

NBG/NGF seminar Trondheim 23. mai 2016
 Leiromvandling av berggrunnen – hvor og hvorfor?

(5) Svakhetssoner i norske tunneler – forekomst, karakter og egenskaper
 Bjørn Nilsen, Institutt for geologi og bergteknikk, NTNU

Hvorfor interessant i tunnelsammenheng?
 Karakteristika for leirsoner
 Prøvetaking
 Laboratorietesting
 Bergsikring ved krysning av leirsoner
 Konklusjoner



Kunnskap for en bedre verden

NTNU

Sleppematerialer – hovedtyper/karakter

- Oppløselige
- Lav indre friksjon
- Inaktive
- **Svellende: smektitt, montmorillonitt**

Kornfordeling:

Sonen: oftest morenekarakter

Smektitt: i fraksjonen <20 µm



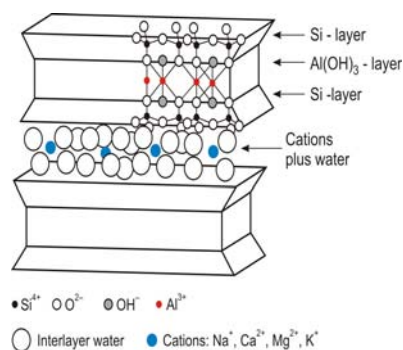
NTNU

Karakteristika for montmorillonitt

- Dannelse:
 - a) omvandling av feltspat
 - b) hydrotermale prosesser
- Meget finkornig

“ryggradslag” $\sim 1 \text{ nm}$ (10^{-6} mm)

spesifikk overflate $\sim 750 \text{ m}^2/\text{g}$
- Svelleprosess i 2 trinn:
 - 1) hydratisering
 - 2) osmotisk svelling



Svelling => svelletrykk

3

NTNU

In-situ svelletrykk

Svellepotentialet bestemmes av:

- 1) Indre betingelser (potensiell svelleevne)
 - finstoffandel, mengde og type smektitt
 - innhold av kationer
- 2) Ytre betingelser
 - grad av komprimering
 - vanntilgang
 - binding mellom partikler



Stor potensiell svelleevne betyr ikke nødvendigvis stort in-situ svelletrykk!

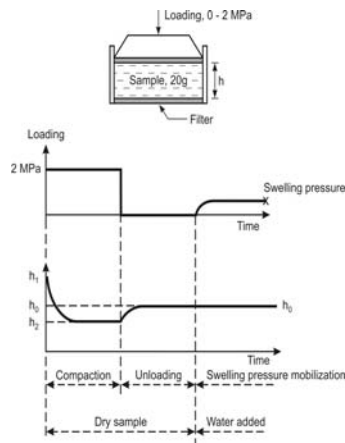
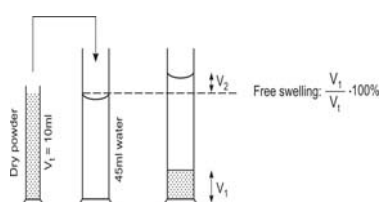
4

NTNU

Laboratorietesting

Testfraksjon: $<20\ \mu\text{m}$,
Preparert ved slemming, tørking og maling

- Fri svelling (FS)
- Svelletrykk ved konstant volum (SP)
- Mineralogisk analyse (XRD)



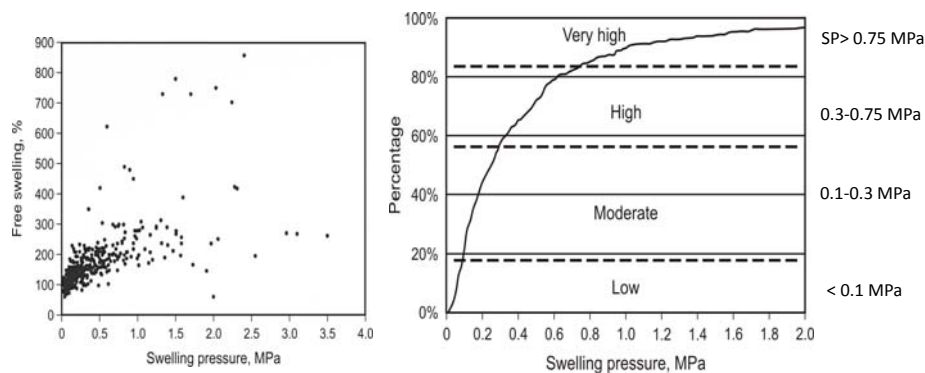
5

NTNU

Resultater fra labtesting

Testet ved NTNU/SINTEF: > 500 prøver av sleppemateriale

- Høyeste målte SP : $\sim 2\ \text{MPa}$
($> 3\ \text{MPa}$ for bergartsprøver)
- Dårlig korrelasjon FS/SP



6

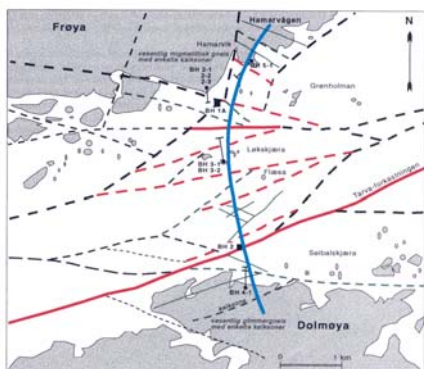
NTNU

Svelle-egenskaper for noen utvalgte prosjekter

Prosjekt/lokalitet	Berggrunn	< 20µm, %	FS, %	SP, MPa
Rafnes	ks skifer/sst	23	232	1,05
Sira Kvina	pk gneis	2	170	1,76
Øvre Otra	”	5	195	0,95
Hjartøy	”	10	450	0,95
Ormsetfoss o	”	10	167	0,62
Ormsetfoss t	”	46	125	0,34
Oslofjordtunnelen	”	34	167	0,55
Frøyatunnelen	”	35	800	1,55
Hanekleiv	perm syenitt	14	150	0,18
Holmestrand	perm basalt		185	0,62
Holmestrand	ks sandstein		70	0,13

Eksempler på tunnelprosjekter med svelleleire

1) Frøyatunnelen

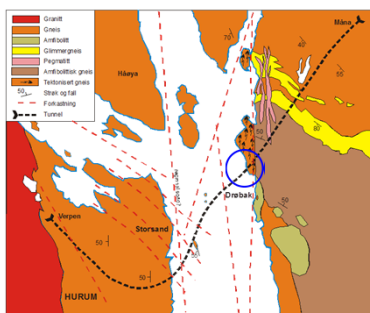




Frøyatunnelen,
10 cm sprøytebetong (sfr)

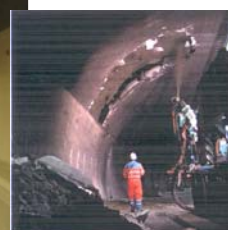
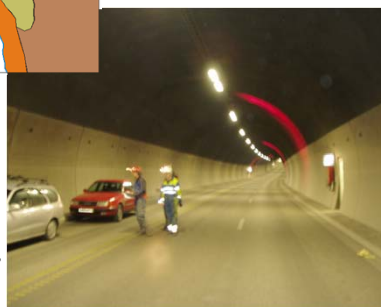
Eksempler på tunnelprosjekter med svelleleire

2) Oslofjordtunnelen



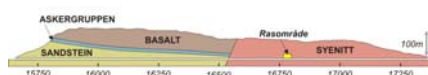
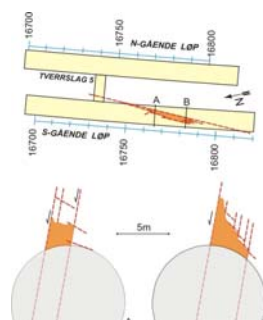
Ras 2003: $\sim 40 \text{ m}^3 / \sim 4 \text{ m}^3$
gjennom hvelvet

Tynn sprøytebetong (4-5 cm),
ikke bolter



Eksempler på tunnelprosjekter med svelleleire

3) Hanekleivtunnelen



Sprøytebetong >15 cm, få bolter,
ras etter ca. 10 år

11

NTNU

Eksempler på tunnelprosjekter med svelleleire

4) Ormsetfoss



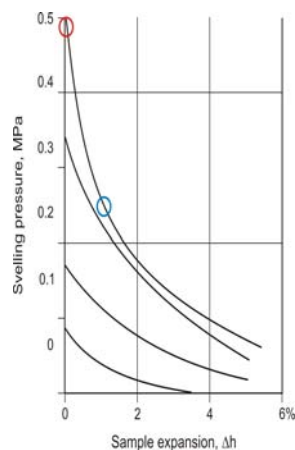
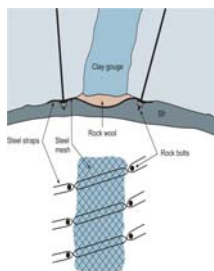
Parti med bergartsstruktur,
men fullstendig leiromvandlet

12

NTNU

Effekt av avlastning / ekspansjon

- Ekspansjonsmulighet => betraktelig reduksjon av svelletrykket
- Fleksibel / fendrende sikring gunstig

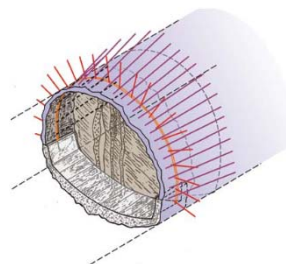


13

NTNU

Armerte sprøytebetongbuer (RRS)

- Relativt nytt konsept, rimeligere og raskere enn CCA
- Kombineres med forbolting, sfr og radiell bolting
- Alternativ til CCA – mye brukt i dag
- Slank konstruksjon med betydelig deformasjonsevne
- Numerisk modellering og deformasjonsmåling benyttes for evaluering av RRS-konseptet



Hovedutfordring for dokumentasjon av kapasiteten av RRS:
pålitelige inngangsparametre for in-situ svelletrykk

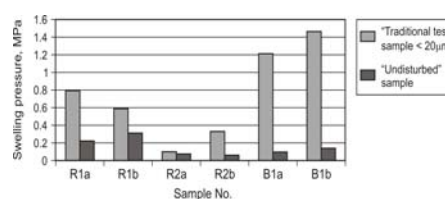
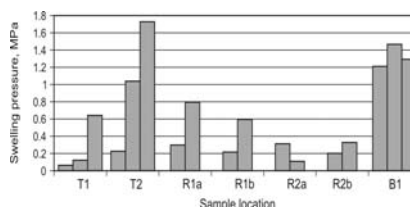
14

NTNU

Kvantifisering av svelletrykk for design av bergsikring

Usikkerhet knyttet til:

- Prøvens representativitet
-ofte stor variasjon i sonen
- Prøveprepareringen
-ødelegger in-situ struktur =>
 $SP_{lab} \neq SP_{in-situ}$
-vanligvis, iht utførte prototypforsøk:
 $SP_{in-situ} \ll 50\%$ av SP_{lab}



(basert i hovedsak på Tyssekvam, 1996)

15

NTNU

Konklusjoner

- Svelleleire kan påtreffes i de fleste bergartsformasjoner
- Svakhetssoner med svelleleire kan gi store stabilitetsproblemer og i verste fall ras
- Forundersøkelser viktig, men viktigst for å unngå problemer: kontinuerlig oppfølging og høy beredskap på stuff
- Laboratorietesting er kun indeks-testing; $SP_{lab} \gg SP_{in-situ}$
- De fleste svakhetssoner er inhomogene => bare 1 prøve fra sonen for lite
- Videre NTNU-forskning med fokus på:
 - SP_{lab} vs $SP_{in-situ}$
 - Svelletrykk på sikringskonstruksjoner

Dagens praksis (SVV):

Full utstøpning for $SP_{lab} > 0.5$ MPa når sonen krysser tunnelen over >2 m lang strekning

16

NTNU