



Kunnskap for en bedre verden

Løsmassetunnel: Aktuelle problemstillinger og mulige løsninger.

Fokus på konvensjonell tunneldriving

Pål Drevland Jakobsen – 12. mars 2026



Innhold

- Regelverk og litt referanser/bakgrunn
- Kort om metoder for sikring under driving
- Løsninger og erfaringer fra Bergåsen løsmassesone



Brunel's tunnel shield (1825 Thames)

Definisjon fra ISRM (1978)

Table 2.7 Simple *field identification* of compressive strength of rocks and clays (from ISRM, 1978).

Grade and Term		Field identification	Approx. σ_c (MPa)
S1	Very soft clay	- Easily penetrated several inches by fist.	< 0.025
S2	Soft clay	- Easily penetrated several inches by thumb.	0.025-0.05
S3	Firm clay	- Can be penetrated several inches by thumb with moderate effort.	0.05 -0.10
S4	Stiff clay	- Readily indented by thumb, but penetrated only with great effort.	0.10 -0.25
S5	Very stiff clay	- Readily indented by thumbnail.	0.25 -0.50
S6	Hard clay	- Indented with difficulty by thumbnail.	> 0.50
The clays in grade S1 - S6 can be silty clays and combinations of silts and clays with sands, generally slow draining.			
R0	Extremely weak rock	- Indented by thumbnail.	0.25 - 1
R1	Very weak rock	- Crumbles under firm blows with point of geological hammer; can be peeled by a pocket knife.	1 - 5
R2	Weak rock	- Can be peeled by a pocket knife with difficulty, shallow identifications made by firm blow with point of geological hammer	5 - 25
R3	Medium strong rock	- Cannot be scraped or peeled with a pocket knife; specimen can be fractured with single firm blow of geological hammer.	25 - 50
R4	Strong rock	- Specimen requires more than one blow of geological hammer to fracture it.	50 - 100
R5	Very strong rock	- Specimen requires many blows of geological hammer to fracture it	100 – 250
R6	Extremely strong rock	- Specimen can only be chipped with geological hammer	> 250

N500

Mulig norsk definisjon av løsmassetunnel:

Tabell 7.5—1 — Sammenhengen mellom bergmasseklasser (Q-systemet) og sikringsklasser – permanent sikring (fortsetter)

Bergmasse-klasse	Bergforhold Q-verdi (sprengt berg)	Sikringsklasse Permanent sikring
G	Eksepsjonelt dårlig bergmasse, stort sett løsmasse $Q < 0,01$	Sikringsklasse VI — Driving og permanent sikring dimensjoneres spesielt

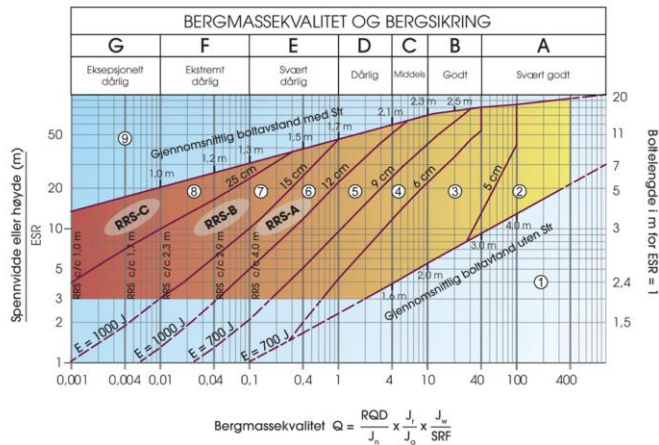
Tabell 7.5—1 — Sammenhengen mellom bergmasseklasser (Q-systemet) og sikringsklasser – permanent sikring

Bergmasse-klasse	Bergforhold Q-verdi (sprengt berg)	Sikringsklasse Permanent sikring
A/B	Lite oppsprukket bergmasse. Midlere sprekkeavstand $> 1\text{ m}$ $Q = 100-10$	Sikringsklasse I — Spredt bolting — Sprøytebetong B35 E700, tykkelse 80 mm
C	Moderat oppsprukket bergmasse. Midlere sprekkeavstand $0,3-1\text{ m}$ $Q = 10-4$	Sikringsklasse II — Sprøytebetong B35 E700, tykkelse 80 mm — Systematisk bolting c/c 2 m
D	Tett oppsprukket bergmasse eller lagdelt skifrig bergmasse. Midlere sprekkeavstand $< 0,3\text{ m}$ $Q = 4-1$	Sikringsklasse III — Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 100 mm — Systematisk bolting c/c 1,75 m
E	Svært dårlig bergmasse $Q = 1-0,2$	Sikringsklasse IVa — Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150 mm — Systematisk bolting, c/c 1,5 m
	$= 0,2-0,1$	Sikringsklasse IVb — Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150 mm — Systematisk bolting, c/c 1,5 m — Armerte sprøytebetongbuer, buedimensjon E30/6 $\varnothing 20\text{ mm}$, c/c buer 2-3 m, ev. gitterbuer • Buene boltes systematisk, c/c bolt = 1,5 m, boltelengde 3-4 m — Sålestøp vurderes
	Extremt dårlig bergmasse $= 0,1-0,01$	Sikringsklasse V — Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150-250 mm — Systematisk bolting, c/c 1,0-1,5 m — Armerte sprøytebetongbuer, buedimensjon D60/6+4, $\varnothing 20\text{ mm}$, c/c buer 1,5-2 m, ev. gitterbuer • Buene boltes systematisk, c/c 1,0 m, boltelengde 3-6 m — Sålestøp vurderes

Fra Q-systemet

Bruk av Q-systemet for å vurdere bergsikring

Bruk av Q-systemet for å vurdere bergsikring



Sikringskategorier

- ① Usikret eller spredt bolting
- ② Spredt bolting
- ③ Systematisk bolting (B), fiberarmert sprøytebetong (Sfr), 5-6 cm, **B + Sfr**
- ④ Fiberarmert sprøytebetong og bolting, 6-9 cm, **Sfr (E700) + B**
- ⑤ Fiberarmert sprøytebetong og bolting, 9-12 cm, **Sfr (E700) + B**
- ⑥ Fiberarmert sprøytebetong, 12-15 cm + bolting + sprøytebetongbue, **Sfr (E1000) + B + RRS-A**
- * ⑦ Fiberarmert sprøytebetong > 15 cm + bolting + sprøytebetongbue, **Sfr (E1000) + B + RRS-B**
- * ⑧ Fiberarmert sprøytebetong > 25 cm + bolting + sprøytebetongbue, **Sfr (E1000) + B + RRS-C**
- * ⑨ Spesiell vurdering

Boltavstand er hovedsaklig basert på Ø20 mm
 B = bolting
 Sfr = fiberarmert sprøytebetong
 E = Energiabsorpsjon i fiberarmert sprøytebetong
 RRS = Sprøytebetongbue
 ESR = Bergrommets sikkerhetskrav
 Områder med prikkede linjer mangler empiriske data

* For sikringskategori 7-9: Forslag til omfang av bergsikring må betraktes som veiledende. Det bør gjøres ingeniørgeologiske og bergmekaniske vurderinger i tillegg (se kapittel 4.7).

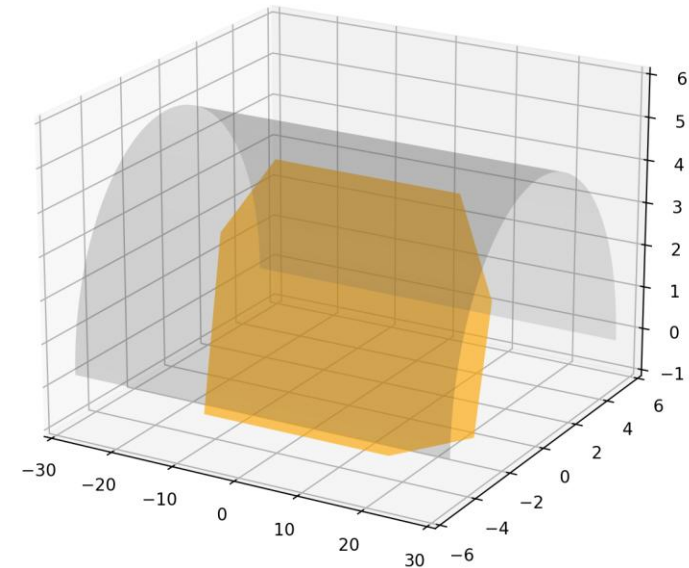
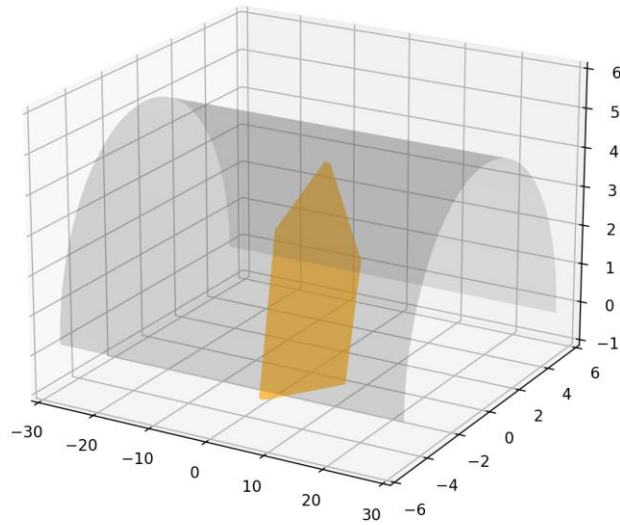
RRS - avstand relatert til Q-verdi

RRS-A	Si30/6 Ø16 - Ø20 (spennvidde 10m) D40/6+4 Ø16-20 (spennvidde 20m)
RRS-B	Si35/6 Ø16-20 (spennvidde 5m) D45/6+4 Ø16-20 (spennvidde 10m) D55/6+4 Ø20 (spennvidde 20m)
RRS-C	D40/6+4 Ø16-20 (spennvidde 5 m) D55/6+4 Ø20 (spennvidde 10 m) Spesiell vurdering (spennvidde 20 m)

Si30/6 = Enkelt lag med 6 armeringsjern, 30 cm tykkelse med sprøytebetong
 D = Dobbel lag med armeringsjern
 Ø16 = Armering diameter er 16 mm
 c/c = RRS avstand, senter - senter

Figur 4-1 Anbefaling for permanent sikring basert på Q-verdier og spennvidde/ESR

Mektighet?



Eurokode 7 prosjekteringsmetoder

Designmetode	Prinsipp	Typiske bruksområder	Fordeler / Ulemper
Design ved beregning	Bruker analytiske eller numeriske beregninger for å verifisere grenseverdier basert på jordparametere, laster og motstand.	Fundamenter, støttemurer, skråningsstabilitet der jorddata er pålitelige.	Fordeler: Presis, bredt akseptert. Ulemper: Krever nøyaktige jorddata; kan være konservativ.
Design basert på empiriske data	Basert på dokumentert praksis og erfaring fra lignende prosjekter eller etablerte regler.	Standardfundamenter, vanlige grunnforhold, repeterende arbeider.	Fordeler: Rask, kostnadseffektiv. Ulemper: Begrenset til kjente forhold; mindre tilpasningsdyktig til uvanlige steder.
Design ved observasjonsmetode	Setter akseptable grenser, overvåker under bygging og justerer design basert på observert utførelse.	Komplekse eller usikre grunnforhold, tunneler, dype utgravinger.	Fordeler: Reduserer usikkerhet, kan optimalisere kostnader. Ulemper: Krever robust overvåking og beredskapsplanlegging.

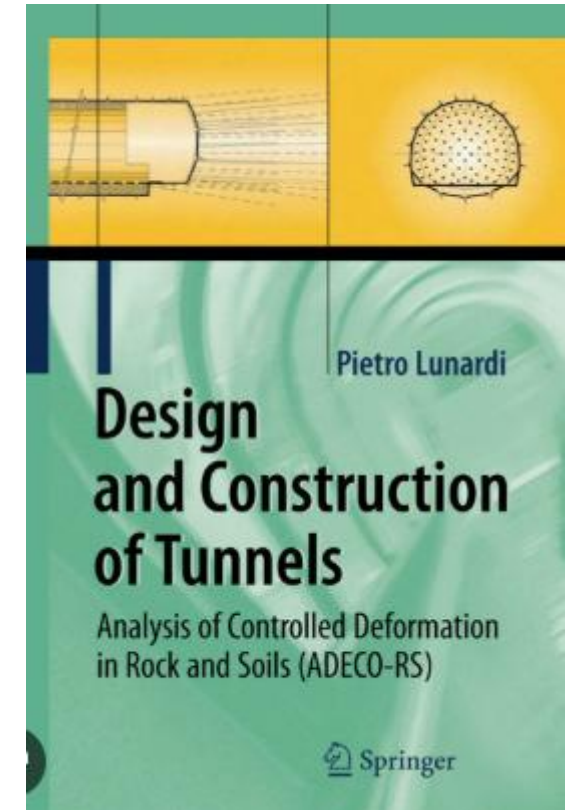
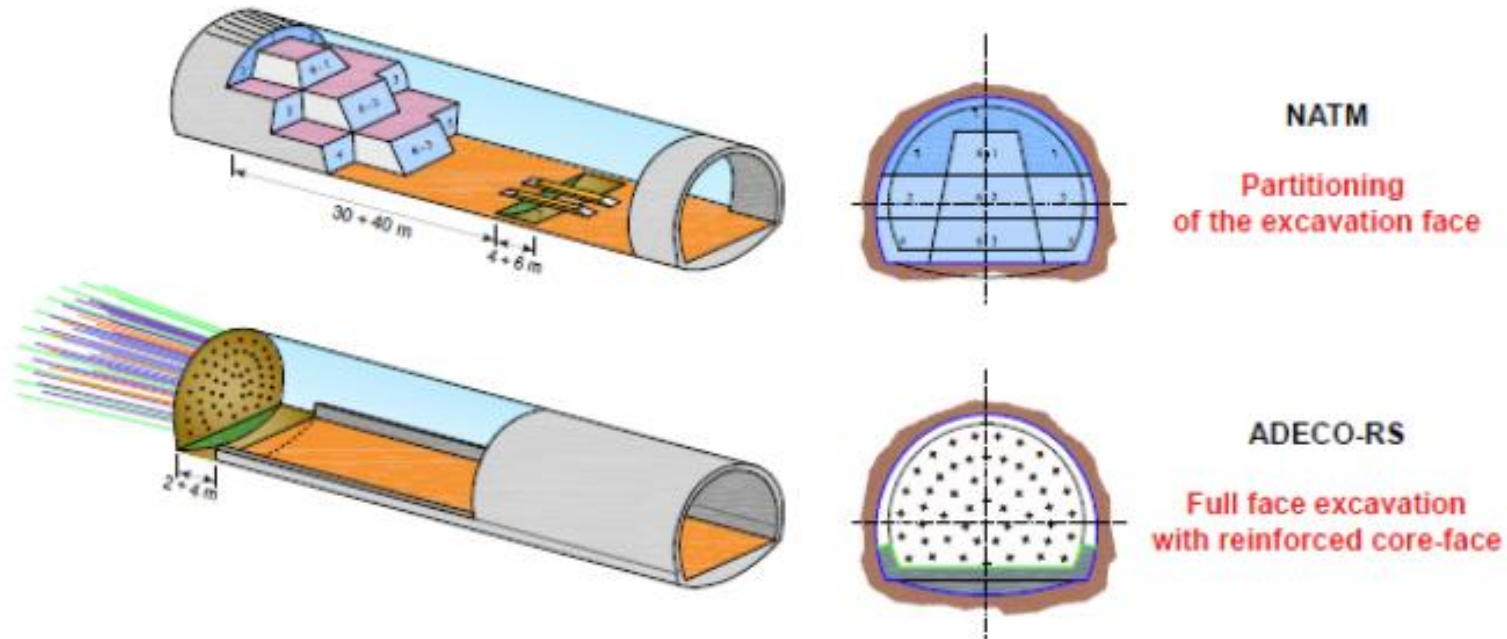
2.7 Observasjonsmetoden

(1) Når det er vanskelig å forutsi geoteknisk oppførsel, kan det være hensiktsmessig å bruke framgangsmåten som er kjent som observasjonsmetoden hvor prosjekteringen etterprøves under byggingen.

NATM og ADECO-RS

Control of the Deformation Response

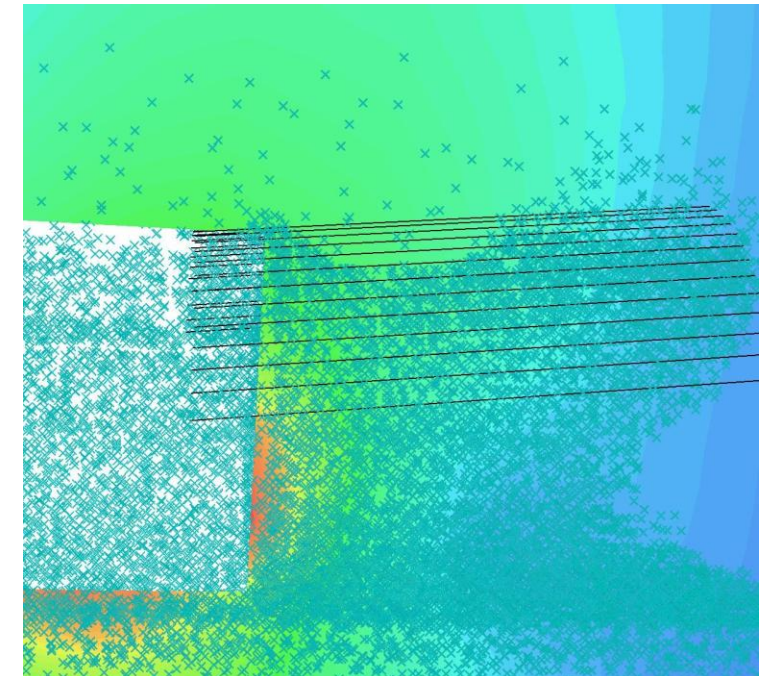
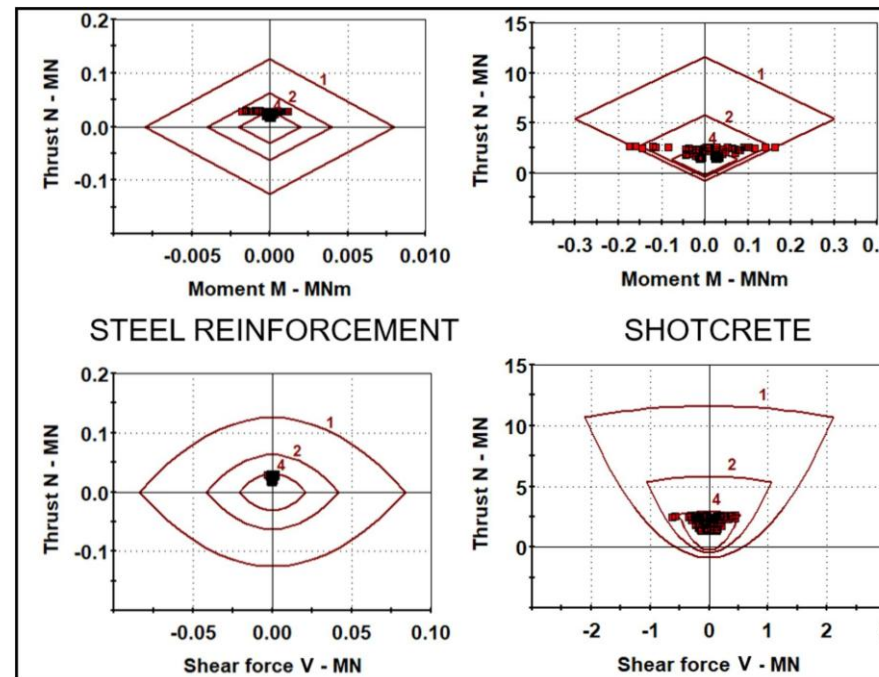
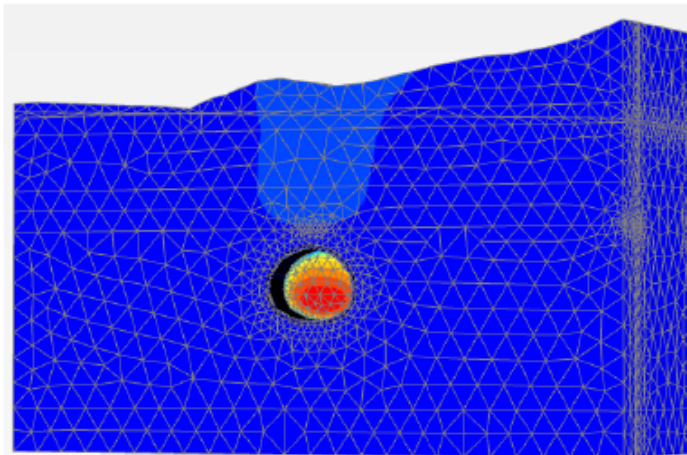
TO STABILIZE THE EXCAVATION FACE IN DIFFICULT CONDITIONS



Sikringsmetoder

Rørskjerm

- Kan beregnes analytisk som innspent/utkraget bjelke mellom buer/gitterdragere
- Plaxis 3D er knottete men mulig å bruke for dokumentasjon
- Terron et al. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0886779824006746#s0115>



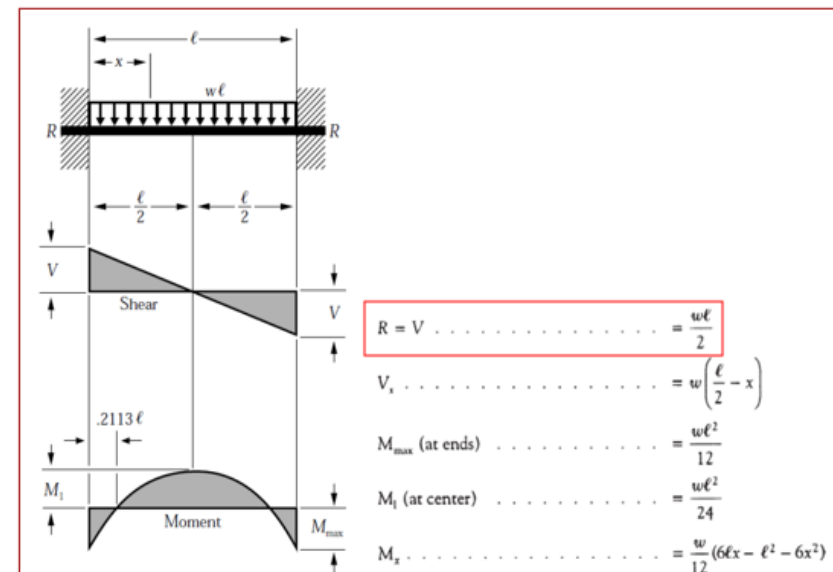
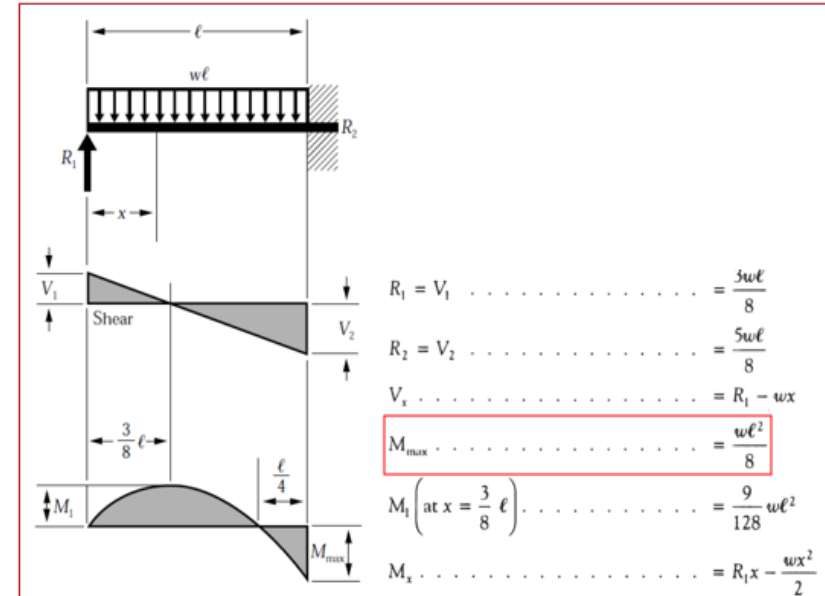
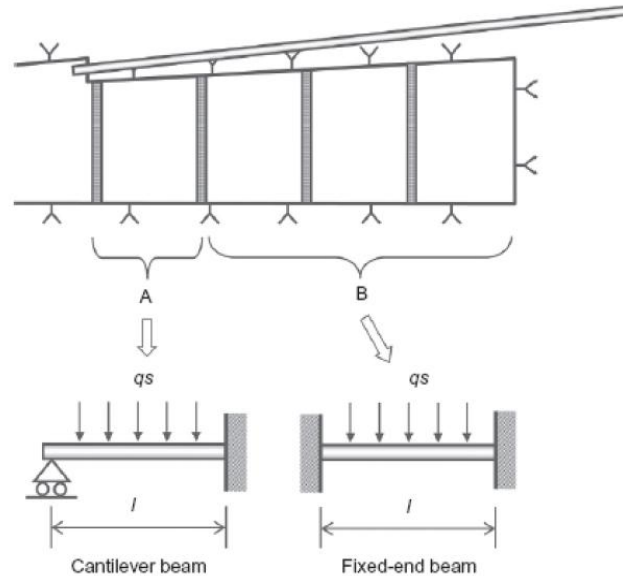
Rent analytisk: Armerte sprøytebetongbuer og gitterdragere

Silo earth pressure according to Terzaghi

$$\sigma'_z = \frac{\gamma r - 2c'}{2K_0 \tan \varphi'} (1 - e^{-2K_0 \tan \varphi' \frac{H}{r}})$$

Tunnel diameter	D	12,3 m
round length	d	1 m
friction angle	φ	38 °
cohesion	c	15 kN/m ²
angle of sliding plain	θ	64 °
overburden	H	18 m
specific weight	γ	20 kN/m ³
depth of failure wedge	x	6,00
auxiliary radius	r	4,85
lateral pressure coefficient K ₀		1
vertical stresses	σ_v	42,70 kN/m ²

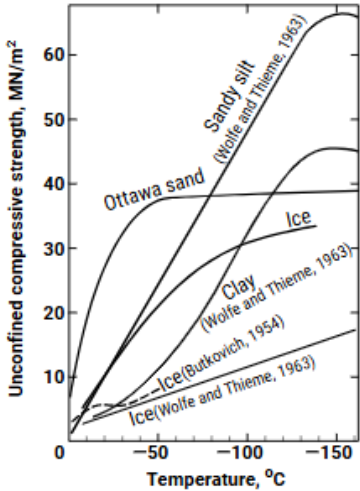
Table 15: Silo earth pressure according to Terzaghi



$$p_h = K \cdot \gamma \cdot z$$

Frysing (mye info på www.geofrost.no)

- Utprøvd teknologi i svakhetssoner, lav/dårlig overdekning, i løsmasse tunneler og portaler.
- Krever vann i massene og frysetid
- Saltlake (brine) og nitrogen
- Geofrost har dimensjonerings-erfaring/modeller.



Compression strength versus temperature for different soils and ice.
Figure: Sayles 1966

Tunnel		Above groundwater						Below groundwater											
Purpose		Stabilization						Stabilization				Leakage control into excavation				Pore pressure control, environment			
Ground conditions		Soil			Rock			Soil		Rock		Soil		Rock		Soil		Rock	
		Clay	Silt	Sand and gravel	Boulders	Fractured	Residual/weathered	Clay	Silt	Sand and gravel	Boulders	Fractured	Residual/weathered	Clay	Silt	Sand and gravel	Boulders	Fractured	Residual/weathered
Method	Ground freezing																		
	Jet grouting																		
	Pipe umbrella																		
	Pre grouting																		
	Drainage																		

Comparison of methods for tunnel support.
Figure: Geofrost

Cut/Cover

Roma metro (2026)



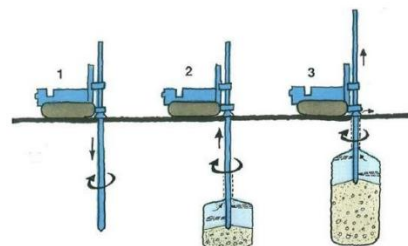
Paris Metro (1905 wikipedia)



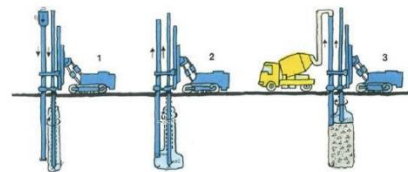
Jet peling

- NGF: [Microsoft PowerPoint - NGF_Jetpeler.pptx](#)
- Kommer også i foredrag om Drammens tunnelen
- Økning av trykkfasthet (faktor 10-100)

Hva er en jetpel



Figur 14-10: Produksjon av jetpeler med "geobeton"-metoden



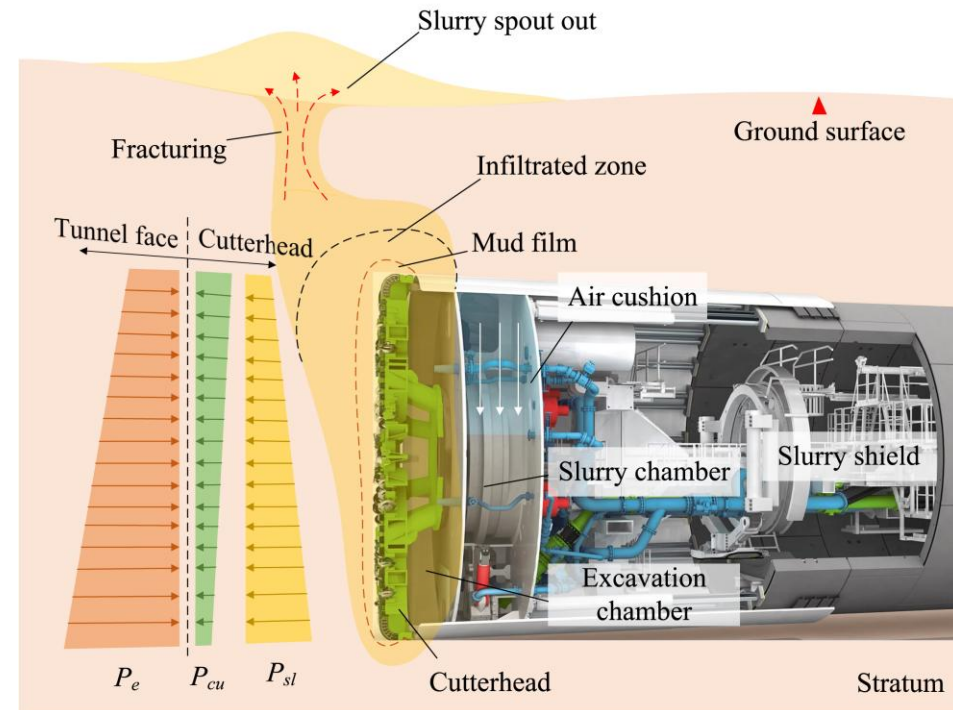
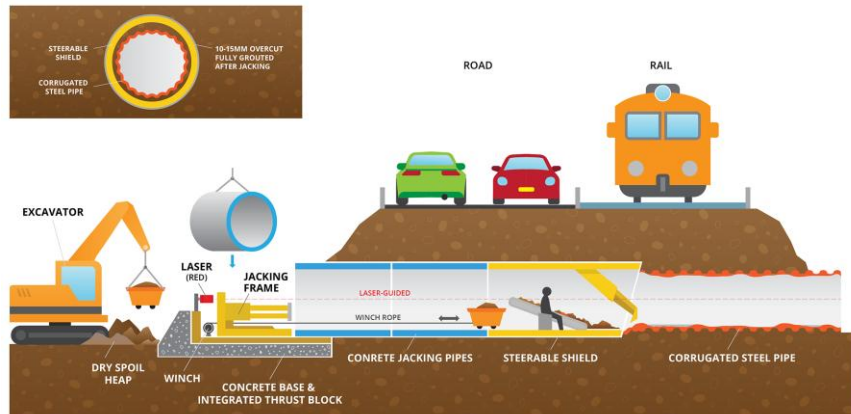
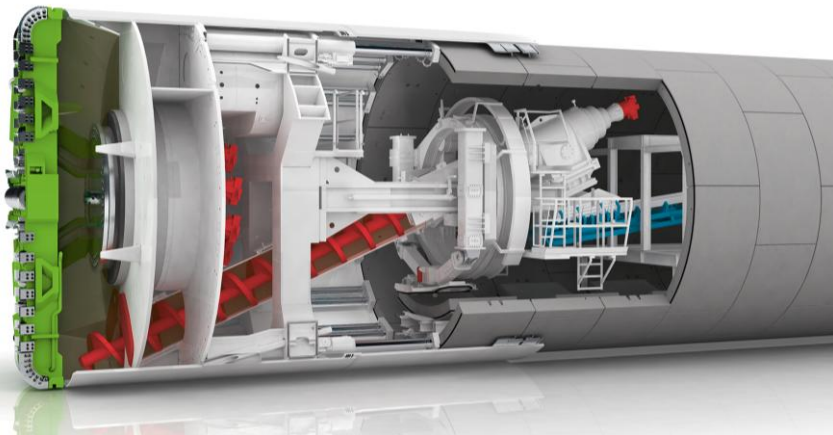
Figur 14-11: Produksjon av jetpeler med "in-situ" betongstøpsmetoden

- Geobetongpeler (innblanding av sement i stedlige masser)
 - Trykkfasthet i leirmasser ca 1 –15 MPa
 - Trykkfasthet i sand/grusmasser ca 1 –30 Mpa
- Fabrikkbetongpeler
 - Karakteristisk sylinderfasthet > 60 MPa(B55/B65)
 - Pelediameter
- Generelt < 2.5 m (styres av grunnforholdene)

(Knut Erik Lier, Grunnteknikk, 2023)

TBM med lining

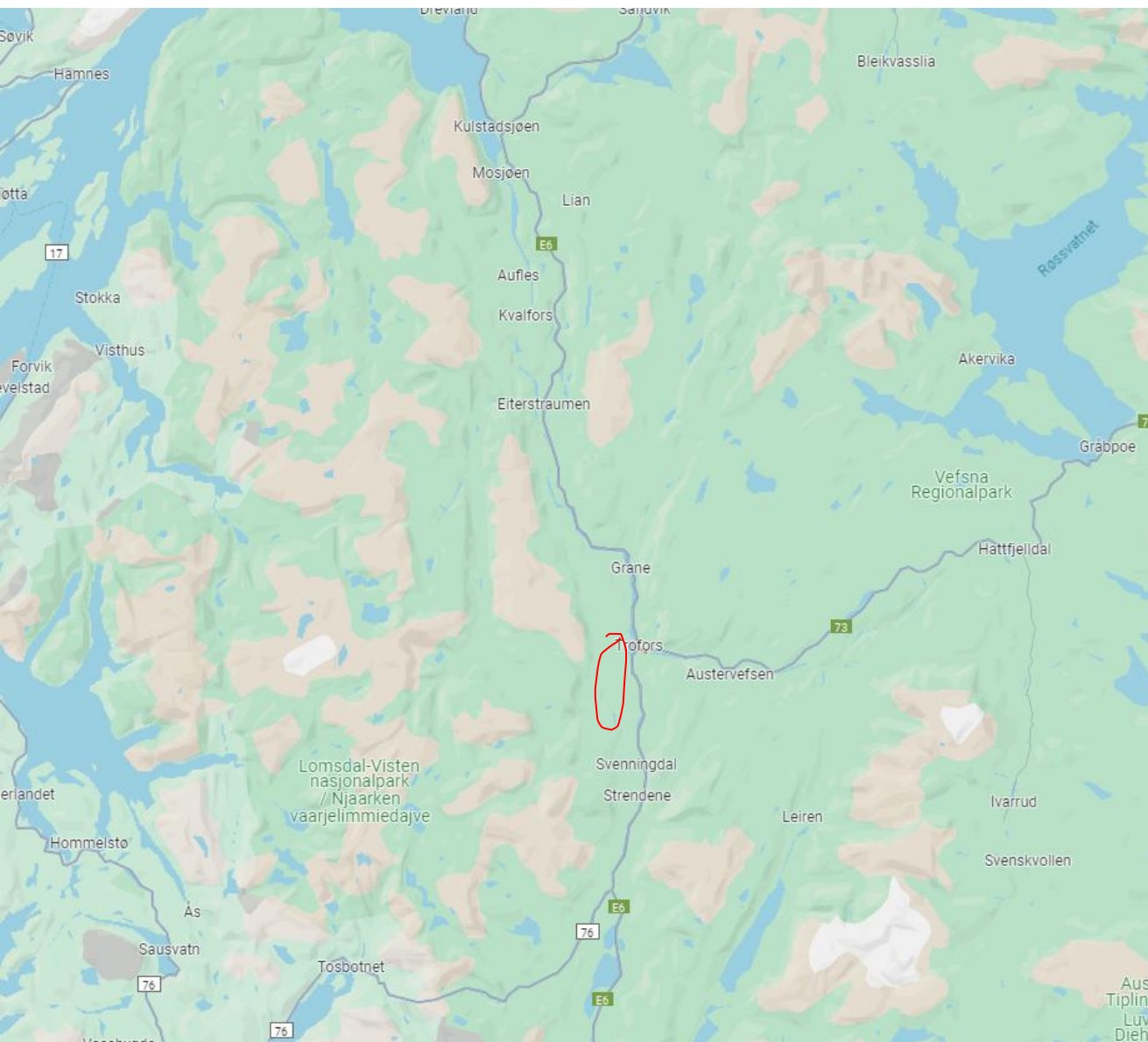
EPB (Fra Herrenknecht) og Slurry Shield (modified by Chen), pipe-jacking [Open Face Pipejacking](#)
[Pezzimenti Tunnelbore](#)

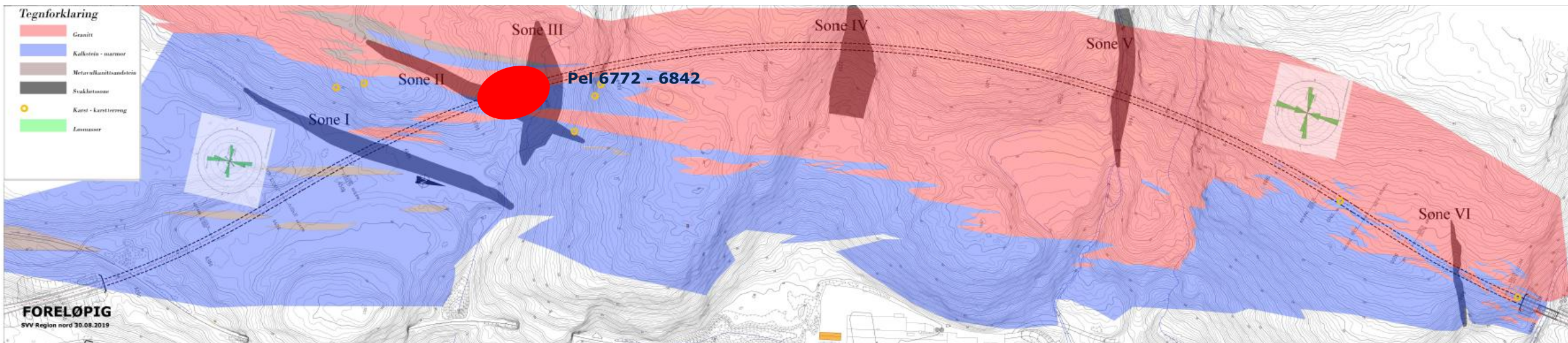


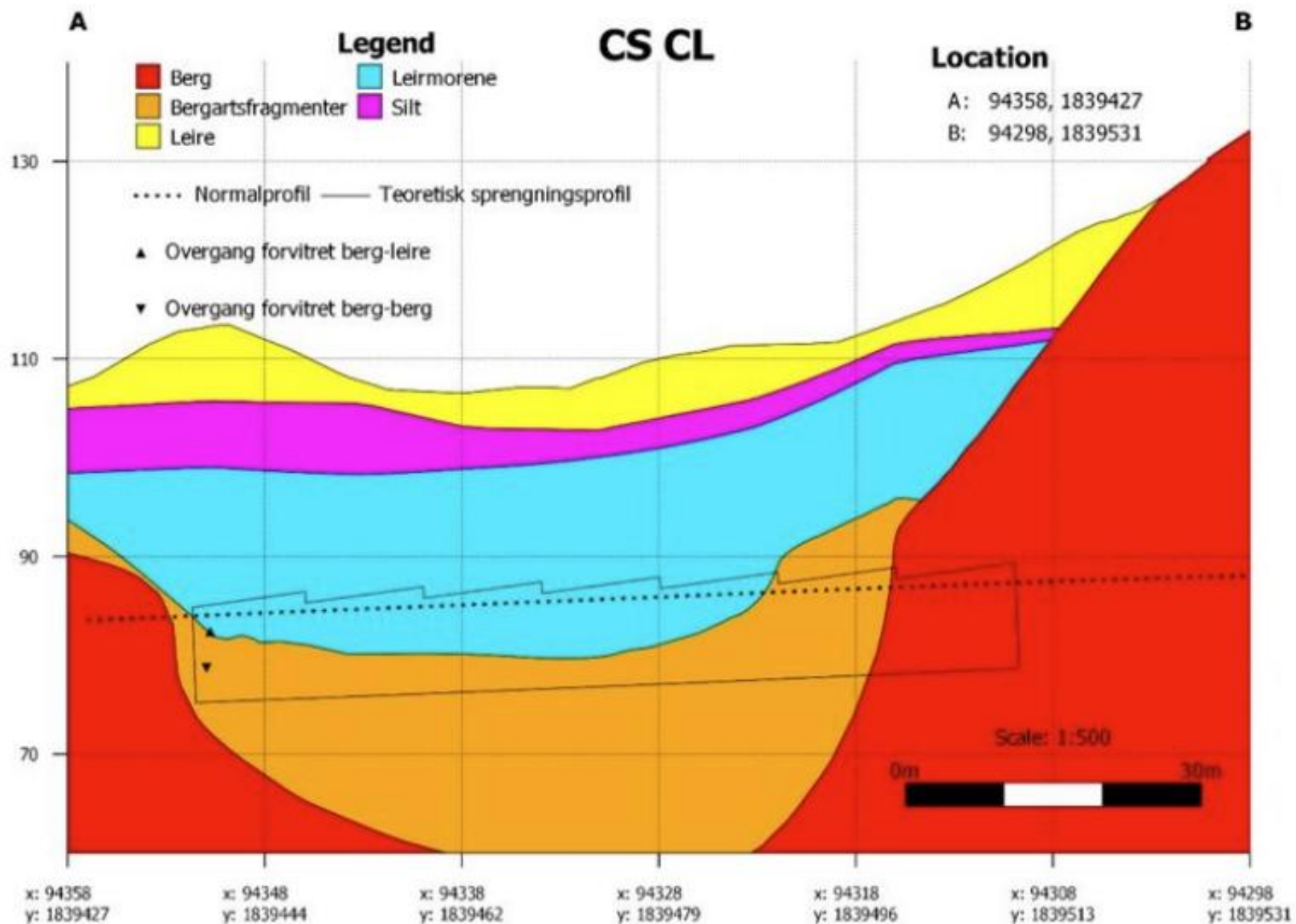
Erfaringer fra Bergåsen

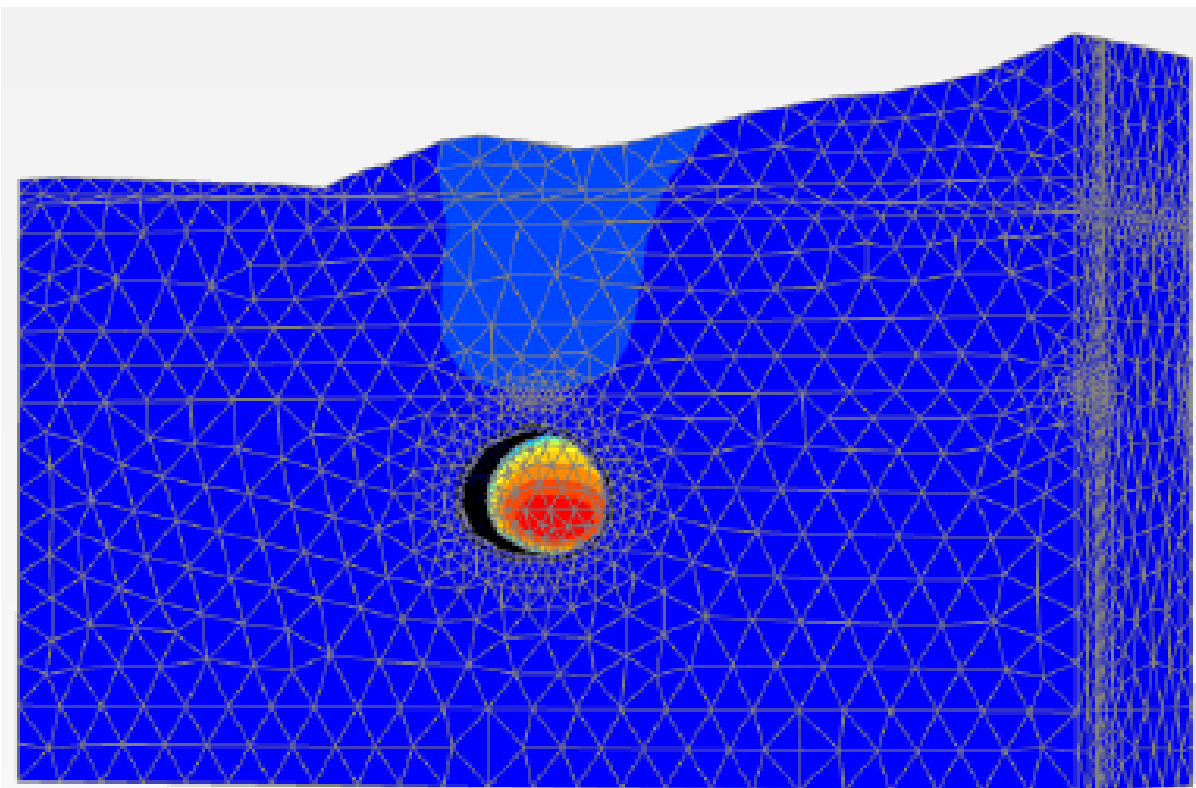
E6 Svenningelv Lien (utstillingsvindu mht. kommunikasjon og løsninger mellom byggherre og entreprenør)

- Løsmassesone
 - Beregninger (Plaxis og analytisk) justert med observasjonsmetode
- Prosjektert løsning for driving og arbeidssikring
 - Rørskjerm og armerte sprøytebetong buer
 - Fiberoptikk
- Løsning for permanent sikring

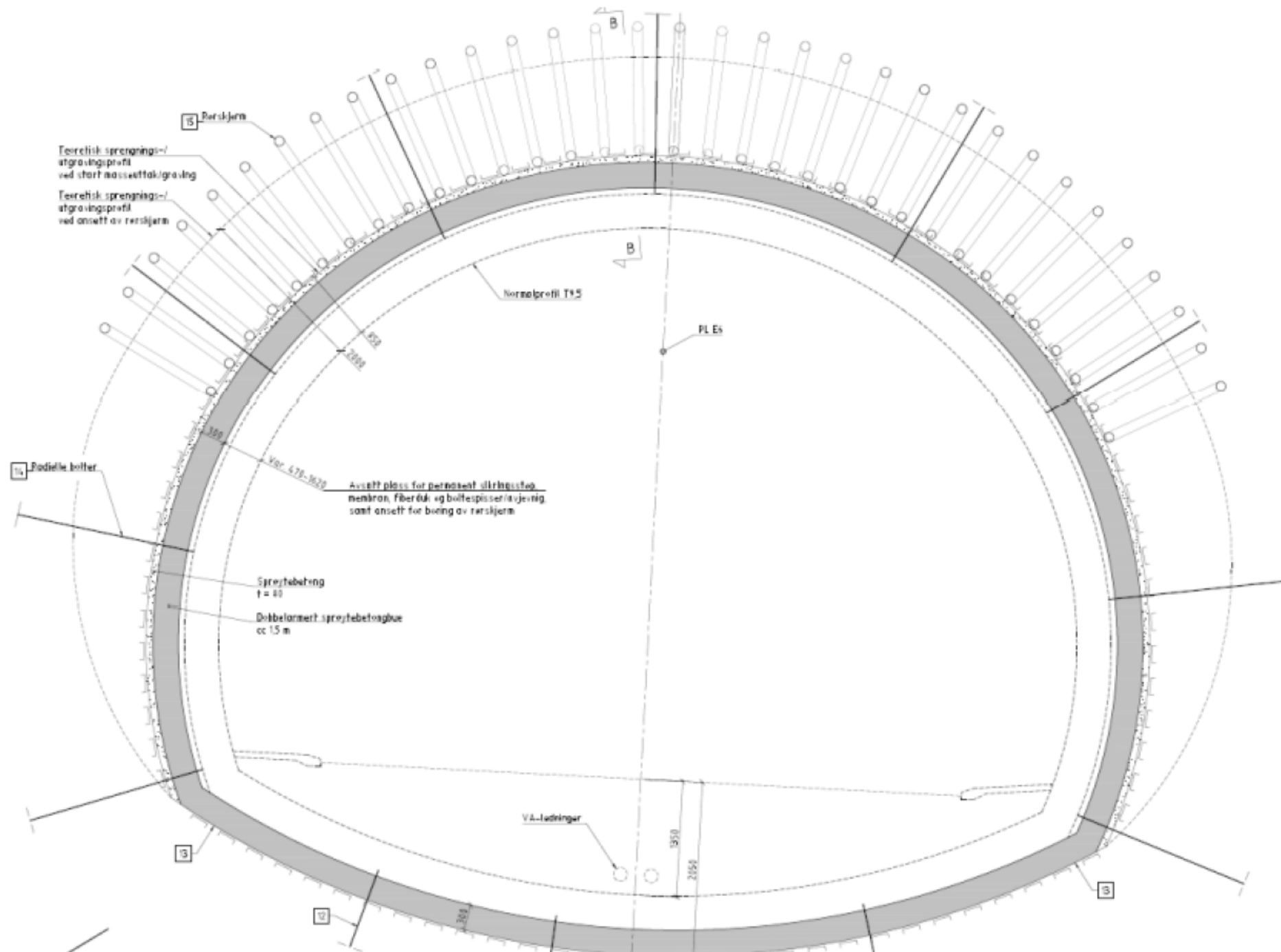








Material	γ kN/m ³	m	E_{ref} MPa	c' kPa	ϕ'	ψ
Clay moraine	23.8	0.85	100	26	33	1.5
Weathered rock	20.8	0.77	49	42	23	0.4



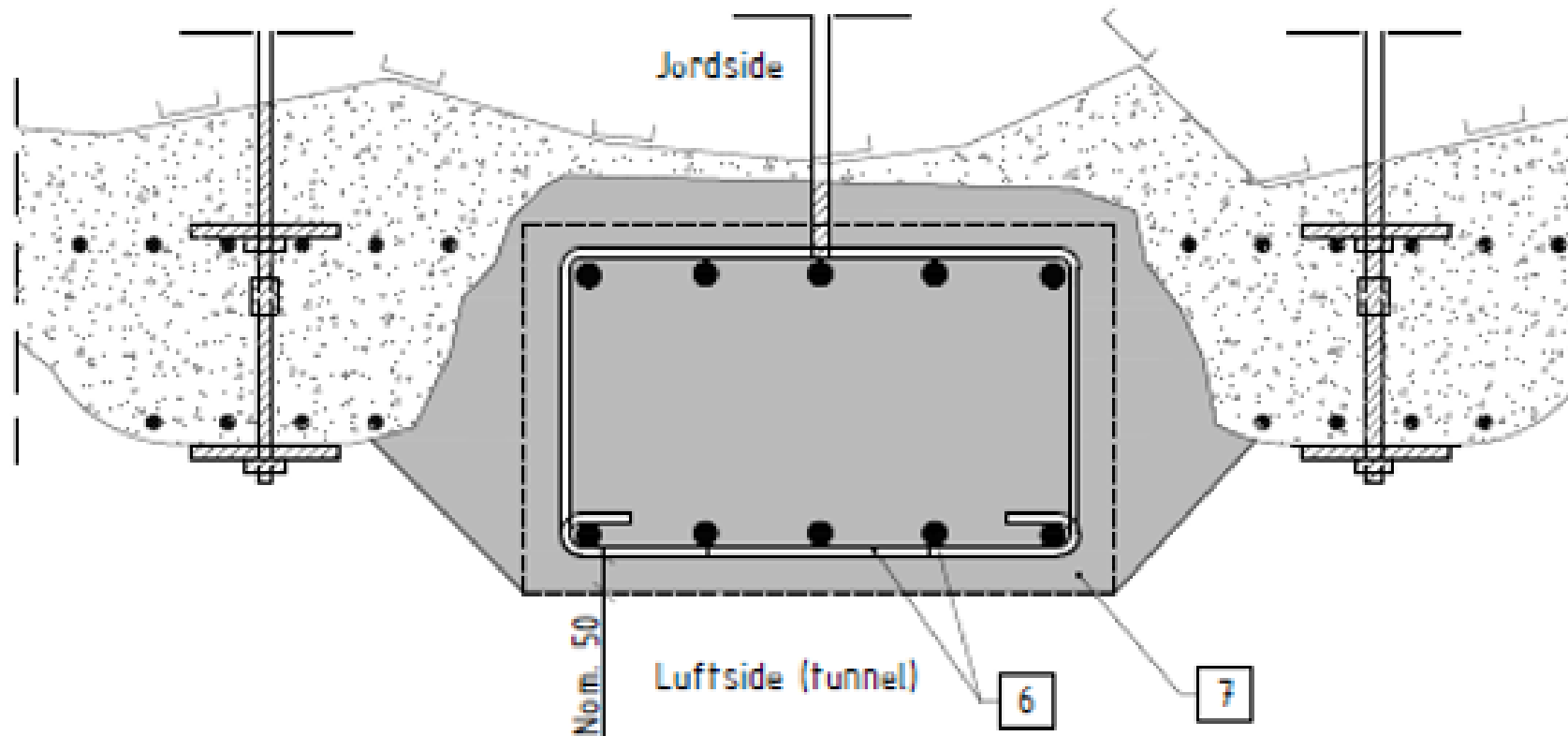


Figur 8 - første uttak pel 6772 (Foto: NGL)



Permanentsikring

(buer mellom buer og plasstøpt såle)



For Bergåsen

- Løsning med rørskjerm og buer fungerte fint (ingen hendelser, og etterhvert 10 m per uke i inndrift)
- Løsning med permanente buer mellom buone var tidkrevende
 - Grunnundersøkelser og prosjektering 3-4 måneder
 - Driving 3 måneder
 - Permanentsikring 8 måneder (ikke tidskritisk)

Referanser

Terron et al, Permanent tunnel support with reinforced shotcrete arches and forepiling in over-consolidated till and weathered rock. A Case study based on the construction of the Bergås tunnel, Norway. 2025. TUST Volume 157.

Lunardi, P, Design and Construction of tunnels (2008)

Chang et al. Micromech. Investigation into the mechanisms of slurry fracturing and the effect covering depth concerning shield tunnelling in a sandy stratum. 2024. TUST Volume 144.

ISRM 1978

N500, Vegnormal Vegtunneler. 2024

NATM, Galler, R. NATM Principles in design and construction. 2020.

www.geofrost.no

[Open Face Pipejacking | Pezzimenti Tunnelbore](#)



5/NOV/2024