

# Velkommen til Under Oslo workshop!



**UNDER OSLO**

Illustrasjon: Statens vegvesen/Aas-Jakobsen

# Alt er mulig under bakken. Gjør vi det på den smarteste måten?

«Under Oslo» er et forskningsprosjekt som skal belyse blant annet innovasjon, bærekraft og økonomi knyttet til bygging under bakken.

## Helhetlig planlegging



Loretta van der Tann  
Sarah Hale

WP3

## Svartskifer



Gunvor Baardvik  
Frøydis Meen Wærsted

WP1

## Oppfølging av poretrykk og injeksjon



Jenny Langford  
Kristin Holmøy

WP2

## Bærekraftig miljøpåvirkning av grunnarbeider



Stefan Ritter  
Ingvild Størdal

WP4



### Målsetning:

Kartlegge dagens planleggingsprosess og identifisere forbedringspotensial mht å ivareta informasjon om grunnforhold for bedre beslutningsgrunnlag og kostnadsvurderinger.

### Aktiviteter:

- 7 Kartlegging av planleggingsprosess med tidslinje: regelverk og beslutningsprosesser
- 7 Se på forbedringspotensiale i planleggingsprosessen undersøkes med metodene «systems thinking» og «feedback-loops»
- 7 Gjennomgang av case med store kostnadsoverskridelser

### Målsetning:

Bidra til bedre håndtering og bygging i svartskifer.

### Aktiviteter:

- 7 Håndtering av naturlig blandmasser – miljørisiko ved liten andel alunskifer
- 7 Mellomlagring av svartskifer og blandmasser
- 7 Utvikle beregningsmodell for utlekking
- 7 Sammenstille erfaringer fra fundamentering og forankring i alunskifer mht bæreevne, svelling og bestandighet

### Målsetning:

Vurdere nye metoder for oppfølging av poretrykk og utført injeksjon, for å redusere risikoen for skader på omgivelsene.

### Aktiviteter:

- 7 Uttesting av metode for poretrykksoppfølging
- 7 Vurdere nye kriterier for oppfølging av injeksjon
- 7 Mulig uttesting av injeksjonsmateriale (kolloidalsilika)

### Målsetning:

Bidra til at utbygging i undergrunnen blir mer bærekraftig gjennom å fastsette miljøpåvirkning, resultatene skal kunne brukes til å gjøre mer bærekraftige valg

### Aktiviteter:

- 7 Kartlegge LCA beregninger for grunnarbeider
- 7 Beregne miljøpåvirkning (materialbruk, kostander, CO<sub>2</sub>-avtrykk, etc.) for prosesser ved ulike stadier i prosjektering (spunt, peler, KS-stab., uttak svartskifer, etc.)
- 7 Integre beregninger for miljøpåvirkning i BIM
- 7 Gjennomgang av forskjellige kontraktstyper/prosjekter og identifisere egnet/optimalt tidspunkt for påvirkning av valg av løsning for å ivareta bærekraft

# Arbeidspakke «Poretrykk og injeksjon»

## Bakgrunn

Strengt krav til tetthet for fremtidige tunneler. Overlappende influensområder og allerede påvirkede områder, medfører behov for enda tettere tunneler.

## Målsetning

Teste ut forbedrede metoder for styring av injeksjonsarbeider og oppfølging av poretrykk, for å redusere risiko for skader på naboeiendom som følge av drenasje.



# Agenda og målsetning for dagens workshop

## Agenda

- Presentere arbeid som er utført i Under Oslo i 2021
- Tre deler med diskusjonspunkter:
  1. Oppfølging av injeksjonsarbeider med sanntids poretrykkdata
  2. Modellering av poretrykk –muligheter ved tunneloppfølging?
  3. Hvor tett klarer vi egentlig å få det med forinjeksjon under Oslo?

## Målsetning med dagen

- Diskusjon og innspill fra dere, som vi tar inn i neste års arbeid
- Håper også at denne type erfaringsdeling er interessant og nyttig for dere 😊

# Kort hilserunde

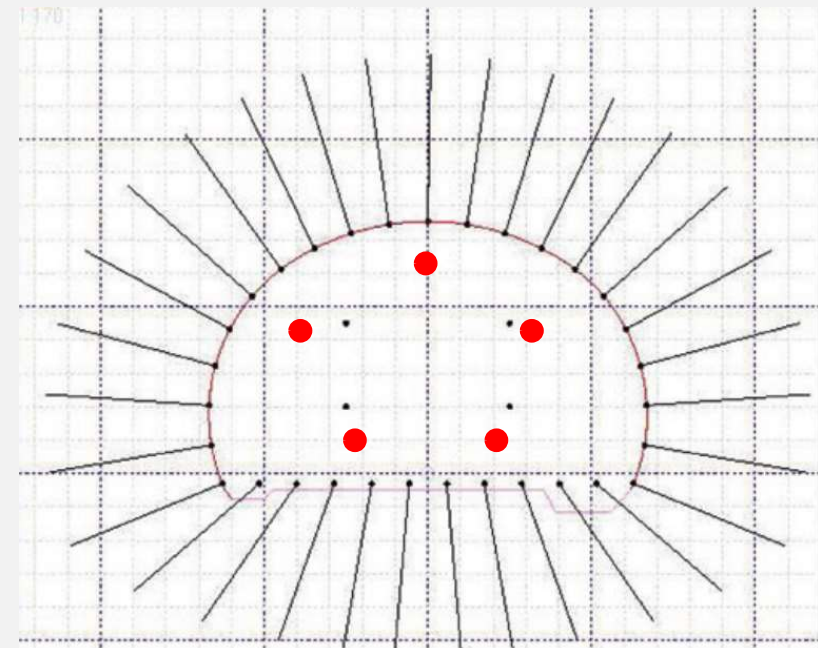
- ↗ Navn
- ↗ Firma
- ↗ Et tunnelprosjekt jeg har jobbet/jobber med

# Del 1: Oppfølging av injeksjon med sanntids poretrykkdata

Erfaringer fra Energiforsyning til Regjeringskvartalet

# Bakgrunn

- Grunnvannskontroll og injeksjon er noe av det mest utfordrende ved tunneldriving under Oslo
- Krever tett oppfølging av byggherre og entreprenør for å gjøre hensiktsmessige justeringer av injeksjon underveis i drivingen
- Typiske justeringsmuligheter:
  - Overlapp (avstand mellom skjermer)
  - Antall hull, hullavstand, stikning
  - Injeksjonsmateriale
  - Trykk, mengde
- Kontroll av oppnådd tetthet etter hver skjerm er viktig!
- Metoder for kontroll av tetthet i dag:
  - Måling av sluttrykk og mengder
  - Boring av kontrollhull i stuff med lekkasjemålinger
  - Måling av innlekkasjer med måleterskler bak stuff



# Utfordringer med dagens metoder

- Ved svært strenge krav til tetthet er det spesielt utfordrende å verifisere at resultat av injeksjonsskjermer er tilfredsstillende
- Store usikkerheter med kontrollhull i stoff, «nålestikk» i bergmassen
- Innlekkasjemålinger med terskler skjer ofte lang tid og flere hundre meter etter at stoffen er passert



# Mye data, nye muligheter

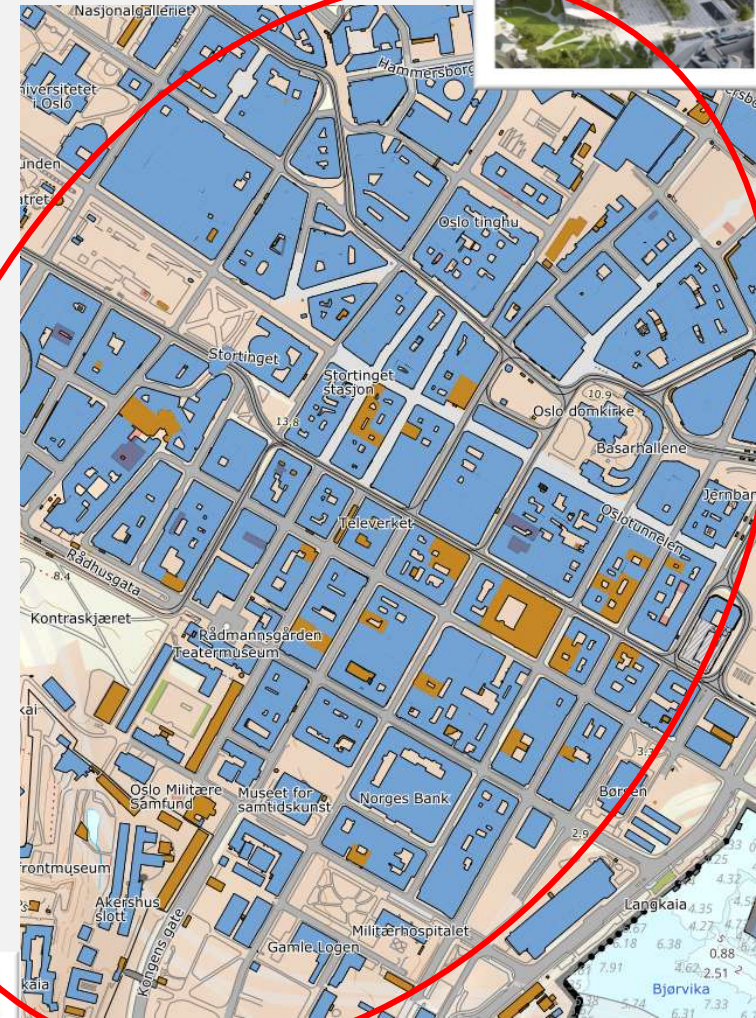
- Stor teknologisk utvikling de siste årene, data fra sensorer kan leveres i sanntid til portaler på nettet.
- Kan vi ta beslutninger og gjøre endringer i injeksjonsopplegget basert på poretrykkets bevegelser fra time til time?



# Energiforsyning til Regjeringskvartalet

- ↗ Statsbygg prosjekt, tunnelarbeider 2020 - 2022
- ↗ Samspillsentreprise med Statsbygg, AF Gruppen, Norconsult, NGI ++
- ↗ Berghall i området ved Akershus festning (D&B)
- ↗ Rørtrasé fra Akershusstranda til Regjeringskvartalet (TBM, vanntett lining)
- ↗ Svært strenge krav til maksimal permanent innlekkasje (1-3 l/min/100m)

Regjeringskvartalet



Akershus festning

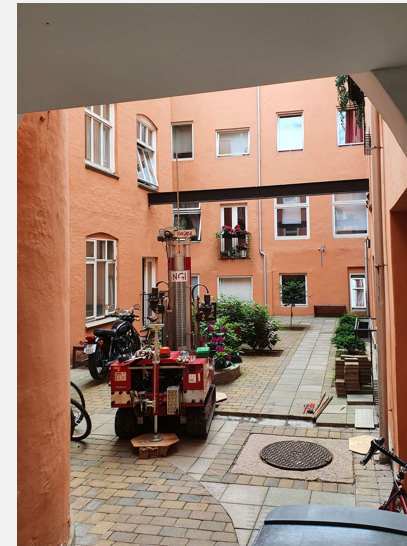


# Overvåking av poretrykk

- Installert 39 poretrykksmålere:
  - 31 stk installert i overgang løsmasser-berg (rask respons)
  - 8 stk installert i løsmasser (leire)
- Poretrykksdata kommer inn **hver time**, ca. 2 timer «lag» fra måling til visning i systemet.
- Dataene tilgjengelig for både entreprenør og byggherre på innsynsløsning på internett



Innsynsløsning



Boring i bakgård



Fjernavlesningsskap

# Beredskapsplan poretrykk i anleggsperioden

## 4 beredskapsnivåer for poretrykk :

### ↗ Grønt nivå - Normal

- Poretrykket er innenfor normalnivå
- Driving med systematisk forinjeksjon, som normalt

### ↗ Gult nivå - Varsel

- > 0,5 m under tidligere laveste nivå for sensoren
- **Vurdere injeksjonsopplegget**

### ↗ Oransje nivå – Advarsel

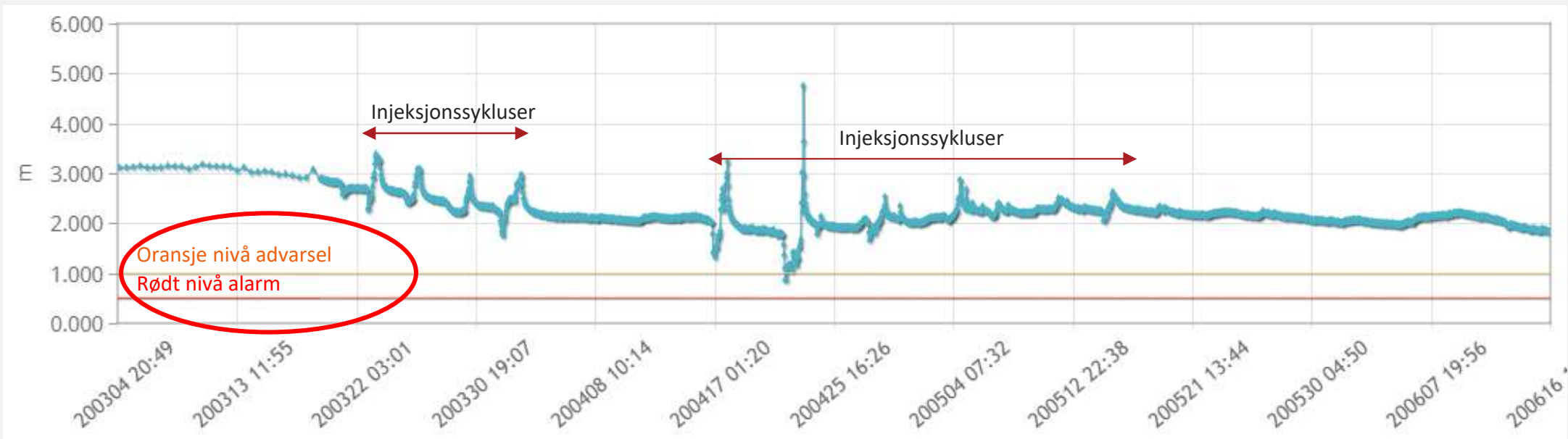
- Poretrykkssenkning som kan gi små setninger ( < 2 cm)
- **Justering av injeksjonsopplegg**

### ↗ Rødt nivå – Alarm

- Poretrykkssenkning som gir større setninger ( > 2 cm)
- **Økt injeksjonsomfang, ettertetting + andre tiltak**

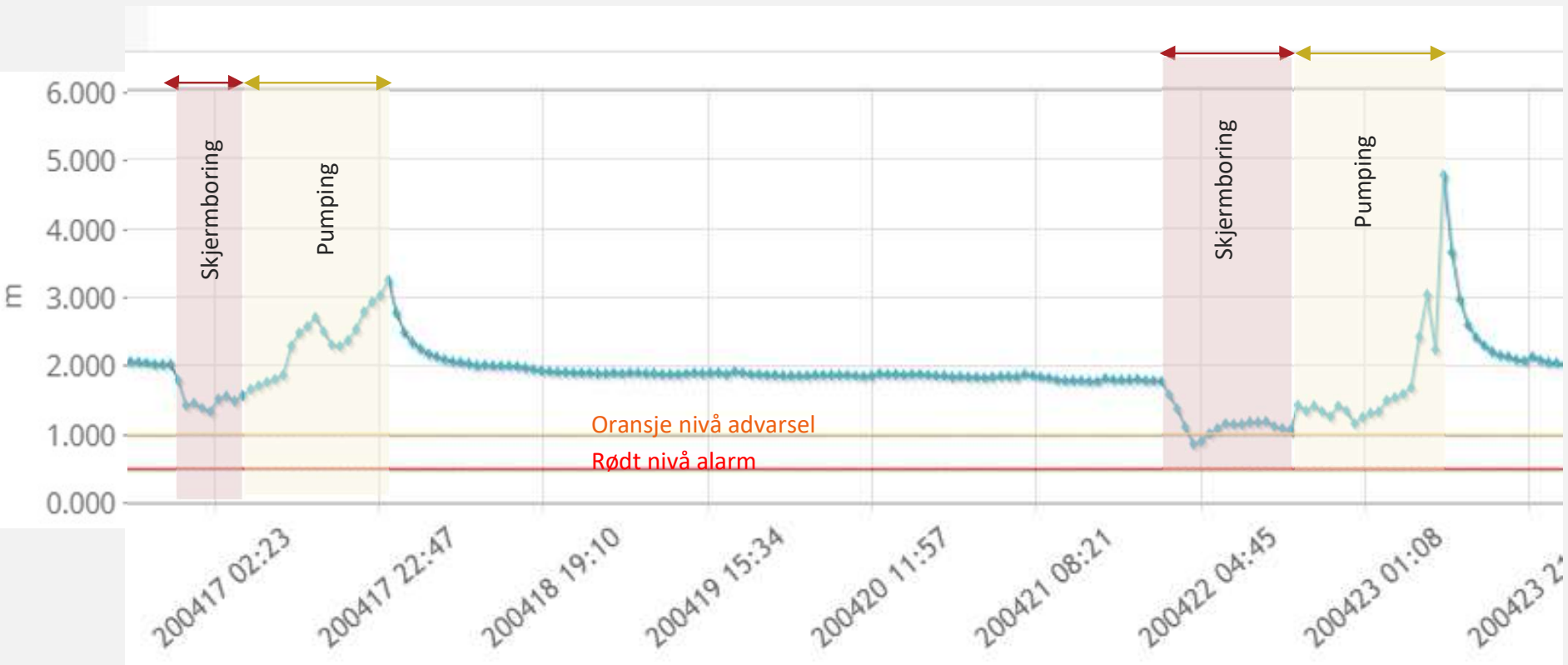
Grenseverdi for poretrykk	Poretrykkssenking ift. laveste registrert poretrykksnivå før anleggsstart	Aksjonsplan
Normalnivå	Poretrykket er større enn eller i nivå med tidligere målt laveste poretrykk (Innenfor normal årstidsvariasjon)	Daglig vurdering av poretrykksnivåer i VIP Nordic. Oppfølging av anleggsarbeider ved innsamling og vurdering av kontrolldata: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Avstand til <u>stuff</u></li> <li>• MWD-data, injeksjonsdata</li> <li>• Visuell inspeksjon av <u>stuff</u> med kamera, visuell vurdering av lekkasje i injeksjonshull med borehullskamera ved munning etter hull er boret opp</li> <li>• Måling av total innlekkasje (mengde utpumpet vann – mengde anleggsvann)</li> </ul>
Varsling (daglig oppfølging ikke varsel)	Indikasjon på poretrykkssenking (>0,5 m under laveste poretrykk før anleggsstart)	Vurdere om poretrykkssenking er forårsaket av anleggsarbeidene: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vurdere flere poretrykksmålere i forskjellige dypprenner samlet</li> <li>• Korrelasjon mot nedbørsdata</li> <li>• Vurdere lgangsetting av vanninfiltrasjon</li> </ul>
Advarsel (Epost varsel)	Dokumentert poretrykkssenking, som er vurdert å gi små setninger <2 cm før vanntett utføring er etablert	Økt kontrollomfang ved vanntapsmåling i injeksjonshull og/eller kontrollhull for å vurdere tetthet av injeksjon. Vurdere behov for justering av injeksjonsopplegg (større overlapp skjermer), <u>ettertetting lining</u> og justering av trykk for vanninfiltrasjon.
Alarm (SMS varsel)	Poretrykkssenking som vil gi setninger > 2 cm før vanntett utføring er etablert	Juster injeksjonsopplegg og iverksetting av ytterligere tiltak Ytterligere forsering av tett <u>lining</u> .

# Oppfølging under driving



- Vi kan tydelig se injeksjonssykluser på mange av poretrykksmålerne
- Beredskapsnivåer «Advarsel» og «Alarm» vises sammen med poretrykket i innsynsløsning

# Oppfølging under driving



- Poretrykket faller typisk raskt om det påtreffes mye vann under skjerm boring
- Stabilisering når pakkere plasseres i injeksjonshullene
- Typisk økning i poretrykk under pumping, noen ganger tilbake til tidligere nivå
- Kontinuerlig «trapping» nedover for hver injeksjonsrunde tolkes som økning i innlekkasjer til tunnelen

# Erfaringer så langt

- ↗ Injeksjonsopplegget vurderes nå fortløpende fra skjerm til skjerm basert på tre hovedprinsipper:
  1. Observert innlekkasje i injeksjonshull etter boring
  2. Sluttrykk (og mengder) i hver skjerm
  3. **Utvikling i poretrykket under og etter injeksjonsskjerm**
- ↗ Observasjoner fra nede i tunnelen kan verifiseres med poretrykksmålinger fra time til time
- ↗ Beredskapsnivåer for poretrykk er nyttig både for kontrollingeniør og entreprenør, god måte å kommunisere risiko på
- ↗ Alt må sees i sammenheng, det er usikkerheter i dataene, påvirkning fra vanninfiltrasjon kompliserer bildet, hydrogeologiske forhold spiller inn

Spørsmål?



# Diskusjonspunkter presentasjon 1

- Hva er deres erfaring med bruk av poretrykksdata i tunnelprosjekter?
- Kunne poretrykksreduksjon,  $\Delta U$ , også være et krav i kontrakter?  
Tilsvarende innlekkasjemengde  $Q$  (l/min/100m)

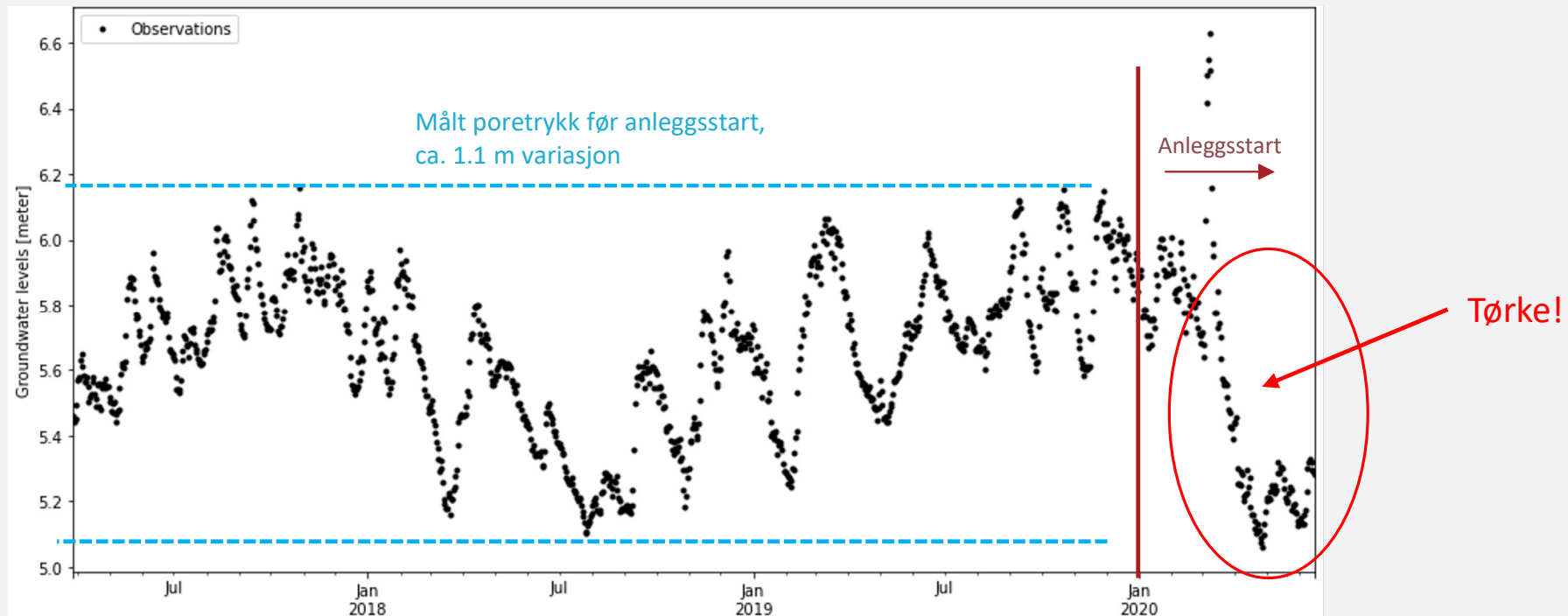
## Del 2: Modellering av poretrykk – muligheter ved tunneloppfølging?

# Bakgrunn

- ↗ Naturlig poretrykksvariasjon i dyprenner i Oslo kan være opp mot 1-2 m, og kanskje høyere(?)
- ↗ Krav til maksimal tillatt permanent poretrykksreduksjon,  $\Delta U$ , er vanligvis 1-2 m for tunnelanlegg i Oslo
- ↗ Naturlig variasjon gir «støy» i poretrykksdataene, gjør at det blir vanskelig å vurdere tunnelanleggets påvirkning på poretrykket i ulike perioder.

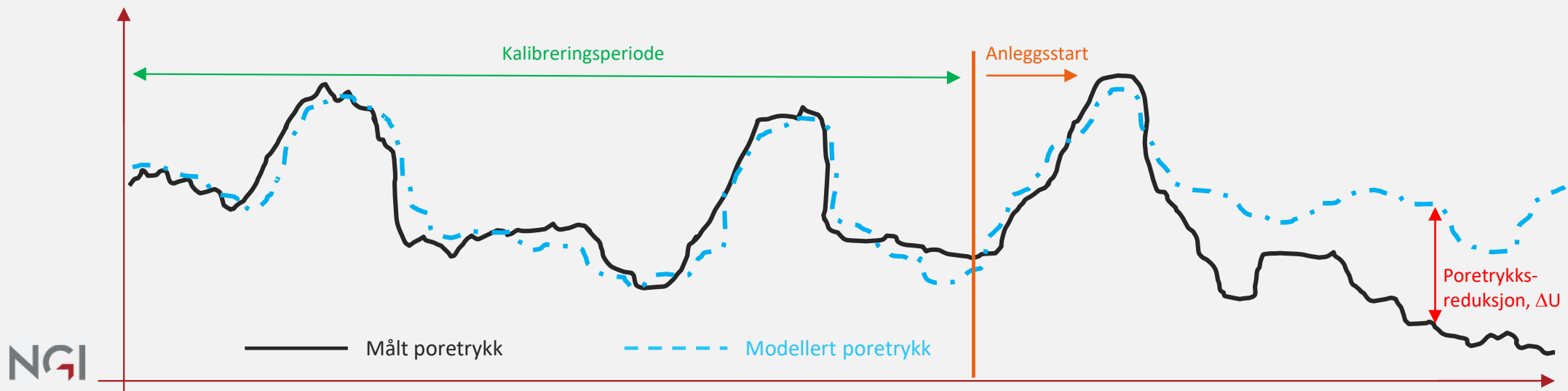
# RKV Energiforsyning, vår 2020...

- Svært tørt og varmt våren 2020, fallende poretrykk mens vi drev tunnel med forinjeksjon
- Mye diskusjon om bakgrunnen for poretrykksfallet
- Var poretrykksfallet forårsaket av innlekkasjer til tunnelen eller av lite regn og tørt vær? Burde vi øke injeksjonsmengden?
- Kan en «poretrykksmodell» hjelpe med å skille naturlig variasjon (nedbør, temp.) fra unaturlig variasjon (innlekkasje tunnel, vanninfiltrasjon, injeksjon)?



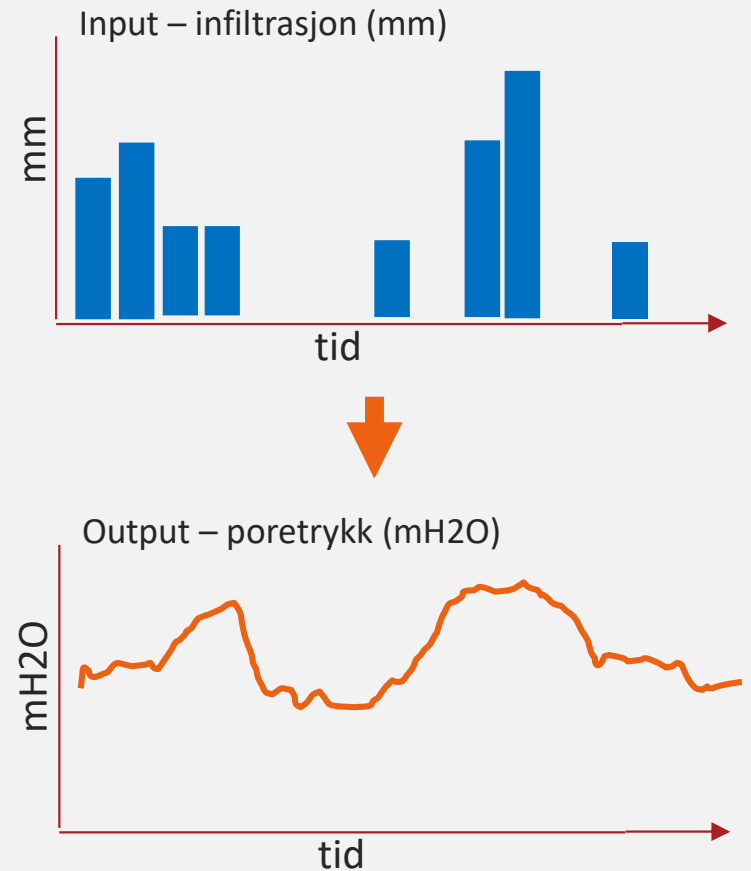
# Hva ønsker vi oss?

- En modell som «simulerer» målt poretrykk ved hjelp av uavhengige inputparametere
- Modellen «kalibreres» i perioden før anleggsstart
- Modellen «kjøres» gjennom anleggsperioden
- Faktisk poretrykksreduksjon forårsaket av innlekkasje til tunnel ( $\Delta U$ ) estimeres til avviket mellom modellert og målt poretrykk



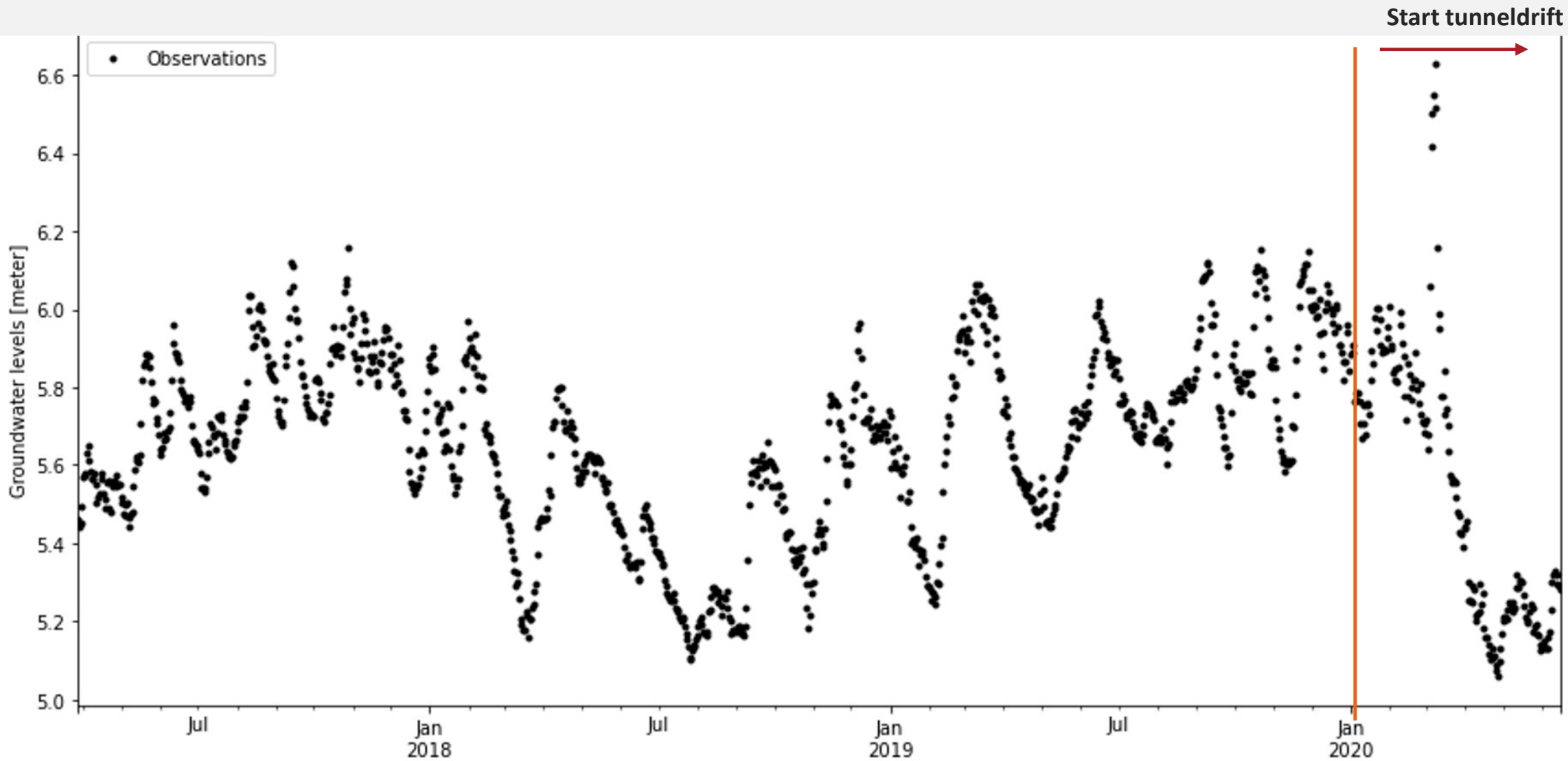
# Transfer-function modell for simulering av grunnvannstand

- ↗ Etablert metode for modellering av grunnvannstand i blant annet Nederland, Østerrike
- ↗ Open-source Python bibliotek «**Pastas**»\*
- ↗ 2 tidsserier:
  - **Input** = infiltrasjon (nedbør – estimert fordampning)
  - **Output** = poretrykk
- ↗ Daglige verdier for nedbør og temperatur hentes med API fra Meteorologiske Institutt - Blindern Målestasjon (frost.met.no)

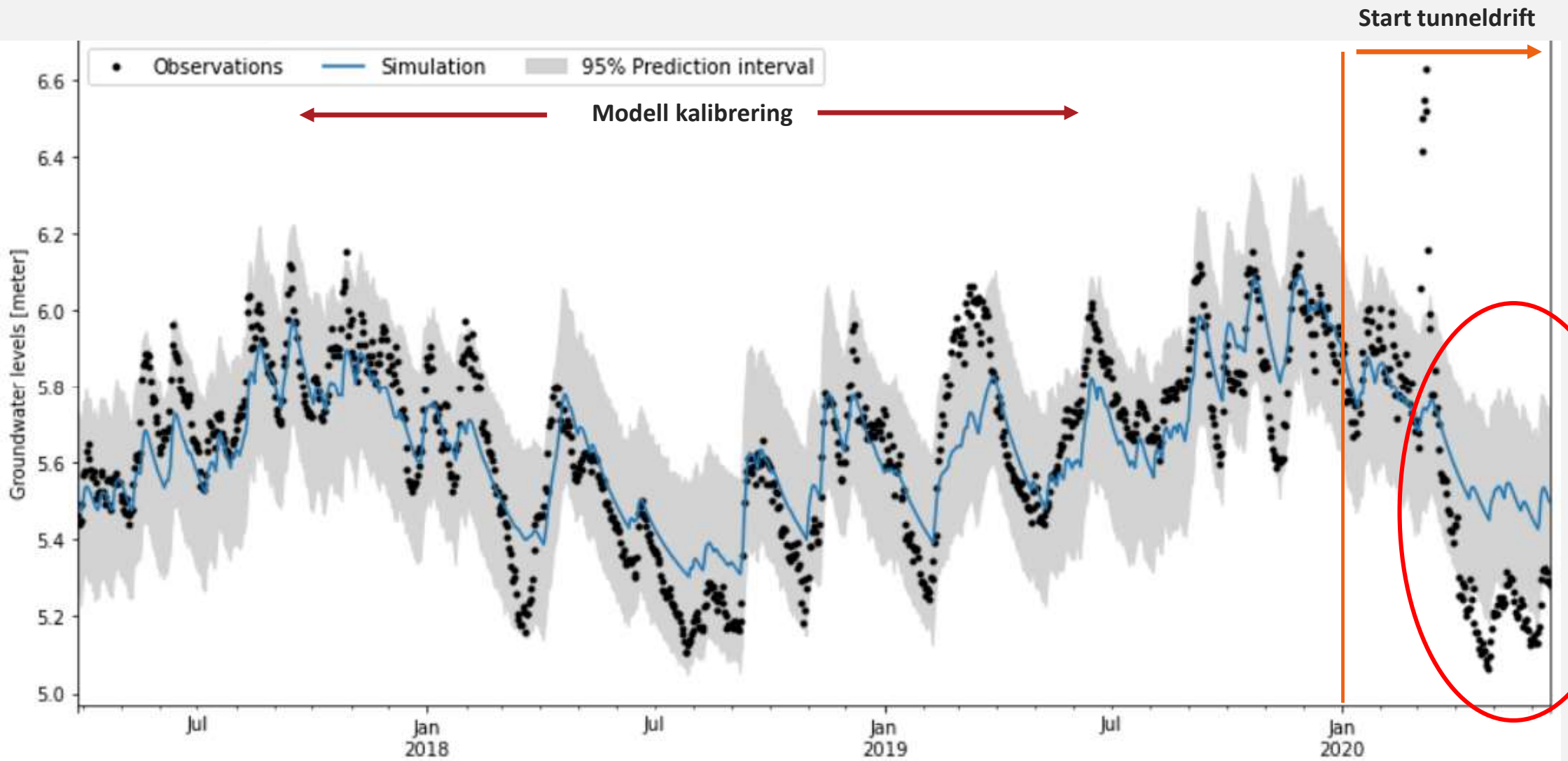


$$h(t) = \int_0^t N(\tau)\theta(t-\tau)d\tau$$

# Resultater

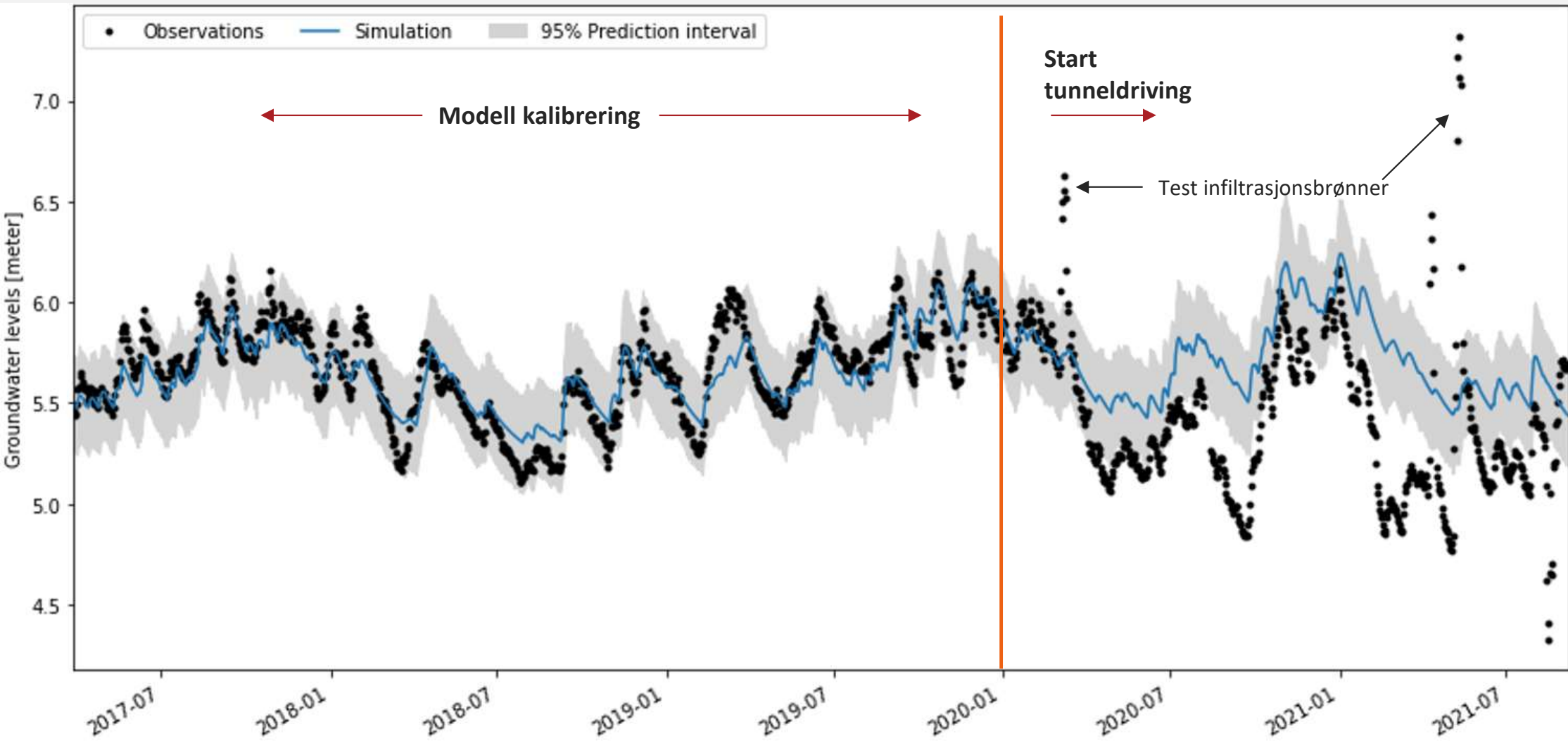


# Vår 2020 med modell





# Modellering 2020-2021



# Oppsummering

- ↗ Fortsatt i testfasen, men potensiale i fremtidige prosjekter
- ↗ Utfordringer
  - Marginal lengde på tidsseriene, optimalt med > 3 års måleserie før anleggsstart
  - Ikke alle dyprenner viser seg å være like avhengig av nedbør/evaporasjon, da fungerer ikke denne modellen
  - Snø, tele og frost kompliserer bildet (på RKV har snø/snøsmelting forsøkt korrigert for)
  - Utfordrende å beskrive usikkerhet til tidsseriemodeller generelt

Spørsmål?

## Diskusjon del 2

- Har dere hatt lignende utfordringer med å tolke poretrykksdata underveis i et anleggsprosjekt? Har naturlig variasjon komplisert bildet?

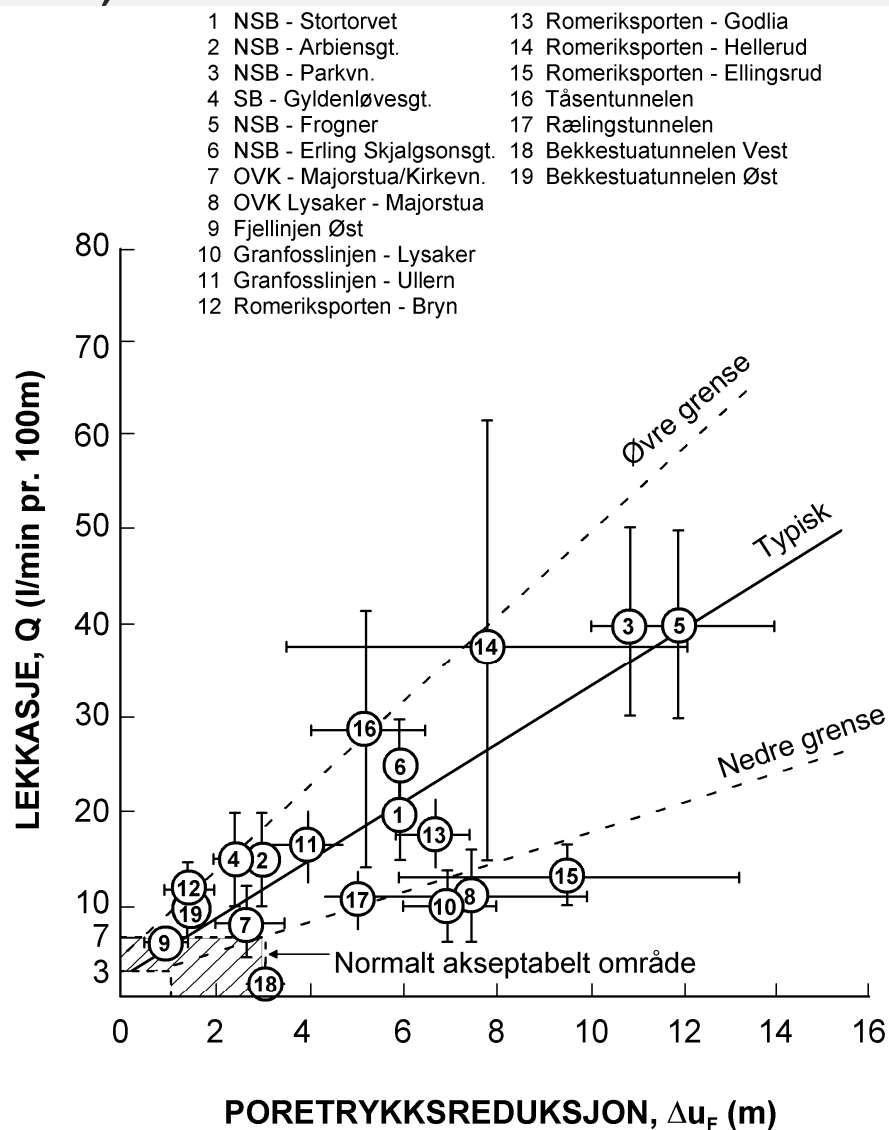
## Del 3 Gruppearbeid:

Hvor tett klarer vi egentlig å få det med forinjeksjon under Oslo? Bør vi utforske nye metoder?

# Utfordringer

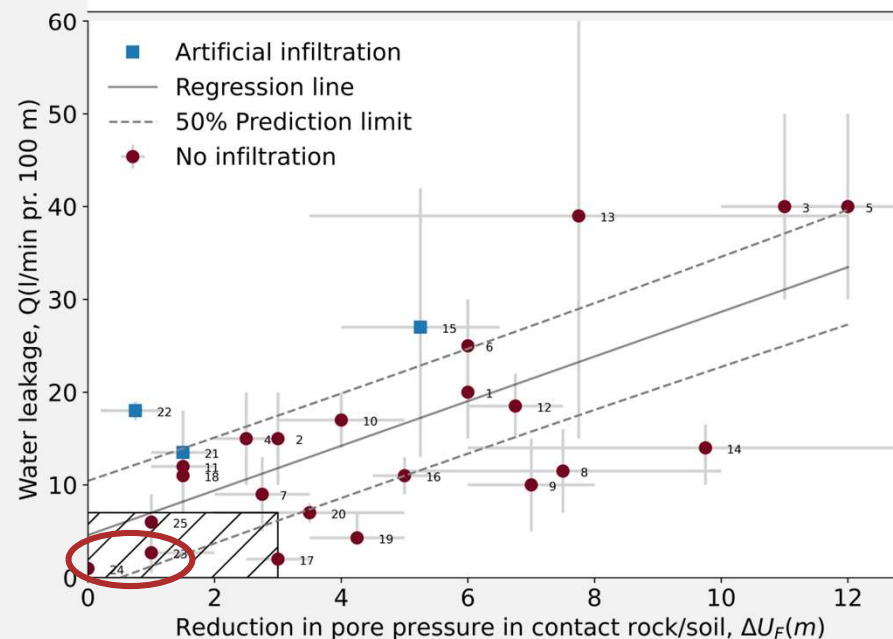
- Grunnlag for vurdering av tetthetskrav i SVV Publ. 103 (2003)  
 $q = 3-7 \text{ l/min/100 m}$  tilsier  $\Delta u$  begrenses til 1-3 m
- Mange tunneler planlagt i samme område – overlappende influensområder – enda strengere krav til tetthet  
*Eksempel: Majorstuen stasjon – eksisterende T-bane tunnel, VEAS-tunnel, ny Fornebubane og ny T-banetunnel (+ store utbyggingsprosjekt)*
- Klarer vi å få fremtidige tunneler tett nok uten vanntett utstøping (\$\$\$)?

# SVV, 2003



# Holmøy mfl., 2019

- |                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| 1: NSB - Stortinget stasjon (1975)   | 14: Romeriksporten, Ellingsrud (1997)           |
| 2: NSB - Arbiensgt. (1979)           | 15: Tåsentunnelen (1998)                        |
| 3: NSB - Parkvn. (1979)              | 16: Rælingstunnelen (1997)                      |
| 4: NSB - Gyldenløvesgt. (1979)       | 17: Bekkestutunnelen, Gjønnnes (1994)           |
| 5: NSB - Frogner (1979)              | 18: Bekkestutunnelen, Egne hjem (1994)          |
| 6: NSB - Erling Skjalgsonsgt. (1979) | 19: Lørentunnelen (2013)                        |
| 7: OVK Majorstua- Kirkeveien (1977)  | 20: T-baneringen Ullevål-Nydalen (2002)         |
| 8: OVK Lysaker-Majorstua (1982)      | 21: Fjellinjen Vest (1989)                      |
| 9: Granfoss, Lysaker (1991)          | 22: Nye Nationaltheatret st. (1997)             |
| 10: Granfoss, Ullern (1991)          | 23: Bærumstunnelen Lysaker-Sandvika (2009)      |
| 11: Romeriksporten, Bryn (1997)      | 24: NSB - National. - Skøyen (etterinj.) (1979) |
| 12: Romeriksporten, Godlia (1997)    | 25: Statsbygg-energy (2020)                     |
| 13: Romeriksporten, Hellerud (1997)  |   |



# Diskusjonspunkter del 3

➤ Gå sammen med 2-3 andre og diskuter følgende:

1. Kan vi med selvsikkerhet si at vi klarer å oppnå 1-3 l/min/100 m ved å bruke dagens metoder for forinjeksjon?
2. Bør man se på nye metoder for utførelse?
  - Bruk av vanntapsmålinger i kontrollhull?
  - Bruk av kolloidal silika?
  - Kombinasjon mikrosement og kolloidal silika?
  - ....





#påsikkergrunn

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT  
NGI.NO