



To-stegs injeksjon: forsøk Fornebubanen

NFF temadag – Fremtidens injeksjonsprosedyre

Eivind Stein – NGI

Bakgrunn

- ↗ Flere pågående og nye tunnelprosjekter i Oslo-området, ofte strengt innlekkasjekrav
 - Setningsrisiko (leirfylte dyprenner, permeable masser over berg)
 - Sensitiv bebyggelse
 - Hensyn til ytre miljø
- ↗ Utfordringer i Oslo-området:
 - Lav overdekning
 - Nærliggende infrastruktur (andre tunneler, kjellere ++)
 - Varierende geologiske forhold (fks svake skifere og harde intrusiver)
- ↗ Bør vi utforske alternative injeksjonsmetoder? Potensial for
 - Økt tetthet - redusere omfang vanntett utstøping (!)
 - Mer rasjonell bruk av materialer (og tid?)
- ↗ Det er gjennomført en fullskala test av 2-steps injeksjon med kolloidal silika på Fornebubanen
 - Oslo kommune (Fornebubanen) og Implenia har stått for oppfølging og utførelse, bistand fra NGI underveis
 - Forsøk ifm. større masteroppgave om kolloidal silika (Siri Krokedal, NTNU)



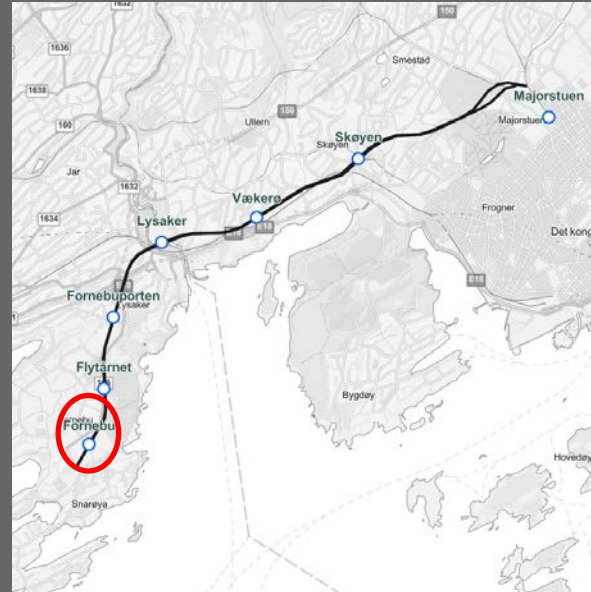
Fornebubanen Hovedtunnel

Fornebubanen

- Ny T-bane linje fra Majorstuen til Fornebu
 - 8.1 km, hovedsakelig under bakken
- Bergtunneler og stasjonshaller i berg
 - Flere partier planlagt med vanntett utstøping
- Teststrekning i hovedtunnel på Fornebu
 - 100 m
 - Ca. 7 m overdekning
 - 2-steps injeksjonsforsøk gjennomført på tre ulike stuffer:
 - Pel 9600
 - Pel 9568
 - Pel 9523



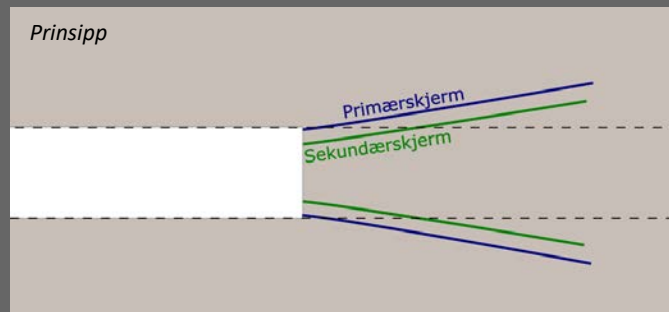
Stasjonshall illustrasjon



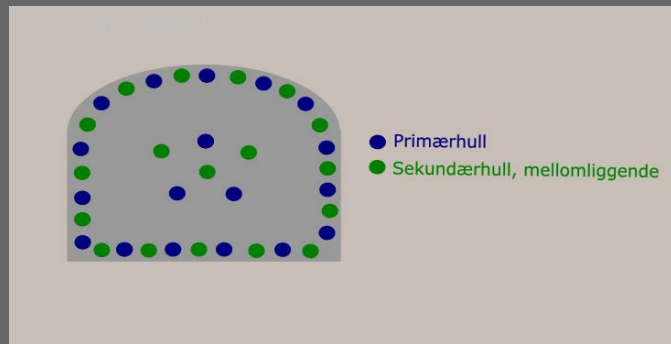
Oversiktskart

2-steps injeksjonsprosedyre - prinsipp

1. Primærskjerm bores med relativt stor hullavstand:
 - Tetter de groveste sprekene
 - Reduserer de største innlekkasjene og «homogeniserer» bergmassen
 - (Mindre gjennomgang til tette nabohull)
2. Sekundærinjeksjon i mellomliggende hull
 - Supplerer primærskjermen og tetter små riss og mindre sprekker (fintetting)



Prinsipp lengdesnitt

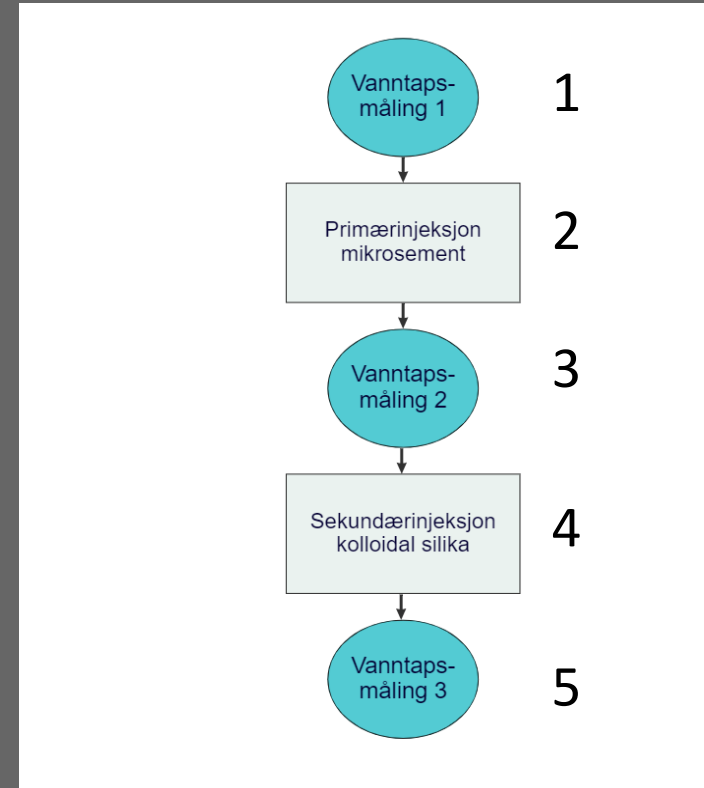


Prinsipp tverrsnitt

Stegvis prosedyre Fornebubanen

1. De fem første hullene i primærskjermen bores. Hullene vanntapsmåles før resten av skjermen bores opp
2. Primærinjeksjon med mikrosegment
3. De fem første hullene i sekundærskjermen bores. Hullene vanntapsmåles før resten av skjermen bores opp
4. Injeksjon med kolloidal silika
5. Fem kontrollhull bores og vanntapsmåles før boring for salve

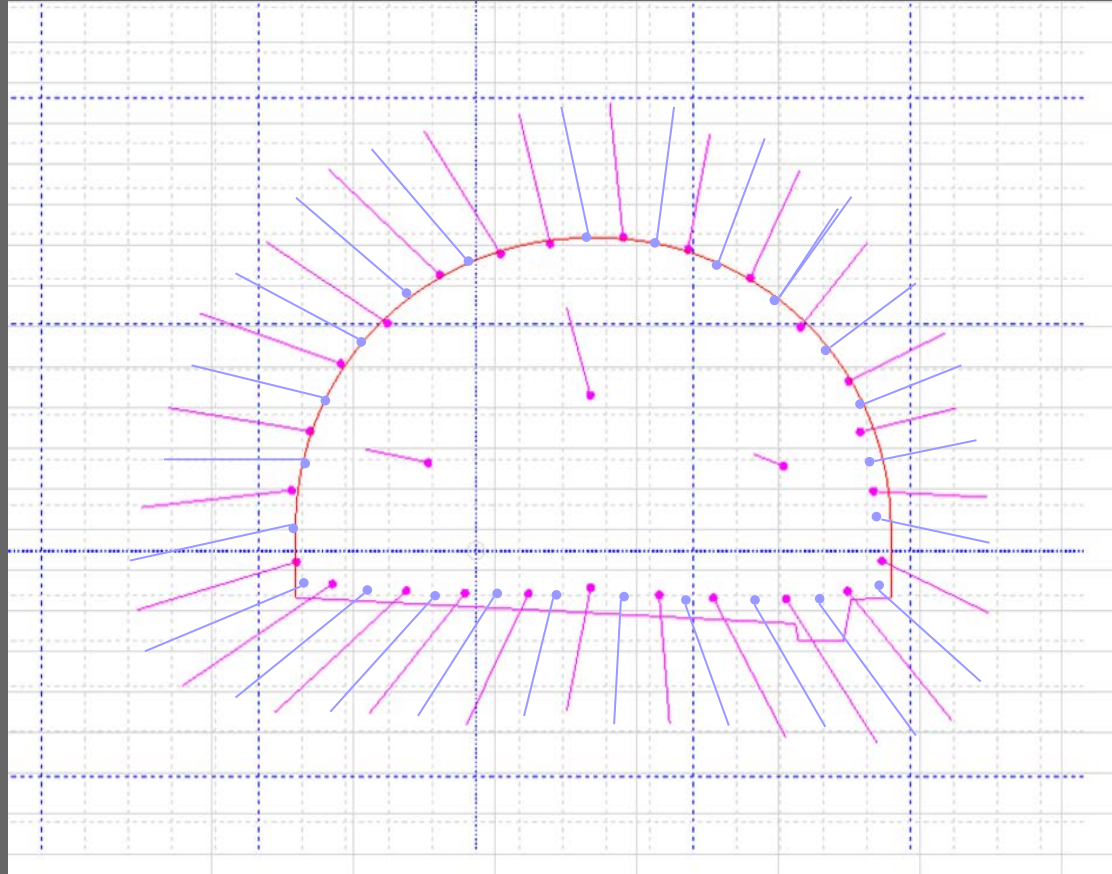
↗ Vanntapsmålingene gir oss indikasjon på effekt av de ulike skjermene hver for seg, og total oppnådd effekt etter begge skjermene er utført



Stegvis prosedyre 2-trinns injeksjon

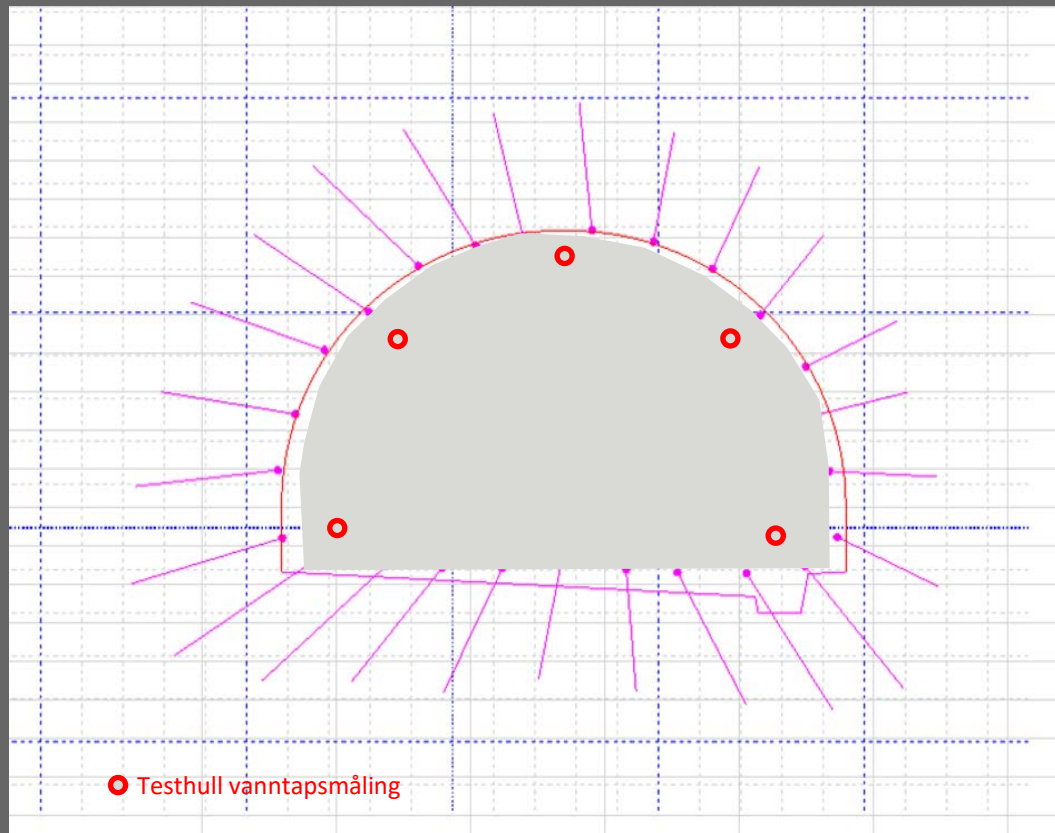
Opprinnelig injeksjonsdesign hovedtunnel

- ↗ 55 hull
- ↗ Ca. 0.7 m hullavstand
- ↗ Kontrollboring med utlekkasjemålinger i kontrollhullene



2-steps injeksjonsdesign teststrekning

- 2 injeksjonsrunder
- Ca. 28 hull pr. injeksjonsrunde
- Ca. 1.5 m hullavstand i primærskjerm MC
- Mellomliggende hull sekundærskjerm KS



Vanntapsmålinger

- Bruker trykksatt vann fra boreriggen
- Utstyr:
 - Flowmeter (mengde)
 - Manometer (trykk)
 - Kraner, slanger og koblinger
- Forenklete vanntapsmålinger
 - 10 bar måletrykk
 - 2x5 minutter
 - Noterer ned vannmengde og måletrykk pr. 5 minutters intervall
- Gjøres direkte etter boring av de første 5 hull i skjermen
- Boreriggen står på stoff, krever ikke omrigging, ekstra pumper eller vanntanker
- Boring av resten av skjermen fortsetter etter vanntapsmålingene er utført



Utstyr for vanntapsmåling koblet til vann på boreriggen



Utstyr for vanntapsmåling

Resultater

Resultater

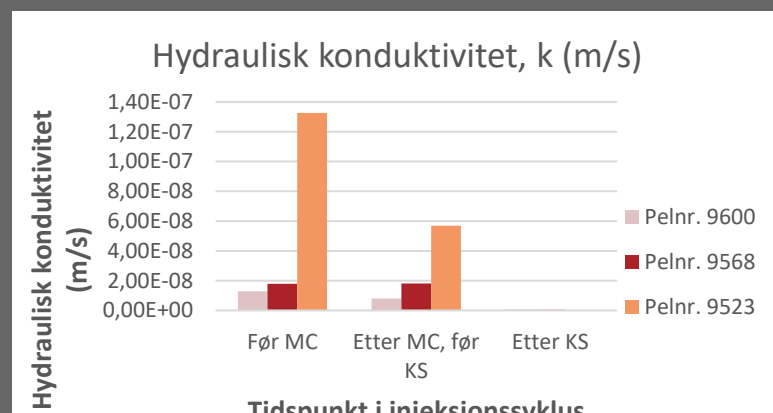
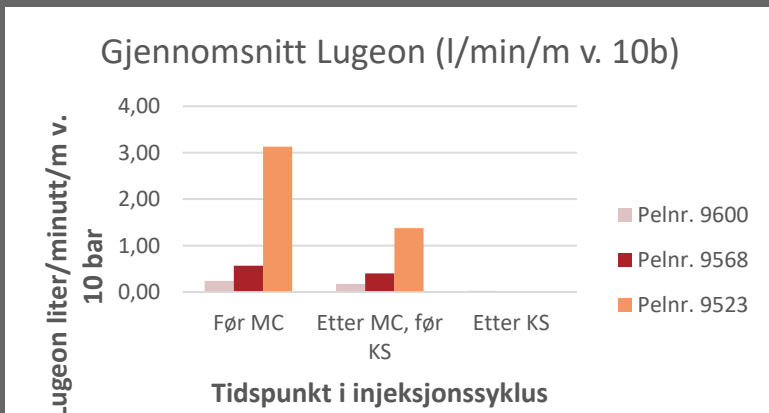
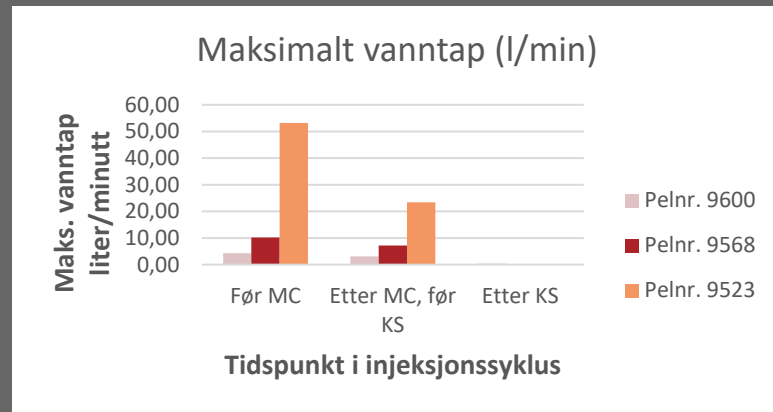
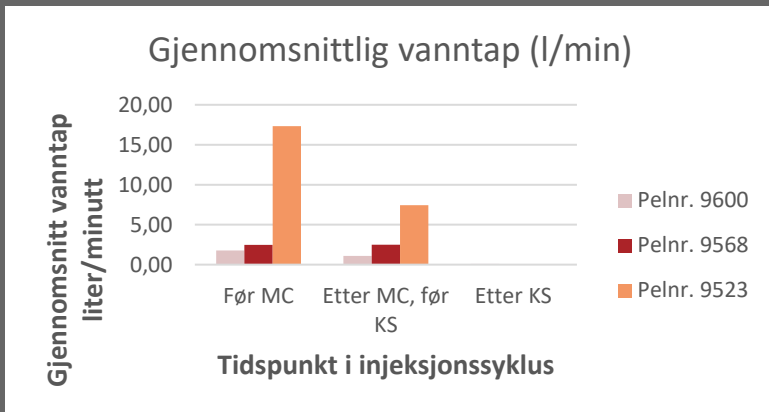
Pel 9600	Gjennomsnitt vanntap (l/minutt)	Maksimalt vanntap (l/minutt)	Gjennomsnitt Lugeon L	Hydraulisk konduktivitet* (m/s)	Materiale	Injisert mengde (kg)
Vanntapsmålinger før primærinjeksjon MC	1,8	4,3	0,1	$1,3 \cdot 10^{-8}$		
Primærinjeksjon MC	↓	↓	↓	↓	Norcem mikrosement	24 000 kg
Vanntapsmålinger etter primærinjeksjon MC	1,1	3,1	0,06	$7,9 \cdot 10^{-9}$		
Sekundærinjeksjon KS	↓	↓	↓	↓	Masteroc MP320 kolloidal silika	3 300 kg
Vanntapsmålinger etter sekundærinjeksjon KS	0,08	0,4	0,01	$6,9 \cdot 10^{-10}$		

Pel 9568	Gjennomsnitt vanntap (l/minutt)	Maksimalt vanntap (l/minutt)	Gjennomsnitt Lugeon L	Hydraulisk konduktivitet* (m/s)	Materiale	Injisert mengde (kg)
Vanntapsmålinger før primærinjeksjon MC	2,5	10	0,14	$1,8 \cdot 10^{-8}$		
Primærinjeksjon MC	↓	↓	↓	↓	Norcem mikrosement	7 000 kg
Vanntapsmålinger etter primærinjeksjon MC	2,5	7	0,14	$1,8 \cdot 10^{-8}$		
Sekundærinjeksjon KS	↓	↓	↓	↓	Masteroc MP320 kolloidal silika	3 700 kg
Vanntapsmålinger etter sekundærinjeksjon KS	0,04	0,2	0,0	$4,7 \cdot 10^{-10}$		

Pel 9523	Gjennomsnitt vanntap (l/minutt)	Maksimalt vanntap (l/minutt)	Gjennomsnitt Lugeon L	Hydraulisk konduktivitet* (m/s)	Materiale	Injisert mengde (kg)
Vanntapsmålinger før primærinjeksjon MC	17	53	1,0	$1,3 \cdot 10^{-7}$		
Primærinjeksjon MC	↓	↓	↓	↓	Norcem mikrosement	9 500 kg
Vanntapsmålinger etter primærinjeksjon MC	7,4	23	0,4	$5,7 \cdot 10^{-8}$		
Sekundærinjeksjon KS	↓	↓	↓	↓	Masteroc MP320 kolloidal silika	4 300 kg
Vanntapsmålinger etter sekundærinjeksjon KS	0,0	0,0	0,0	0,0		

* Estimert til $1,3 \cdot 10^{-7}$ m/s * L. - Quiñones-Rozo, Camilo, 2010. LUGEON TEST INTERPRETATION, REVISITED

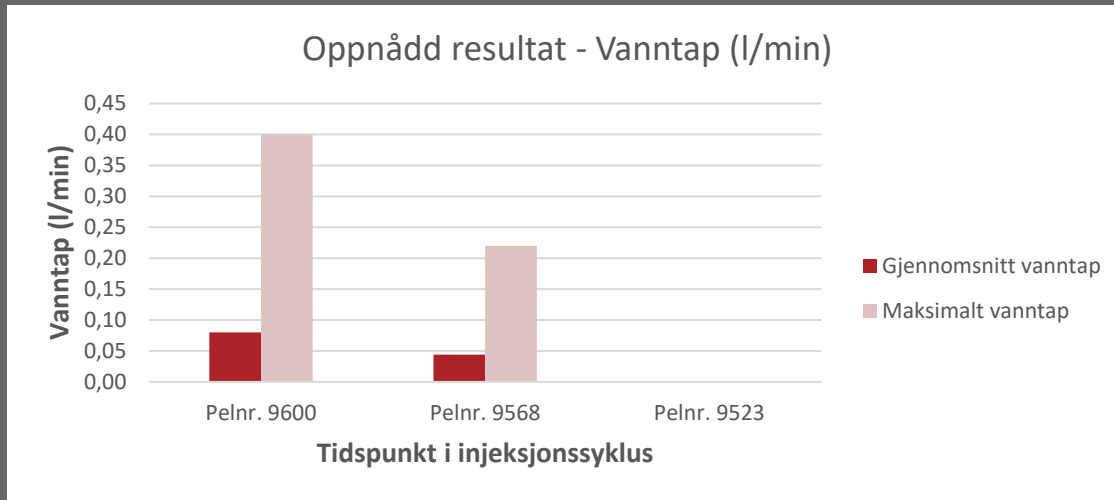
Resultater



Sluttresultat

	Gjennomsnitt vanntap (l/minutt)	Maksimalt vanntap (l/minutt)	Gjennomsnitt Lugeon L	Hydraulisk konduktivitet* (m/s)
Pel 9600	0,08	0,4	0,01	$6,9 \cdot 10^{-10}$
Pel 9568	0,04	0,22	0,004	$4,7 \cdot 10^{-10}$
Pel 9523	0,0	0,0	0,0	0,0

↗ Målt vanntap etter injeksjon er lavt for alle tre forsøk



Sluttresultat

Injeksjon pelnr.	Gjennomsnitt vanntap (l/minutt)	Maksimalt vanntap (l/minutt)	Gjennomsnitt Lugeon L	Hydraulisk konduktivitet* (m/s)
Pel 9600	0,08	0,4	0,01	$6,9 \cdot 10^{-10}$
Pel 9568	0,04	0,22	0,004	$4,7 \cdot 10^{-10}$
Pel 9523	0,0	0,0	0,0	0,0

* Estimert til $1,3 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}^* \text{ L}$ - Quiñones-Rozo, Camilo, 2010. LUGEON TEST INTERPRETATION, REVISITED

- ↗ Hydraulisk konduktivitet lavere enn $1.0 \cdot 10^{-9}$ for alle tre forsøk
- ↗ Gjelder også for pel 9523 der det ble påtruffet en del vann før injeksjon
 - Har stoppet større vannmengder og fått til fintettingen

Oppsummert

- ↗ Vanntapsmålingene viser gode resultater etter 2-steps injeksjon
- ↗ Sluttresultat antyder at kolloidal silika er effektivt injeksjonsmiddel for fintetting
- ↗ 2-steps injeksjon kan også fungere godt med andre kombinasjoner, f. eks. industrisement og mikrosegment, eller 2 runder mikrosegment ++
- ↗ Gjenstår å måle forskjell mellom normal injeksjon (full skjerm) og 2-trinns injeksjon i samme område
- ↗ Metode for vanntapsmålinger er enkel, kan gjøres relativt effektivt i driveprosessen
- ↗ Det er muligheter for forbedring og effektivisering, trenger flere prosjekter til fullskala testing

Innspill/spørsmål?



#påsikkergrunn