

Et historisk tilbakeblikk ved Knut Garshol, Ola Woldmo & Eivind Grøv



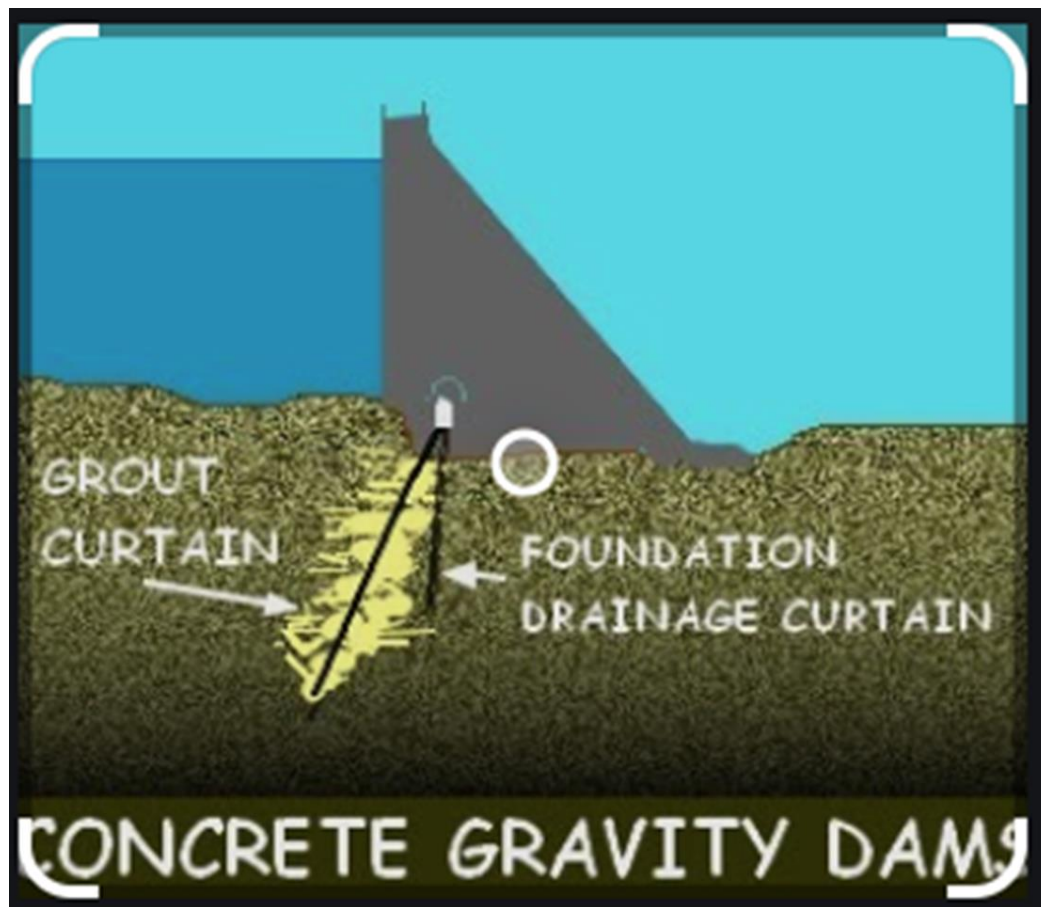
Historisk tilbakeblikk

Kan vi lære noe fra det vi har
sluttet å gjøre?

Knut F. Garshol









**Ikke bare i
Norge!**

Eysturoyartunnin
Færøylene





Bak-stuff tetting:

**Tok 8 måneder
ekstra**

**Beregnet ekstra
tid for
forinjeksjon:
1 måned**

Kunne og burde
vært unngått ☹





Injeksjonsmaterialene - tidslinje:

- 1980 Nye Osa Kraftverk Rena : rapidsement – Rhocagil – polyuretan
- 1988 Fjellinjetunnelen Oslo : ultrafin og mikro/rapidsement - Rhocagil – polyuretan
- 1994 Bekkestuatunnelen Oslo: mikro/rapid
- 97-03 Asia med HK, Australia og S.pore: mikrosement – kolloidal silika
- 2004 Tanumtunnelen Asker: mikrosement med styrt herding / høye trykk!
- 2010 BaneNor og SVV: industrisement m/silika slurry - høye trykk og store mengder
- 2015 Norske prosjekter: benytter norsk mikrosement = finmalt industrisement, lavere trykk
- 2021 Fokus på CO2 regnskap - redusere mengden av sementbaserte materialer



Kontrakt/oppgjørregler med risikodeling og mengderegulering av alle prosesser med opsjoner.

Anbudsgrunnlag med tydlige funksjonskrav til injeksjonsmaterialene.

Materialkompetanse hos byggherre, konsulent og entreprenør.





Testing og godkjenning av
injeksjonsmaterialer før
oppstart.

Vi har klare krav til bolter og
sprøytebetong, men mangler
nasjonale krav og
prøvingsregler for
injeksjonsmaterialer.

Ny norsk publikasjon?



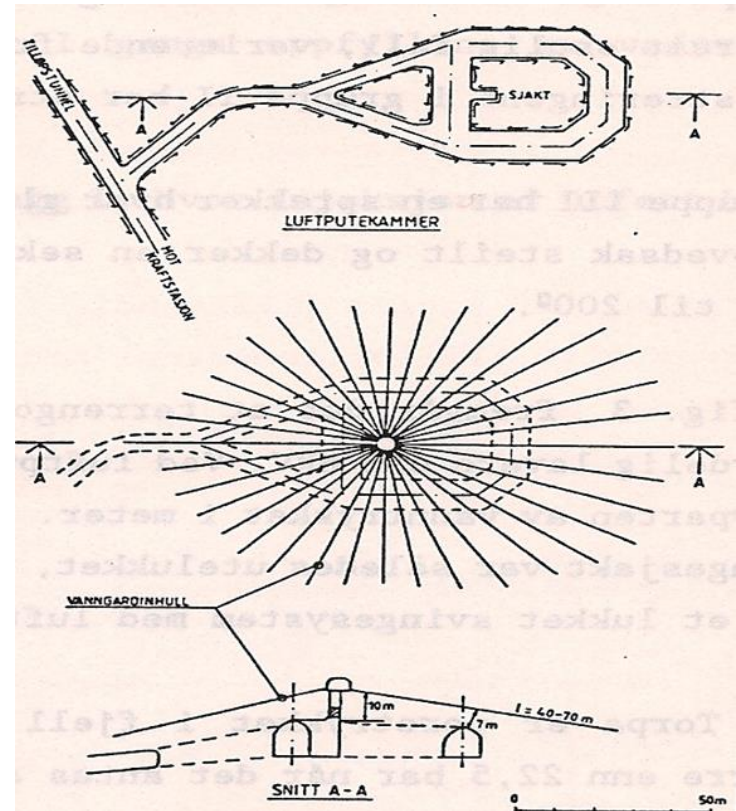
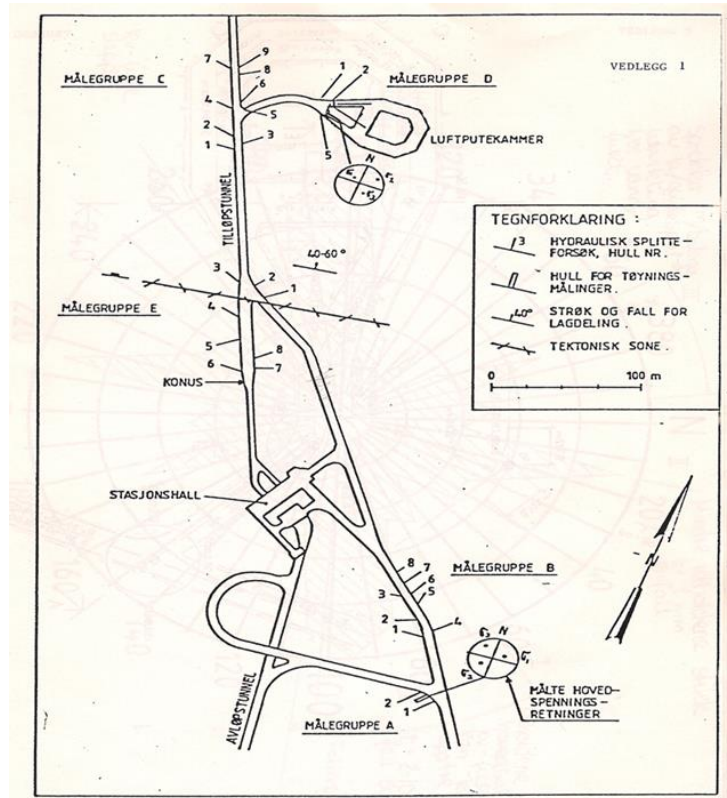


Foto Per Anton Brandtsæg



NORSK FORENING FOR
FJELLSPRENGNINGSTEKNIKK

Torpa LPK – siste halvdel av 80'tallet



Definerte minste hovedspenning = 5.25 MPa

Gravitativ vertikalspenning = 5,6 MPa

Største trykk i luftputekammer = 4,9 Mpa

Injeksjonstrykk steg 2 = 60 bar (prosedyre)

Mao. Injeksjonstrykk > minste hovedspenning

Måle- område	Hull nr.	Splittetrykk MPa	Lukkettrykk MPa				Merkn.
			Syklus 1	Syklus 2	Syklus 3	Middel	
A (NGI)	1	15,0	4,5	7,2	5,3(5,7)	5,2	
	2	21,7	7,0	7,0	7,5	7,2	
B (NGI)	1	26,3	7,8	7,6	7,6	7,7	
	2	17,5	9,0	8,7	8,7	8,8	
	3	-	5,7	6,0	6,0	5,9	ingen splitt
	4	-	10,3	12,3	13,3	11,9	" "
	5	-	-	-	-	-	mislykket
	6	20,3	7,0	7,0	7,0	7,0	
	7	-	6,8	6,8	6,8	6,8	ingen splitt
	8	18,3	7,0	7,0	6,8	6,9	
C (NGI)	1	10,5	7,2	7,3	7,5	7,3	
	2	(8,2)	5,7	5,7	5,6	5,7	ingen splitt
	3	10,3	5,9	5,8	5,9	5,9	
	4	(8,5)	6,7	7,1	6,8	6,9	ingen splitt
	5	(6,7)	5,7	5,7	5,7	5,7	" "
	6	16,0	6,7	6,7	6,7	6,7	
	7	12,8	7,0	6,3	6,1	6,5	
	8	(8,9)	4,5	4,1	4,2	4,2	ingen splitt
	9	10,8	5,6	5,4	5,4	5,5	
D (SINTEF)	1	-	4,5 ?	4,0 ?	4,3 ?	-	lange hull
	2	-	4,0 ?	3,5 ?	5,0 ?	-	" "
	3	-	5,5 ?	5,5 ?	-	-	" "
	4	-	5,8 ?	6,5 ?	-	-	" "
	5	-	4,4 ?	4,3 ?	-	-	" "
	5,5	11,3	4,5	4,4	-	4,45	kjerne hull
	7,5	9,0	5,2	4,8	-	5,0	" "
	9,5	20,0	4,8	4,5	-	4,65	" "
	1	-	7,9	8,4	8,5	8,3	ingen splitt
	2	10,0	6,2	5,7	5,7	5,9	
E (NGI)	3	10,7	6,4	6,0	5,9	6,1	
	4	-	4,2	3,6	4,0	3,9	ingen splitt
	5	-	5,5	6,0	5,9	5,8	" "
	6	-	6,8	6,8	6,7	6,8	" "
	7	-	7,8	8,2	8,0	8,0	" "
	8	-	8,2	8,0	8,2	8,1	" "
Teyningsmåling 1 : $\sigma_1 = 7,2$, $\sigma_2 = 4,6$, $\sigma_3 = 2,5$ MPa							
Teyningsmåling 2 : $\sigma_1 = 6,6$, $\sigma_2 = 4,4$, $\sigma_3 = 3,8$ MPa Alle $\pm 0,5$ MPa							



Boring av hull

Hullene bores med lengder og retninger som angitt på tegning. I de enkelte skjerner er hullenes helningsvinkel med tunneloverflaten den samme for hele skjermen og som angitt i plan. Da skjermenes plassering må tilpasses de geologiske forhold, må utsetting av skjermene foretas av ingeniørgeolog.

Vanntapsmåling

Samtlige hull vanntapsmåles med pakker plassert i 1,0 meters dyp. Vanntapsmålingene foretas i 2 trykkrinn, 30 bar og 60 bar. Medgått vannmengde pr. 5 min. registreres.

Injeksjon

Injeksjon foretas med 60 bars trykk og pakken plassert i 1,0 meters dyp. Injeksjonen utføres således:

1. Dersom et hull har samme vanntap ved ~~30~~ og 60 bars trykk
 - a) Vanntap ved 60 bar < 1 L - kjemisk injeksjon, epoxy
 - b) " " 60 " > 1 L - sementinjeksjon
2. Økende vanntap fra 30 til 60 bar
 - a) Vanntap ved 60 bar < 1 L - kjemisk injeksjon, epoxy
 - b) " " 60 " > 1 L - sementinjeksjon
3. Dersom et hull ved 60 bars trykk har større lekkasje enn 1 L, skal det bores et kontrollhull på hver side slik at vinkelen til nabohull halveres. I hull mot midtpartiet må dette vurderes i hvert enkelt tilfelle. Kontrollhullene vanntapsmåles.
4. Injeksjon av kontrollhull foretas etter samme prosedyre som beskrevet for primærhullene. Prosedyren fortsetter inntil samtlige hull har mindre lekkasje enn 1 L. Avsluttende kontrollhull med lekkasje mindre enn 1 L injiseres med epoxy med det angitte trykk og hullet fylles.

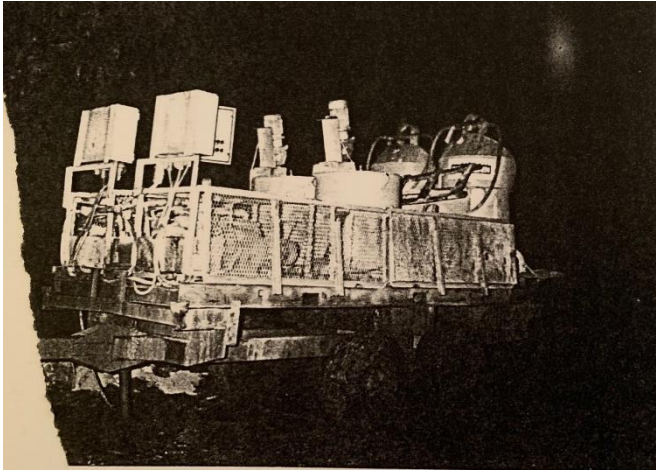
Prosedyre Torpa stikkordsmessig:

- Vanntapsmåling av samtlige hull i to trinn;
- Vanntap > 1 Lugeon (ca.) → Styrer Injeksjon
- Injeksjon med 60 bars trykk
- V/C=1.0 (normalt) også 2 men mener å huske 3
- Startet forsiktig, lirket trykket opp med forsiktig/lav strømning
- Sikre langsom etablering av mottrykk rundt injeksjonshullene
- Måtte være forsiktig for å unngå hydraulisk splitting/jekking
- Samme prosedyre for alle injeksjonsarbeidene
- Resultatene i ettertid viser at vi (splittet?) JEKKET nok berget både ved vanntapsmålinger og injeksjon
- Tett bergart, leirskifer



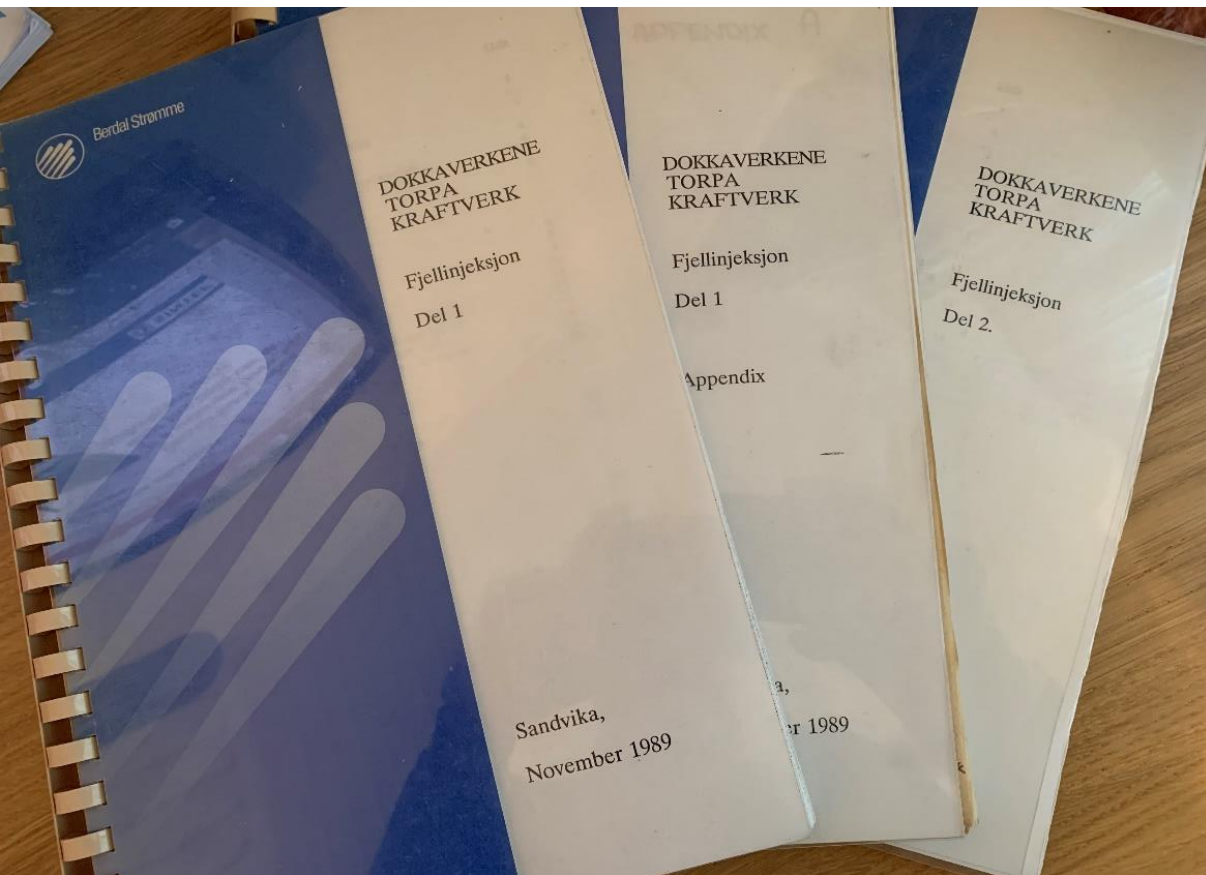


Utstyret bidrar neppe
til å imponere noen, i
dag! Luftdrevet
utstyr



Og hydraulisk





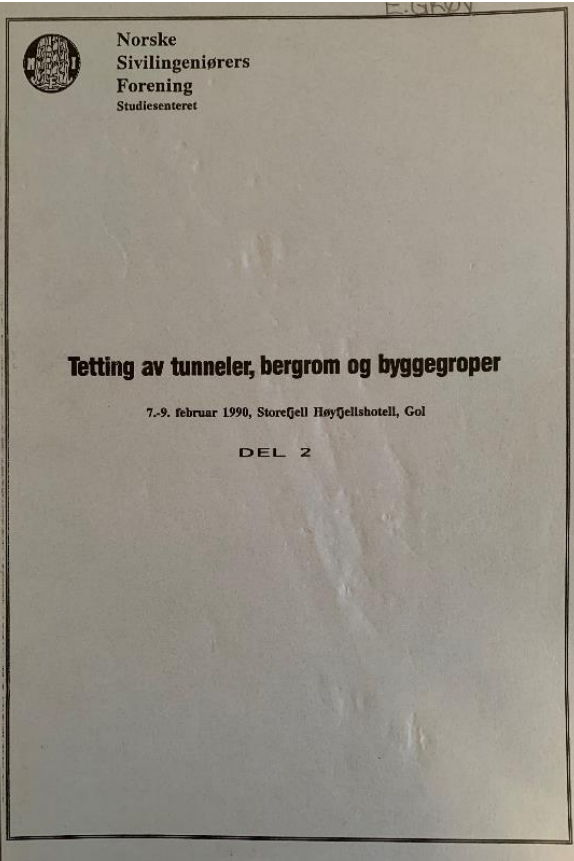
Rapportene fra alle
injeksjonsarbeidene ved Torpa
– grundig dokumentert

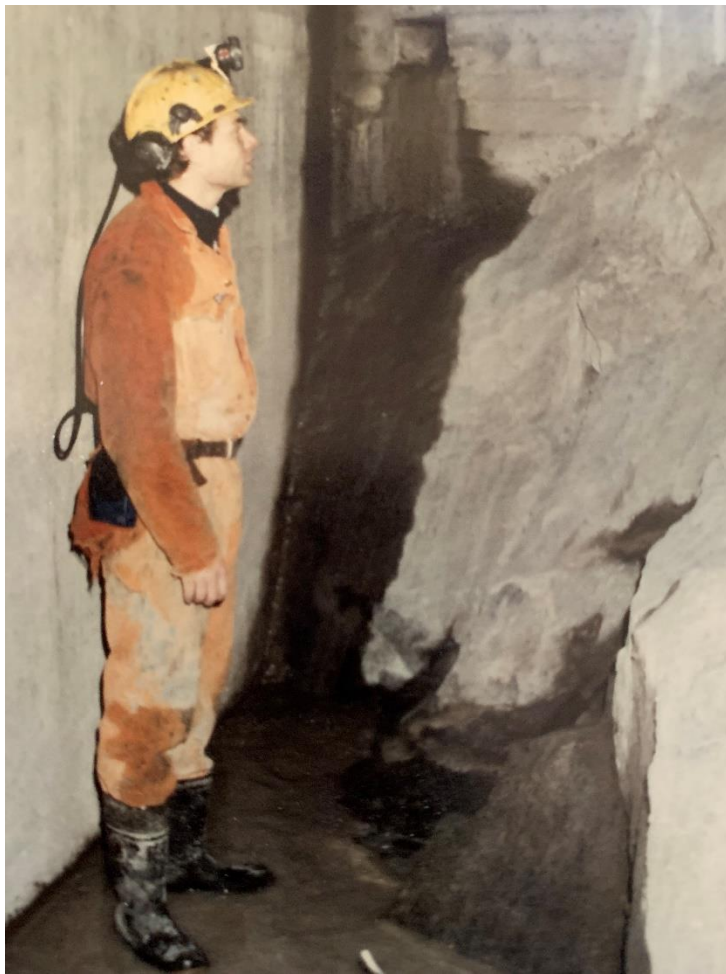


På Storefjellkurset ble Torpainjeksjonen presentert og selvkritisk vurdert:

- Tilsynelatende kan det virke som om LPK er blitt gjenstand for omfattende injeksjon, en sannhet med modifikasjoner
- Om lag 65kg per hull = beskjedent tatt i betraktning høyt trykk som ble brukt
- 55% var bare oppfylling av hull
- Diskutabelt valg av injeksjonsmasse – Rapidsement laveste pris
- Valgte en to-trinns vanntapsmåling – nyttig for å vurdere eventuelt hydraulisk splitting
- Splitting ble hevdet å ha opptrådt

Et suksessfullt anlegg – var lykken bedre enn forstanden?





SAMARBEID

Tillit – respekt - forståelse

