

Estimering av bergspenninger for design av uforede trykktunneler

HydroCen Fagutvalgsmøte 6.april 2022

Henki Ødegaard, Multiconsult

Introduksjon

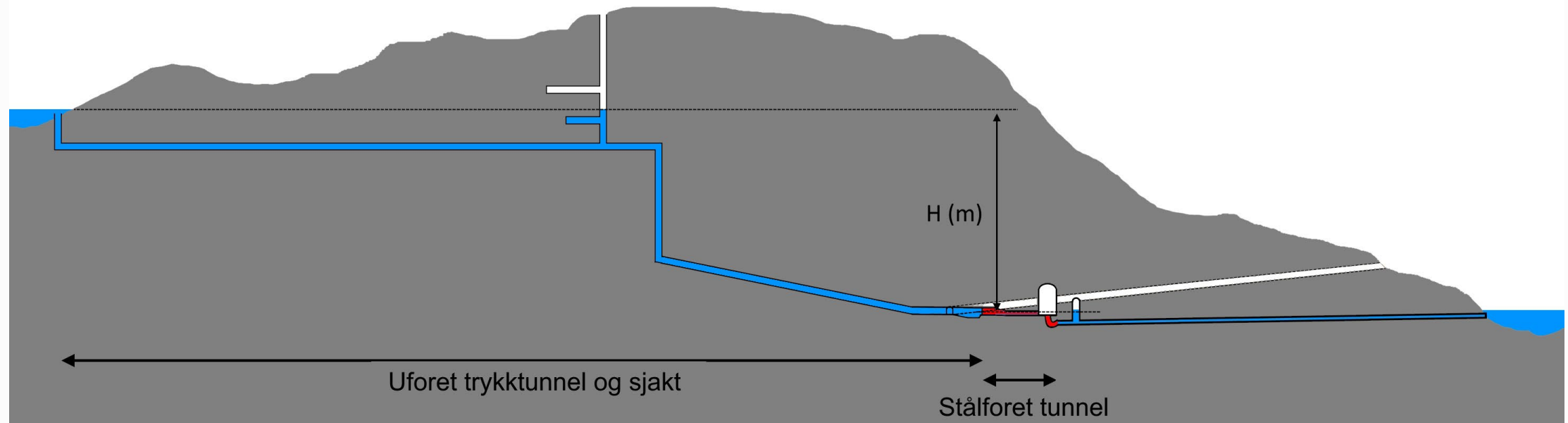
- Doktorgradsarbeid 2017 – 2021, disputas Nov-21
- Nå tilbake i Multiconsult
- Tittel: «Rock Stress Estimation for Unlined Pressure Tunnel Design»
- Veiledere:
 - Bjørn Nilsen
 - Roger Olsson

Tema

1. Bakgrunn
2. Utvikling av en ny type hydraulisk jekketest
3. Resultat fra utprøving i lab og felt
4. Oppsummering

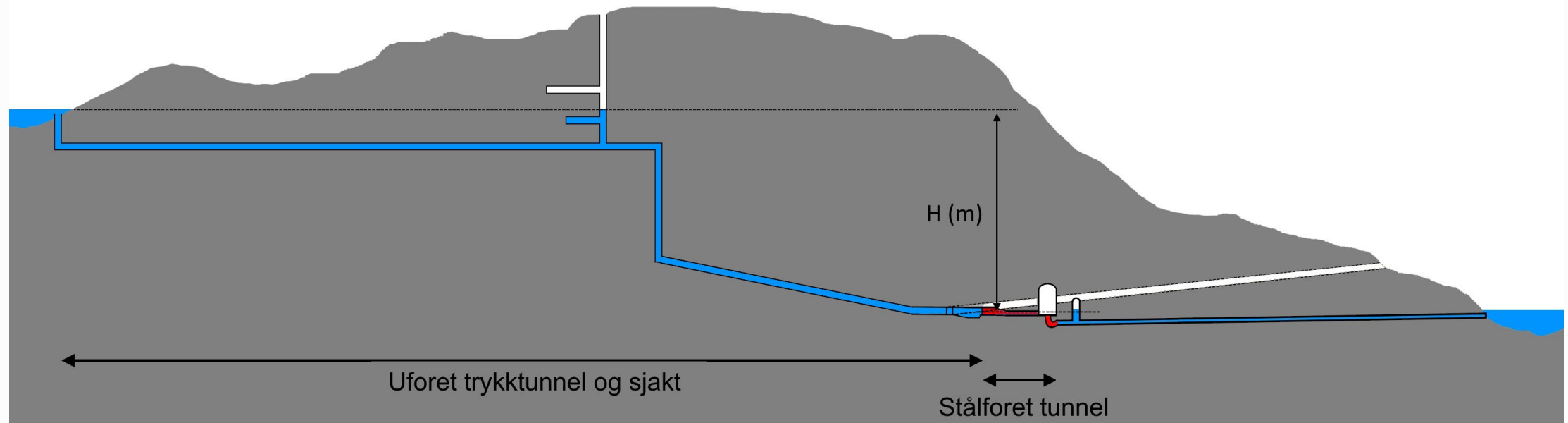
Uforede trykktunneler – hvorfor?

- Utnytter bergets evne til å motstå vanntrykk
- Reduserer nødvendig mengde stål og betong
- Bærekraftig, billig og bra



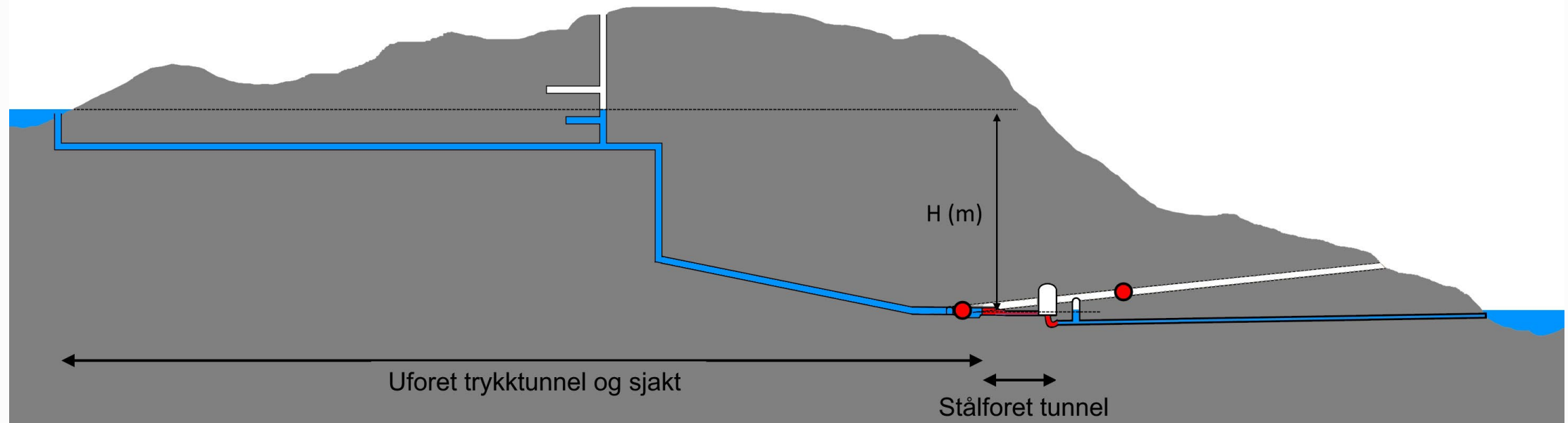
Uforede trykktunneler

- For lave spenninger kan forårsake storskala hydraulisk brudd
- Kunnskap om størrelsen på bergets minste hovedspenning er avgjørende
- Dette krever målinger - men hvordan?



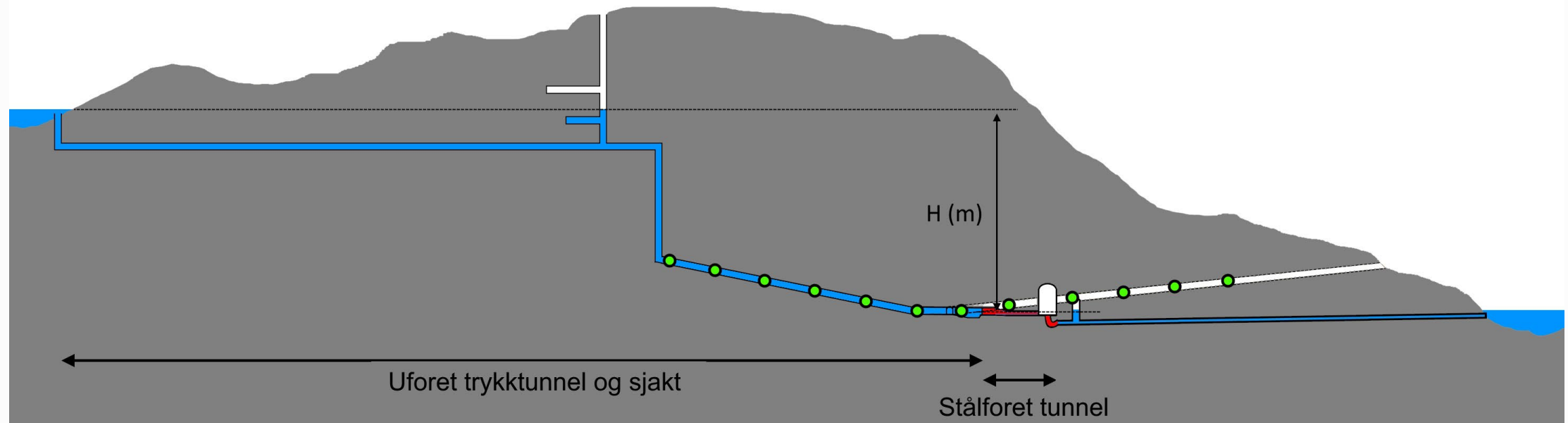
Plassering av konus

- Vanlig praksis i dag: Måling ved relativt få testlokaliteter
- Hva med størrelsen på bergspenninger oppstrøms «siste» målelokalitet?



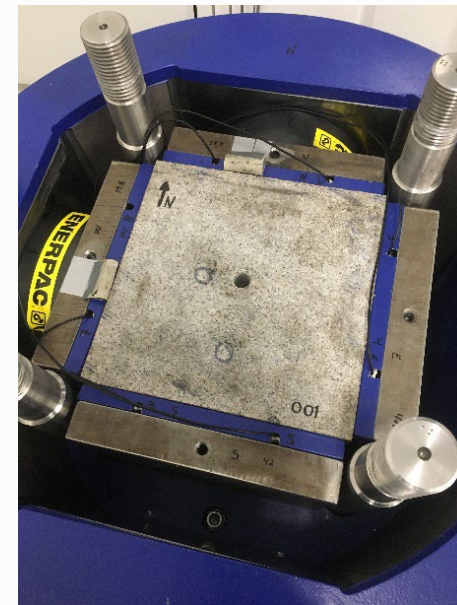
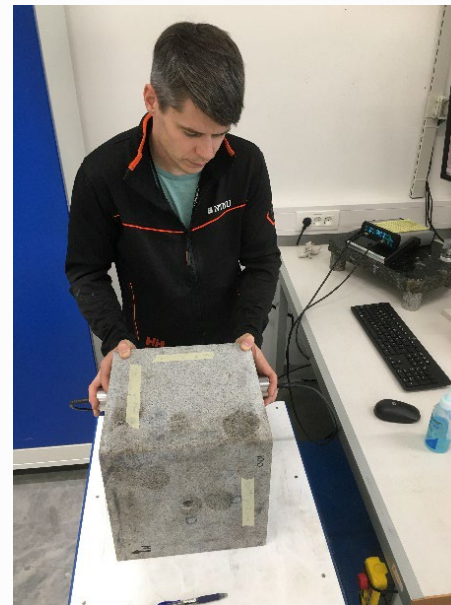
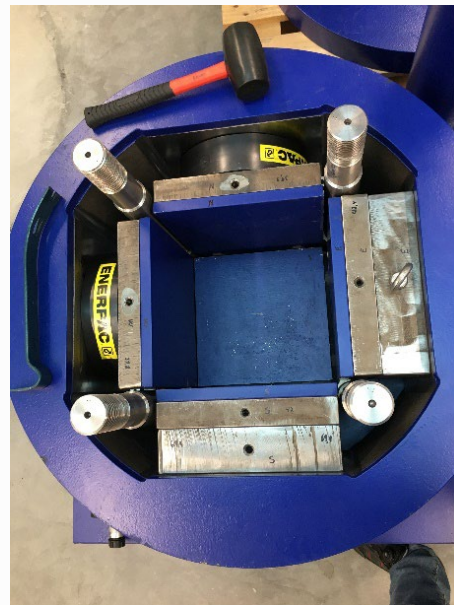
Plassering av konus

- Det bør måles ved langt flere lokaliteter
- Gir bedre (sikrere) grunnlag for plassering av konus
- Krever effektiv (og billig) testing



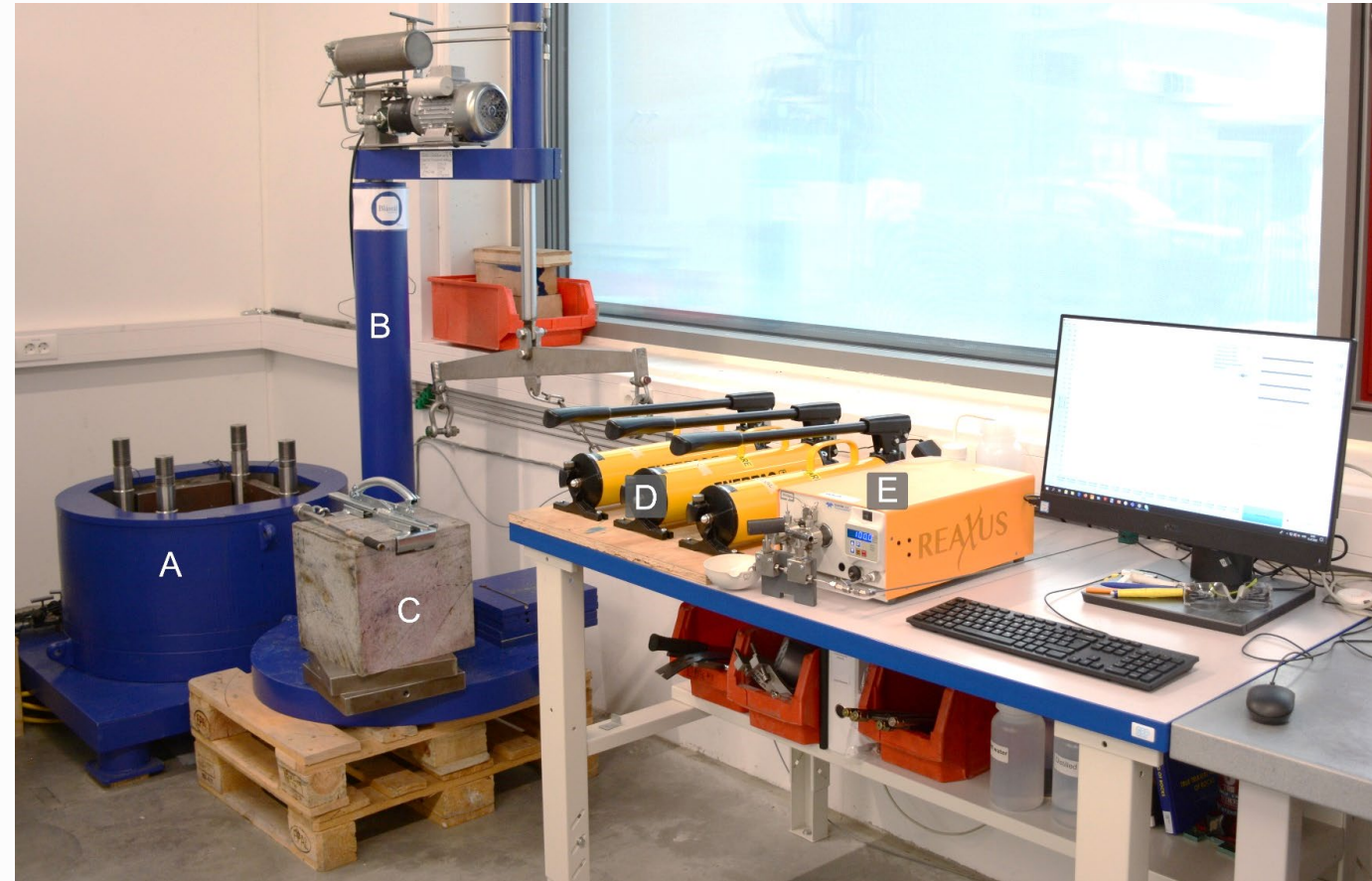
Utvikling av ny jekketest

- Labforsøk utført i en egendesignet testrigg

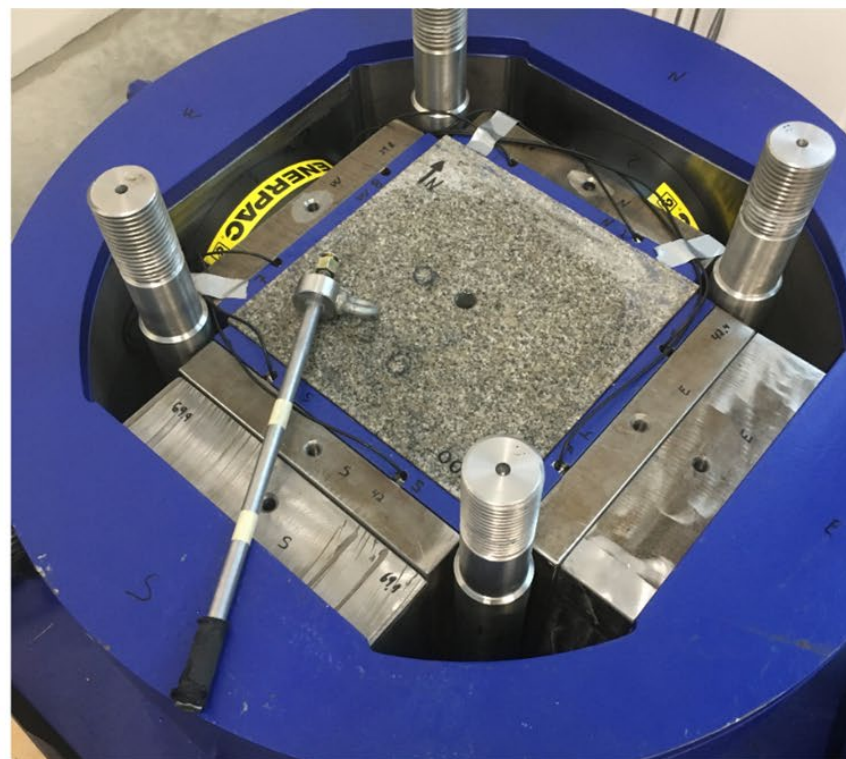
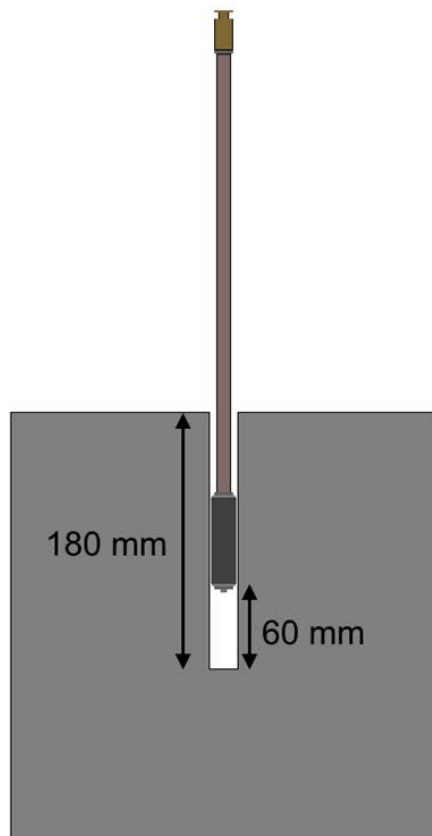


Testtrigg - oversikt

- A. Ytre ramme for å ta opp last fra de hydrauliske jekkene
- B. Hydraulisk kran
- C. Prøvestykke (75 kg)
- D. Pumper til jekkene
- E. Injeksjonspumpe



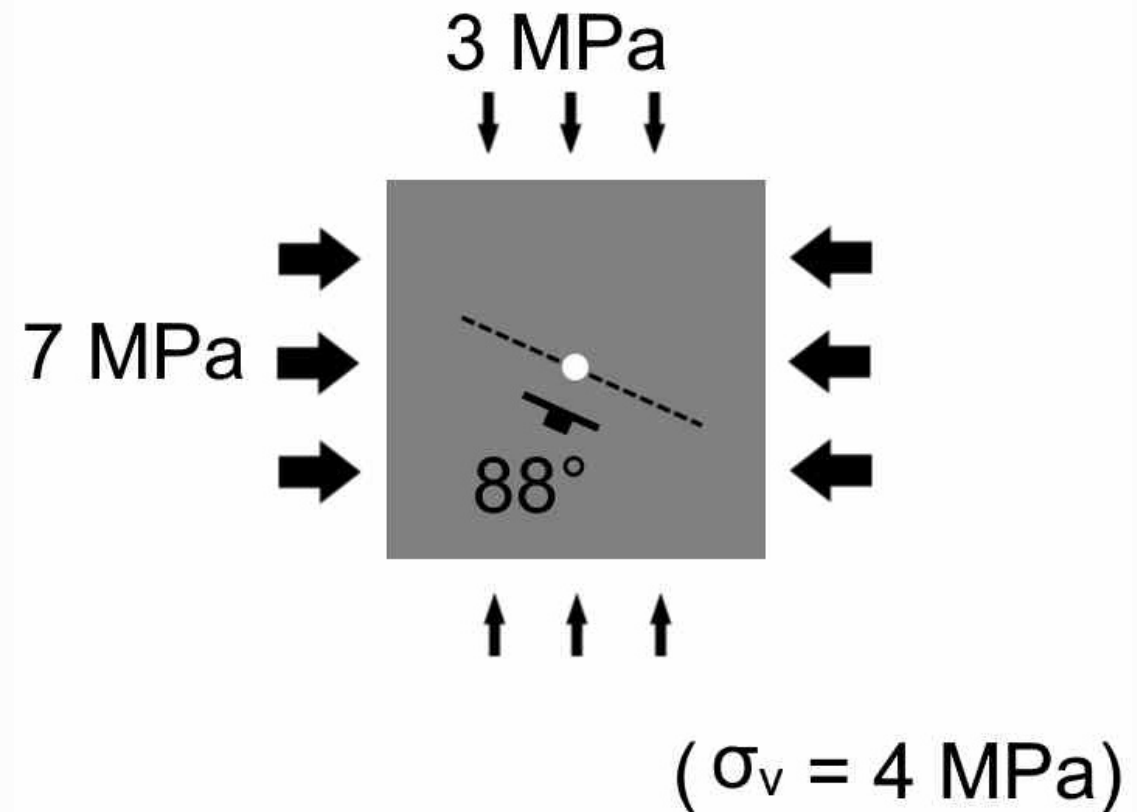
Pakker og borhull



Laboratoriekontrollerte hydrauliske jekketester

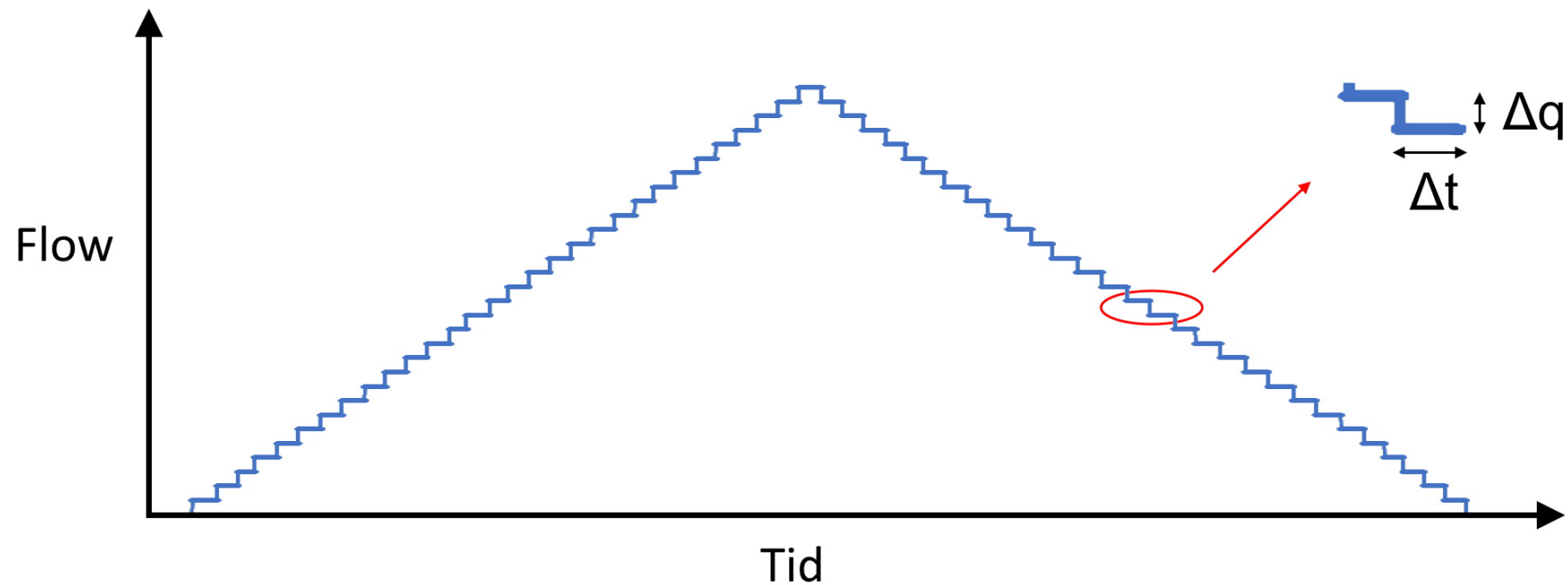
- Kjent sprekeorientering
- Kontrollerte spenninger
- Gir kjent normalspenning
- Testet en rekke ulike testprotokoller

Resultat: Utvikling av en helt ny testmetode



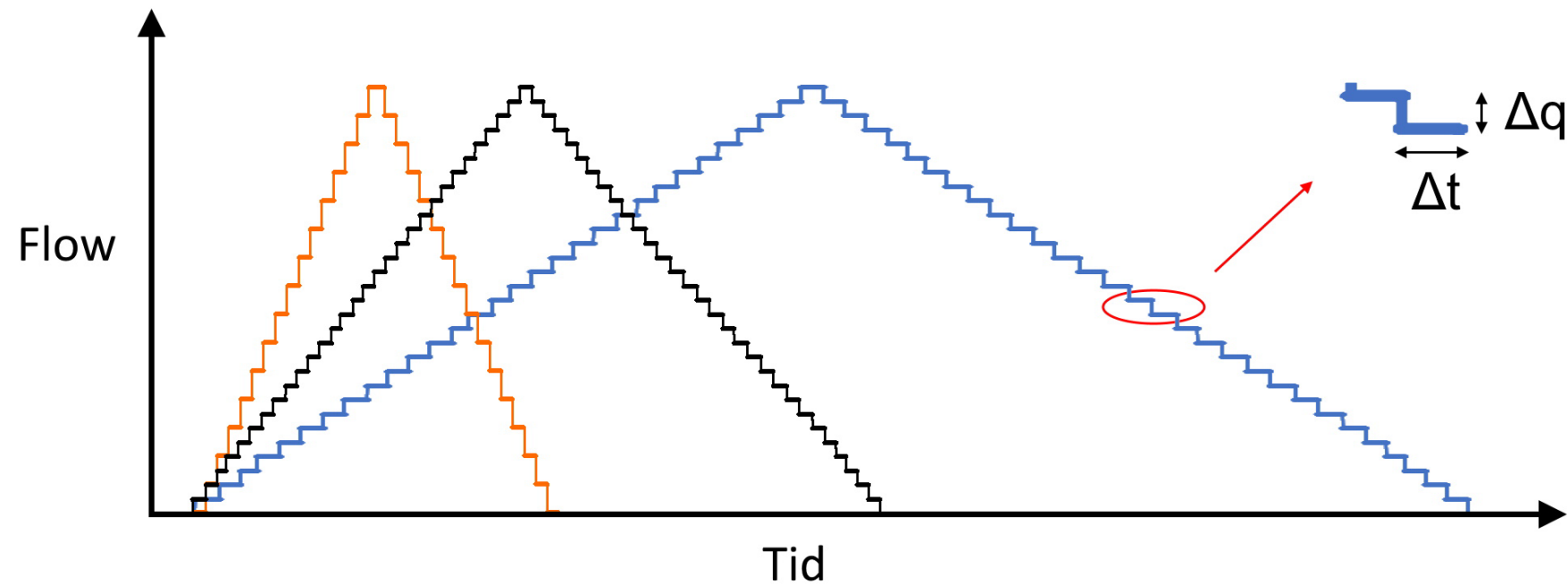
Rask stegratetest (RSRT)

- Flow økes i faste trinn, hvert av lik varighet, opp til jekking (eller splitting)
- Deretter reduseres flow i de samme trinn



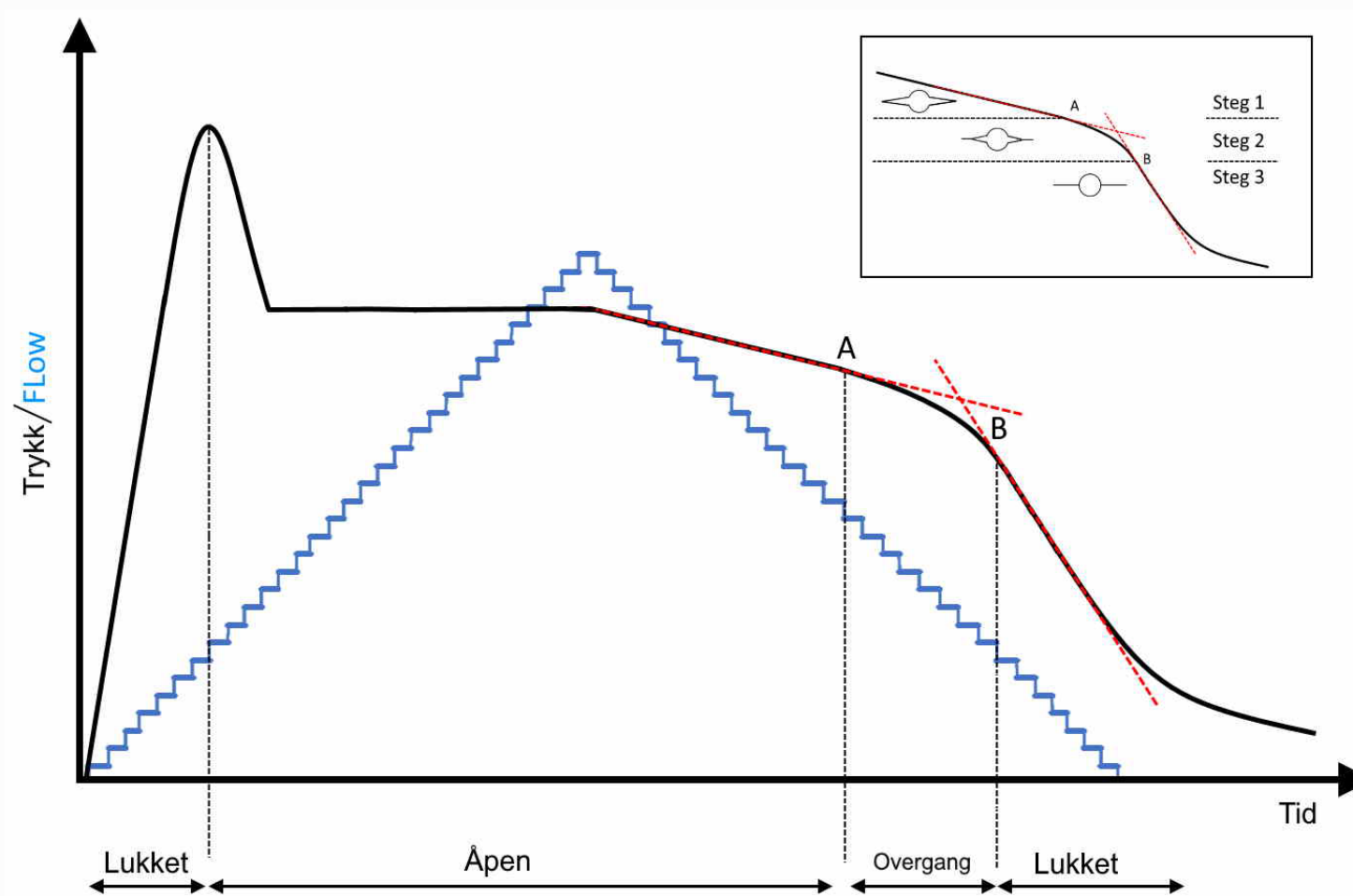
Rask stegratetest (RSRT)

- Trinnhøyde (Δq) og varigheten på hvert trinn (Δt) tilpasses lokale forhold
- Men: (Δq) og (Δt) må ikke endres når testen er i gang



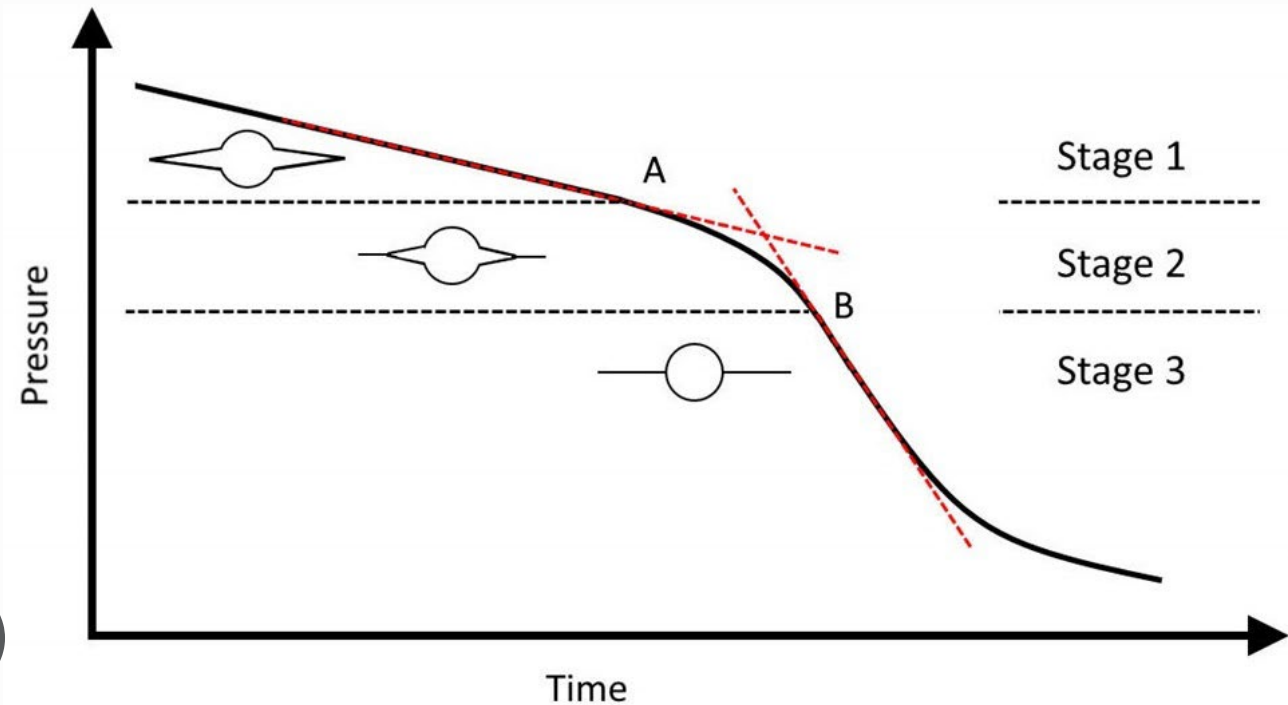
Rask stegratetest (RSRT)

- Resulterende trykkrespons i lukkefasen brukes til å finne normalspenning



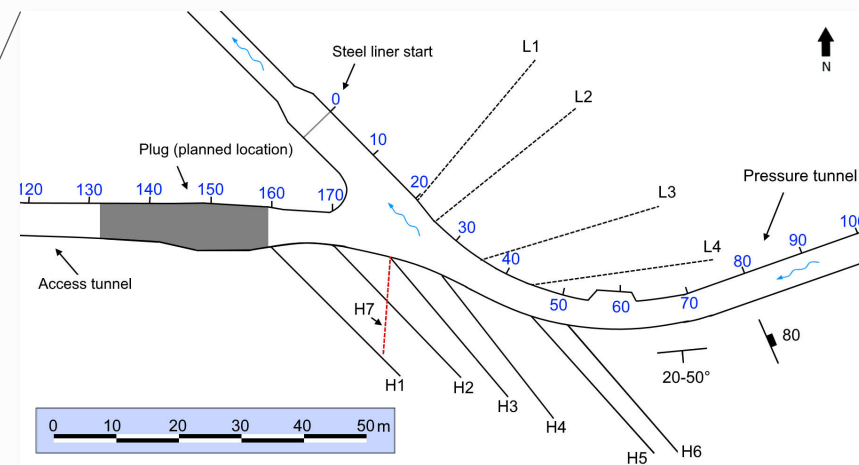
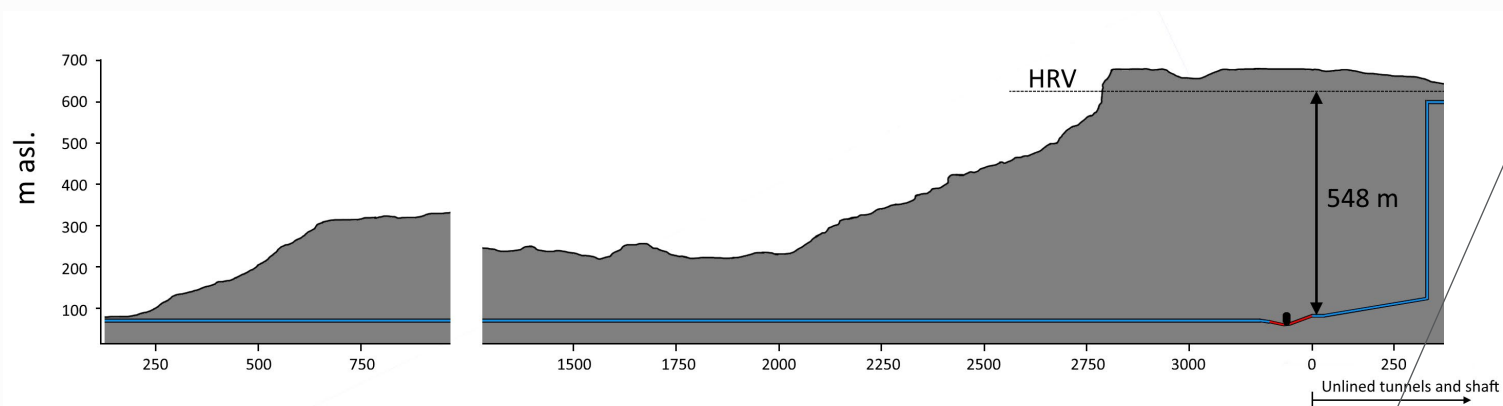
Tolkning av resultater

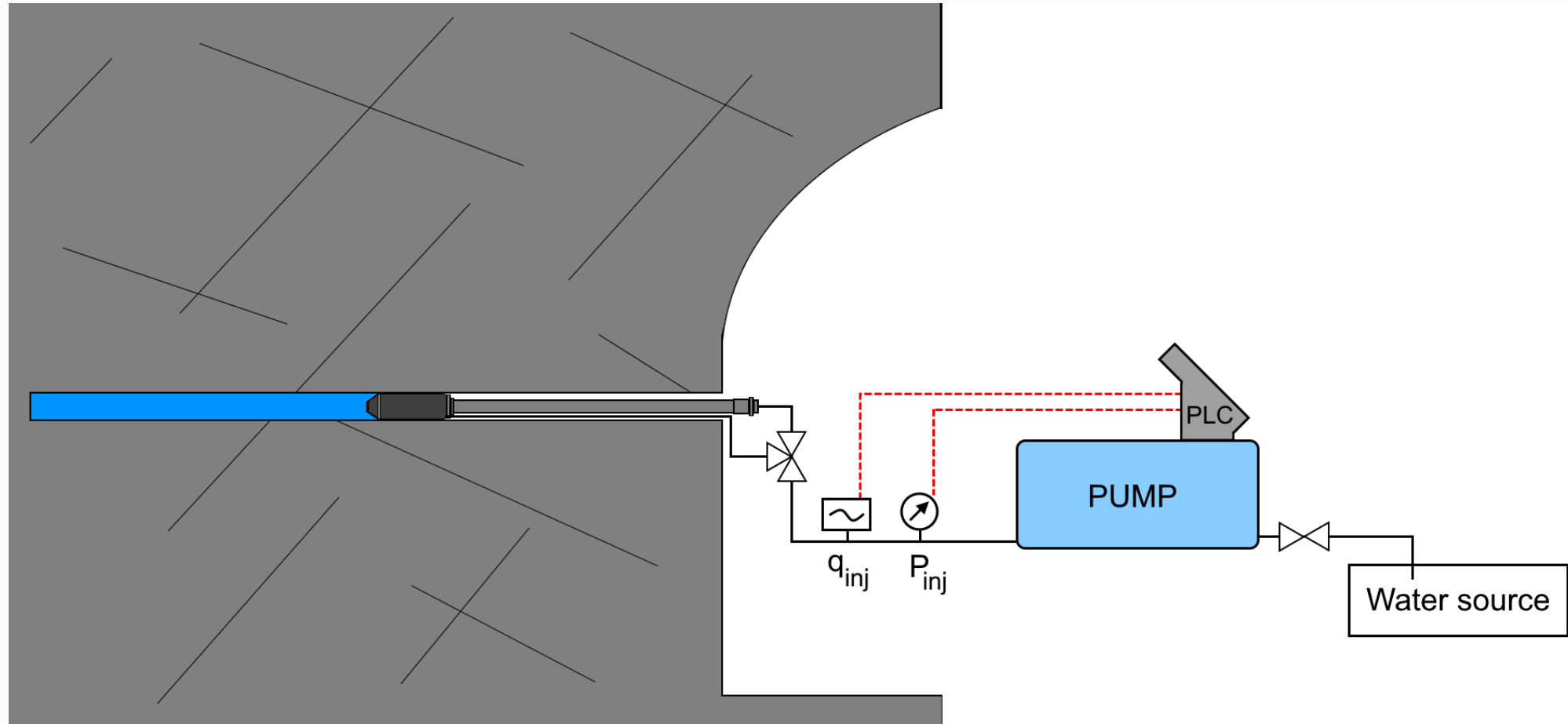
- Endringer i det hydrauliske systemets “stivhet” kan ses i trykkdata
- Stivhetsendring skyldes ulike steg i sprekkelukking:
 1. Hengselsaktig lukking (konstant stivhet)
 2. Sprekk starter å lukke seg slik at sprekkelengde reduseres
 3. Full (mekanisk) lukking av sprekk
- Trykket ved slutten av Steg 1 (Punkt A) tas som normalspenning på stimulert sprekk

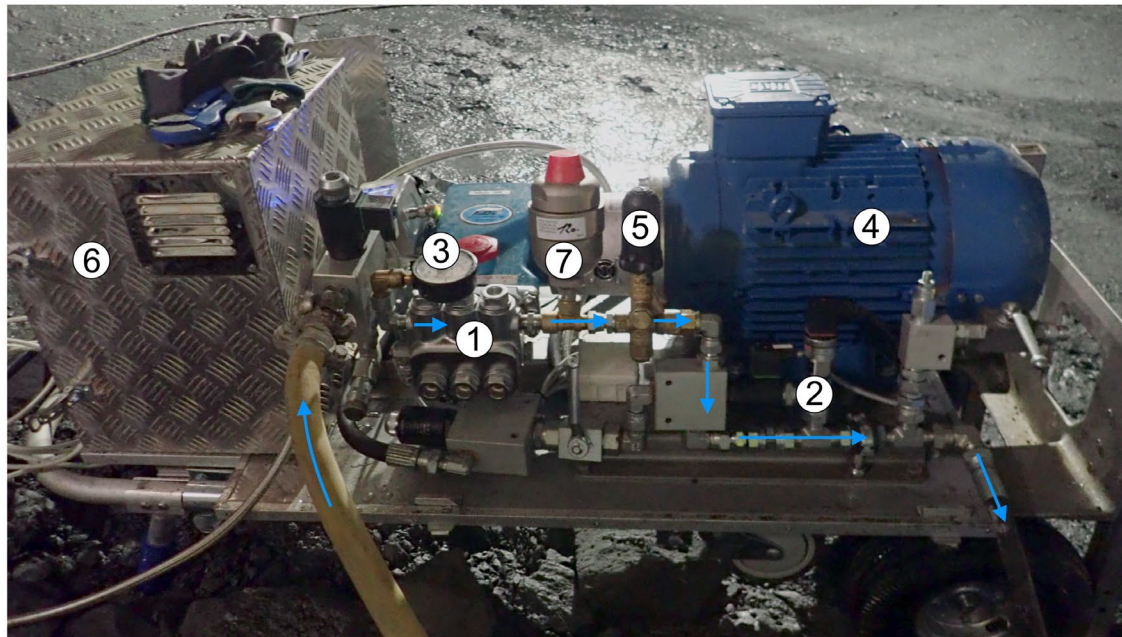


Feltforsøk fra Løkjelsvatn kraftverk

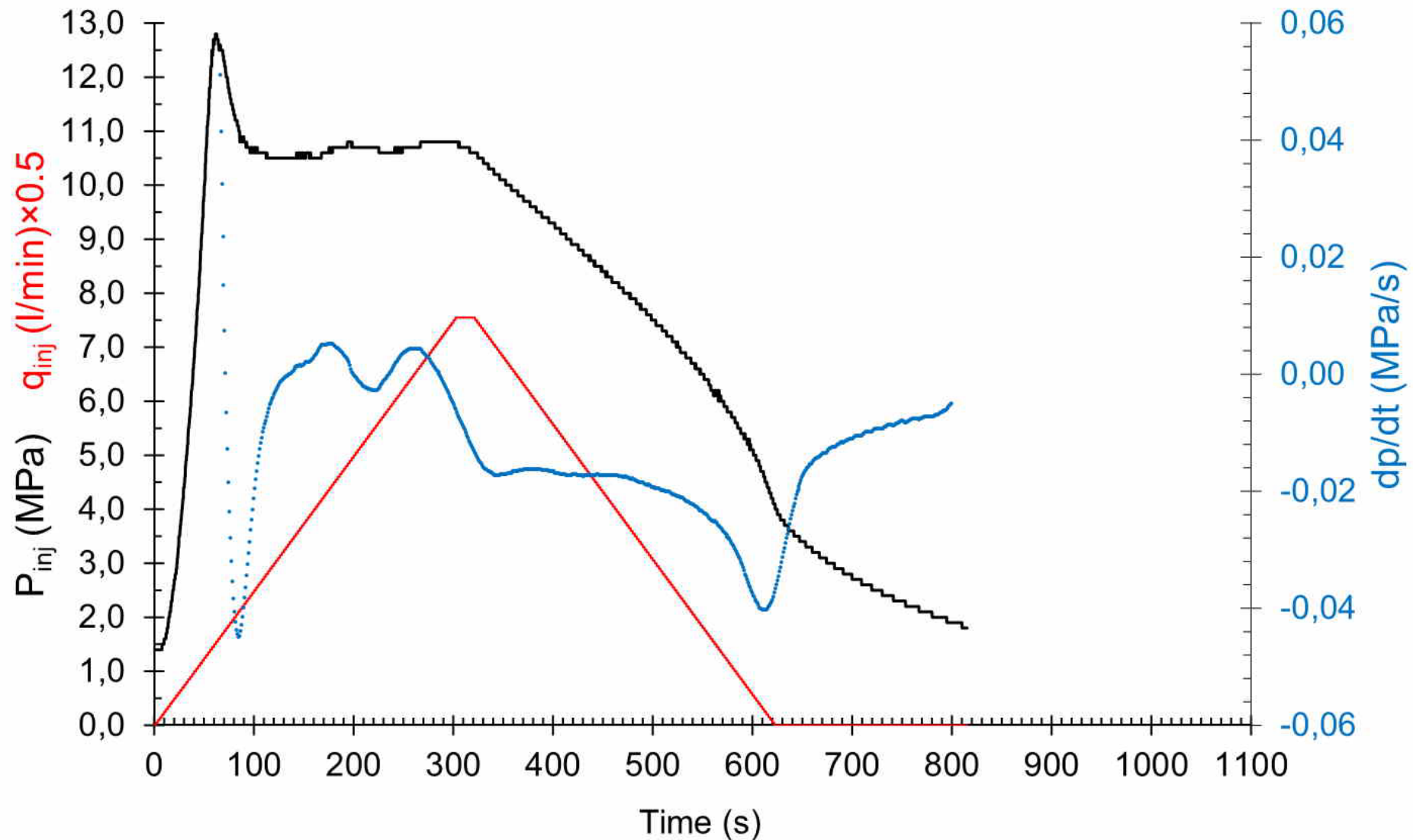
- 29 testsykluser i 7 borhull



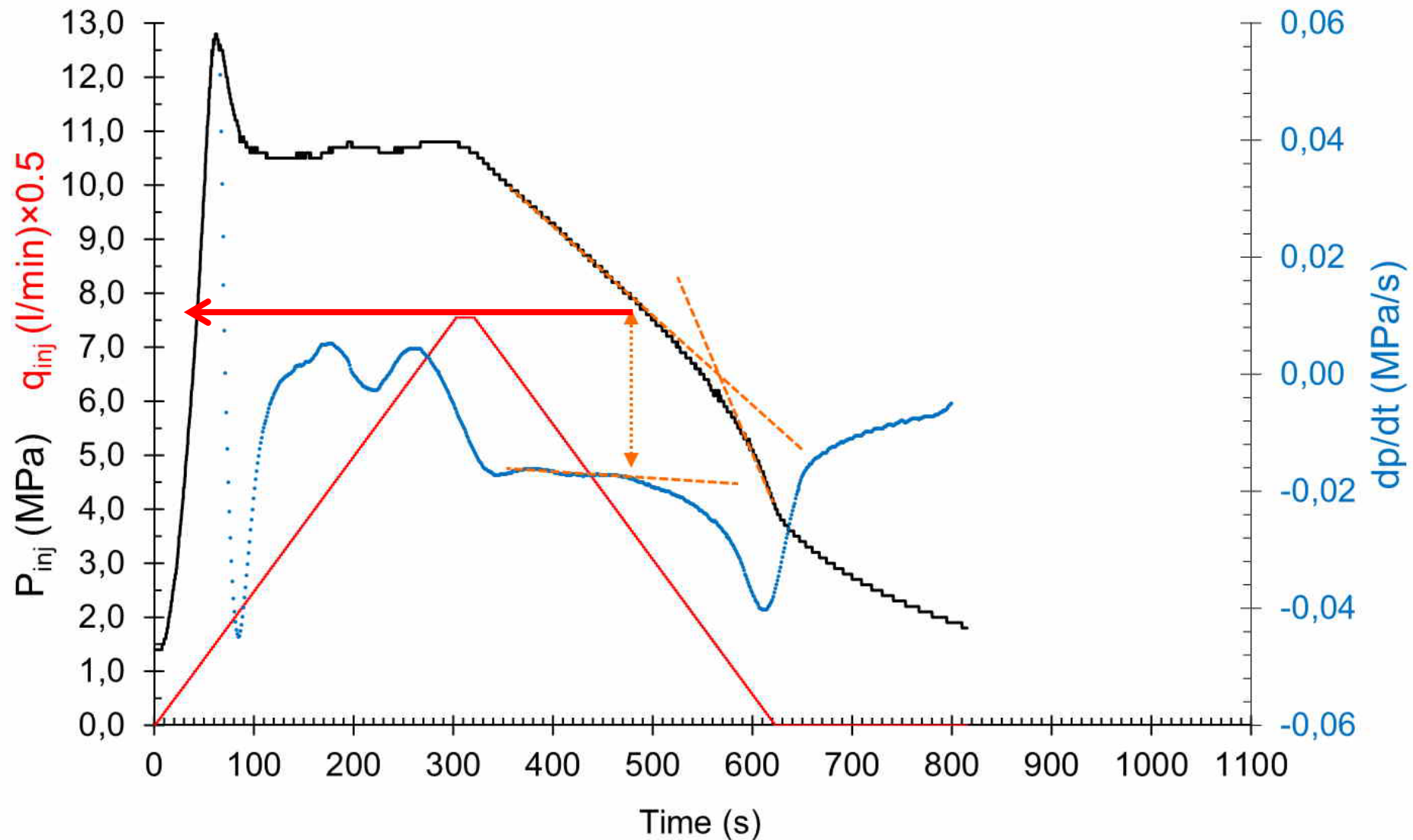




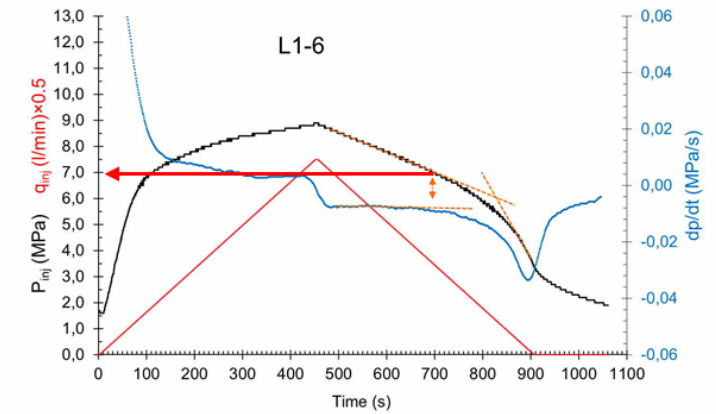
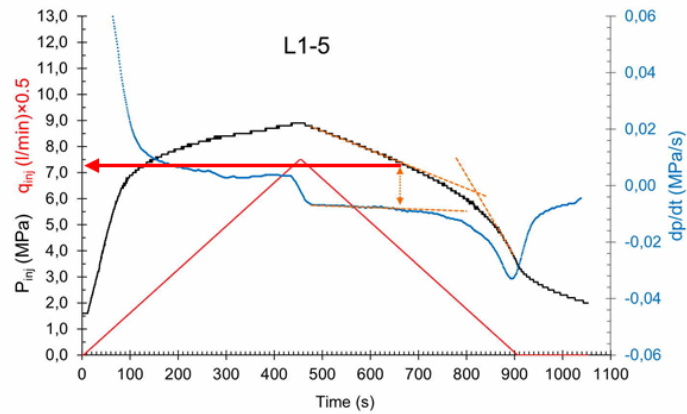
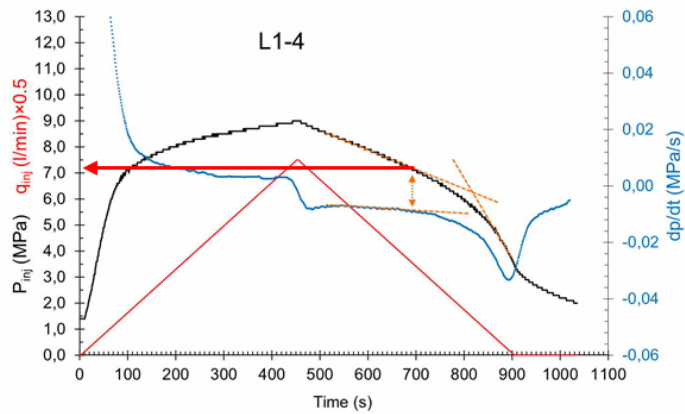
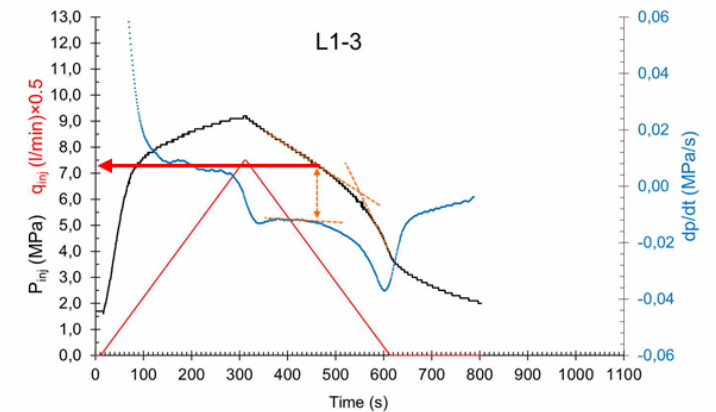
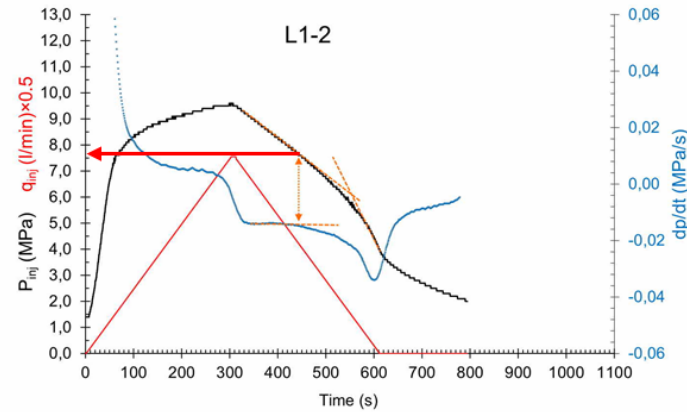
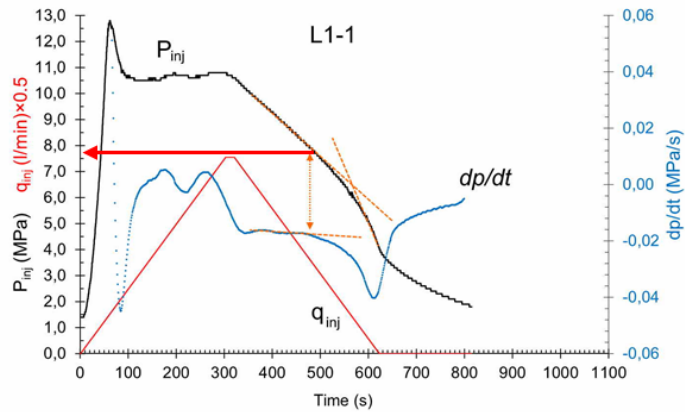
RSRT – eksempler på trykkforløp



RSRT – eksempler på trykkforløp



RSRT – eksempler på trykkforløp



Resultater fra testene ved Løkjelsvatn kraftverk

- Trykkforløp nær identisk som i lab - vi «ser» lukking
- Resultat fra RSRT korrelerer godt med verdier fra andre spenningsmålinger utført samme sted:
 - Normalspenning estimert fra RSRT: **7,2 – 8,7 MPa**
 - Minste hovedspenning estimert fra andre tester: **7 – 9,5 MPa**

Oppsummering

- RSRT er enkel og robust – muliggjør rask og kostnadseffektiv estimering av spenning
- Semiautomatisk testprotokoll – trenger ikke spesialkompetanse for å kjøre testen
- Tolkning av data er transparent – kan gjøres visuelt som plott av trykk mot tid

Veien videre – prøv RSRT!



Takk for oppmerksomheten!

Mer info?

Ta kontakt – så sender jeg elektronisk versjon av denne!

e-post: henki.oedegaard@multiconsult.no

