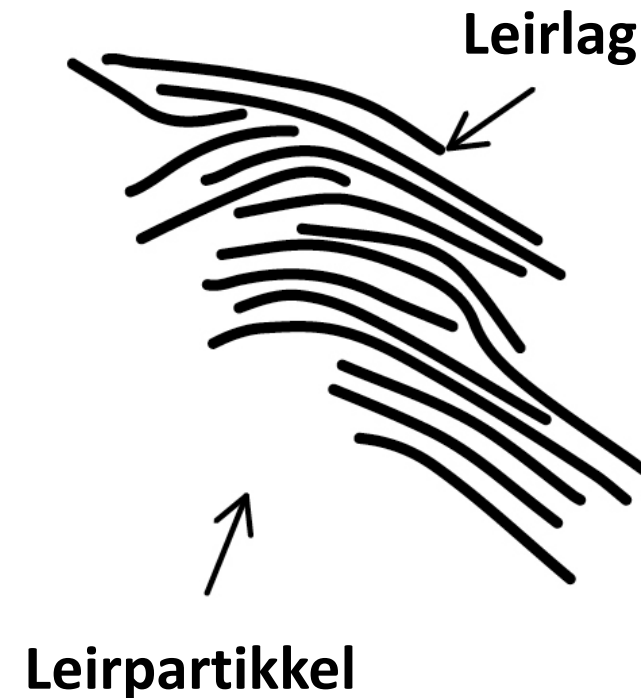
Osmotisk svelling

- Skjer *mellom leirpartiklene*
- *Porevann* gjør at det sveller

Prosessene skjer i sekvens:

1. Intrakrystallin svelling
2. Osmotisk svelling

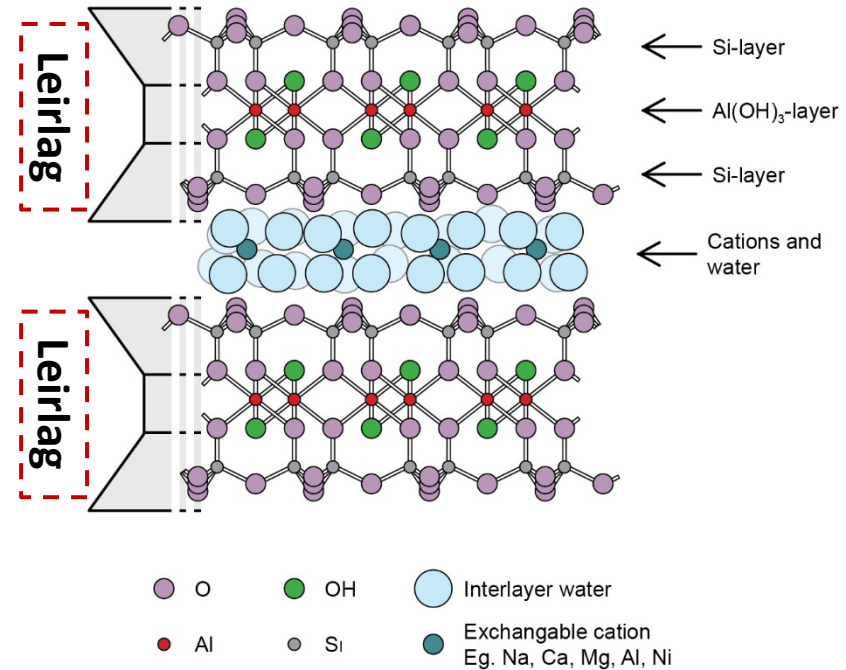
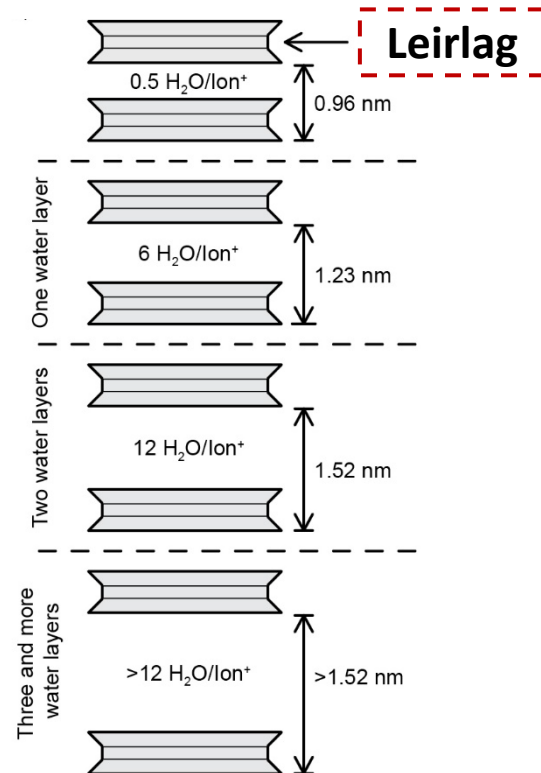
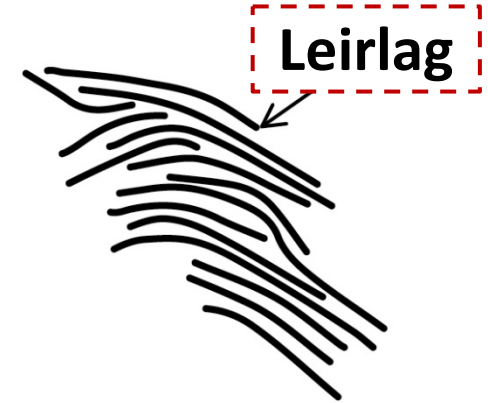
Hvor den første har en mye større svellepotensial enn den andre



Mineralsk svelling av smektitt-mineraler

Intrakrystallin svelling

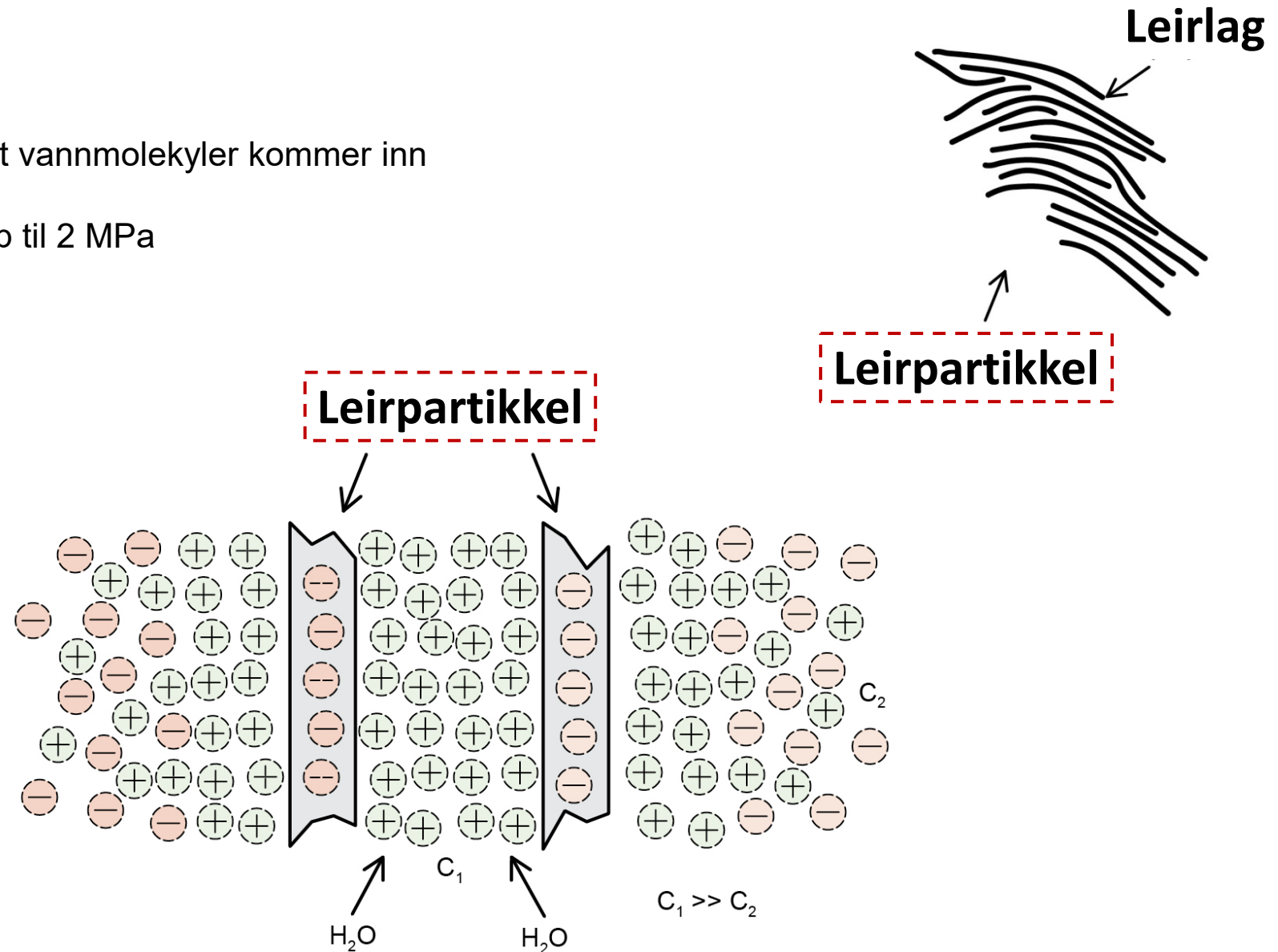
- Hydratisering av utbyttbare kationer mellom leirlag
- Opp til fire lag vann
- Teoretisk svulletrykk på mer enn 100 Mpa for ett vannlag
- Teoretisk svulletrykk på 27 Mpa for tre og fire lag vann



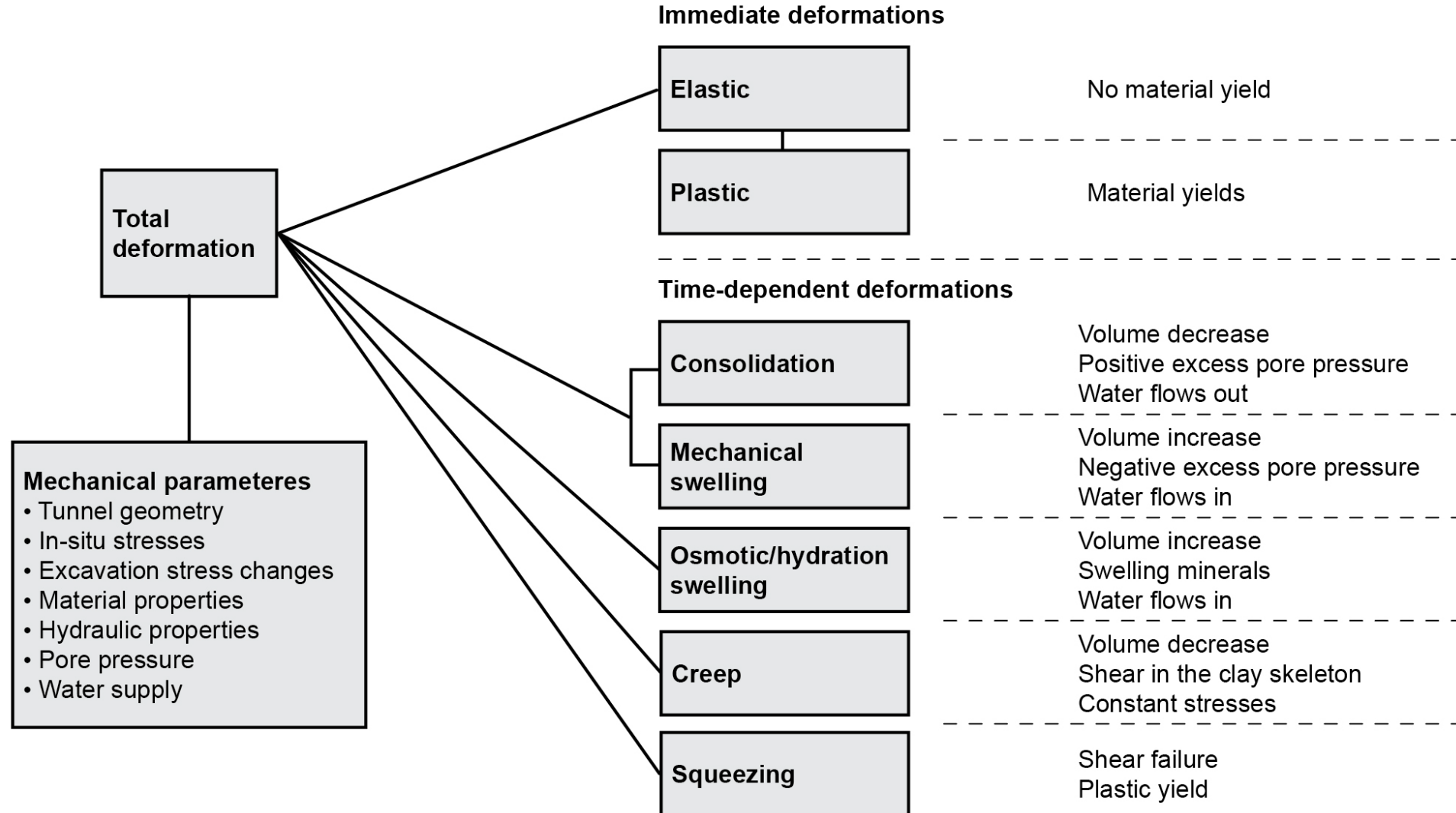
Mineralsk svelling av smektitt-mineraler

Osmotisk svelling

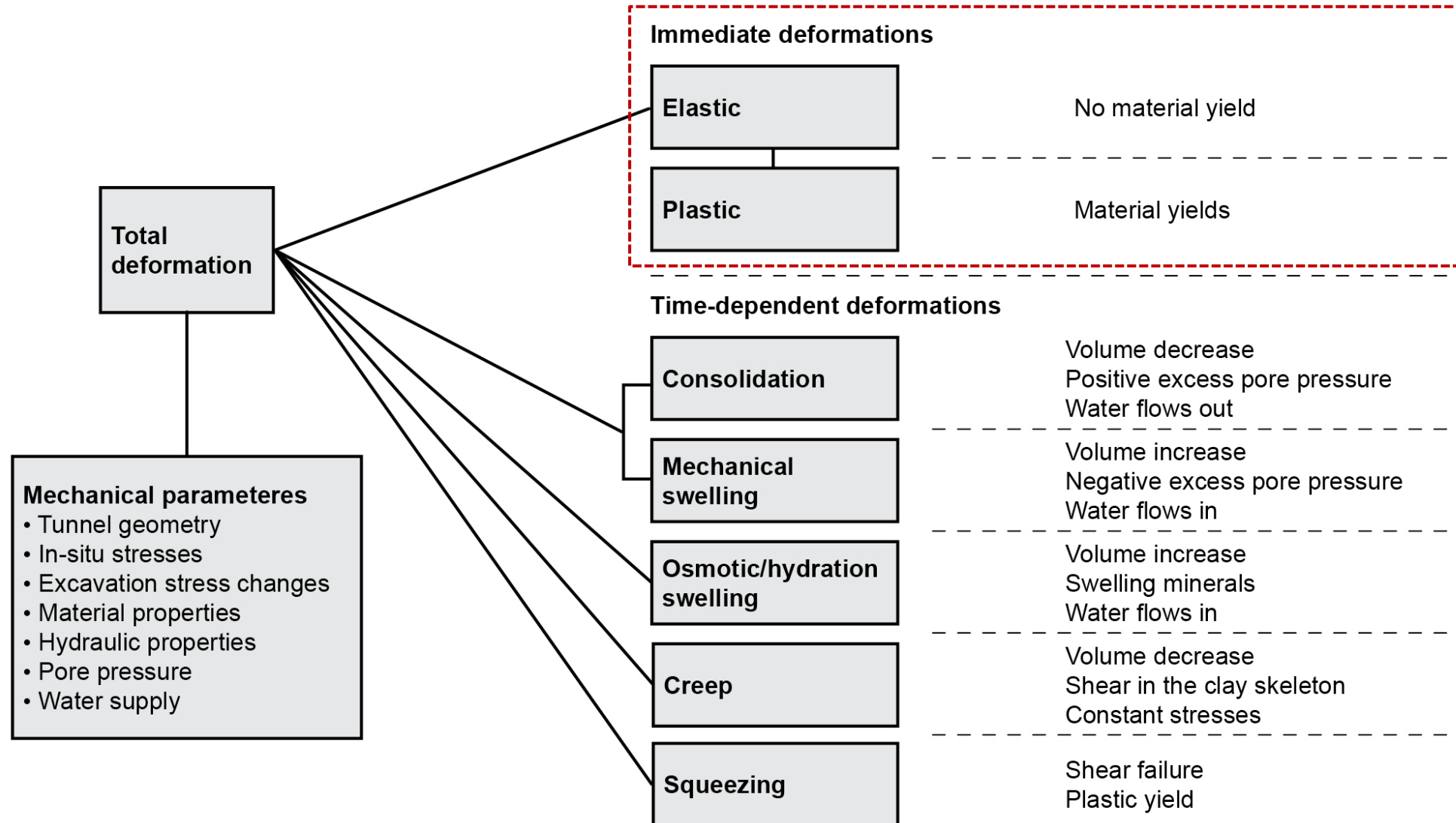
- Likevekt blir nådd ved at vannmolekyler kommer inn mellom leirpartiklene
- Teoretisk svelletrykk opp til 2 MPa



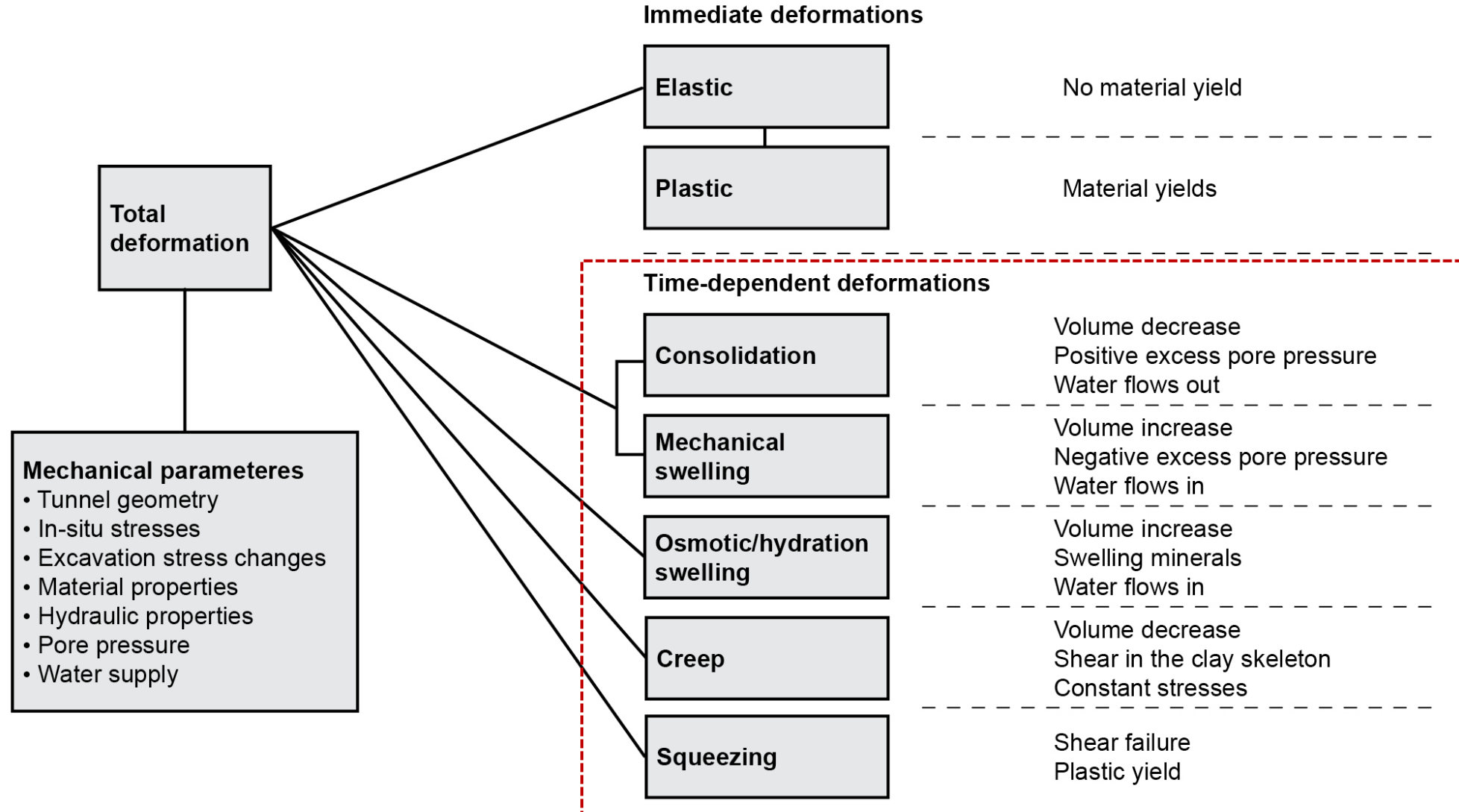
Typer deformasjon i bergmassen



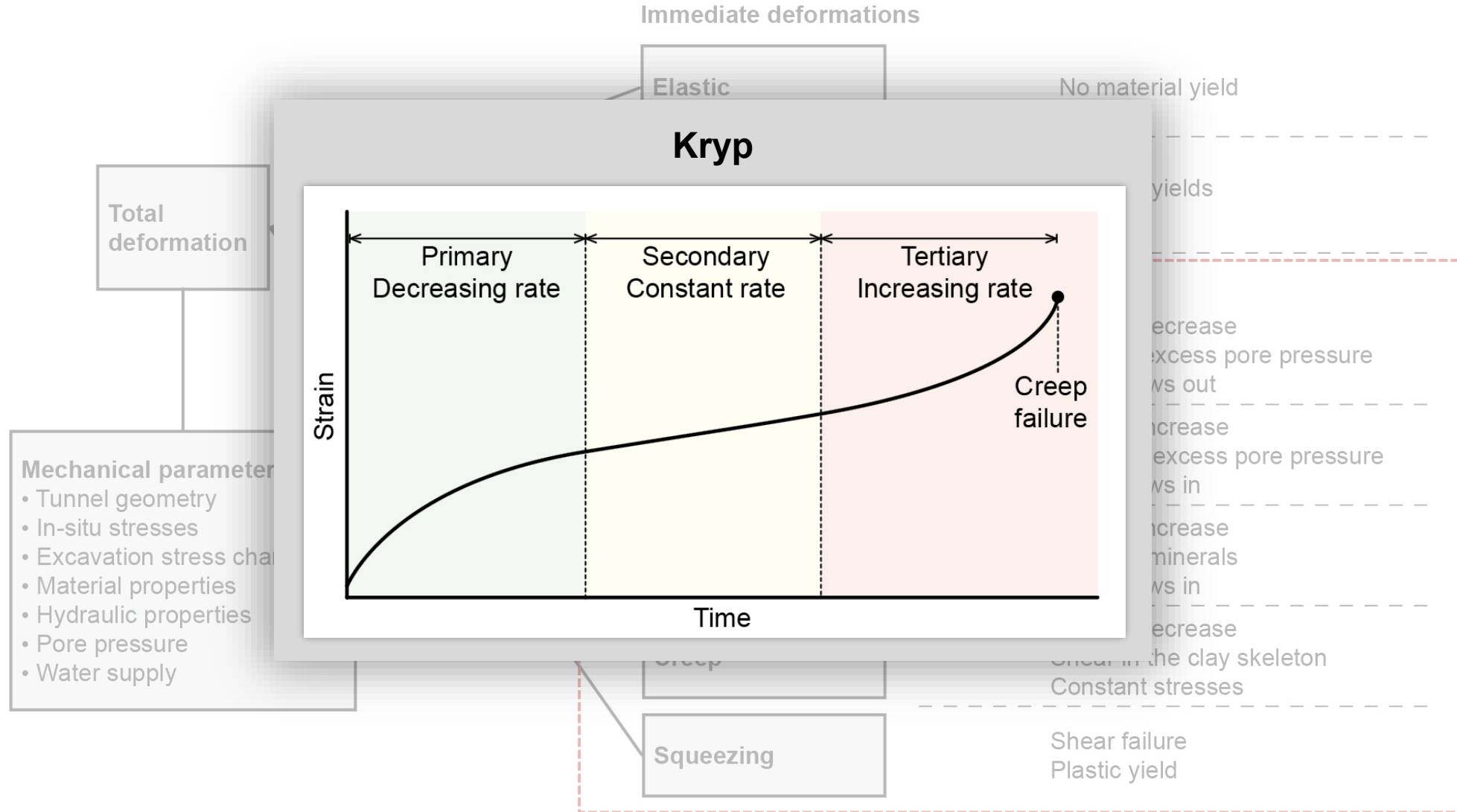
Typer deformasjon i bergmassen



Typer deformasjon i bergmassen



Typer deformasjon i bergmassen



Usikkerheter ved selve svelletrykkstesten

- Prøveinnsamling – hva er en representativ prøve
- Selve testen
 - Separering av fraksjonen < 20 mikrometer
 - Tørking
 - Nedmaling

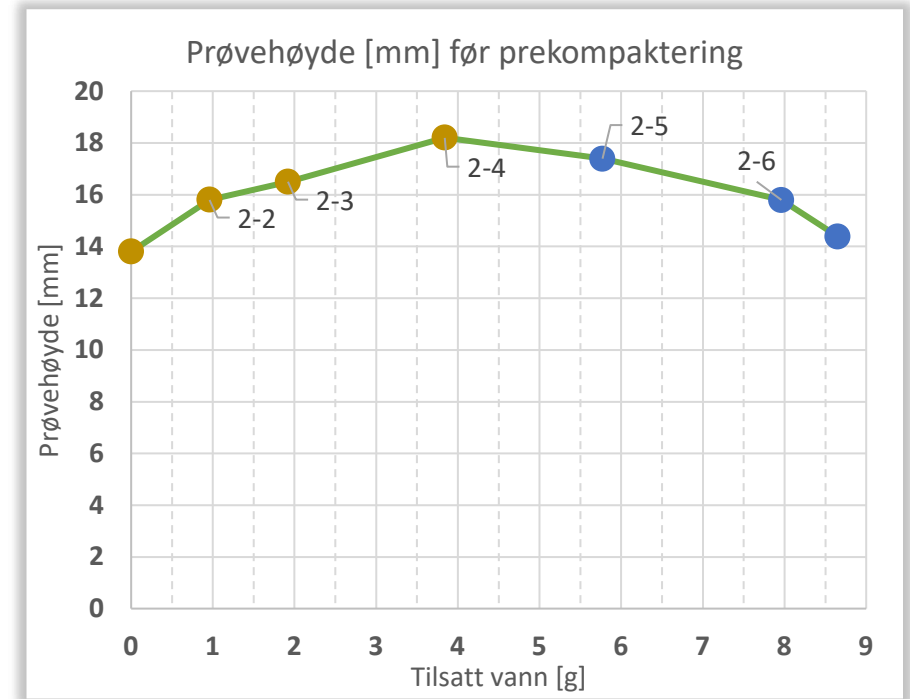
Prøvenr	Forbehandling 1		Andel < 20 µm [%]	Forbehandling 2	
	Frisvelling [%]	Svelletrykk [MPa]		Frisvelling [%]	Svelletrykk [MPa]
1	100	0.15	12	188	0.43
2	100	0.10	13	142	0.18
3	135	0.19	8	290	0.39
4	120	0.05	7	180	0.21

Svelletrykkstesting av fuktig materiale

- 20 g testmateriale
- Tilsatt økende mengde vann

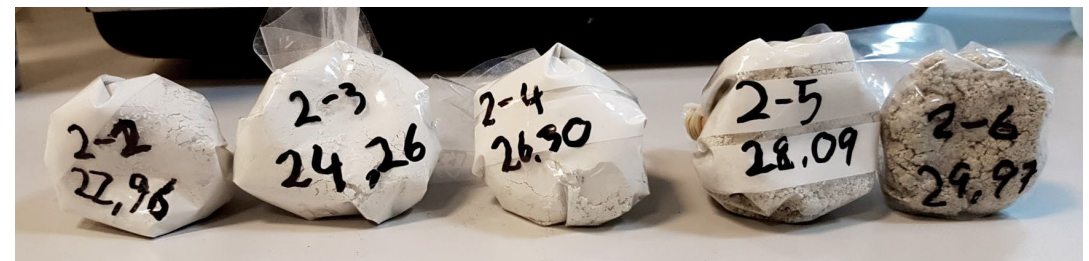
Prøve 2-2, 2-3, 2-4

- Økende høyde
- Fremstår som tørre, vann absorbert
- Intrakrystallin svelling



Når leira fremstår som fuktig er intrakrystallin svelling over

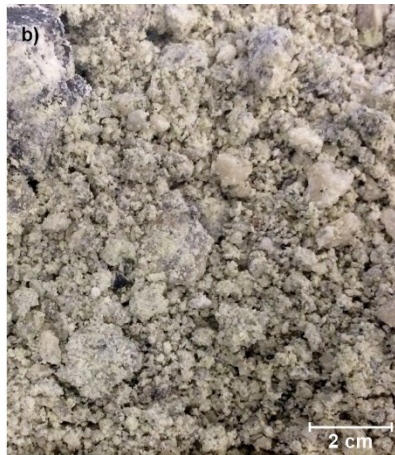
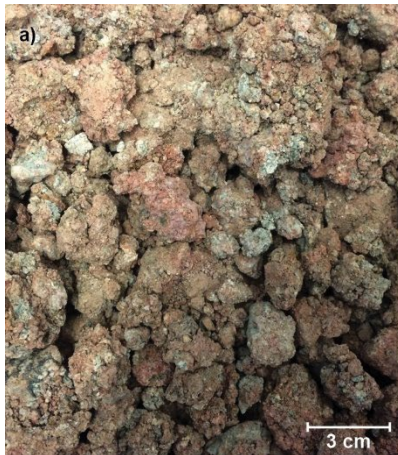
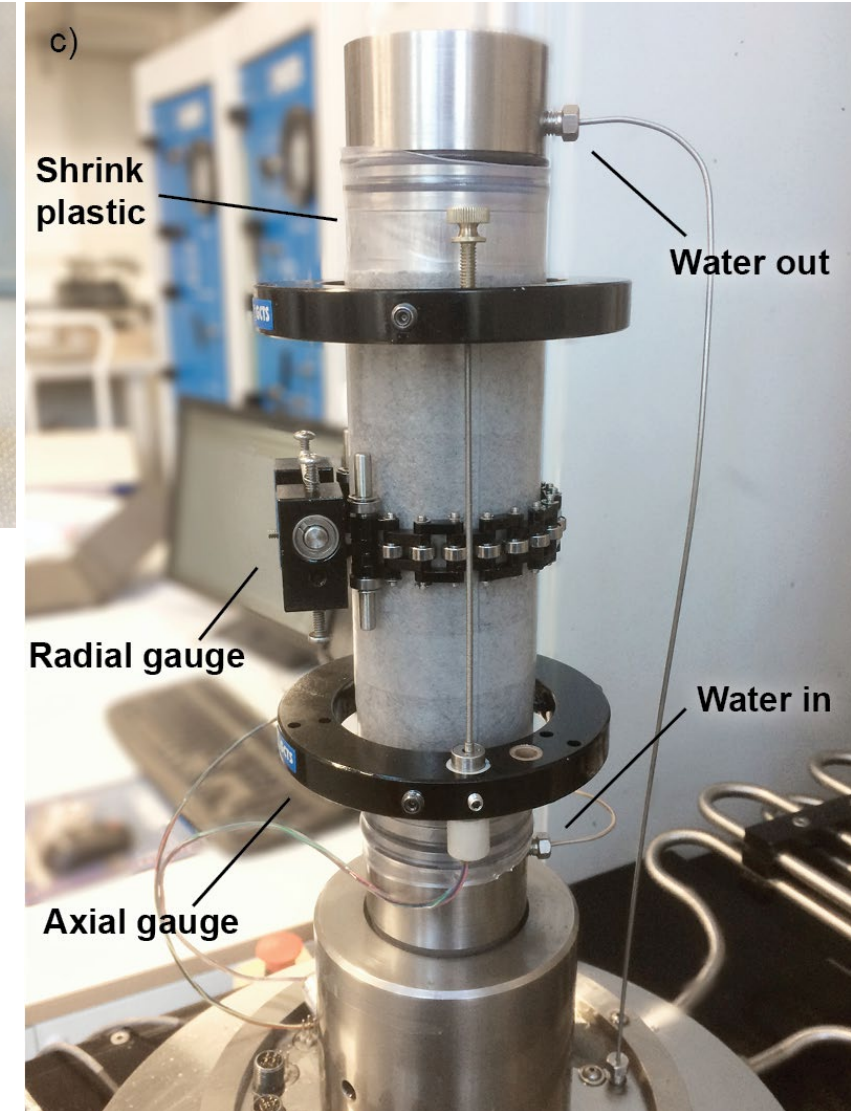
Økende mengde vann →



Testing av kjerner med svakhetssonmateriale

Lagt maks til rette for svelling

- Rekonstituerte kjerner
- Tørr prøve
- Forspent,
 - 4 MPa radielt
 - 2 MPa aksielt
- Vann tilsettes



Testing av kjerner med svakhetssonemateriale

Konklusjon

- Støtter at andre faktorer enn svelling kan være hovedårsaken til deformasjoner
- Lav styrke og lav E-modul kan være føre til elastisk og plastisk deformasjon i svakhetssoner
- Konsolidering og kryp kan forårsake tidsavhengige deformasjoner



**Det ble ikke observert
oppbygning av svelletrykk**

Er mineralsk svelling årsak til stabilitetsproblemer?

- To svelleprosesser etter hverandre, først
 1. Intrakrystallin, så
 2. Osmotisk
- Når leira er fuktig er intrakrystallin svelling ferdig
- Intrakrystallin har høyt teoretisk trykk, 27 Mpa
- Osmotisk har lavt teoretisk trykk, 2 Mpa
- Intrakrystallin som sannsynligvis bidrar til trykk i svelletrykkstesten

- Svakhetssonemateriale er fuktig i naturen
- Kun en (veldig) liten del er (teoretisk, ikke i praksis) svellende
- Bergspenningene blir fort høye for et svakt materiale

Nei, det har allerede skjedd.

Er mineralsk svelling årsak til stabilitetsproblemer?

- To svelleprosesser etter hverandre, først
 1. Intrakrystallin, så
 2. Osmotisk
- Når leira er fuktig er intrakrystallin svelling ferdig
- Intrakrystallin har høyt teoretisk trykk, 27 Mpa
- Osmotisk har lavt teoretisk trykk, 2 Mpa
- Intrakrystallin som sannsynligvis bidrar til trykk i svelletrykkstesten

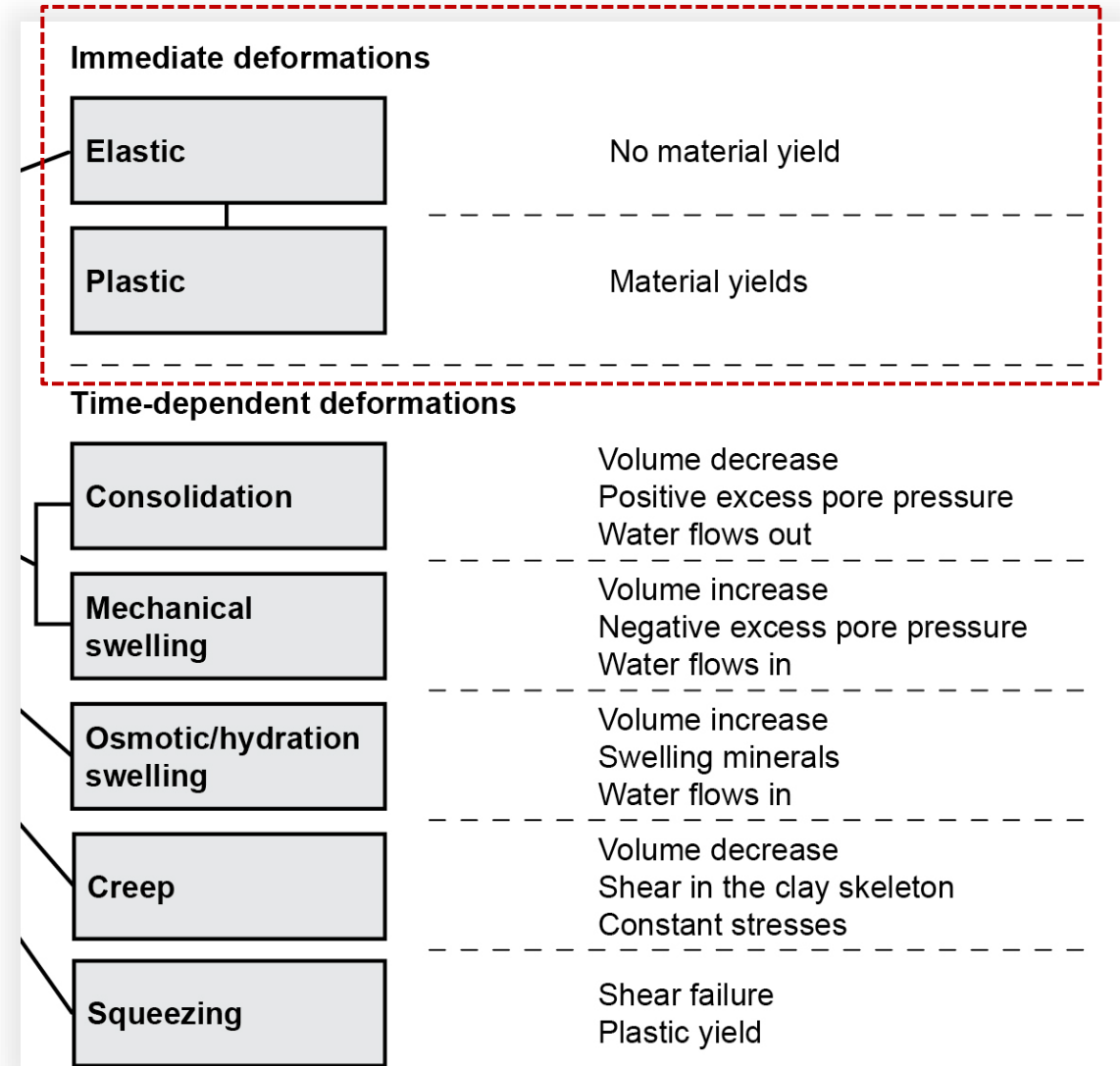
- Svakhetssonemateriale er fuktig i naturen
- Kun en (veldig) liten del er (teoretisk, ikke i praksis) svellende
- Bergspenningene blir fort høye for et svakt materiale

Nei, det har allerede skjedd.

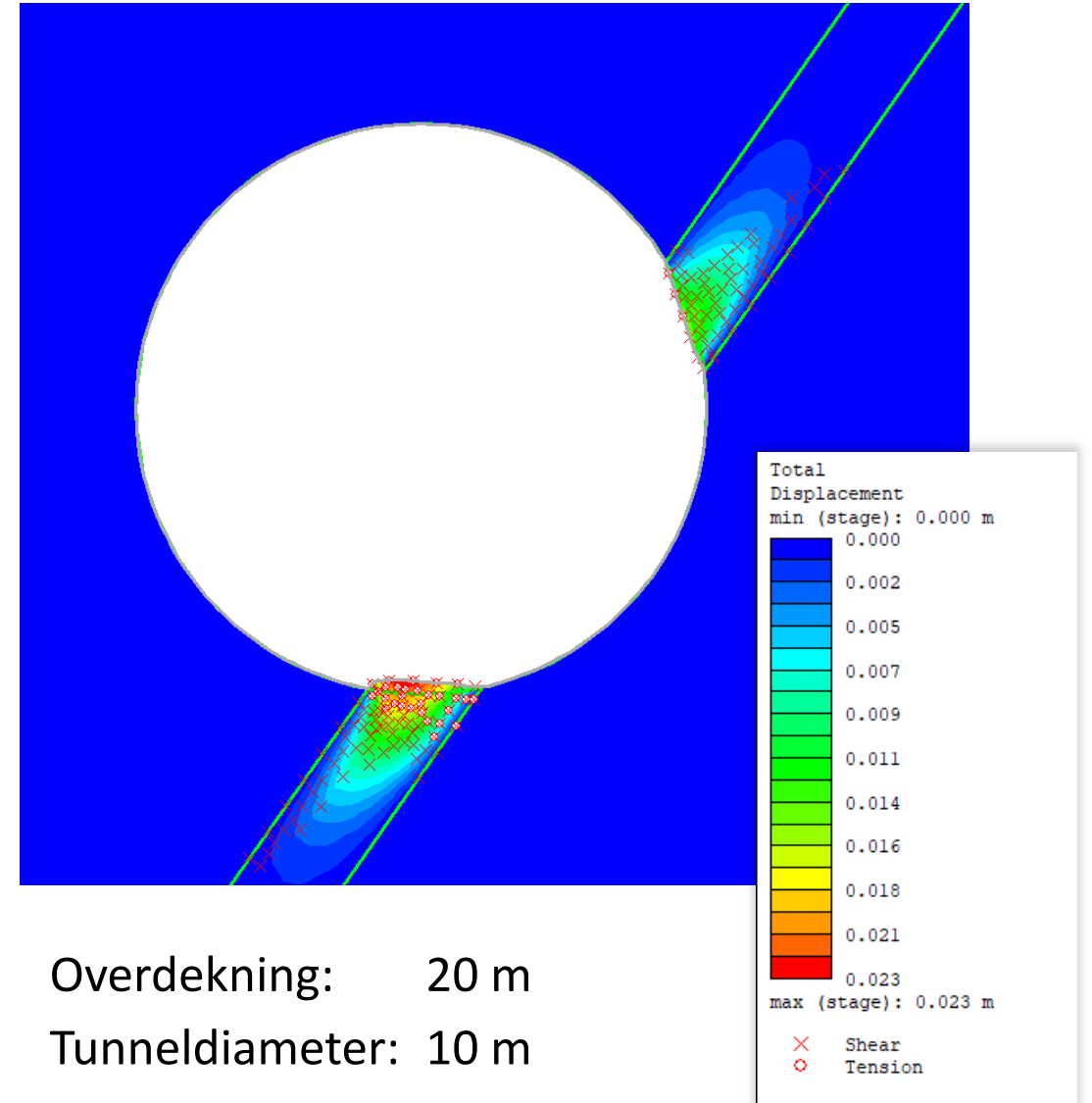
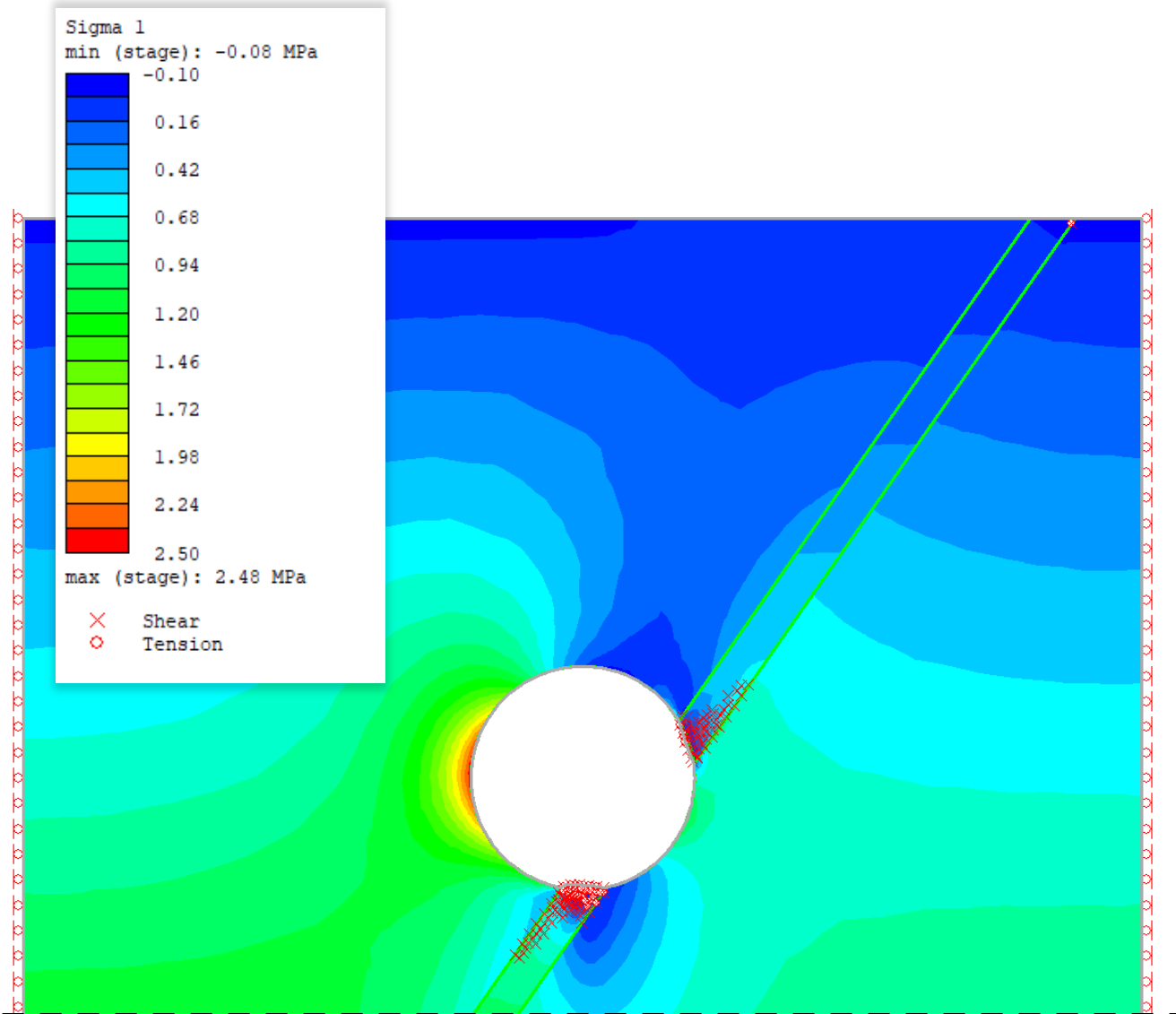
Svelletesten påstås å være en indekstest, men likevel antydes det at virkelig svelletrykk kan være en prosent av testresultatet

Hva annet kan føre til stabilitetsproblemer?

- Umiddelbare deformasjoner (eksempelet fra i ste)
 - Lav styrke
 - Lav E-modul



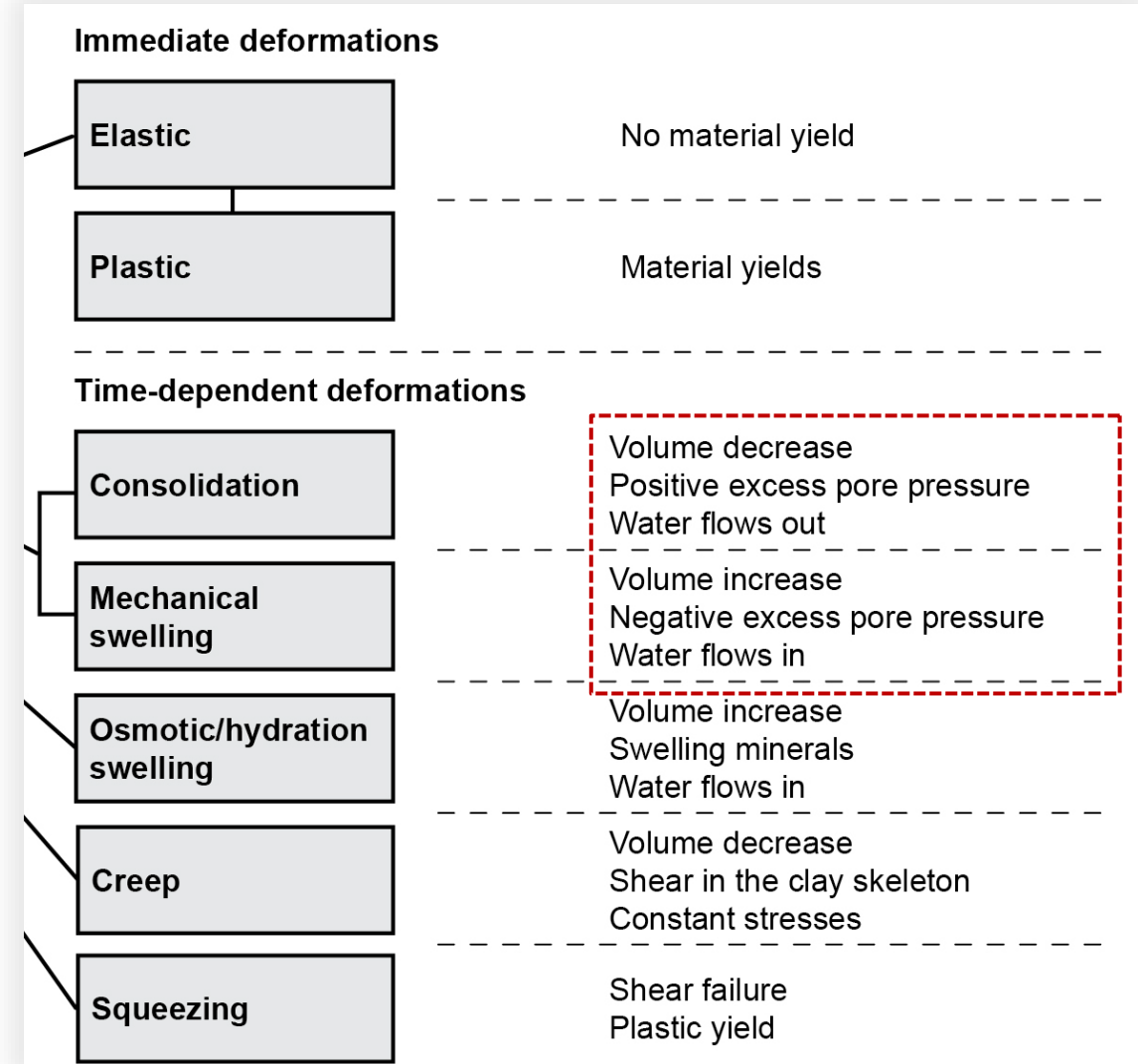
Elastisk og plastisk deformasjon



Overdekning: 20 m
Tunneldiameter: 10 m

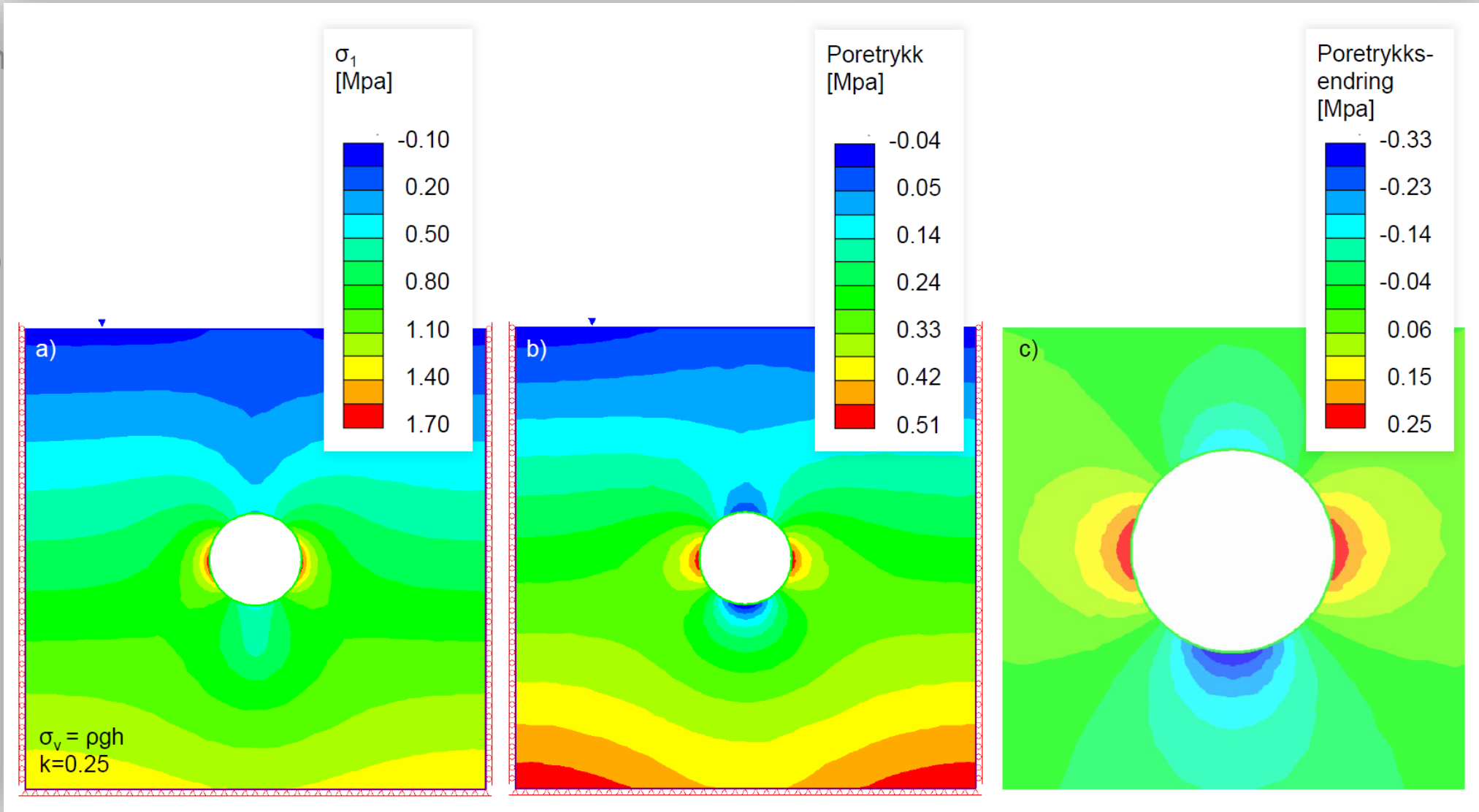
Hva annet kan føre til stabilitetsproblemer?

- Umiddelbare deformasjoner (eksempelet fra i ste)
 - Lav styrke
 - Lav E-modul
- Konsolidering og mekanisk svelling



Hva annet kan føre til stabilitetsproblemer?

- Un
- Ko



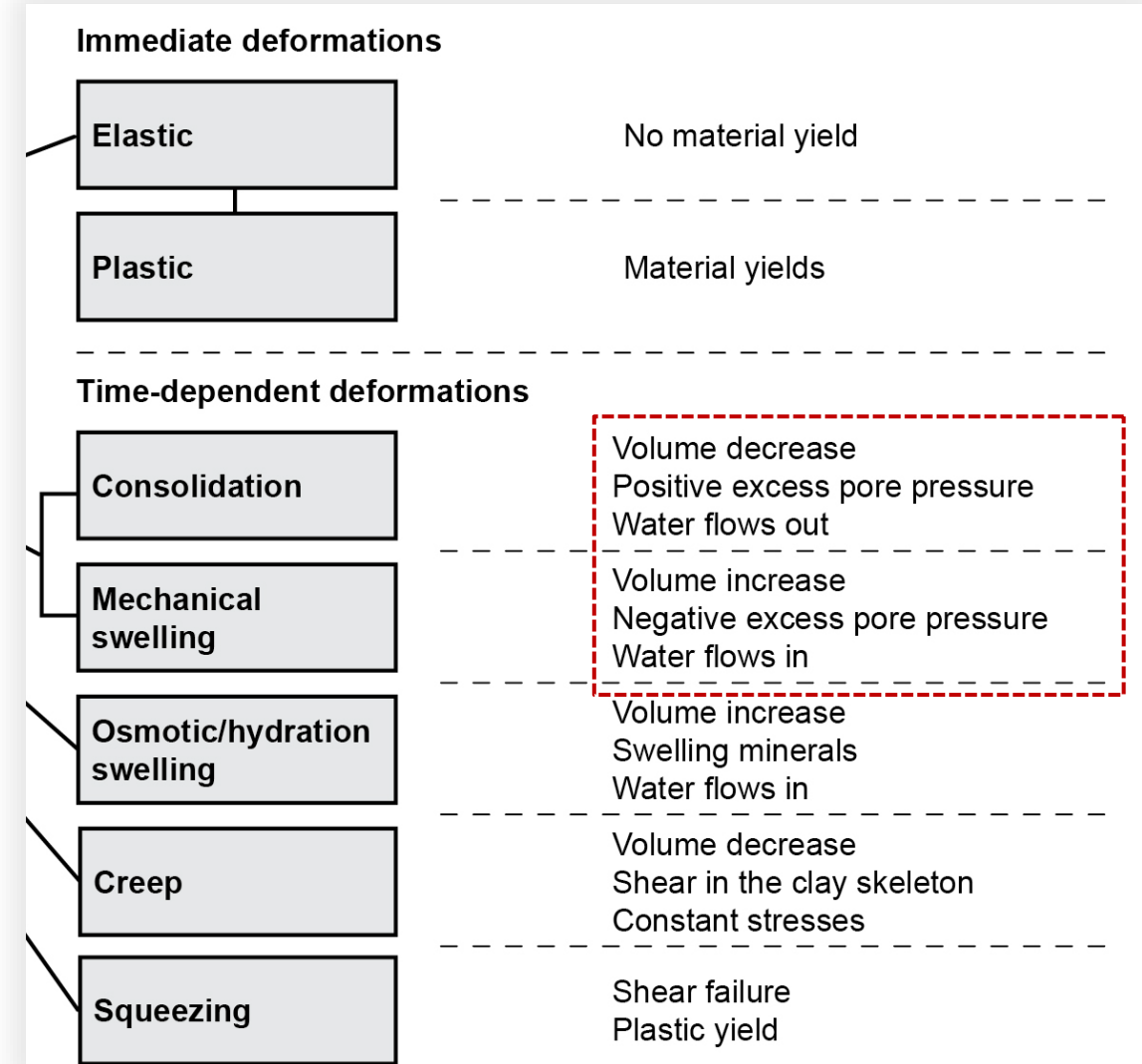
ressure

ressure

ton

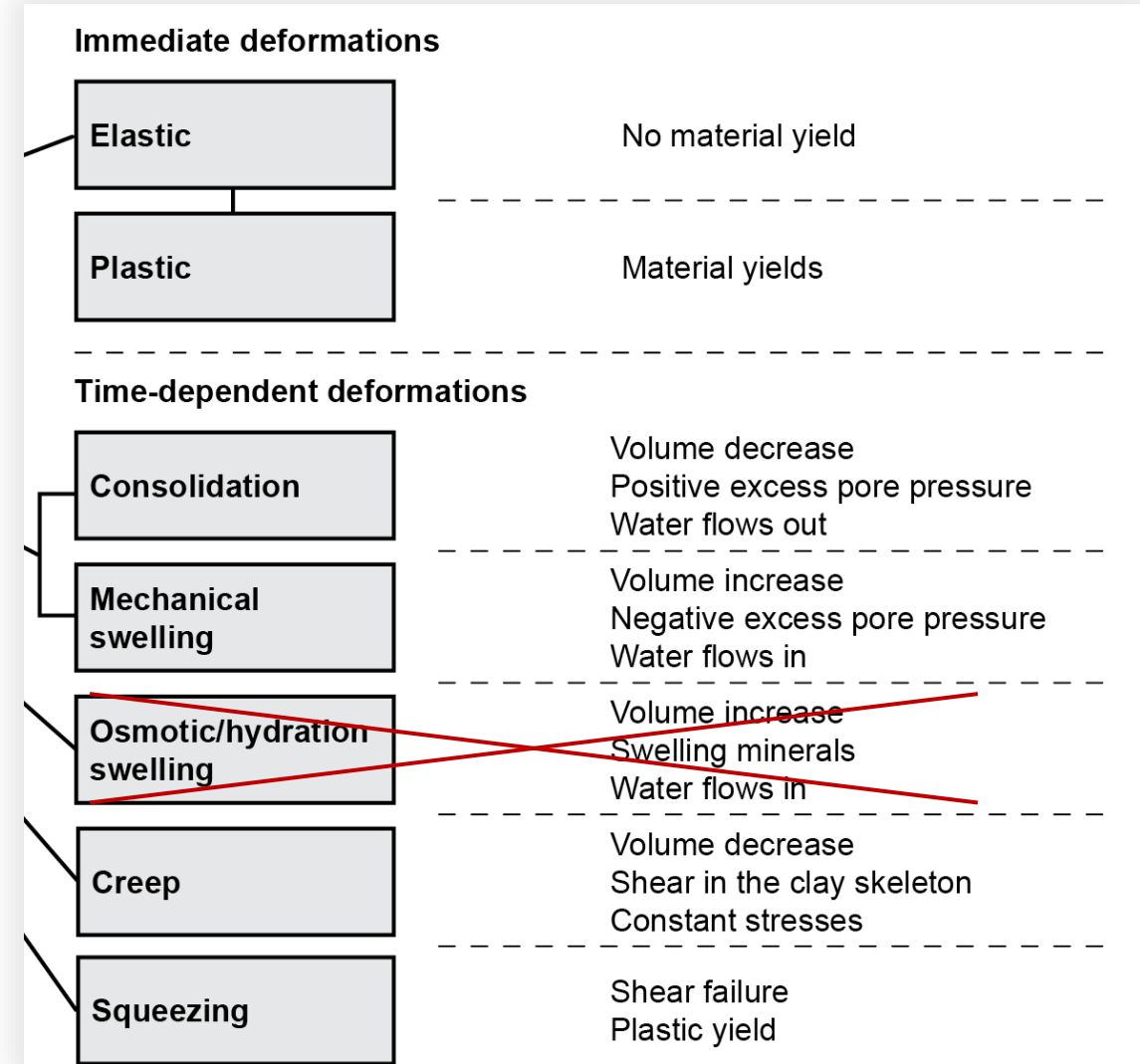
Hva annet kan føre til stabilitetsproblemer?

- Umiddelbare deformasjoner (eksempelet fra i ste)
 - Lav styrke
 - Lav E-modul
- Konsolidering og mekanisk svelling
 - Deformasjon innover (kons.)
 - Ekspansjon (mek. svelling)
 - Oppbløtning med reduksjon av friksjonsvinkel



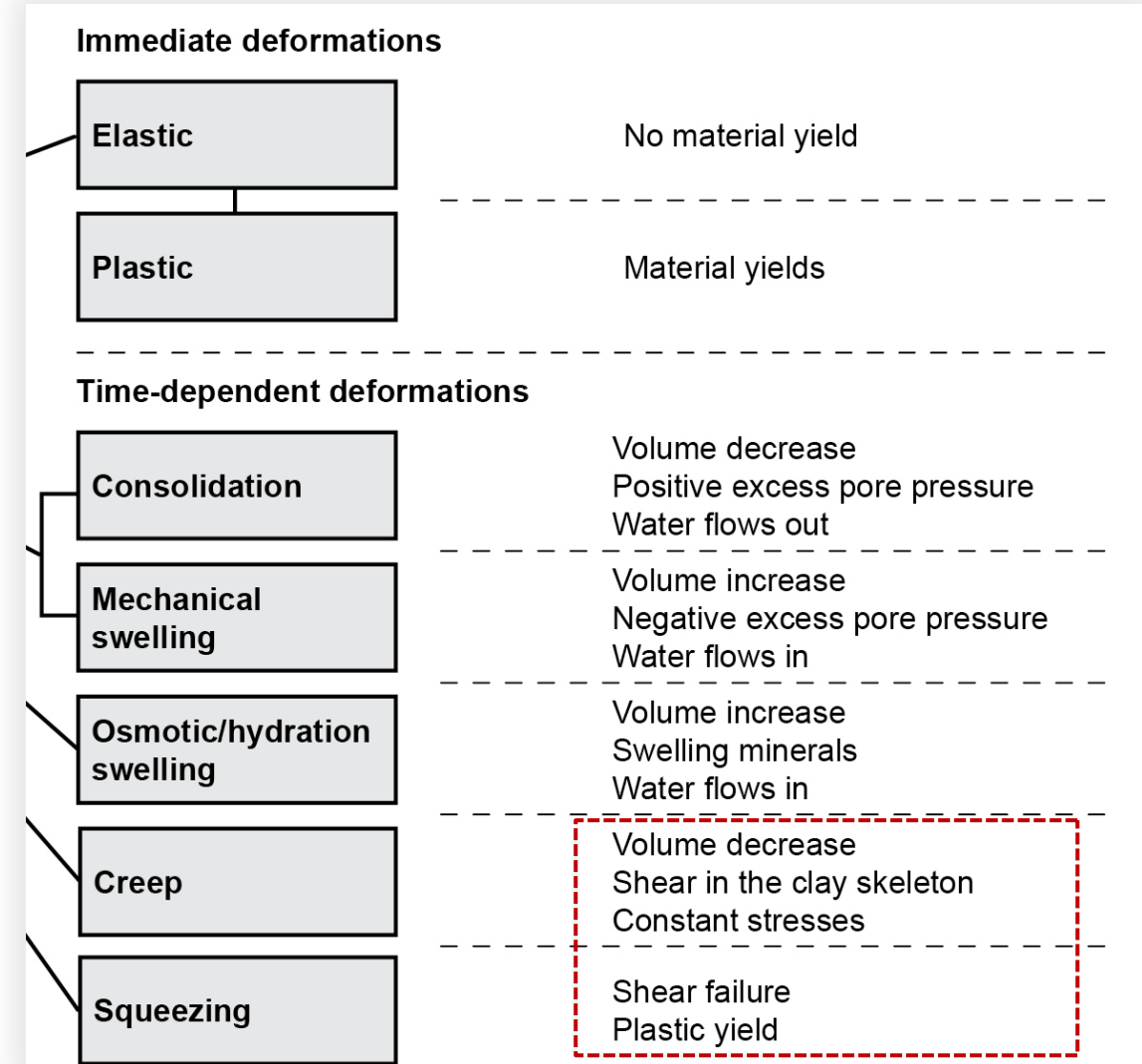
Hva annet kan føre til stabilitetsproblemer?

- Umiddelbare deformasjoner (eksempelet fra i ste)
 - Lav styrke
 - Lav E-modul
- Konsolidering og mekanisk svelling
 - Deformasjon innover (kons.)
 - Ekspansjon (mek. svelling)
 - Oppbløtning med reduksjon av friksjonsvinkel



Hva annet kan føre til stabilitetsproblemer?

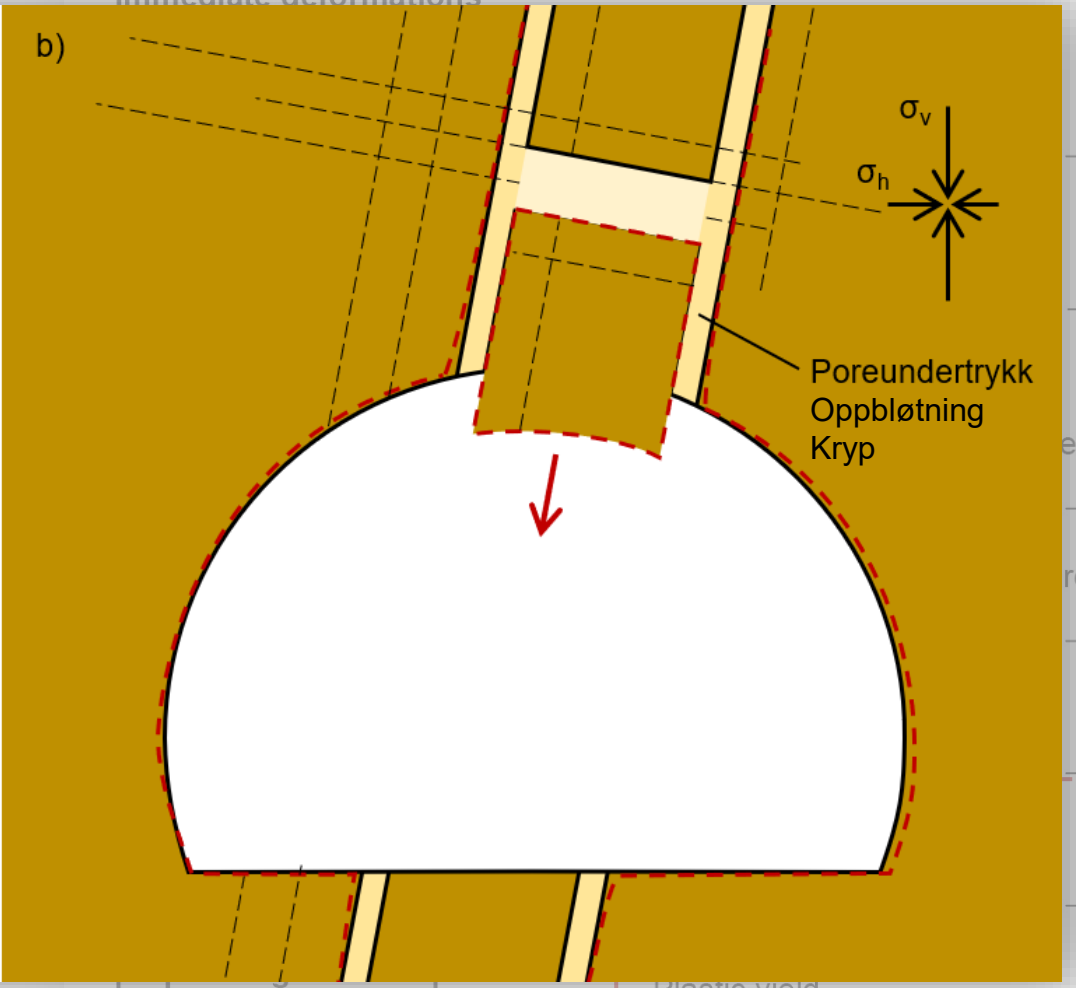
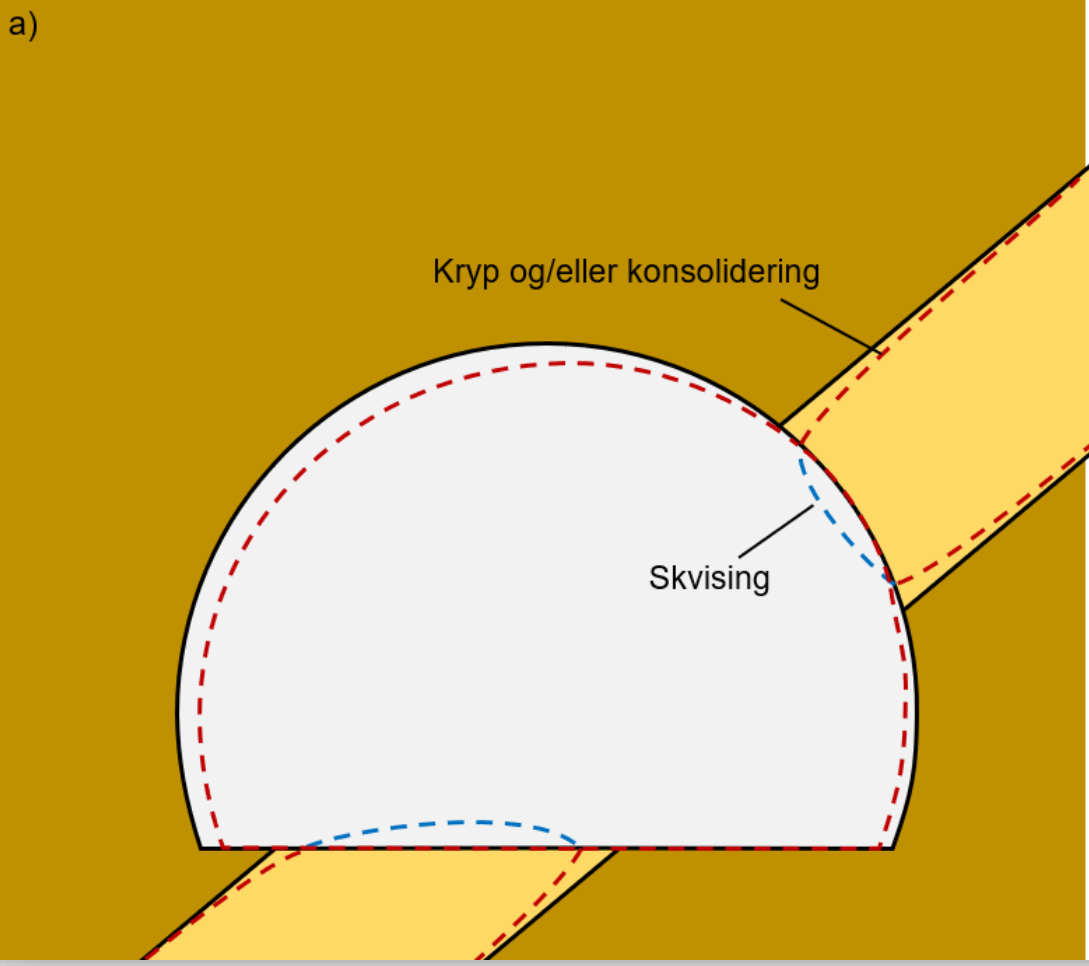
- Umiddelbare deformasjoner (eksempelet fra i ste)
 - Lav styrke
 - Lav E-modul
- Konsolidering og mekanisk svelling
 - Deformasjon innover (kons.)
 - Ekspansjon (mek. svelling)
 - Oppbløtning med reduksjon av friksjonsvinkel
- Kryp
 - Deformasjon innover
 - Langs soner – blokkbevegelse
- Skvising
 - Lokal eller global belastning på sikring



Hva annet kan føre til stabilitetsproblemer?

Umiddelege deformasjoner (skrumplet fra i ste)

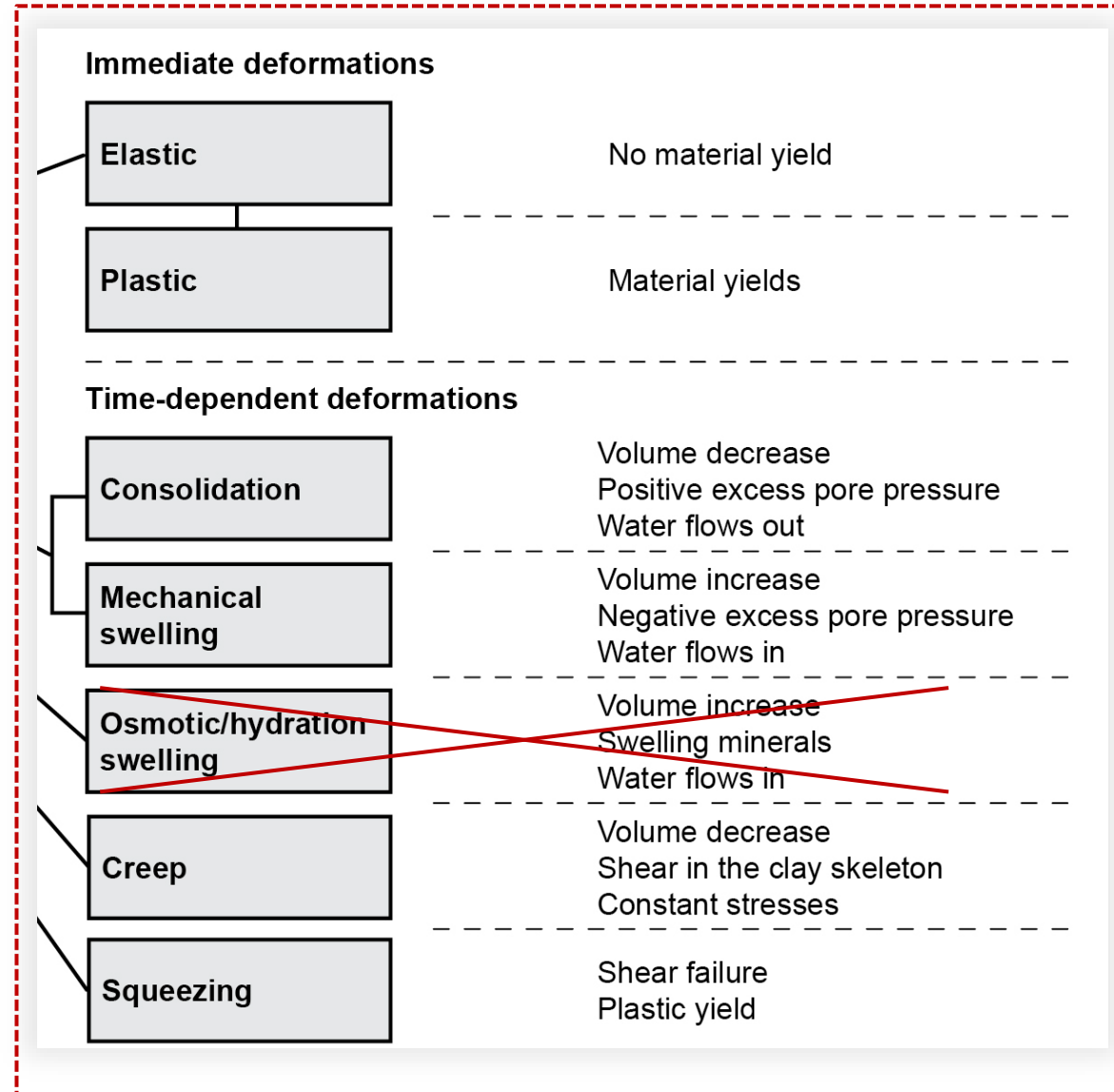
Immediate deformations



Plastic yield

Hva annet kan føre til stabilitetsproblemer?

Dette



Konklusjon

Er minerals svelling årsak til stabilitetsproblemer?

Nei, det har skjedd.

Hva annet kan det være?

- *Elastisk og plastisk deformasjon*
- *Konsolidering/mekanisk svelling*
- *Kryp*
- *Skvising*

Dette innebærer:

- Slutt å test svelletrykk
- Testing av svelletrykk kan gi falsk trygghet. Feiltolkning av problemet
- Man må vurdere andre årsaker til stabilitetsproblemer
- Mineralsk svelling er fjernet som årsak til stabilitetsproblem i Statens vegvesens *N-V521 Geologi og bergsikring i tunnel* og *N-V225 Bergskjæringer*

Kilder

1. Høien AH (2022) *Mineralsk svelling i svakhetssoner – Har det skjedd? Og hva annet kan skje der?*, Bergmekanikkdagen, Oslo. Se den [her](#).
2. Høien AH, Nilsen B, Vistnes G, Olsson R (2019) *Experimental triaxial testing of swelling gouge materials*. B Eng Geol Environ. Se den [her](#).
3. Høien AH, Nilsen B, Olsson R (2019) *Oedometer testing of swelling gouge materials at different water contents*. ISRM 2019, Foz do Iguassu, Brazil, September 13-18, 2019. Se den [her](#).
4. Høien AH, Nilsen B, Olsson R (2019) *Main aspects of deformation and rock support in Norwegian road tunnels*. Tunnelling and Underground Space Technology 86:262-278. Se den [her](#).
5. Laird DA (2006) *Influence of layer charge on swelling of smectites*. Appl Clay Sci 34 (1):74-87. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2006.01.009>
6. Madsen FT, Müller-Vonmoos M (1989) *The swelling behaviour of clays*. Appl Clay Sci 4 (2):143-156. doi: [https://doi.org/10.1016/0169-1317\(89\)90005-7](https://doi.org/10.1016/0169-1317(89)90005-7)

Les mer om årsakssammenheng, korrelasjon og samvariasjon på Store Norske Leksikon:

<https://snl.no/årsaksforskning>

<https://snl.no/korrelasjon>