



# Nylige erfaringer med bruk av kolloidal silika (KS) til forinjeksjon

Seminar «Under Oslo»  
Oslo 5.4.2022

Karl Gunnar Holter  
Seniorspesialist, Ingeniørgeologi og bergteknikk

# Innhold

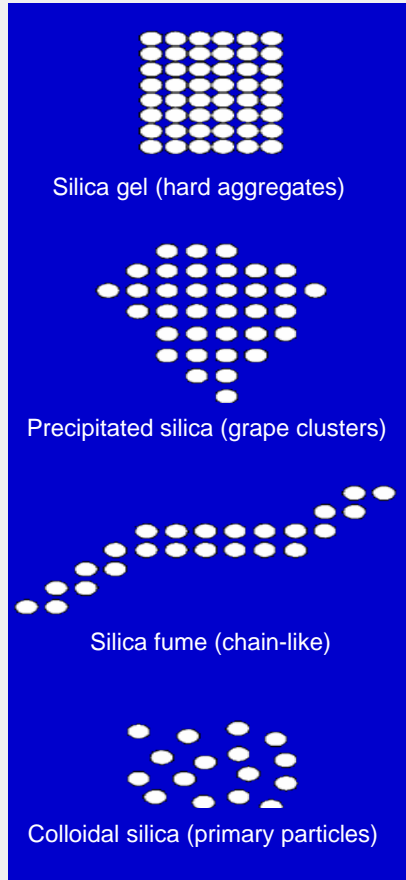
- 1) Formål med forinjeksjon med KS
- 2) Materialelegenskaper
- 3) Design og prosjekterfaringer fra Sverige, v/Johan Funehag
- 4) Muligheter og begrensninger vurdert ut i fra materialelegenskaper
- 5) Utførelse, injeksjonsteknikk
- 6) Metodikk og prosedyre
  - 1) Feltforsøk Oslo Kommune Fornebubanen januar – mars 2022
  - 2) Erfaringer med tunnel Oslo sentrum 2021
- 7) Oppsummering

# Formål med KS-injeksjon

- Oppnå svært høy tetthet der dette er nødvendig/hensiktsmessig
- Komplettere sementbasert forinjeksjonsmetodikk for å oppnå enda bedre sluttresultat
- Totalt mindre ressursforbruk, spesielt tidsforbruk på boring og pumping

# Materialegenskaper

Hva er kolloidal silika ?



- ↪ En stabil vandig dispersjon av diskrete, sub-mikroskopiske partikler
- ↪ Partiklene er sfæriske og består av 100% amorf  $\text{SiO}_2$  (ikke –krystallint)
- ↪ Geling av kolloidal silika er en fysisk prosess som katalyseres av ioner med sterk elektrostatiske lading (NaCl-oppløsning best egnet)
- ↪ Produksjonsprosessen muliggjør «skreddersydde» partikkelstørrelser innenfor et lite variasjonsområde i nanometrisk skala
- ↪ Stabilt og meget miljøvennlig

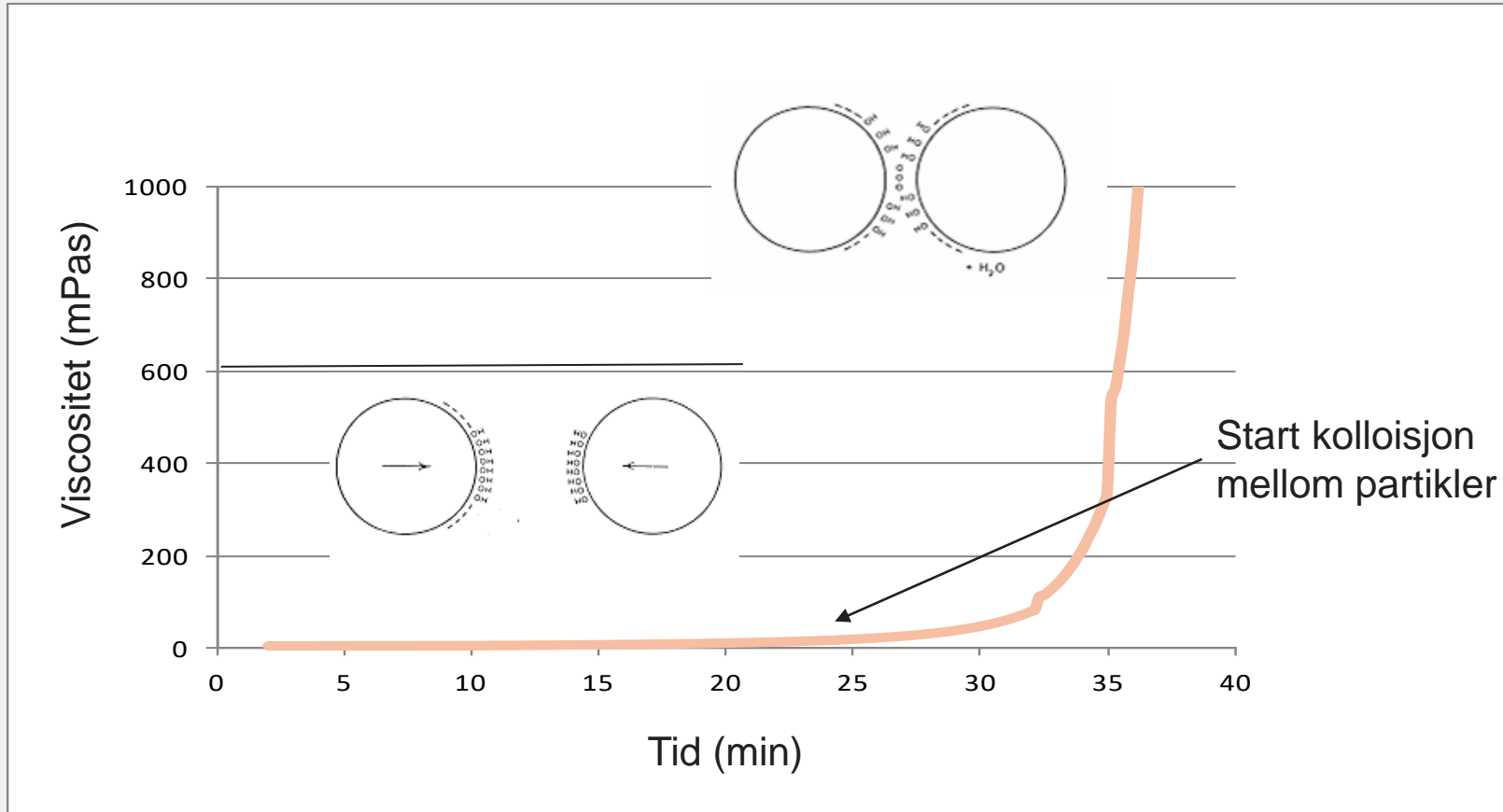
# Materiallegenskaper til kolloidal silika

- ↗ En basiskomponent og en akselerator, i realiteten en katalysator som øker kollisjonsfrekvensen mellom partiklene som fører til geldannelse
- ↗ Katalysatoren er NaCl i vandig oppløsning 10%
- ↗ Kontrollerbar geltid fra ca 10 minutter opp til ca 2,5 timer
- ↗ Svært lav viskositet, ca 5 mPa·s
- ↗ Høy penetrasjonsevne i fine riss og fin sand
- ↗ Temperaturintervall for anvendelse : +5 til +45 °C
- ↗ pH ca 9, ingen løsemidler eller giftige komponenter
- ↗ Ved rF >95% ingen uttørking eller krympning
- ↗ Kan være svært kostnadseffektivt sammenliknet med kjemisk injeksjon



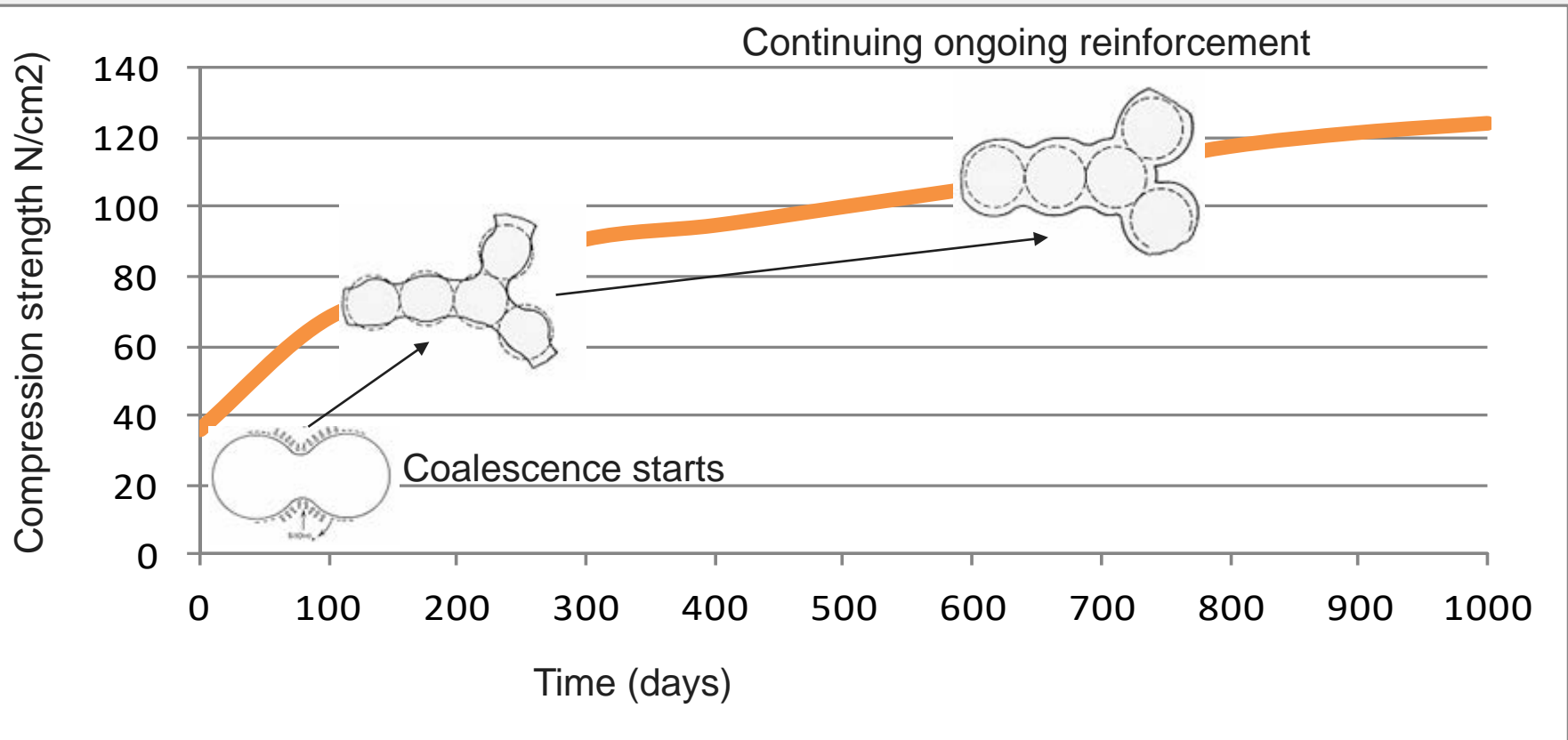
# Materialegenskaper

Herding skjer ved en fysisk reaksjon mellom  $\text{SiO}_2$  partiklene, økt kollisjonsfrekvens



# Materialgenskaper

Kontinuerlig økende styrke over lang tid



# Muligheter og begrensinger

## Mulige fordelaktige anvendelser

- Injeksjon i berg for å oppnå svært høy tetthet
- Utnytte materialets lave viskositet for tetting i fine riss
- Spesielt godt egnet som tilleggsinjeksjon etter første tetting med sementbasert injeksjon
- God inntrenging ved lavere injeksjonstrykk enn sementsuspensjoner
- Egnet for enkel veksling til/fra sementbasert injeksjon, samme injeksjonsutrustning benyttes
- Injeksjon der forurensning med sement ikke er akseptabelt

## Erfarte begrensninger

- Materialet har relativt lav styrke i ren herdet tilstand
- Materialet reagerer gradvis ved herding, og kan være disponert for utvasking/fortynning av vann før det herder



# Utførelsesprosedyre - fremgangsmåte

## Mest vanlig: injeksjon som et én-komponent material

- Den ønskede geltiden fastsettes ved prøveblanding av basis-komponenten (komp A) og akseleratoren , viktig å prøveblende ved realistisk temperatur
- Typiske geltider: 40-60 minutter
- Batch-størrelser: 150 – 200 liter
- Materialet blandes i mikseren eller omrøreren til injeksjonsriggen
- Akseleratordoseringer i størrelsesorden 15 – 20%

## Opsjon: to-komponent metoden

- Komponent A og akselerator injiseres som et to-komponent system ved å benytte pumpe-enheten for styrt herding på injeksjonsriggen
- Kan være aktuelt der raske geltider er ønskelig
- Akselaratordoseringer i størrelsesorden 25-35 %

# Injeksjonsutrustning og metodikk

- Både en- og to-komponent injeksjonsprosedyre mulig med kolloidal silika

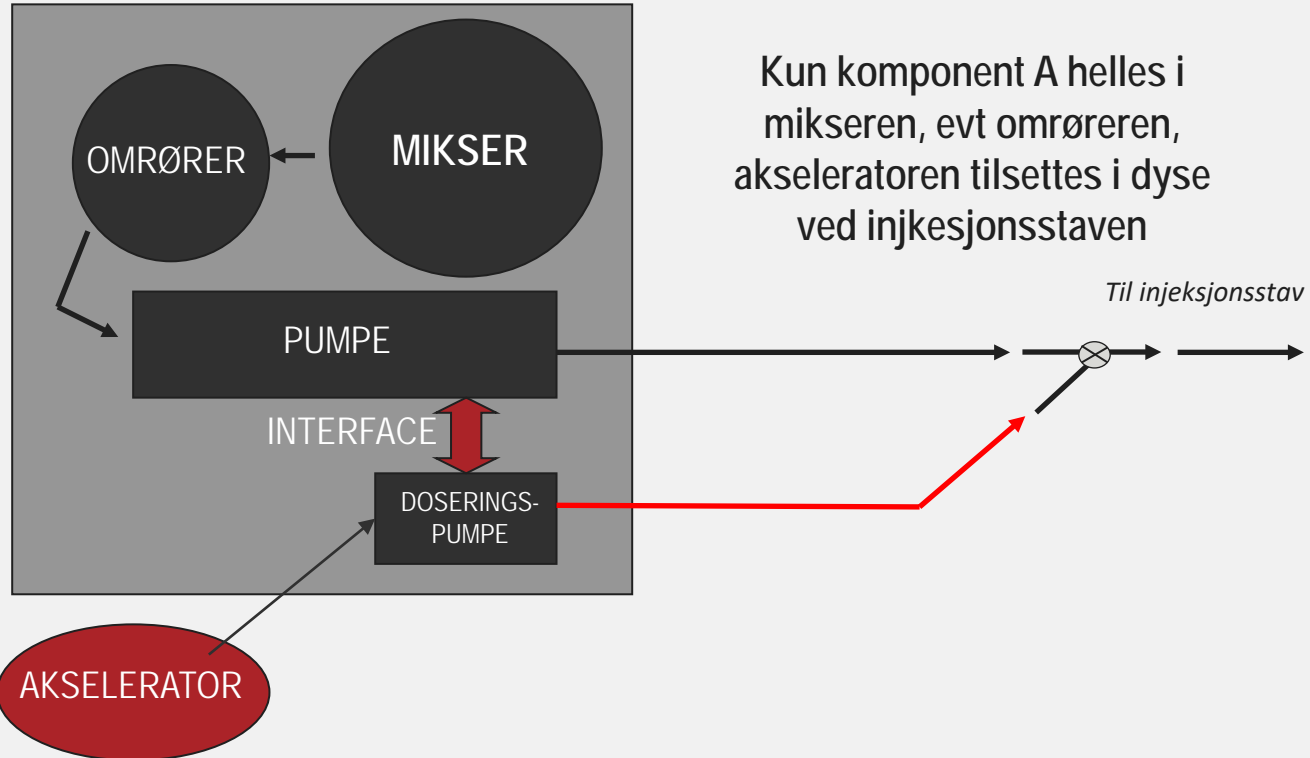
En-komponent prosedyre, standard injeksjonsrigg med tre hovedkomponenter:



# Injeksjonsutrustning og metodikk

- Både en- og to-komponent injeksjonsprosedyre mulig med kolloidal silika

To-komponent prosedyre, med doseringutrustning for styrt herding:

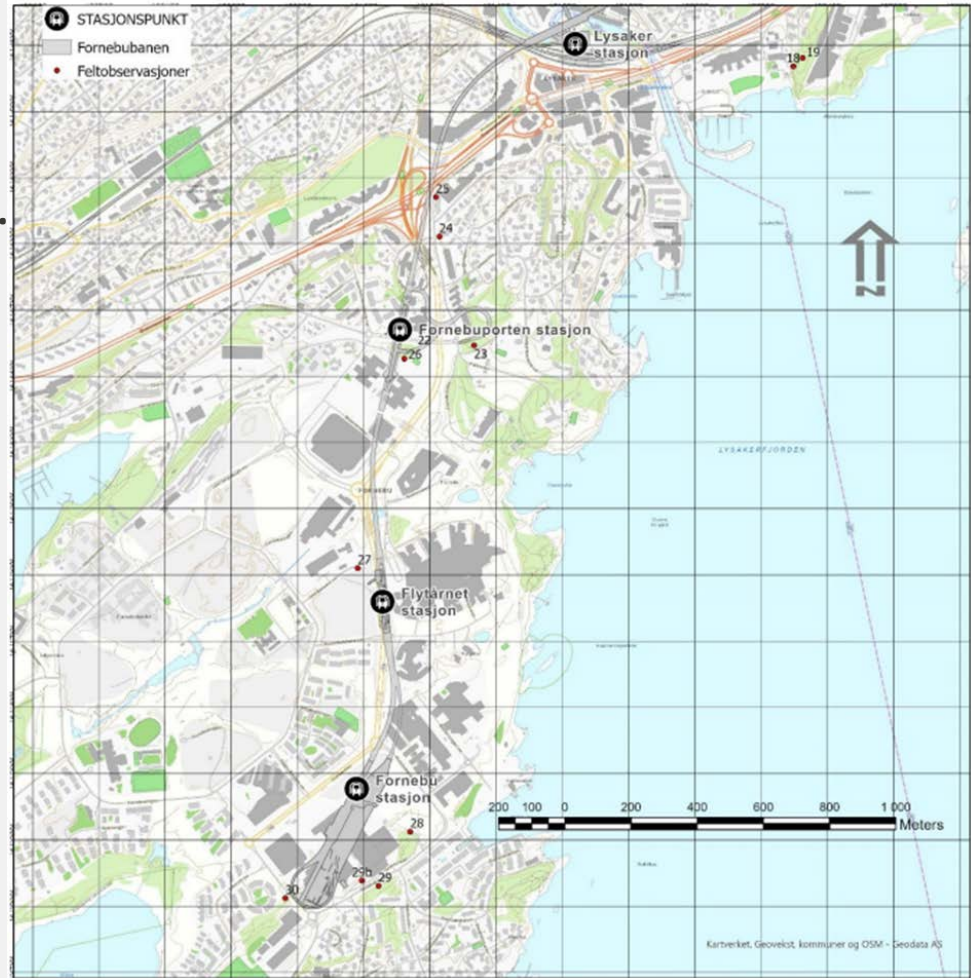


# KS-injeksjon på Fornebubanen - bakgrunn

- Fornebubanen var interessert i gjennomføre et fullskala forsøk med forinjeksjon med kolloidal silika (KS)
- KS er beskrevet i anbudet for tunnelkontraktene på Fornebubanen
- Entreprenøren på kontrakten Fornebu-Lysaker hadde ingen erfaring med bruk KS
- Oslo Kommune Fornebubanen og NTNU/IGP inngikk et samarbeid i form av en masteroppgave om detaljert oppfølging og dokumentasjon av forsøk med KS injeksjon
- Formål med KS injeksjon: oppnå svært høy tetthet som tilleggsinjeksjon til sementbasert basert injeksjon
- Rasjonalisere metodikk, redusere totalt ressursforbruk

# KS-injeksjon på Fornebubanen

➤ Injeksjon med kolloidal silika.

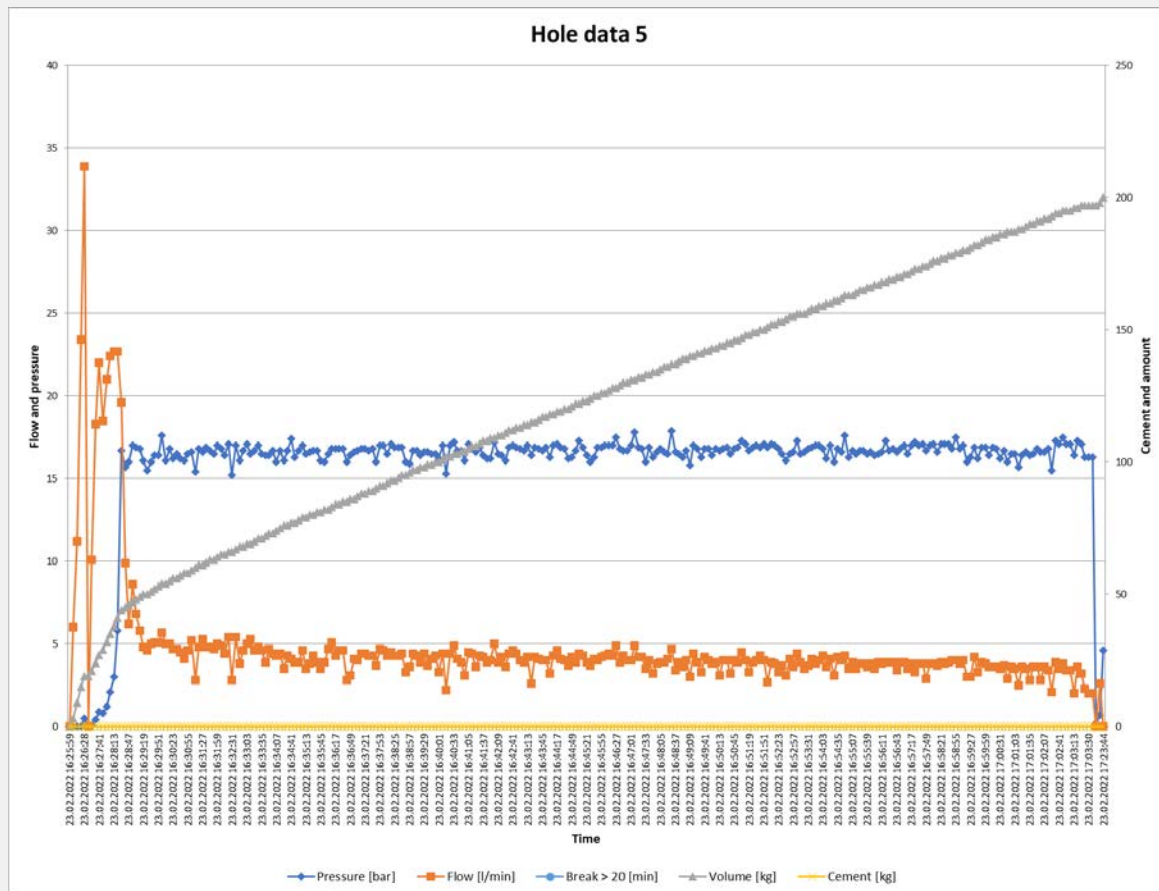


# KS-injeksjon på Fornebubanen – masteroppgave ved NTNU/IGP – vårsemesteret 2022

- Måling av material egenskaper i Rheometer
- Sammenlikne med materialegenskaper til sementsuspensjoner
  - Foreslå justeringer/forbedringer av disse
- Oppfølging og registrering av injeksjonsparametere
- Måling av oppnådd resultat
- Foreslå justeringer
- Masterstudent Siri Krokedal
  - Veileder: Førsteamanuensis II Karl Gunnar Holter

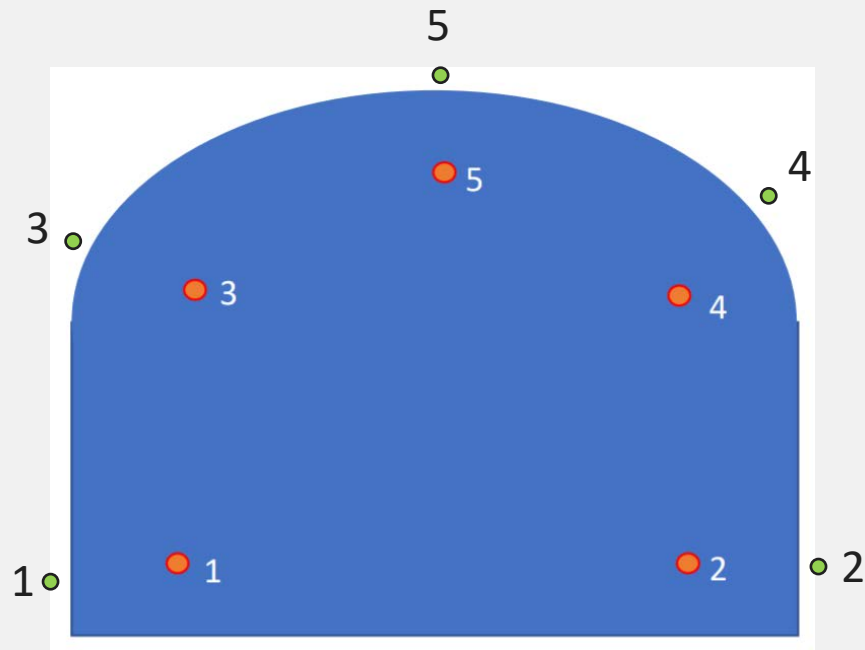
# KS-injeksjon på Fornebuibanen

- Stoppkriterium på max trykk og mengde
- Max trykk differensiert etter hullplassering, lavest trykk i heng pga lav bergoverdekning
- Max injisert mengde per hull ved max pumpetrykk: 200 liter



# KS-injeksjon på Fornebuibanen

- ↗ Dokumentasjon av oppnådd virkning av injeksjon ved vanntapsmålinger
- ↗ Vanntapsmåling utføres i en lang seksjon i hullet med pakker plassert på ca 2,5 m dyp
- ↗ Vanntapsmålinger utført på tre tidspunkter i hver injeksjonsomgange
  1. Før Mikrosementinjeksjon
  2. Før KS injeksjon
  3. Etter KS injeksjon
- ↗ Hull for vanntapsmåling i 1. og 2. inngår injeksjonsskjermen, men bores og vanntapsmåles før hele injeksjonsskjermen bores opp
- ↗ Hull for vanntapsmåling i 3. ble boret i bergvolumet som skal sprenges ut
- ↗ Justering av prosedyre:
  - Kontrollhull etter KS injeksjon plasseres i konturen
  - Alle kontrollhull plugges/injiseres





# KS-injeksjon på Fornebuibanen

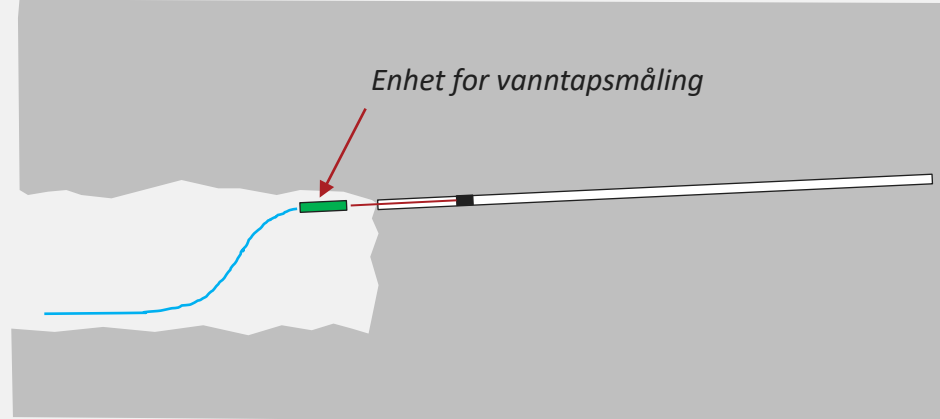
## Enkel og funksjonell metode for vanntapsmålinger

- Flowmeter og manometer kobles til vannledning på borrhigen, denne leverer ca 15 bar max trykk
- Trykket justeres til ønsket pumpetrykk til vanntapsmålingen
- Et pumpes til konstant flow/trykk er oppnådd

*Utstyr for forenklet vanntapsmåling i injeksjonshull*

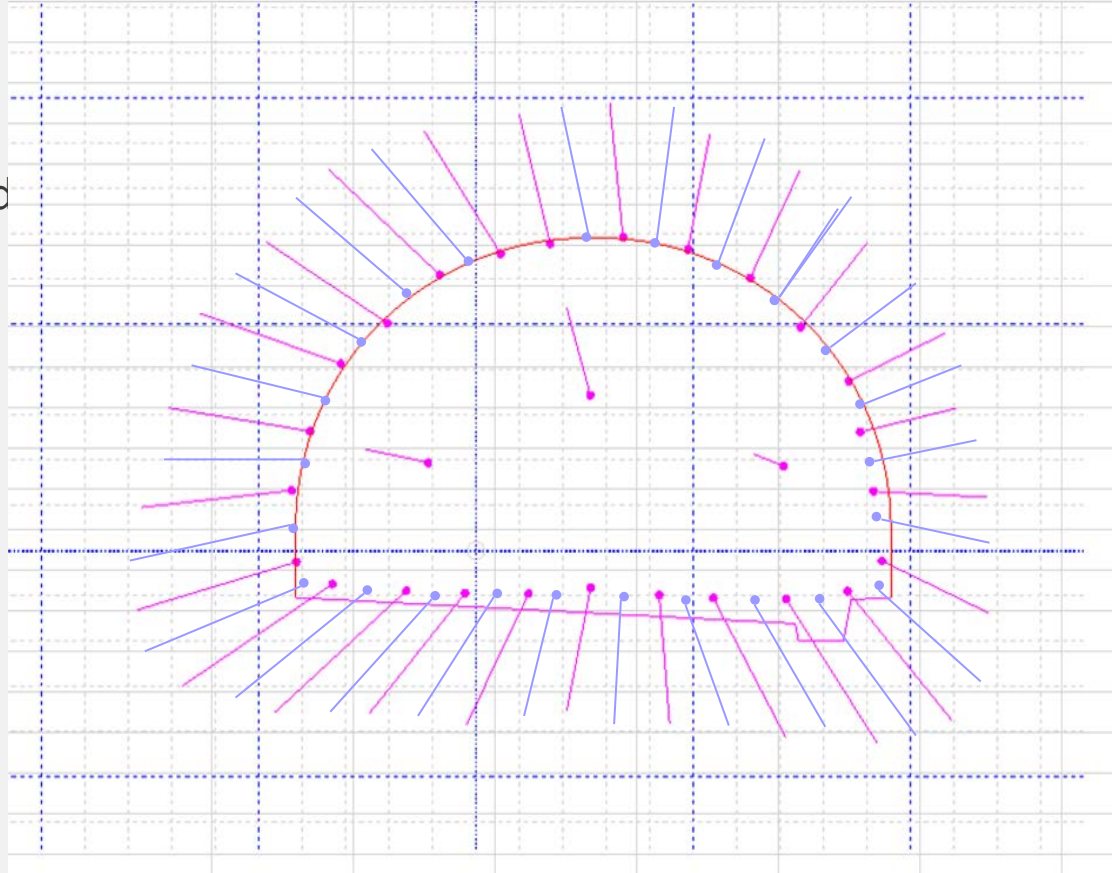


*Vanntapsmåling i injeksjonshull, lengdesnitt*



# KS-injeksjon på Fornebuibanen

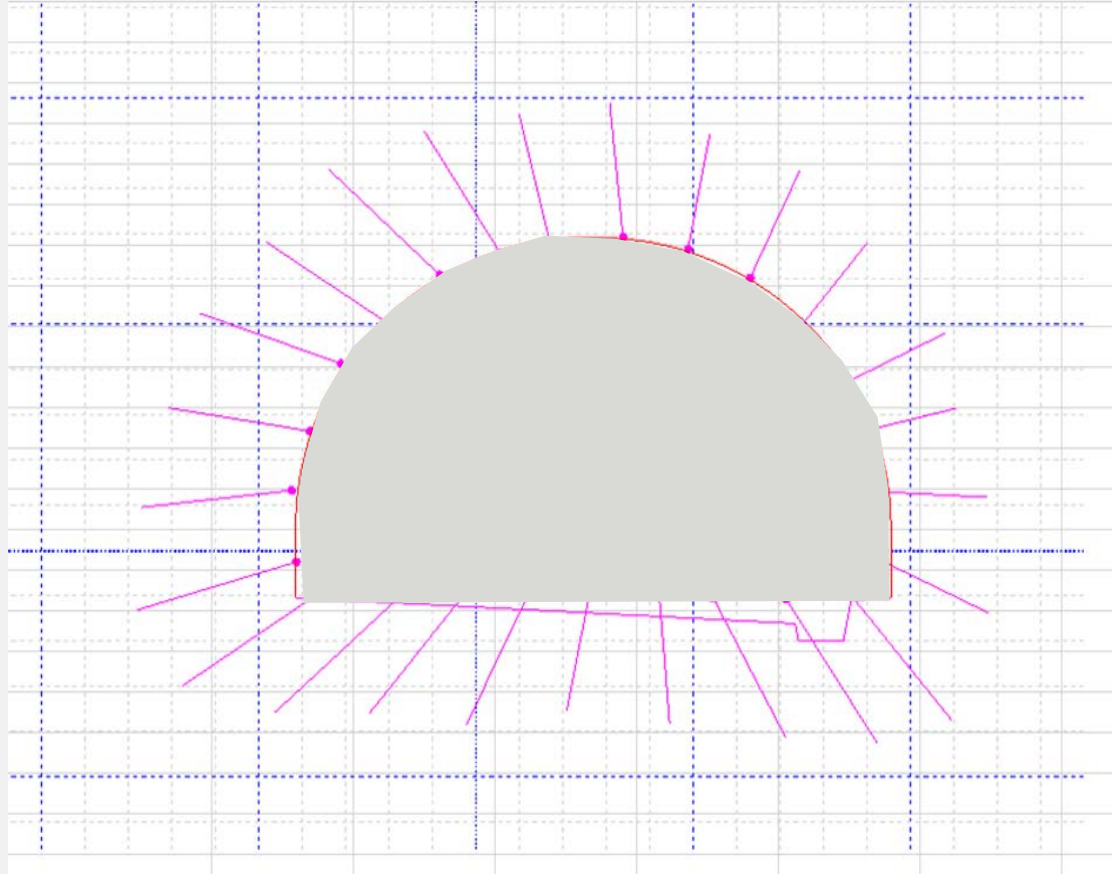
- Opprinnelig injeksjonsdesign:
  - Ca 55 hull fordelt i kontur med ca 0,7 m hullavstand
  - Alle hull bores opp og injiseres med en type blanding
  - Kontrollboring med utlekkasjemålinger i kontrollhullene



# KS-injeksjon på Fornebubanen

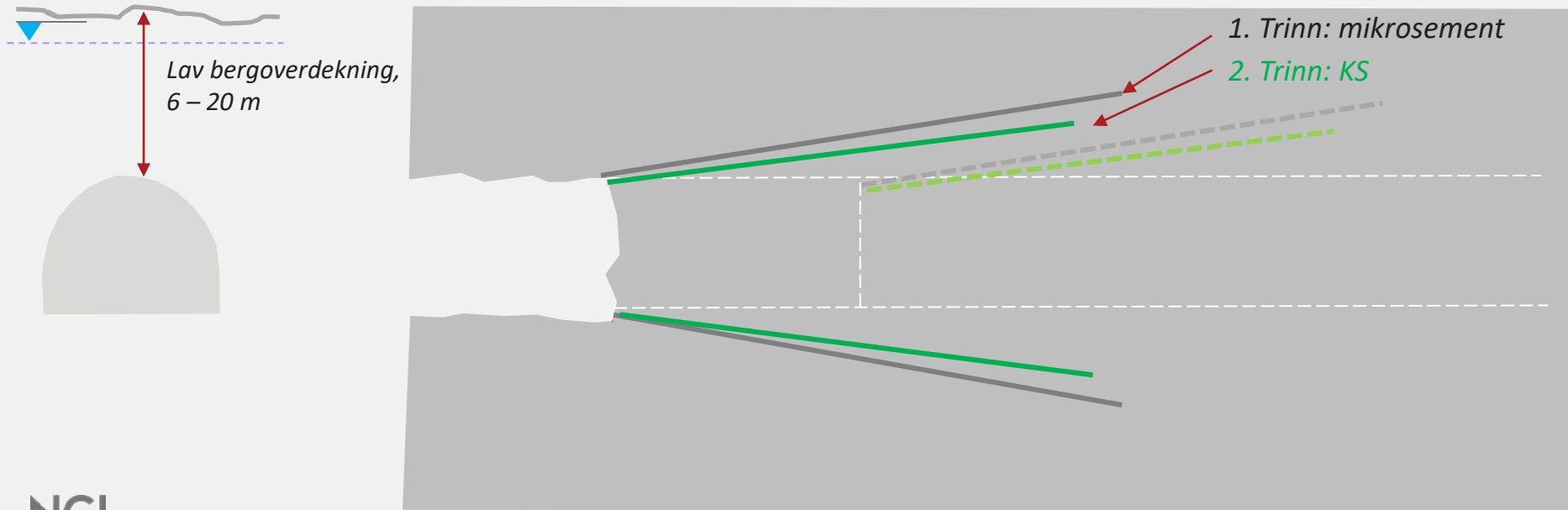
## Justert injeksjonsdesign:

- To trinns prosedyre
  - Trinn 1. mikrosementinjeksjon
  - Trinn 2 KS injeksjon
- Ca 28 hull fordelt i kontur med ca 1,5 m hullavstand i hvert trinn
- 5 av disse hullene bores først og vanntapsmåles før de resterende 23 hullene bores
- Kontroll av resultat med vanntapsmålinger før og etter injeksjon



# KS-injeksjon på Fornebubanen

Injeksjonsmetodikk, konfigurasjon av injeksjonsskjermer



# Fornebubanen: oppnådd tetting med KS

Resultater fra to injeksjonsskjermer:

Pel 9600	Gjennomsnittlig vanntap	Lugeon	Estimert hydraulisk konduktivitet, k	Injisert mengde	Injisert material
Før MS	1,78 l/min	0,10	$1,3 \cdot 10^{-8}$ m/s		
Før KS	1,1 l/min	0,06	$7,9 \cdot 10^{-9}$ m/s	24'000 kg	Norcem mikro
Etter KS	0,08 l/min	0,01	$6,9 \cdot 10^{-10}$ m/s	3'300 kg	MasterRoc MP320 Kolloidal silika

Pel 9568	Gjennomsnitt vanntap	Lugeon	Estimert hydraulisk konduktivitet, k	Injisert mengde	Injisert material
Før MS	2,48 l/min	0,14	$1,8 \cdot 10^{-8}$ m/s		
Før KS	2,00 l/min	0,11	$1,4 \cdot 10^{-8}$ m/s	7'000 kg	Norcem mikro
Etter KS	0,08 l/min	0,01	$7,3 \cdot 10^{-10}$ m/s	3'700 kg	MasterRoc MP320 Kolloidal silika

# Hvordan kontrollere og vurder oppnådd injeksjonsresultat

- Målinger i kontrollhull umiddelbart etter injeksjon
  - Måling av lekkasjer i kontrollhullene
  - Vanntapsmålinger i kontrollhullene
- Observasjoner i tunnelen
  - måling av innlekkasje i tunnelen i terskeldammer med en viss avstand/interval
  - Observasjoner av lekkasjer/fuktpunkter i tunnelkonturen (skanning, fotografering)
- Respons på poretrykk
  - Poretrykkssensorer i nærheten vil kunne gi målbar effekt av innlekkasje i tunnelen i form av poretrykksreduksjon

# Hvordan vurdere oppnådd injeksjonsresultat over tid ?

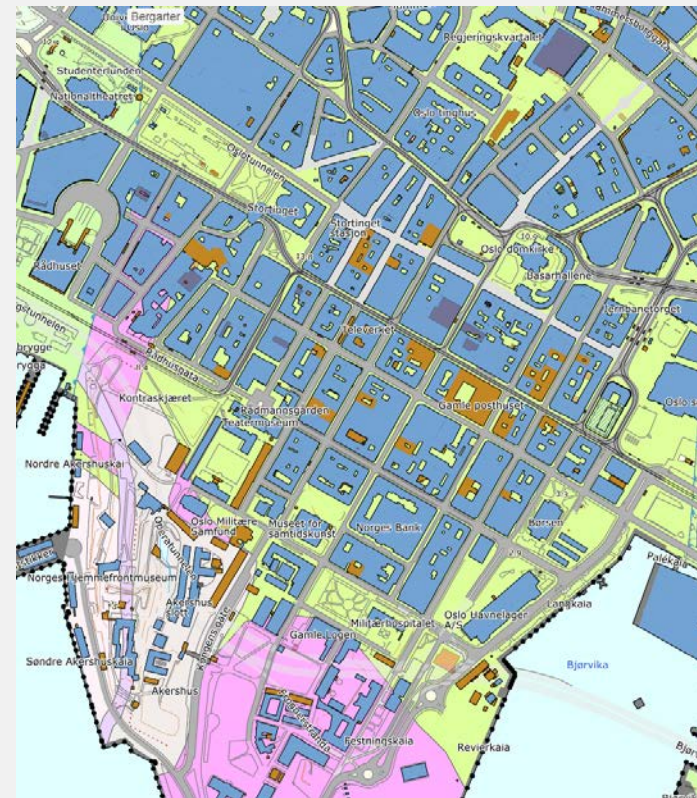
- ↗ Skanning av bergsikringsoverflaten rett etter driving
- ↗ Oppfølgende skann med intervaller
  - Påvise eventuelle endringer over tid.



*Skann av bergoverflate i parti som er injisert med KS*

# KS-injeksjon i Oslo sentrum (RKV Energiforsyning)

- TBM
- Intrusivbergarter og svartskifer
- Svartskifer naturlig ganske tett, injisert med kolloidal silika som førstevalg for å øke tetthet ytterligere
- Prosedyre:
  1. Bore injeksjonshull foran stoff, registrere innlekkasje fra hullene
  2. Vurdere injeksjonsmateriale
    - Hvis tørre hull eller små lekkasjer → Kolloidal silika
    - Hvis større lekkasjer → Mikrosement
- Forbedret arbeidsmiljø i TBM med kolloidal silika (mindre støv)





# Oppsummering:

- Riktig bruk av KS injeksjon kan gi betydelig total kostnadsreduksjon
  - Reduserte totalkostnader for injeksjon
  - Mulig eliminering av planlagt vannrettet betonglining i flere partier



Byggeindustrien bygg.no

Les Byggeindustrien.dig



UCO leier ut alt av maskiner og utstyr til bygge- og anleggsbransjen.

Vi lanserer nå ny hjemmeside [www.uco.no](http://www.uco.no)

**UCO**<sup>®</sup>

ALT DU BEHØVER Å HUSKE



## Hva skjer nå med Fornebubanen?

Publisert 06.04.2022 00:29

Fredag ble det kjent at Fornebubanen går på en ny milliardsprek. Økningen er på flere milliarder kroner, og kan økes ytterligere når lønns- og prisvekst tas med. Dette kan få store konsekvenser for hele samferdselssatsingen i hovedstadsområdet, og selvsagt også for Fornebubanen selv.

Sjefredaktør Arve Brekkhus

f t in

annonse



Kjære leser!

For å fortsette å lese må du logge inn eller kjøpe et abonnement.

