

Rock anchors on Norwegian dams

- ROCARC
- Historical review
- Regulations and guidelines
- Research topics



Seminar in ROCARC, 18. November 2020

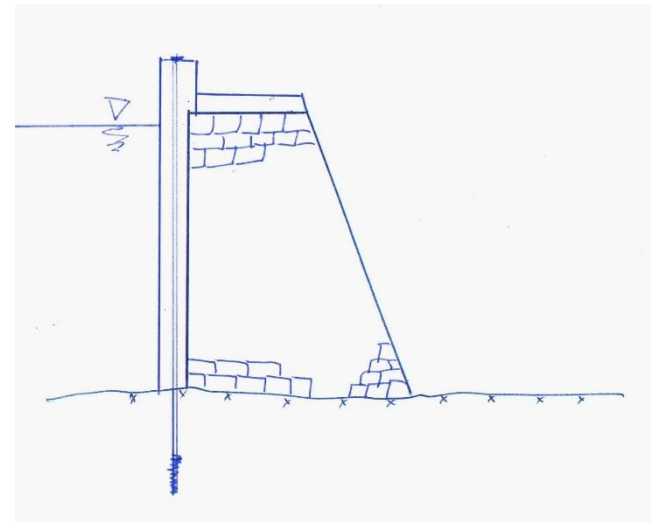
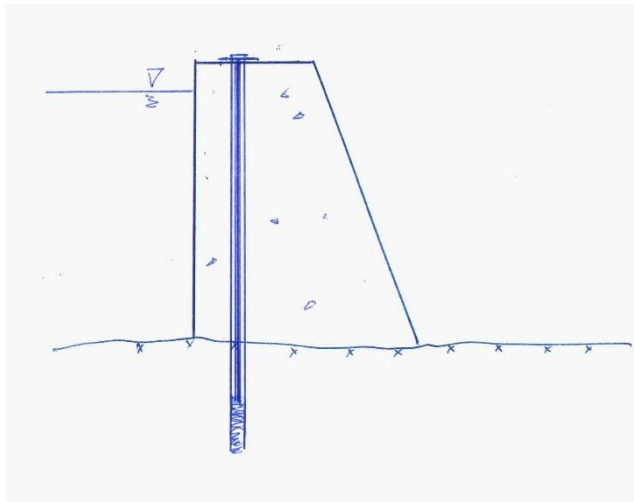
Professor Leif Lia

Department of Civil and environmental engineering

NTNU

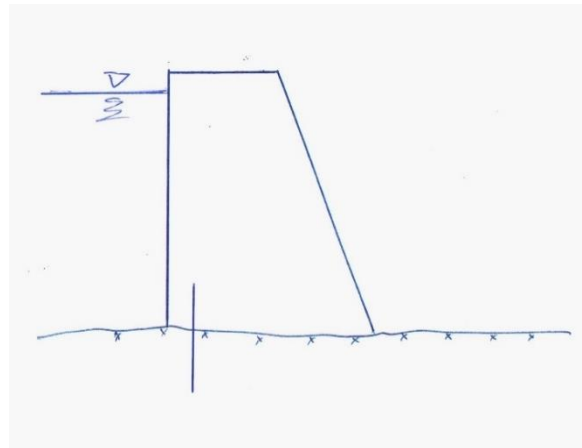
Rock anchors - Concept

- Pre-stressed anchors
- Normal force to increase stability
 - Overturning and sliding
 - Both gravity dams in concrete and masonry dams



Difference in rock bolts and rock anchors

- Rock bolts are not pre-stressed
- Passive before failure
- Max tensile stress $\sigma_s = 180$ MPa
- To increase stability with thermal ice load



Rock bolts - results

29.1

FJELLSPRENGNINGSTEKNIKK
BERGMEKANIKK/GEOTEKNIKK 2011

DIMENSJONERING AV SLAKKE FJELLBOLTER - RESULTAT AV FULLSKALA FORSØK

Rock bolt design – result of capacity tests

Sivilingeniør Lars Kristian Neby, Norconsult AS/NTNU

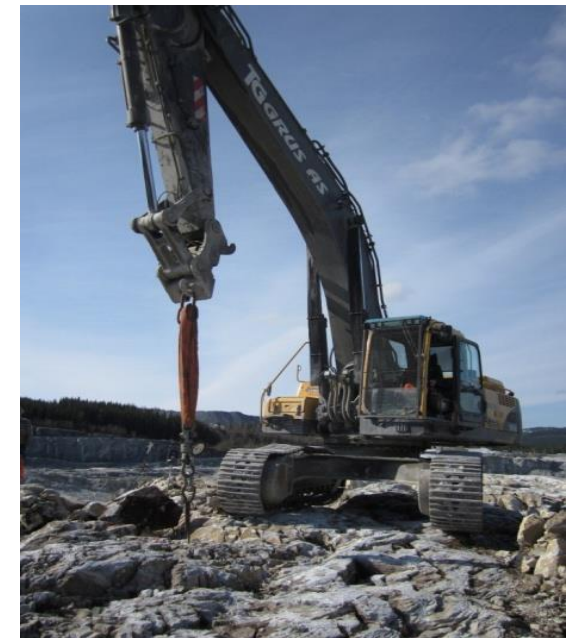
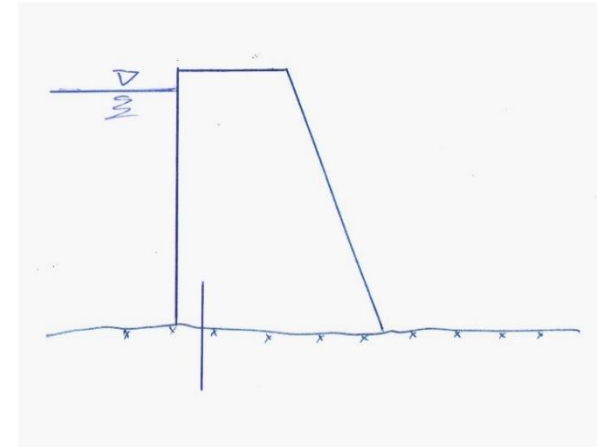
Professor Leif Lia, NTNU

SAMMENDRAG

På bakgrunnen av årelange diskusjoner i vassdragsbransjen rundt gjeldene praksis av boltedimensjonering i damkonstruksjoner, er det utført en prosjekt- og masteroppgave på området. Litteraturstudie og forsøk utført ved NTNU 2010-2011 på slakke fjellbolter bekrefter mye høyere kapasitet enn dagens dimensjoneringsregelverk tillater.

I litteraturstudiet ble det i hovedsak funnet to ulike metoder for boltedimensjonering. Det som skiller de ulike beregningsmodellene, er om bergartens styrke inkluderes eller om bare vekten at et påhengt fjellprisme regnes med. Litteraturstudiet viser at bidraget fra bergartens styrke er stort, men det er vanlig å se vekk fra dette bidraget ved dimensjonering i Norge og i flere internasjonale standarder.

For å se på reell kapasitet til innstøpte fjellbolter, ble 18 kamstålbolter innstøpt 0,1-1,0 meter i dårlig bergmasse og forsøkt trukket til brudd ved hjelp av 50 tons gravemaskin. Resultatene fra prøvetrekkingen viste at bolter innstøpt i svært dårlig fjell har stor kapasitet selv med korte innstøpningslengder. Heftfastheten mellom mørtel og berg ser ut til å være langt større enn dimensjonerende verdier. For korte bolter er graden av innspenning i bergmassen avgjørende for kapasiteten og lokal oppsprekking bestemmende for fasongen på bruddlegemet. Sammenheng mellom ulike bergmasseparametere og boltekapasitet ble vurdert, men det ble ikke påvist entydig sammenheng. Det kan skyldes en totalt sett for liten måleserie og det var stor spredningen i geologiske forhold fra bolt til bolt. For å finne ut mer om reel kapasitet til slakke fjellbolter, må det gjøres flere forsøk på området.

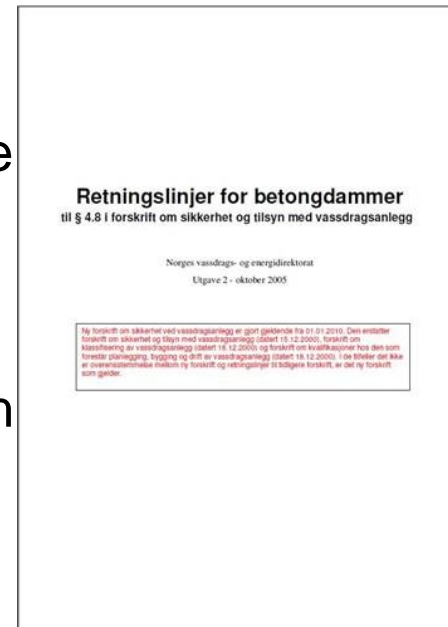
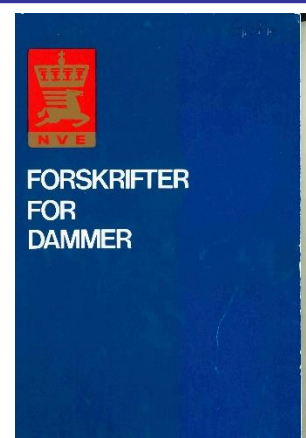


Rock anchors - Formalities

- Before 1981: No formal regulations
- From 1981:
 - pkt. 10.2.4: Rock anchors OK, but check of stability without rock anchors, $s_{\text{without}} > 1,0$

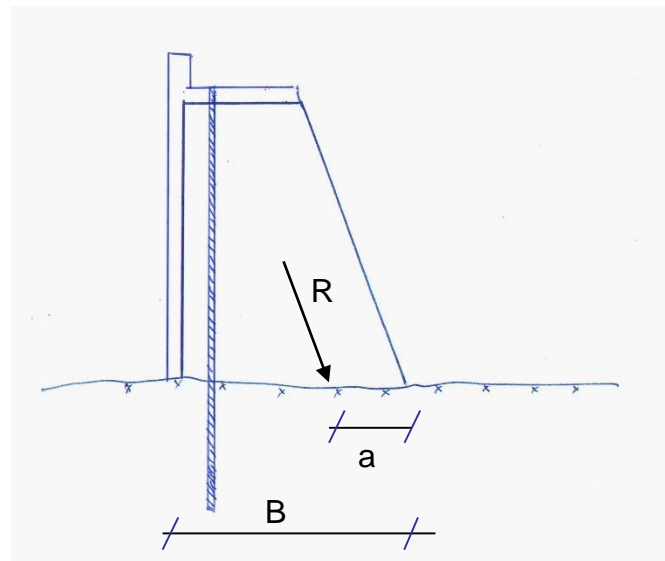
From 2005: Guidelines for concrete dams

- Rock anchors allowed on existing dams
- Sufficient stability without anchors
- Three independent anchors in every separate section
- Required post check
- Utilization until $\sigma_{s,\text{max}} = 0,5 \cdot f_s$ (50%)
- Creep must be included with the ϵ_{02} approach



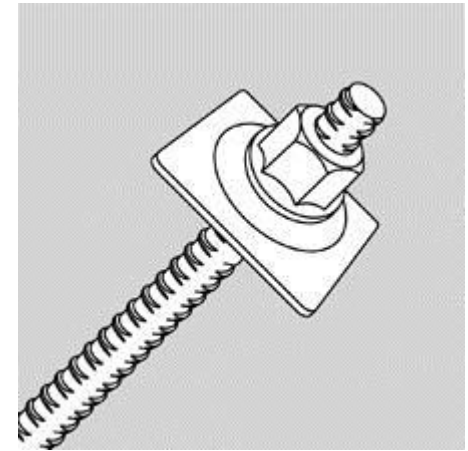
Check of stability without rock anchors

Damhøyde H	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Stabilitetskontroll u/medvirkning fra bolter eller stag
H over 7 m	s	s	s	$a > B/12$
H mindre enn 7 m		s eller b	s eller b	$a > B/12$ ved DFV (uten is)
H mindre enn 7 m	s eller b			a innenfor damtverrsnitt ved DFV (uten is)



Historical overview

- Rods, Dywidag el.I.
- Used for strengthening
- Fully grouted
 - Favorable against corrosion
 - Check of capacity not possible
- Example) At Jernvatnet dam (Narvik) old anchors became re-opened and checked
- Used on some tenths of dams in Norway



Use of rock anchors currently

- Two different types
 - 'Lissestag'/wires
 - Rods

- Possible to check during lifetime

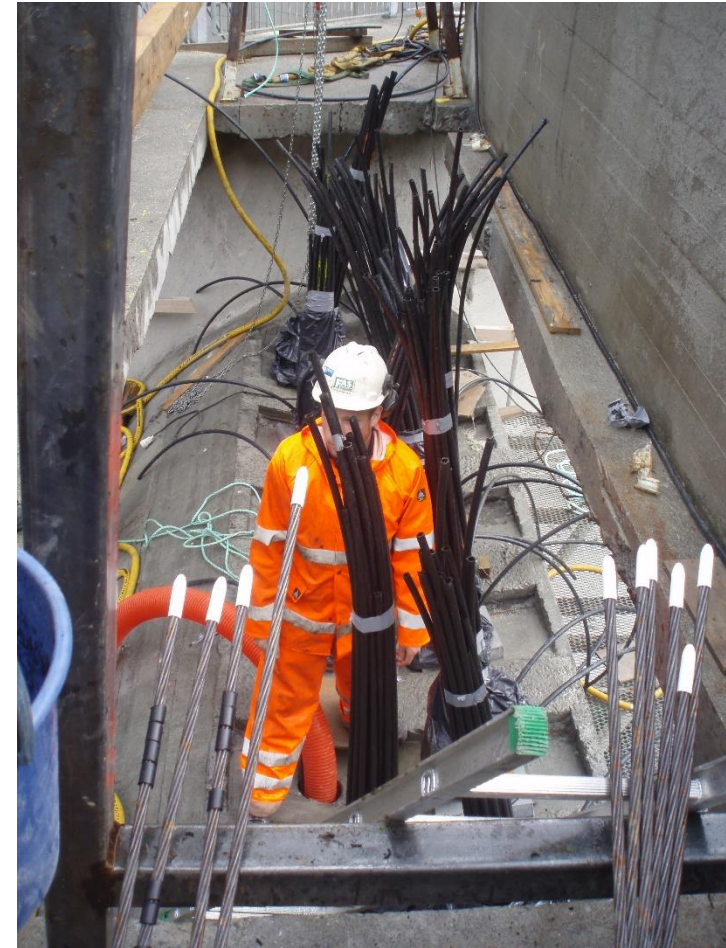
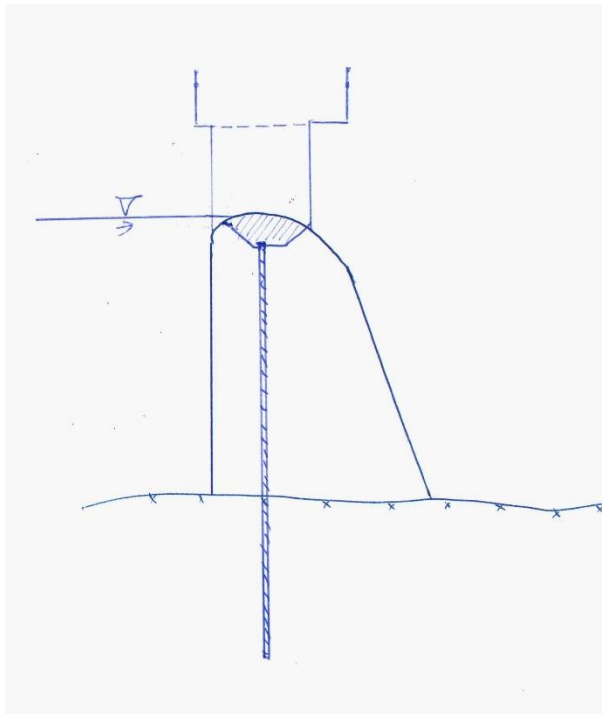
- Free length between anchoring section and the 'head'

- Corrosion avoided by grease or similar



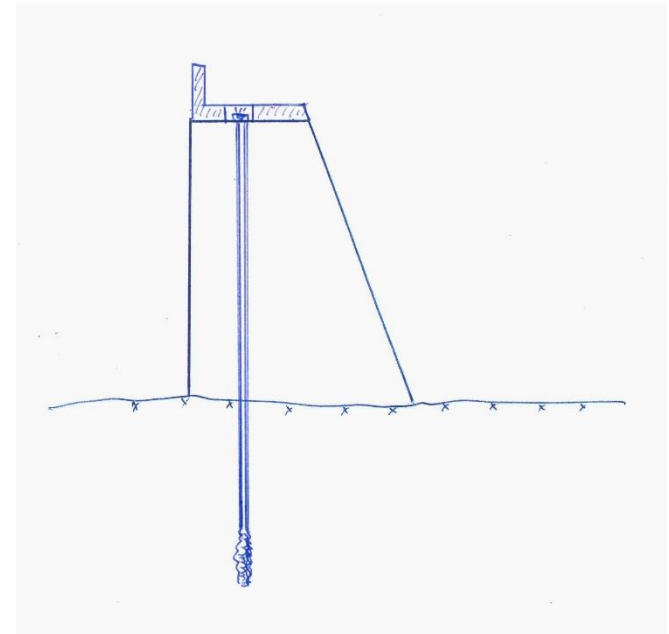
Use of rock anchors currently - fixing

- On massive gravity dams
- On masonry dams
- On spillway crests



Details in fixing

- Suppliers technology
- Ready-made for post-checking
- Not unique for dams
- No common systematic monitoring on RA for dams in Norway



Short summary

- Good alternative for strengthening
- Significant contributions on s_{OT} og s_S (overturing and sliding)
- Rarely large loads, normally extra safety added (from $s_{OT} = 1,2 - 1,5$)
- Long term effects are mostly known
- Distribution of loads between foundation and the dam body not much investigated
- Little focus on pore pressure

