

# WP 3.2 TRYCKBÄRANDE BORRHÅL FÖR HÖGTEMPERATURLAGER

---

Max Hesselbrandt och José Acuña

23 oktober 2019



**José Acuna**, Tekn Dr  
Projektledare



**Mikael Erlström**, Geolog  
SGU



**Max Hesselbrandt**  
Ex-jobbare & konsult



**Milan Stokuca**, MSc  
konsult



**Tony Jernström**, MSc  
Geobatteri



**Henrik Lindståhl**, Civ Ing  
Tekniska Verken



**Tomas Svensson**, MSc  
Geosigma



**Almir Draganiwic**, Tekn Dr  
Forskare KTH



**Stefan Swartlig** LKAB  
Wassara



**Johan Funehag**,  
Tekn Dr, Tyréns AB



**Johan Olovsson**,  
Besab AB

I samarbete med:

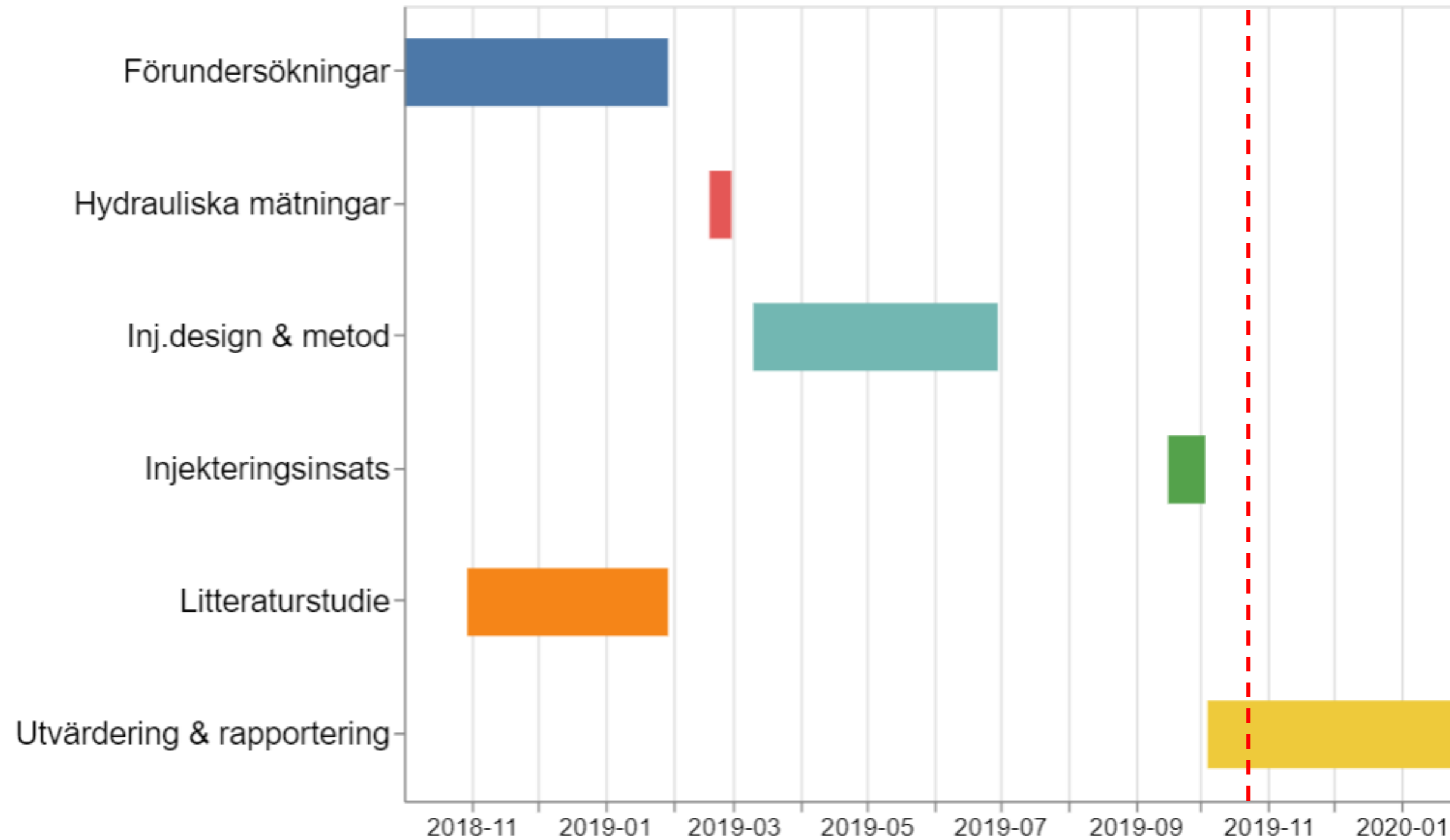


## BAKGRUND

- Borrhålsvärmelagring för nyttjande av överskottsvärme
- Dagens borrhålskollektorer ej anpassade för höga temperaturer
- Nya lösningar krävs för temperaturer upp mot ca 100 °C
- Värmeväxling direkt mellan värmebärare och berg önskvärt för termisk prestanda
- **Täta borrhålsväggar krävs för att cirkulera vätskan med bibehållet övertryck**



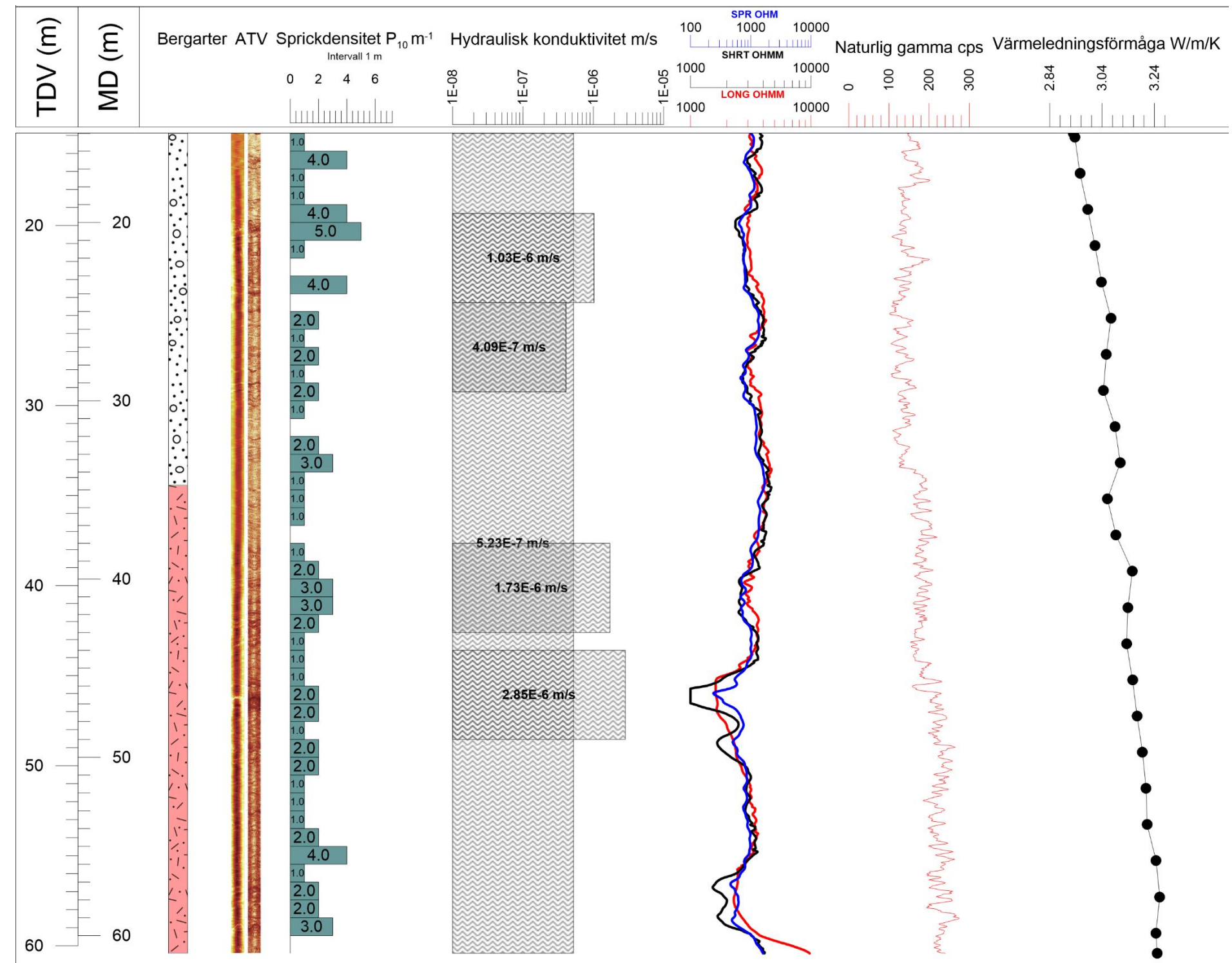
## AKTIVITETER I PROJEKTET





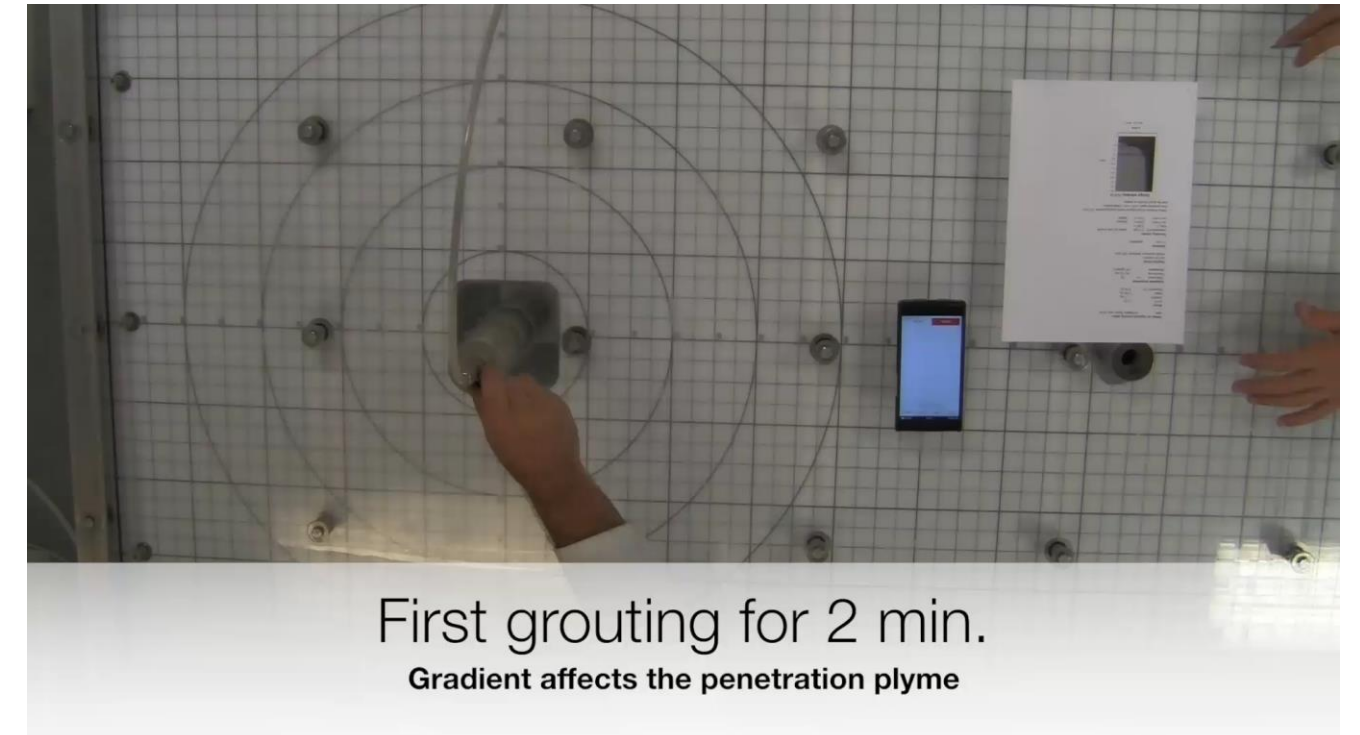
# FÖRUNDERSÖKNINGAR

- Förundersökningar och injektering utförs i två hål, DH-BH1L och DH-BH2V, borrarade på ca 2,3 m avstånd
- Hydrauliska, geofysiska och termiska mätningar
- Kartläggning av transmissiviteter, vattenförande sprickzoner etc.
- Fiberoptiska mätningar för analys av värmeledningsförmåga, temperaturgradienter och advektiv värmetransport
- Informationen utgör underlag till en basdesign baserad på uppskattade sektionstransmissiviteter och sprickviddsfördelningar



## KORT OM BERGINJEKTERING

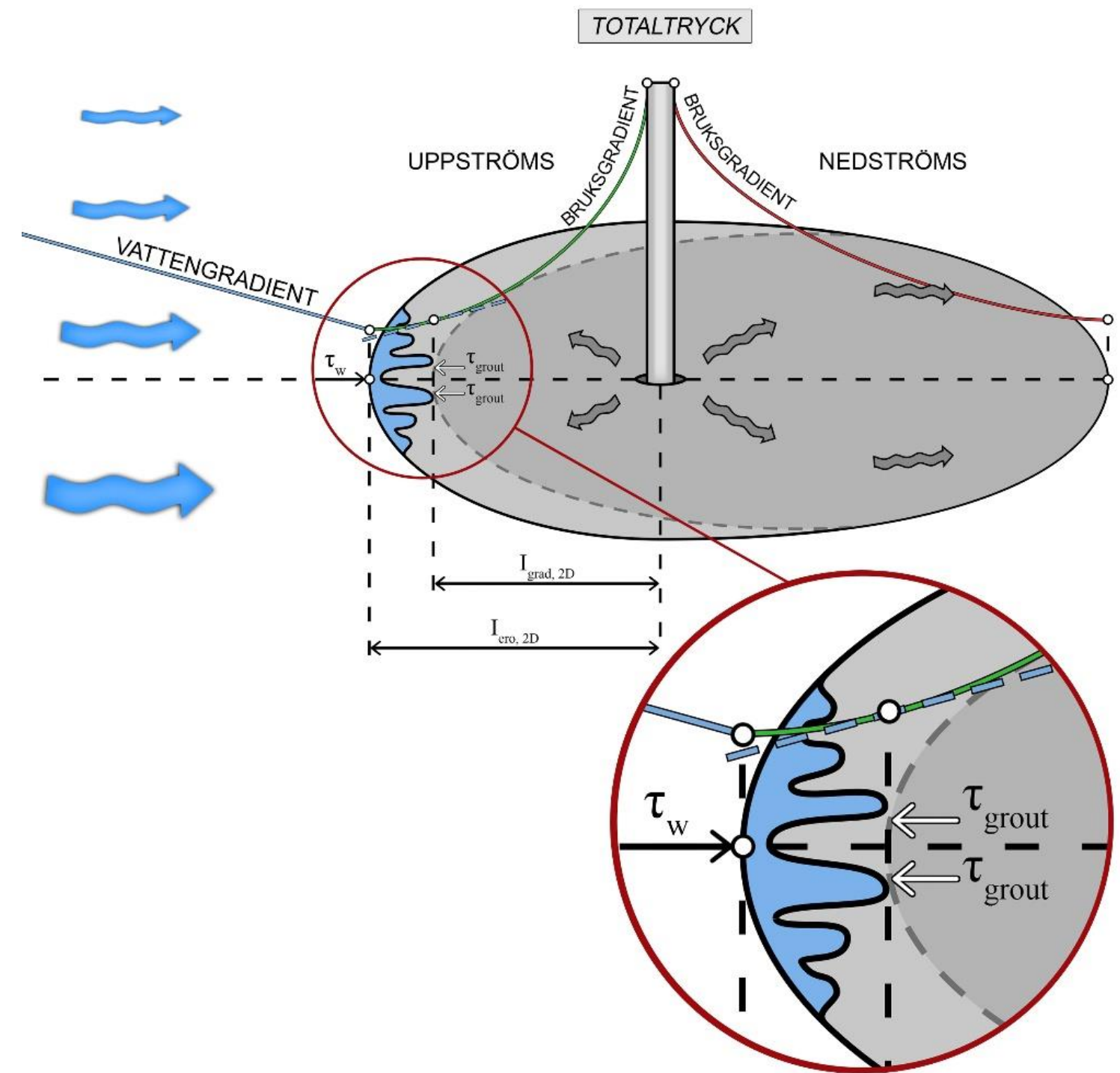
- Tillämpas bl. a. vid tunnel- och dammkonstruktioner
- Tätning och förstärkning genom inträngning av injekteringsmedel i spricksystemet
- Tryck, tid, sprickvidd och reologiska egenskaper viktiga faktorer
- Hypotes - ***”Ett borrhål kan inte bli tätt såvida inte sprickorna som korsar borrhålet blir tätade”*** (Funehag, 2017)



Johan Funehag, Tyréns/Luleå Tekniska Universitet

# METOD OCH BASDESIGN

- **Mål** – Öppna borrhål med tryckbärande egenskaper
- **Önskvärt** - Hållbarhet, låg materialanvändning och tidsåtgång
- **Utmaningar**
  - Öppna borrhål
  - Vattenförlustmätningar kort efter injektering
  - Höga krav på **rätt hållfasthetsegenskaper** vid **rätt tidpunkt**





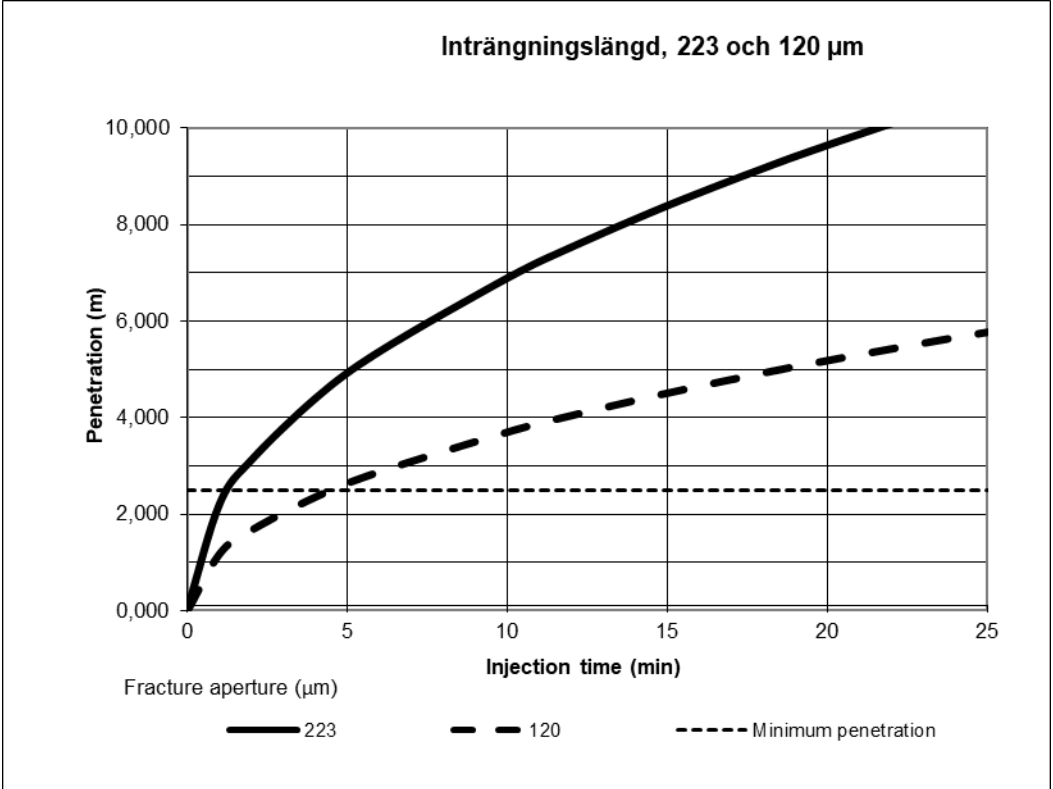
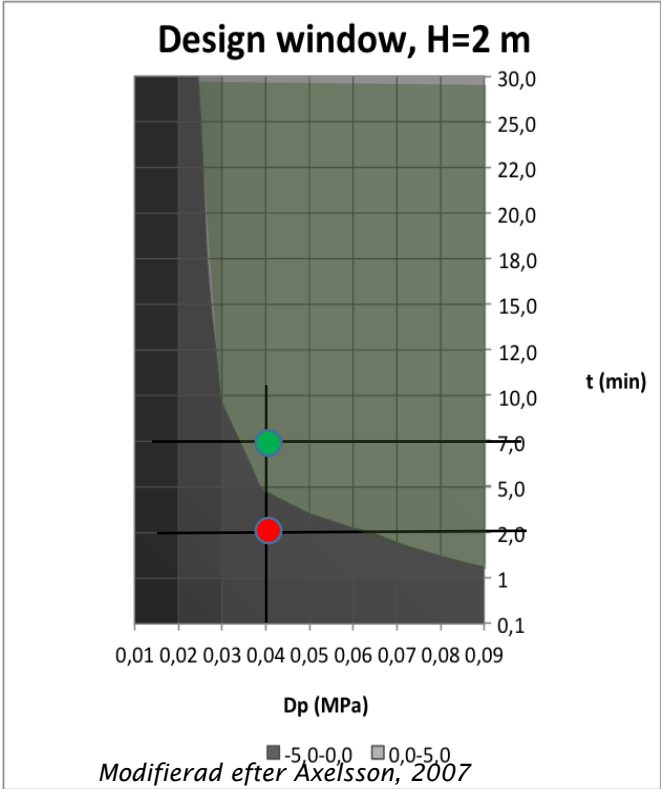
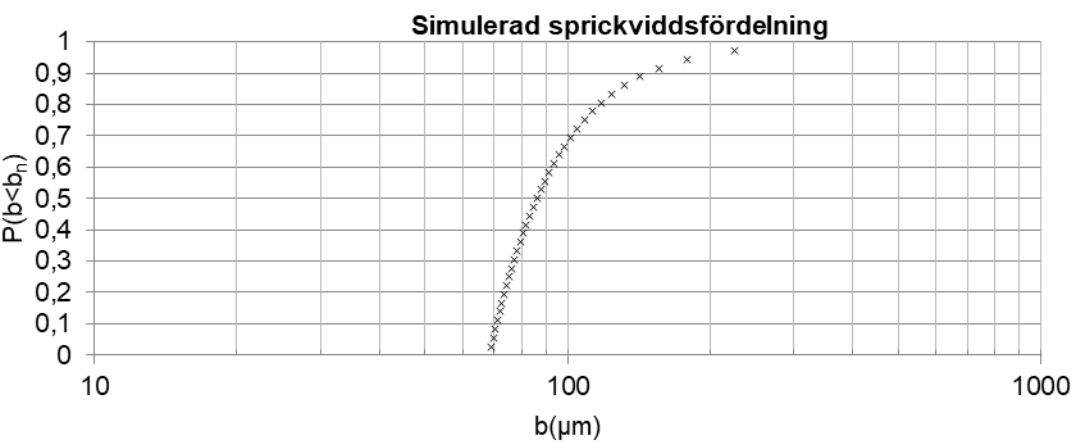
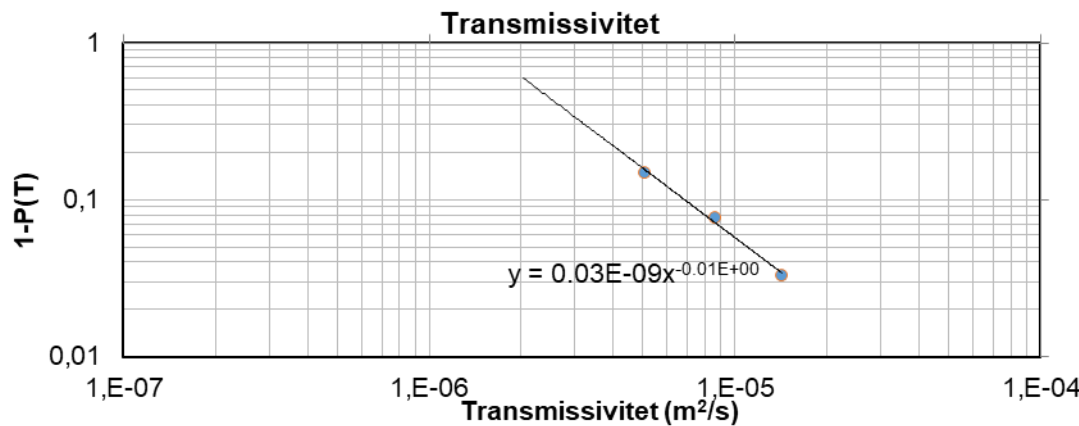
# METOD OCH BASDESIGN

## I korthet

Inträngningslängd och brukets hållfasthet dimensioneras för att undvika erosion p.g.a skjuvkrafter under den efterföljande vattenförlustmätningen

| Sektion nr | Övre sektion [m] | Nedre sektion [m] | Bergart           | Möjliga sprickvidder och bruk |
|------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------|
| 1          | 19               | 22                | möjligen sandsten | 160 µm/cement                 |
| 2          | 22               | 25                | möjligen sandsten | 160 µm/cement                 |
| 3          | 24,8             | 27,8              | möjligen sandsten | 120 µm/silica sol             |
| 4          | 27,8             | 30,8              | möjligen sandsten | 120-160 µm/silica sol/cement  |
| 5          | 38               | 41                | Finkornig granit  | 190 µm/cement                 |
| 6          | 41               | 44                | Finkornig granit  | 190-230 µm/cement             |
| 7          | 44               | 47                | Finkornig granit  | 230 µm/cement                 |
| 8          | 47,5             | 50,5              | Finkornig granit  | 230 µm/cement                 |

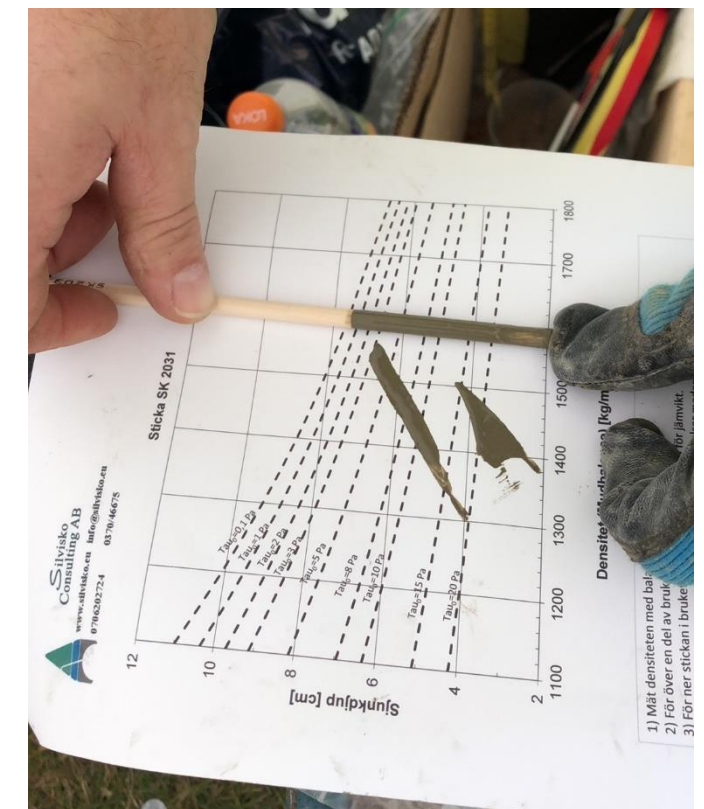
Metodutveckling i samarbete med tekn. dr. Johan Funehag





## GENOMFÖRANDE

- Injekteringsmedel
  - **Cement**/vatten (+ ev. accelerator för snabbare tillväxt i hållfasthet)
  - **Silica sol** (+ saltlösning för justering av geltid)
- Förprovning av bruksegenskaper genomförs alltid vid nytt recept
  - Viskositet
  - Densitet
  - Flytspänning - tid
  - Skjuvhållfasthet - tid
  - Filtreringsstabilitet
- Saltkoncentration (silica sol)
- Geltid (silica sol)

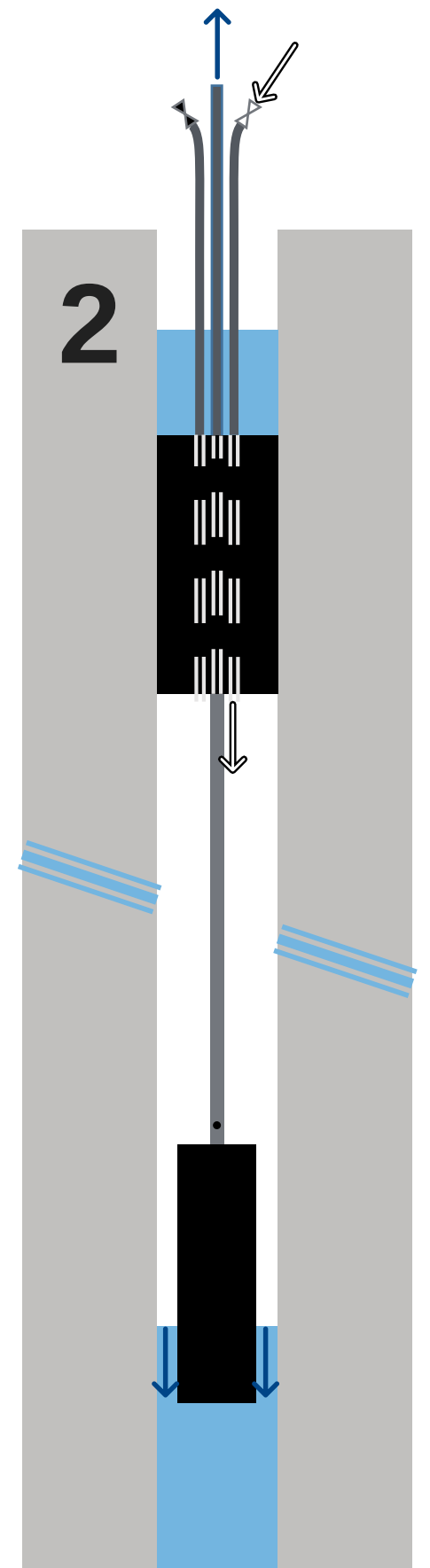
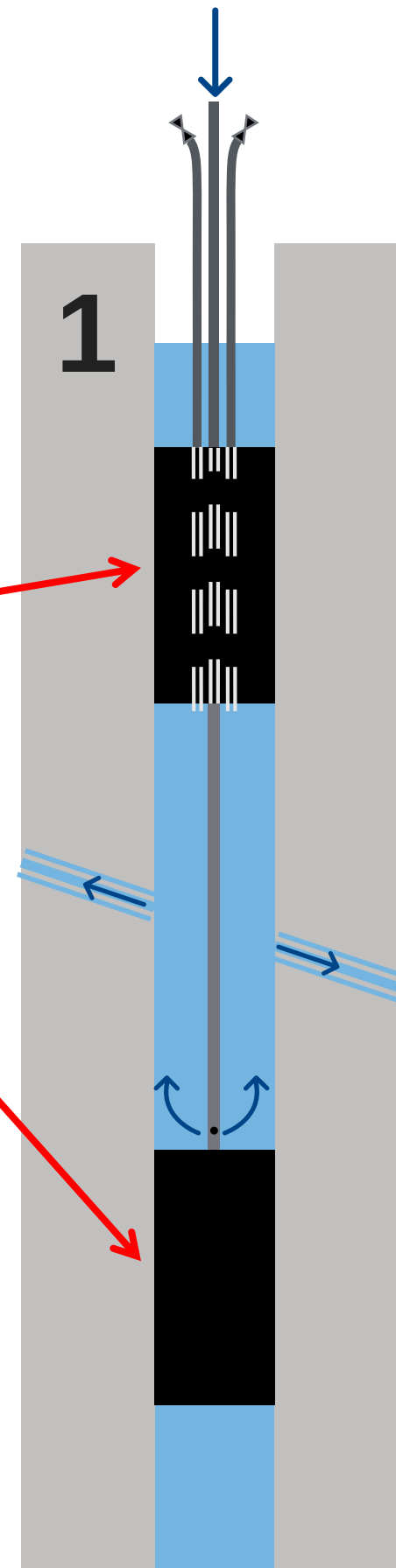


## GENOMFÖRANDE

### 1. Vattenförlustmätning

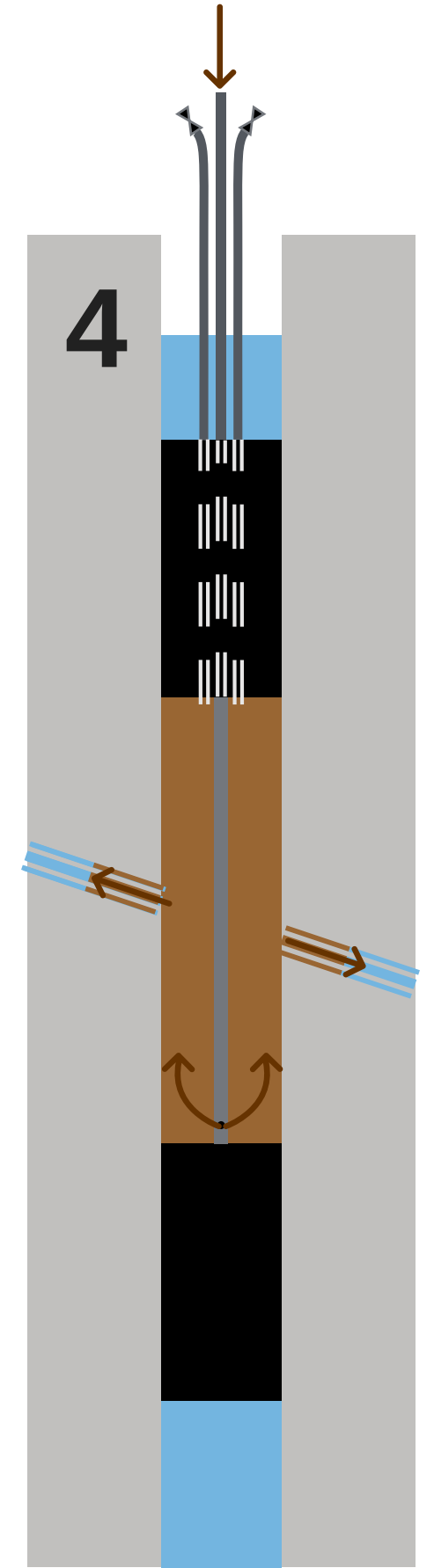
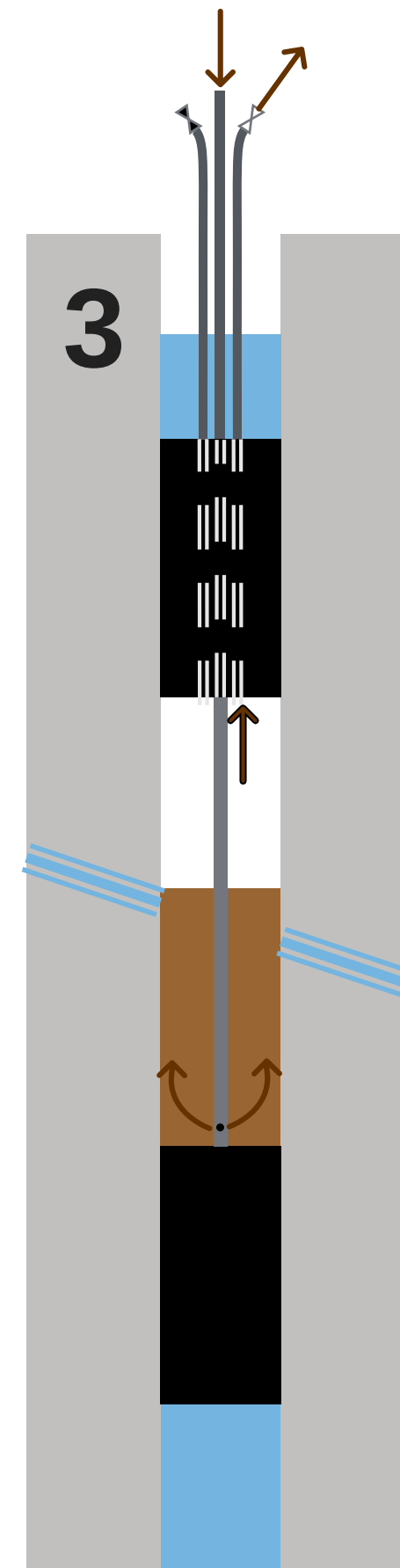
- Sektionen isoleras med en så kallad dubbelpacker
- Flöde mäts vid konstant övertryck

### 2. Evakuering av vatten



## GENOMFÖRANDE

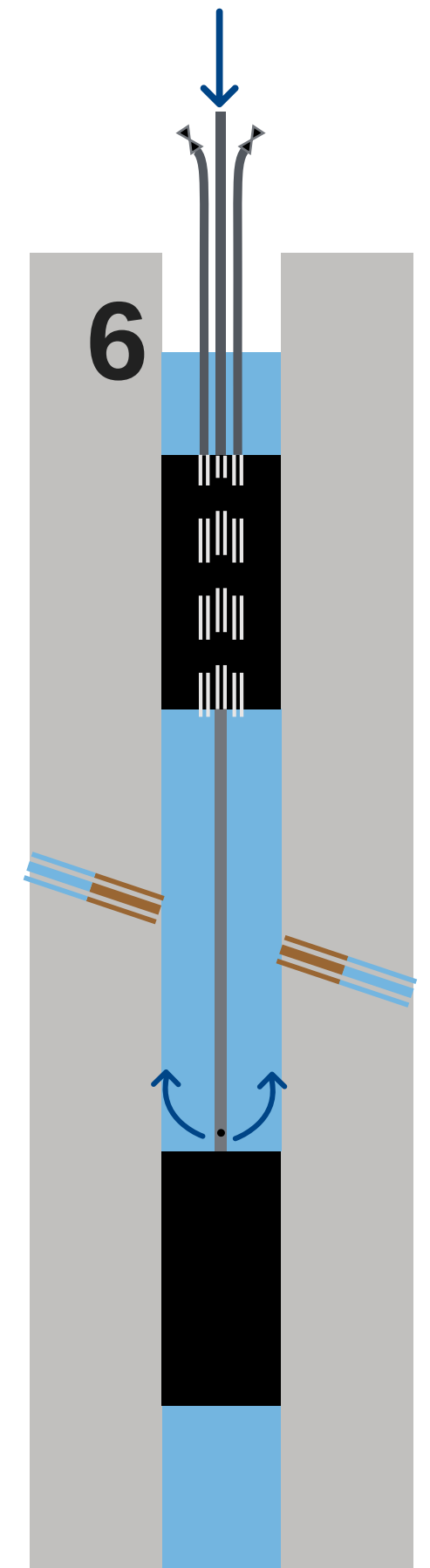
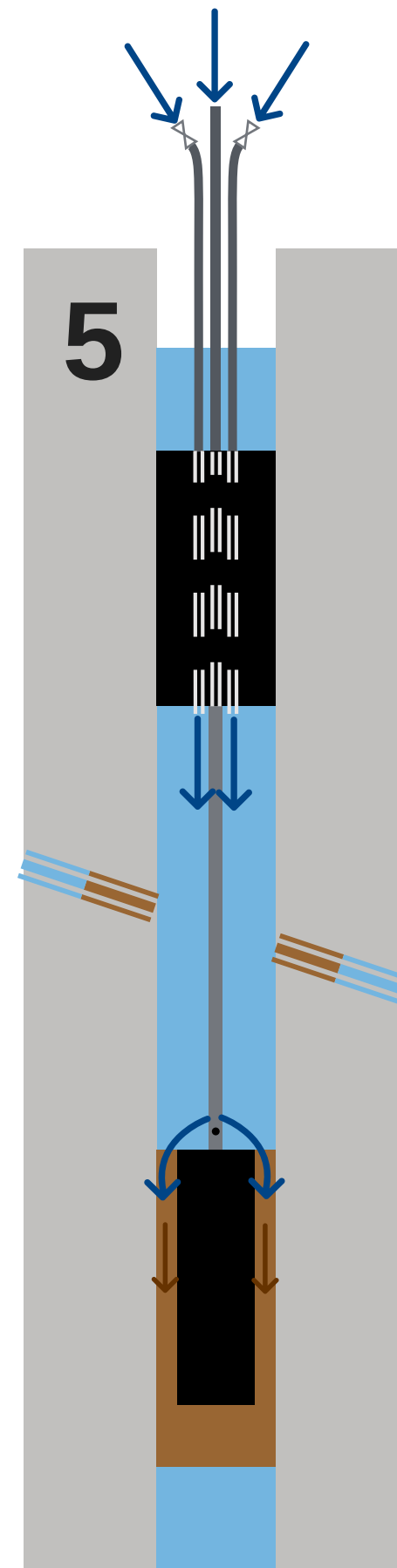
- 3.** Sektionen fylls med injekteringsmedel
- 4.** Injektering, löpande provning av bruksegenskaper





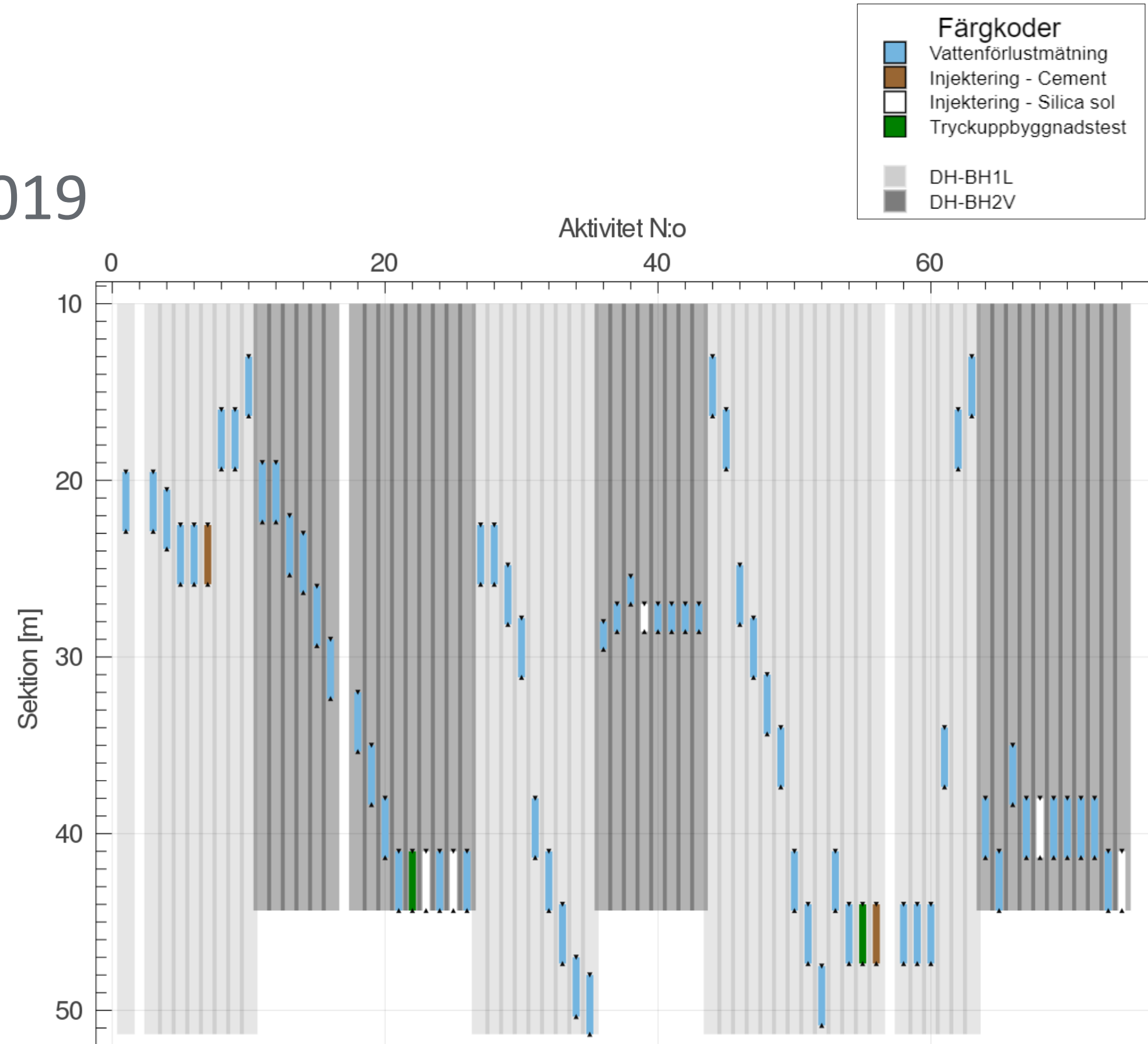
## GENOMFÖRANDE

- 5.** Nedre packer släpps när erforderlig hållfasthet uppnått. Sektionen evakueras
- 6.** Vattenförlustmätning



# FÄLTARBETEN SEPTEMBER 2019

- 30 sektioner i 2 borrhål undersökta
- 63 vattenförlustmätningar
- 2 tryckuppbyggnadstest
- 2 förprovningar av bruksegenskaper
- 8 injekteringsförsök
- 2 injekteringsmedelstyper





## KOMMANDE AKTIVITETER

- Utvärdering och analys
- Rapportering
- Vetenskaplig artikel







[www.bengtdahlgren.se](http://www.bengtdahlgren.se)