

Øyvind Dammyr

Sprak i TBM-tunneler

Informasjon i denne presentasjonen er utarbeidet i forbindelse med PhD arbeid utført av undertegnede ved NTNU/Technische Universität München



Foto (Sweco): Ø3.5m TBM tunnel Reinoksvatn-Fossvatn, Kobbelv kraftverk

Sprak, bergslag, rock burst, strainburst, avskalling, spalling...

- Hva er sprak og hvorfor skjer det?
- Hva er spesielt med TBM-tunneler?
- Hvordan kan sprak forutsies?
- Hvordan kan sprak håndteres?

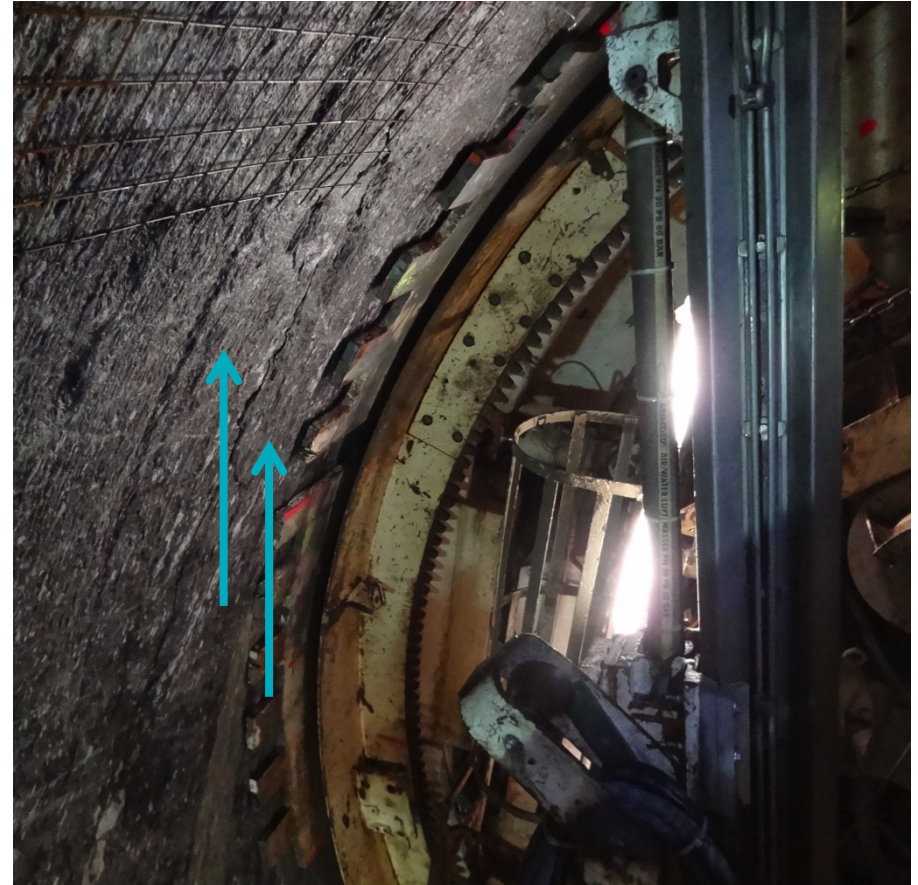
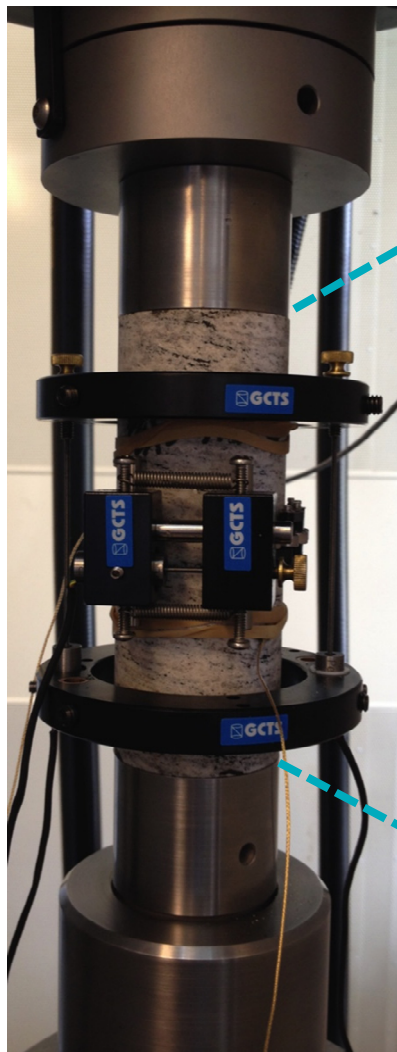


Foto: Antydning til avskalling i TBM tunnel i Sveits

Hva er sprak og hvorfor skjer det?



σ_3



Aksiell splitting:

Makrosprekker
propagerer
parallelt med
trykkretningen σ_1

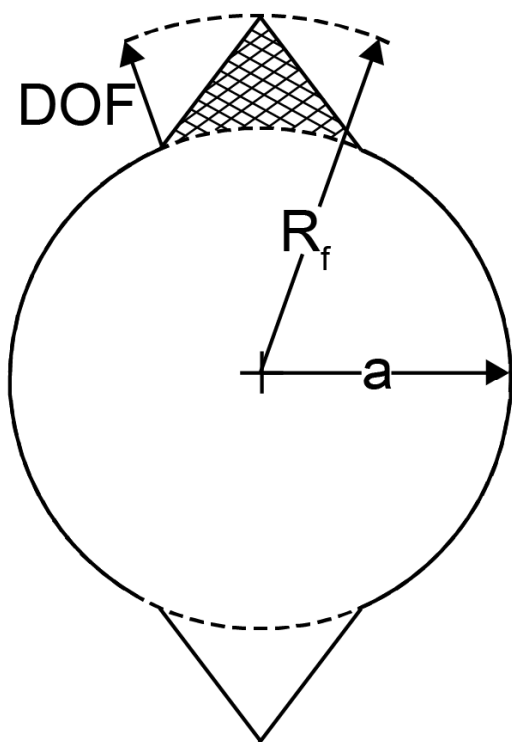
σ_3

Ved å påføre et
omslutnings-
trykk (σ_3) vil
trykkstyrken øke

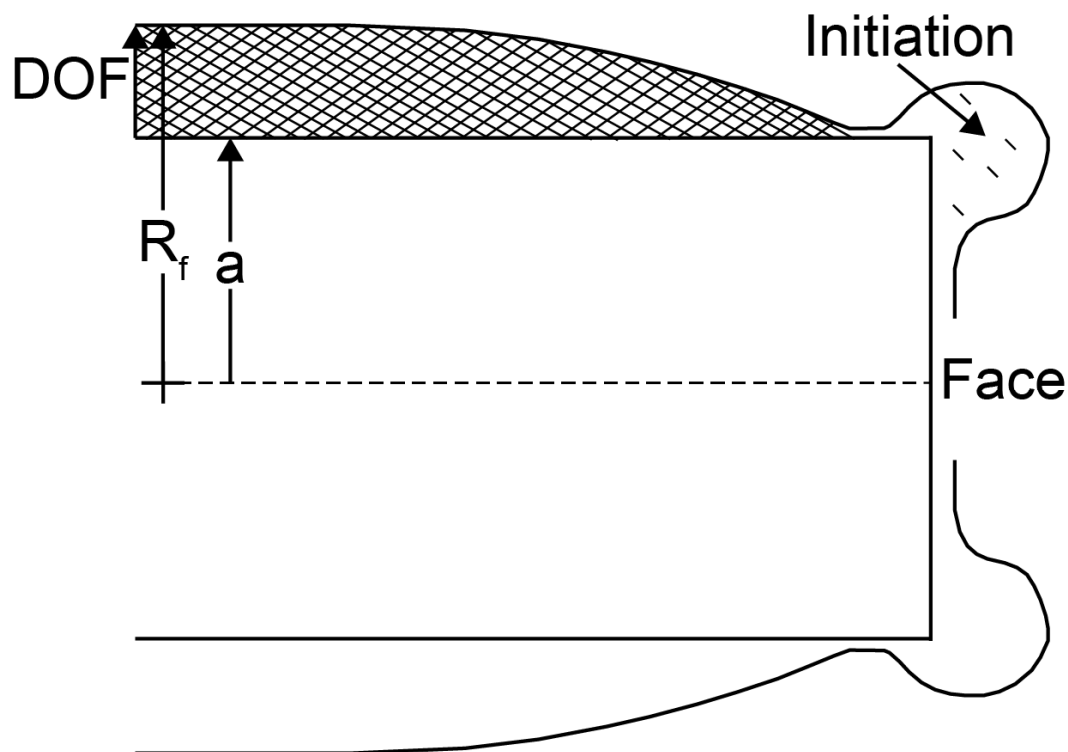
Foto: Enaksiell trykktesting av granittisk gneiss fra Kobbelv

Hva er sprak og hvorfor skjer det?

Når maksimal tangential spenning ($\sigma_{\max}$) overgår bergmassens styrke (σ_{cm}) oppstår knusing med påfølgende propagering av ekstensjonssprekker. Denne prosessen frigjør energi. Intens energi frigjøring og utkast av bergstykker kalles sprak

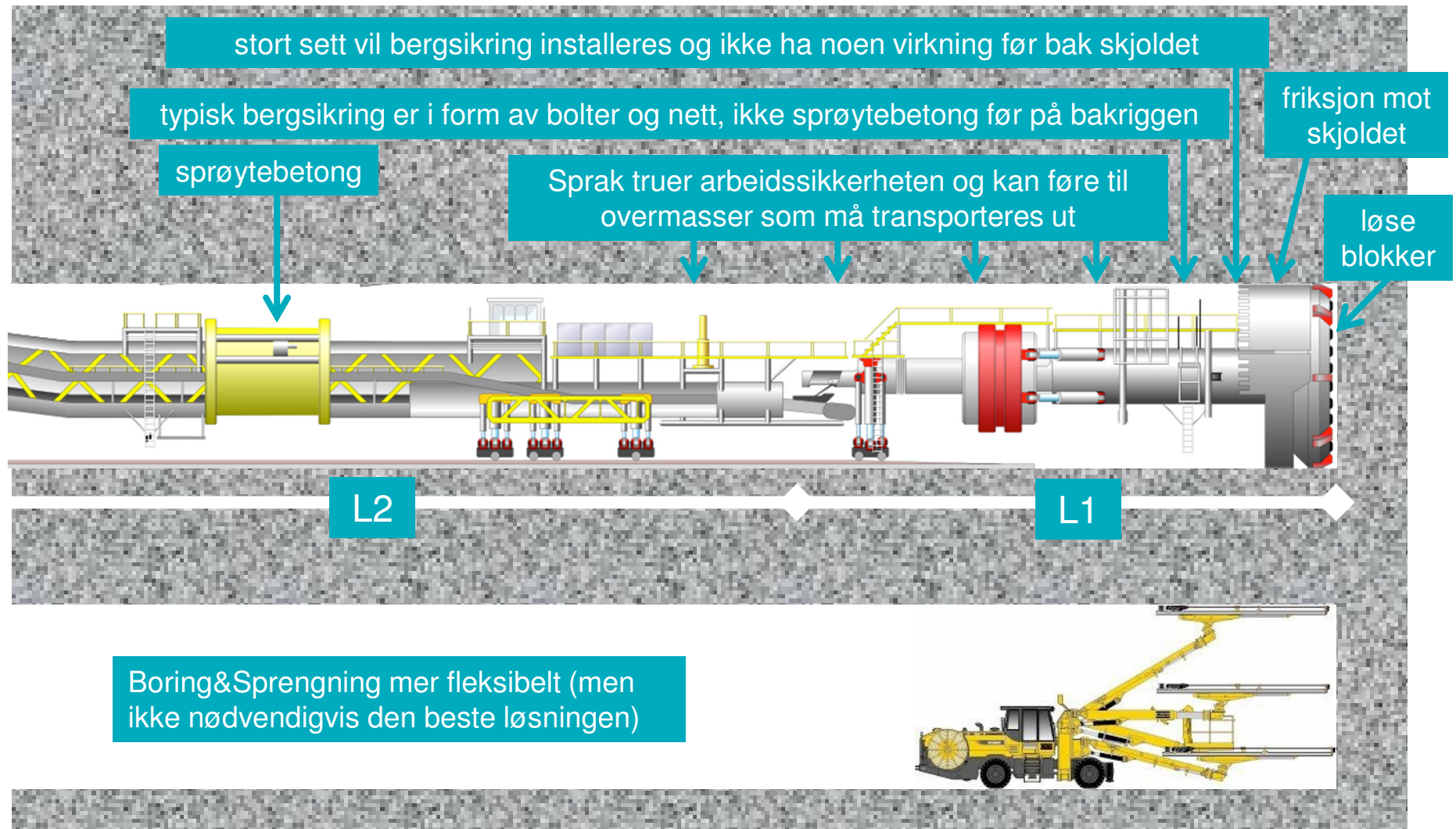


DOF = Depth of failure



Dybden på bruddutviklingen kommer an på forholdet $\sigma_{\max}/\sigma_c$ og bergartens karakter

Hva er spesielt med TBM-tunneler?



Hva er spesielt med TBM-tunneler?

Overflate-parallell
oppsprekking i den
sprengte bergmassen

Høyere spenninger og
bergartsstyrke nær
TBM konturen

Det kan være mer
intens spraking i en
TBM tunnel, men
mindre omfattende
behov for bergsikring



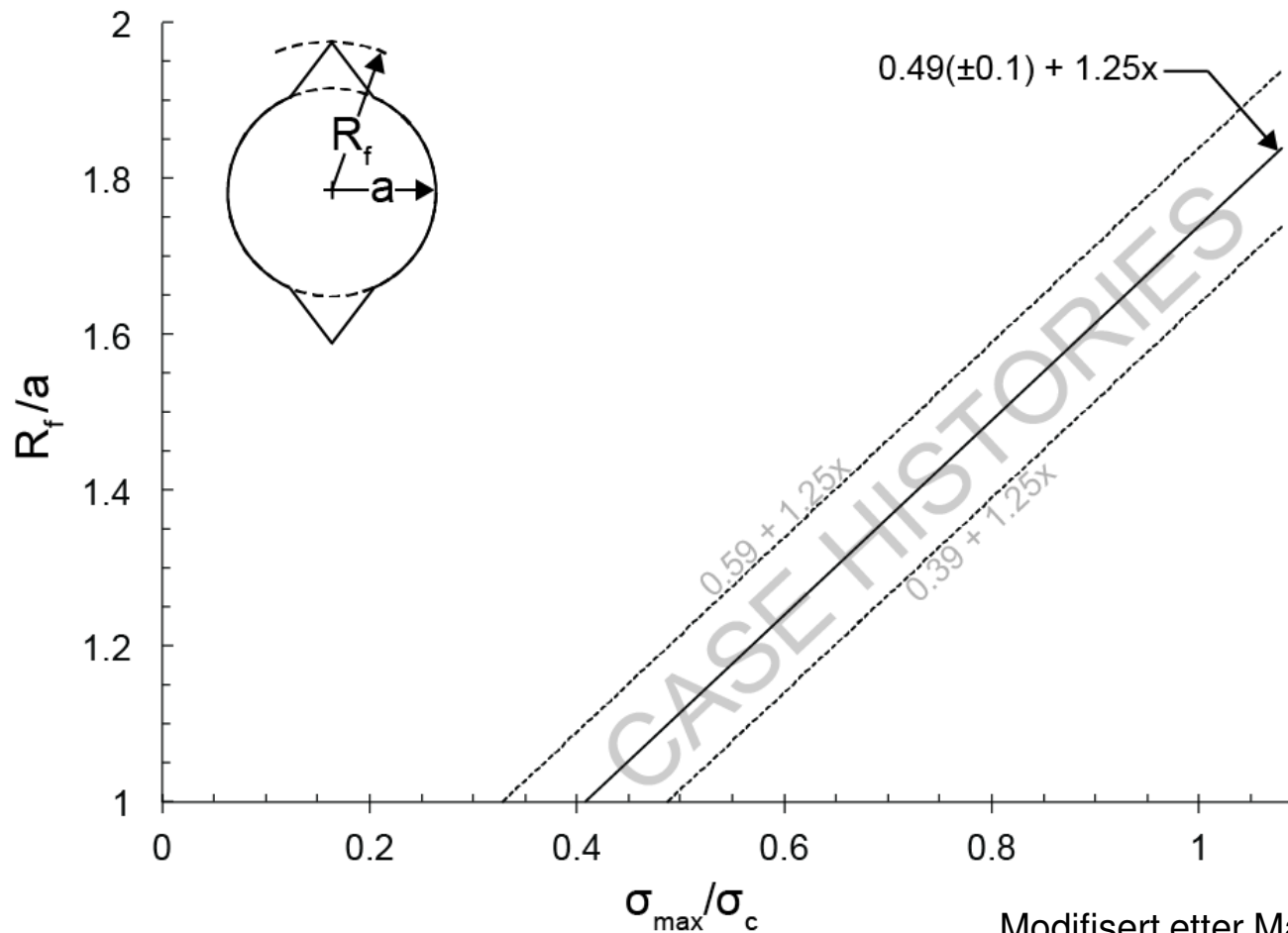
Foto (Sweco): Overgang fra sprengning til TBM, tverrsnitt Reinoksvatn, Kobbelv

Hvordan kan sprak forutsies?

- I laboratoriet dannes og propagerer mikrosprekker fra et spenningsnivå på $(0.4 \pm 0.1) \cdot \sigma_c$. Dette spenningsnivået kalles "crack initiation" σ_{ci} og kan påvises fra stress-tøyningskurver eller akustisk emisjon (AE)
- I laboratoriet dannes første makrosprekk ved et spenningsnivå på $(0.8 \pm 0.1) \cdot \sigma_c$. Dette nivået kalles "crack damage" σ_{cd} og kan påvises fra stress-tøyningskurver eller AE
- **Sprak skjer typisk ved et spenningsnivå på $(0.4-0.6) \cdot \sigma_c \rightarrow \approx \sigma_{ci}$**
Grunnen til at nivået ikke ligger på 0.8 ± 0.1 slik som i laboratoriet kan forklares med:
 - 1) I laboratoriet er prøvestykkene påvirket av tilbakevirkende omslutning ("feedback confinement") fra endeplatene, noe som begrenser propagering av mikrosprekker. In-situ kan mikrosprekker fritt propagere etter de er dannet
 - 2) Rundt en tunnel in-situ vil bergmassen påvirkes fra den pågående tunneldrivingen og fra spenningsrotasjon rundt tunnelstuppen. Dette kan føre til en degradering av bergmassestyrken

Hvordan kan sprak forutsies?

Erfaringsbasert ligning: $R_f/a = 0.49(\pm 0.1) + 1.25(\sigma_{\max}/\sigma_c)$

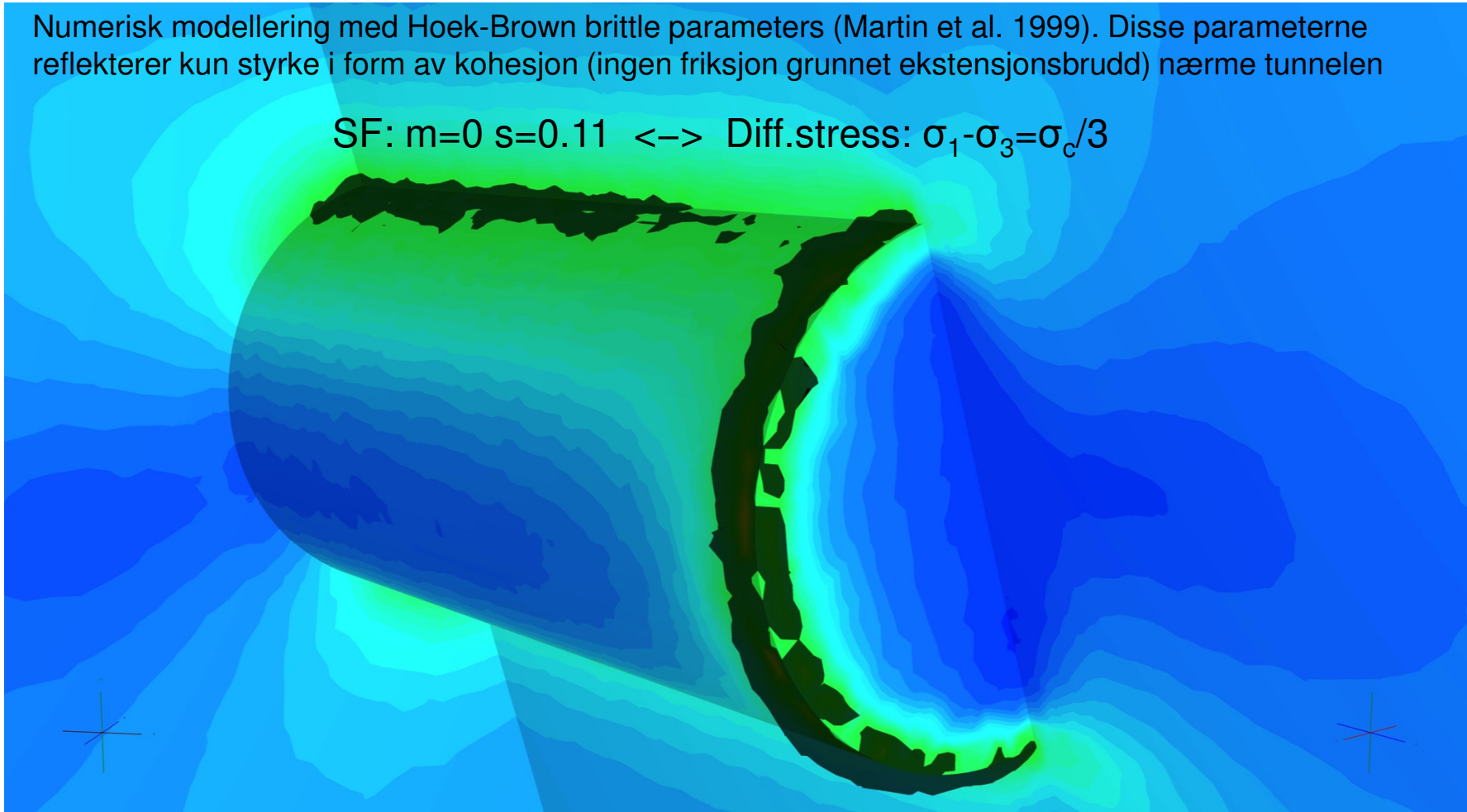


Modifisert etter Martin et al. (1999)

Hvordan kan sprak forutsies?

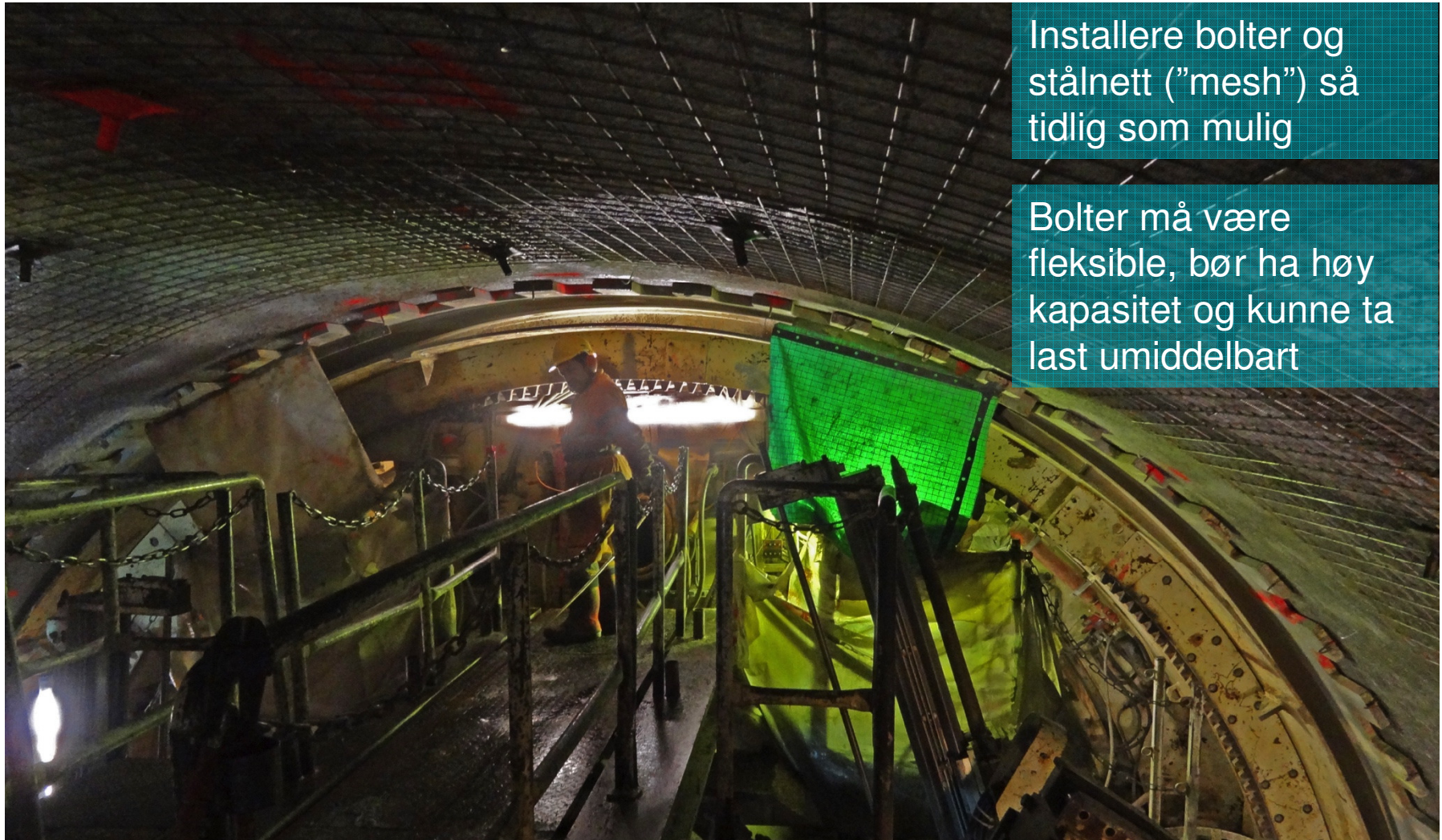
Numerisk modellering med Hoek-Brown brittle parameters (Martin et al. 1999). Disse parameterne reflekterer kun styrke i form av kohesjon (ingen friksjon grunnet ekstensjonsbrudd) nærme tunnelen

SF: $m=0$ $s=0.11$ $\leftrightarrow$ Diff.stress: $\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_c/3$



Numerisk modell: Rocscience RS³ med spenningskonturer for $\sigma_1 - \sigma_3$
Sorte områder viser spenningsnivå over $\sigma_c/3$ (estimert bruddutvikling)

Hvordan kan sprak håndteres?



Installere bolter og stålnett ("mesh") så tidlig som mulig

Bolter må være fleksible, bør ha høy kapasitet og kunne ta last umiddelbart

Foto: Stålnett ("mesh") og Swellex bolter som senere ble supplert med innstøpte bolter. TBM prosjekt i Sveits

Hvordan kan sprak håndteres?



Foto: Sprøyterobot på TBM fra prosjekt i Sveits

Hvordan kan sprak håndteres?

Ved potensiale for sprak bør bergsikring installeres kontinuerlig og må kunne installeres på meget kort varsel

McNally system

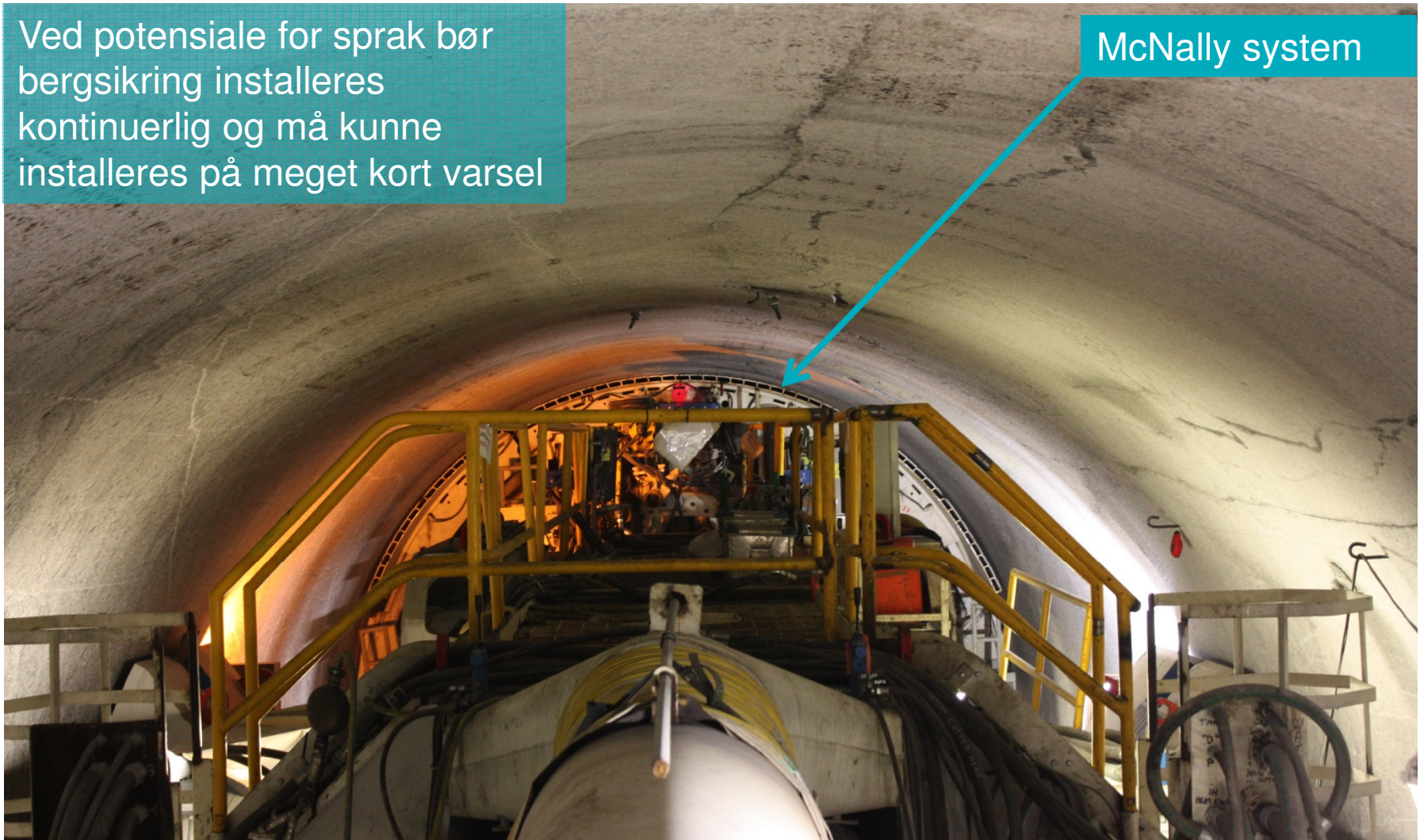


Foto: TBM tunnel i Skandinavia

Hvordan kan sprak håndteres?

Blokkering av kutterhodet etter sprak på stoff i Brenner Aicha Mules undersøkelses tunnel

Hvordan håndteres sprak med en skjold TBM?

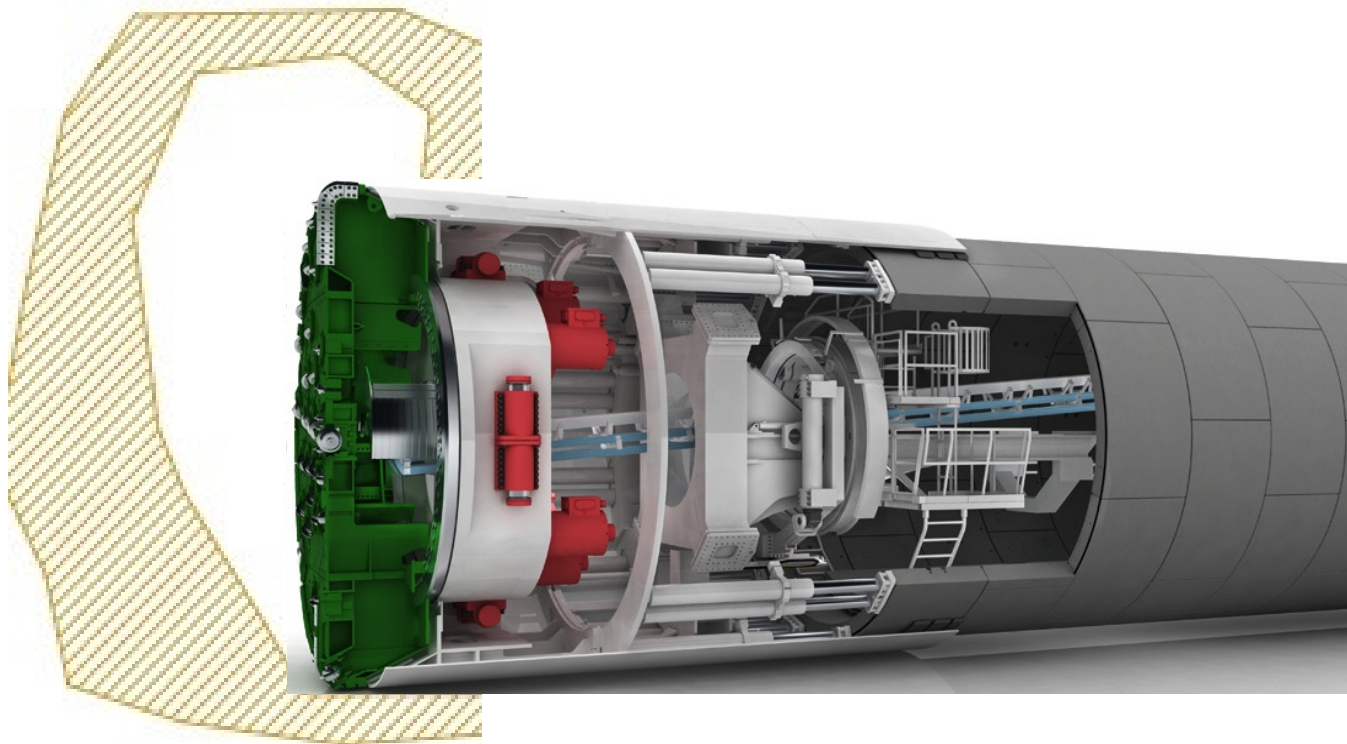


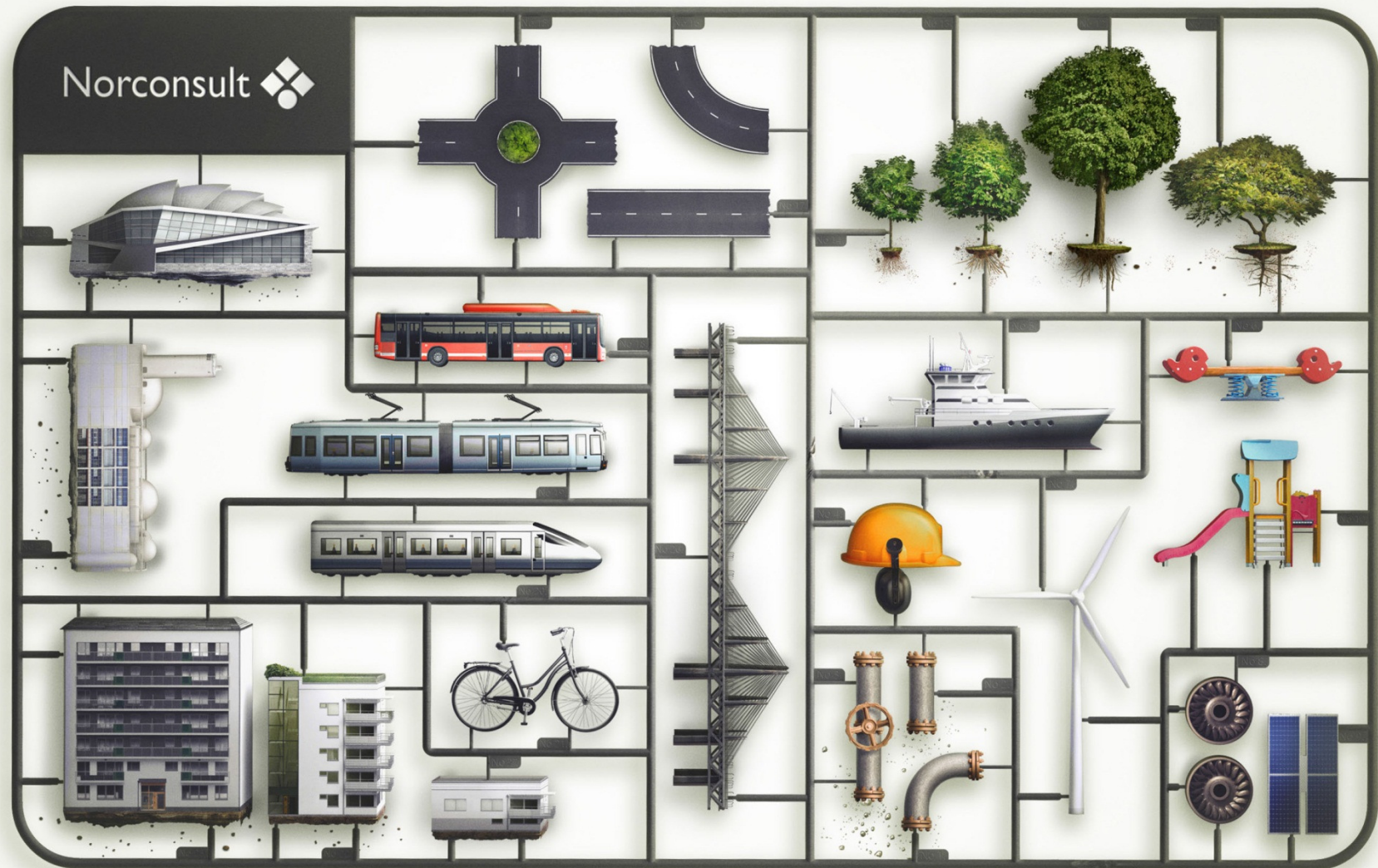
Foto: Kompilasjon, fra Grandori et al. (2011) og fra www.herrenknecht.com

Spørsmål...?



Referanser:

- Grandori R, Bieniawski ZT, Vizzino D, Lizzadro L, Romualdi P, Busiollo A (2011) Hard rock extreme conditions in the first 10 km of the TBM driven Brenner Exploratory Tunnel. In: Proceedings of the Rapid Excavation and Tunneling Conference (RETC), San Francisco, 19-22 June 2011, pp 667-685. Society for Mining Metallurgy & Exploration, Inc., Englewood, Colorado. ISBN: 978-0-87335-343-4
- Martin CD, Read RS, Martino JB (1997) Observations of Brittle Failure Around a Circular Test Tunnel. INT J ROCK MECH MIN 34(7):1065-1073
- Martin CD, Kaiser PK, McCreath DR (1999) Hoek-Brown parameters for predicting the depth of brittle failure around tunnels. CAN GEOTECH J 36:136-151



Takk for meg!