



Fra behovsprøvd injeksjon til behovsprøvd vann- og frostsikring

Gjennomføring av en ny
injeksjonsmetodikk utviklet av NGI og
SINTEF på Hestnestunnelen

03.05.2023

Marte Hyllseth – ingeniørgeolog Hestnestunnelen



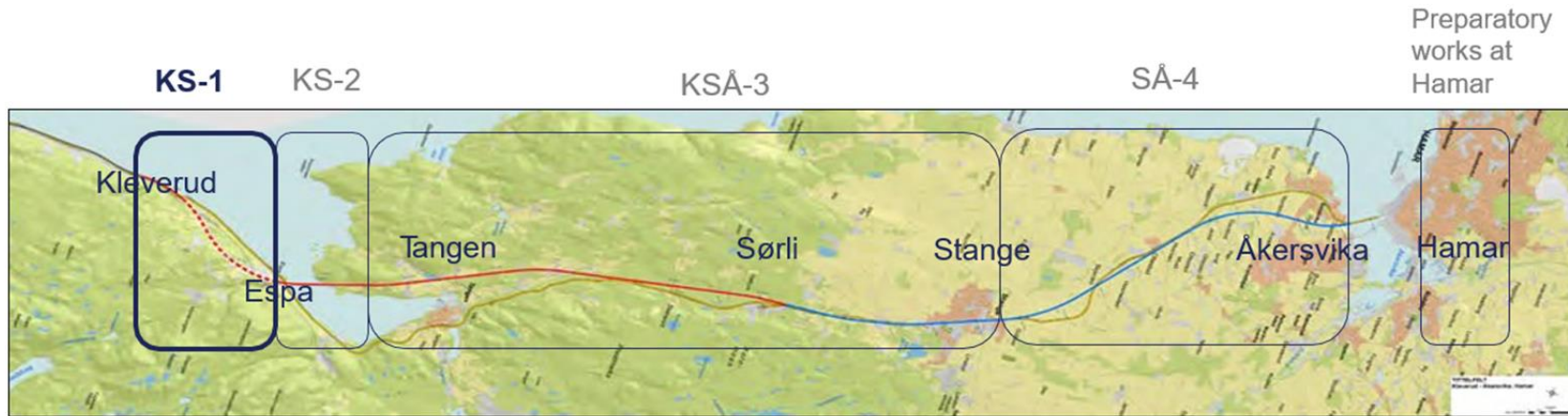
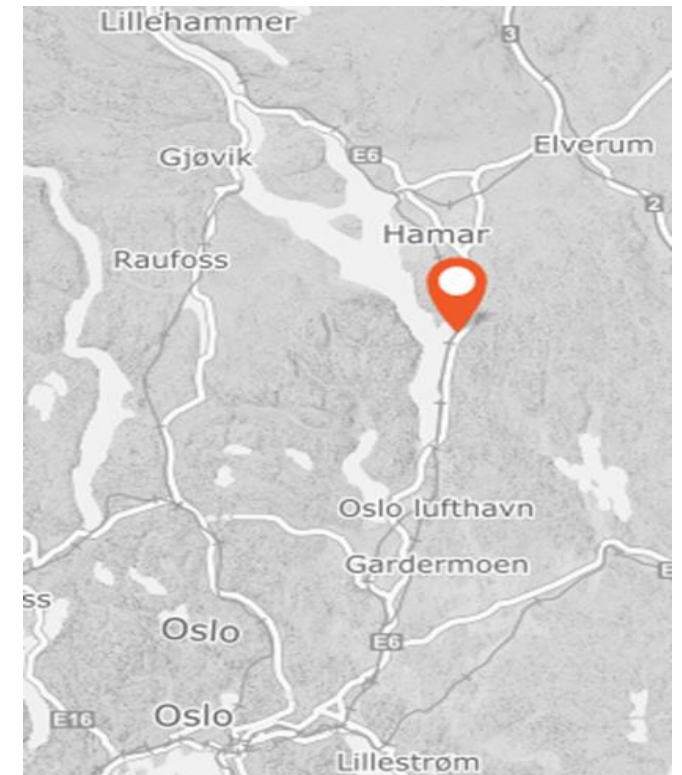
Disposisjon

01. Kort om prosjektet
02. Beskrivelse av metodikk
03. Foreløpige erfaringer

KS-1 Hestnestunnelen

Kort om prosjektet, byggherre, kontrakt

- Prosjektet: Del av Intercityutbygging med dobbeltspor på Dovrebanen
- Byggherre: Bane NOR
- Entreprisform: Totalentreprise, NTK15
- Plassering: Kleverud-Espa, Stange kommune, Innlandet fylke



Fra Kleverud til Espå

KS-1 Hestnestunnelen

- Geologi:
 - Grunnfjell: Øyegneis med innslag av amfibolitt/amfibolittisk gneis.
- Bergtunnel med hovedløp 3,1 km og tverrslag 850 m som blir framtidige rømningsveger (+ 1,2 km dagsone), ca. 125 m²
- Hovedtunnel passerer E6 to steder med henholdsvis ca. 15 og 25 m overdekning
- Ca. 400 m av tunnelen er i område med svært lav overdekning (mindre enn 15 m, ned mot 5 m).



Vann- og frostløsning – optimaliseringer

- I utgangspunktet vann- og frostløsning med kontaktstøpt betonglining.
 - Behovsprøvd injeksjon: krav på 10 l/min/100 m
 - Stort betongforbruk.
 - Kostbart og lite bærekraftig.
- Optimaliseringsforslag fra Veidekke
 - Systematisk injeksjon med formål å redusere behov for vann- og frostsikring og benytte sprøytbar membran.
 - Injeksjonsprosedyre utviklet av NGI og SINTEF

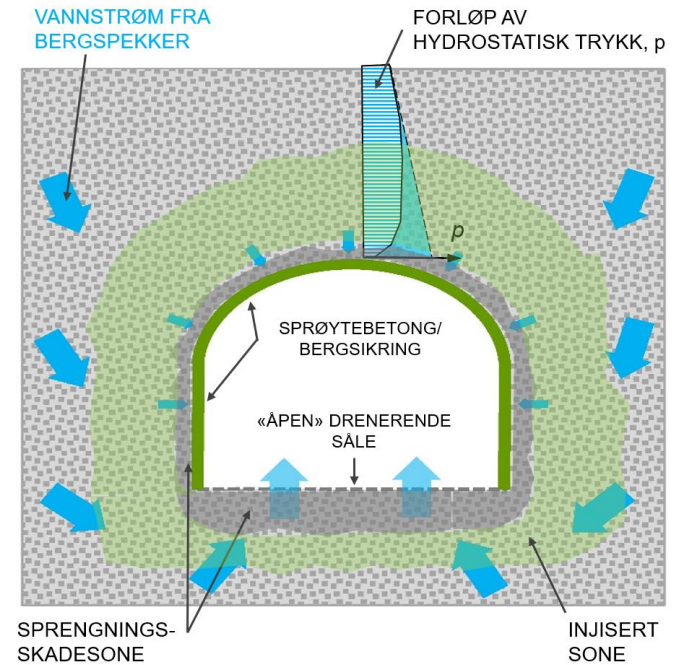


Montert membran med forskalingsvogn til betongstøp – UDK01 Drammenstunnelen

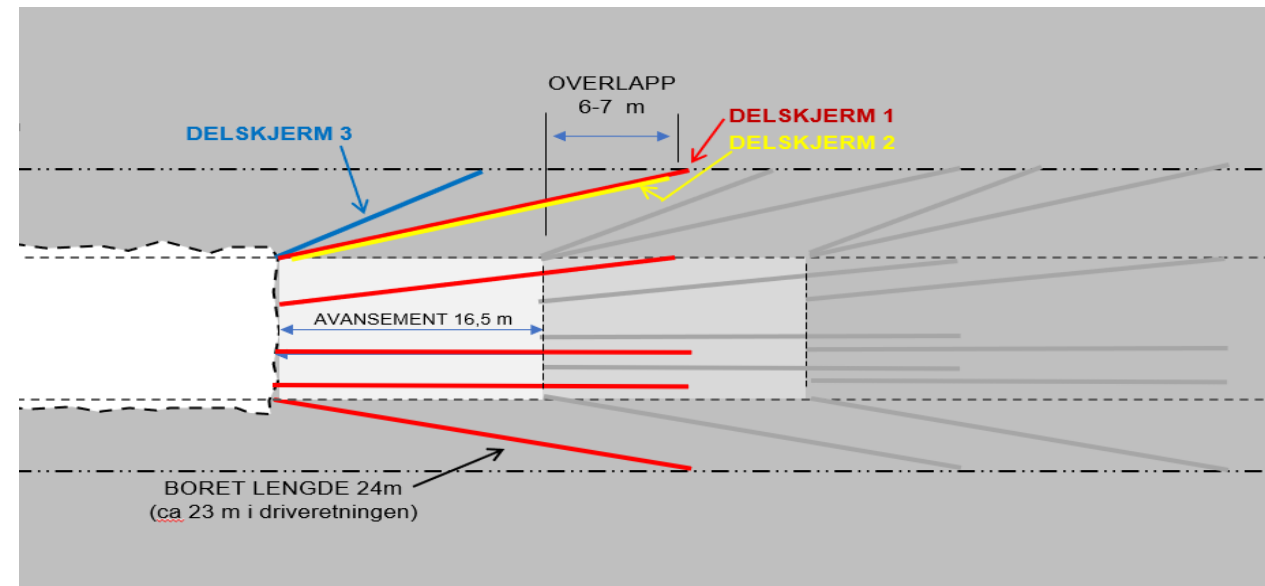
Ny injeksjonsstrategi

Hovedprinsipper

- Mål:
 - Såle: Tillate en noe mer åpen såle for å oppnå et lavere hydrostatisk trykk i resten av profilet.
 - Vegg, vederlag og heng: Så lite innlekkasje som mulig, kun fuktflekker.
- Systematisk minimum 2 injeksjoner pr. profilnummer (stuff).
 - Delskjerm 1: Grovtetting med microsement.
 - Delskjerm 2: Fintetting med kolloidal silika.
 - Delskjerm 3: Ekstra hull /skjerm for å dekke kritisk snitt mellom skjermer (boltesone).



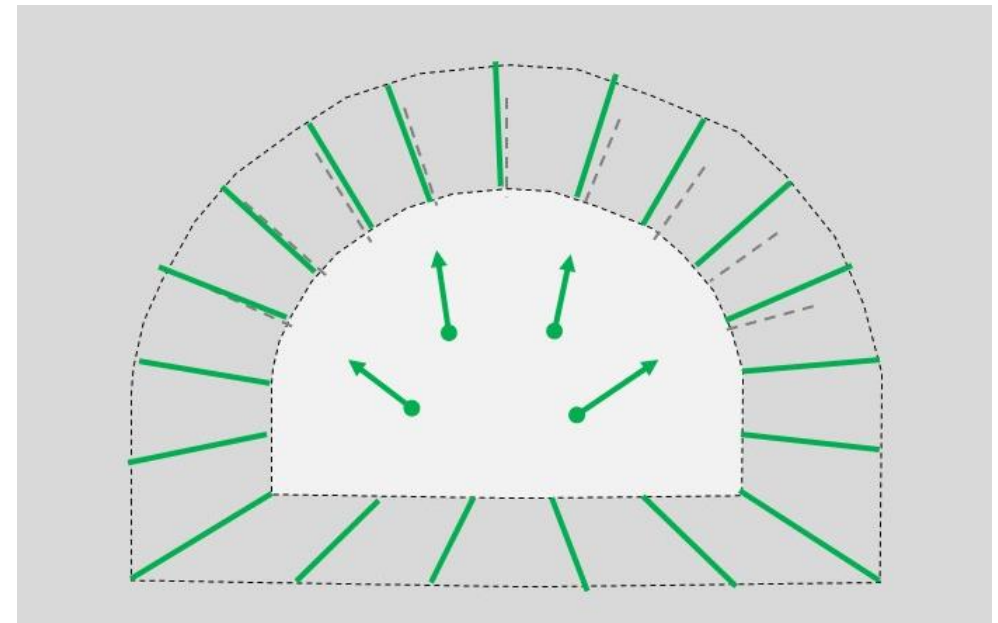
Prinsipp for vanntetting med forinjeksjon – NGI/SINTEF



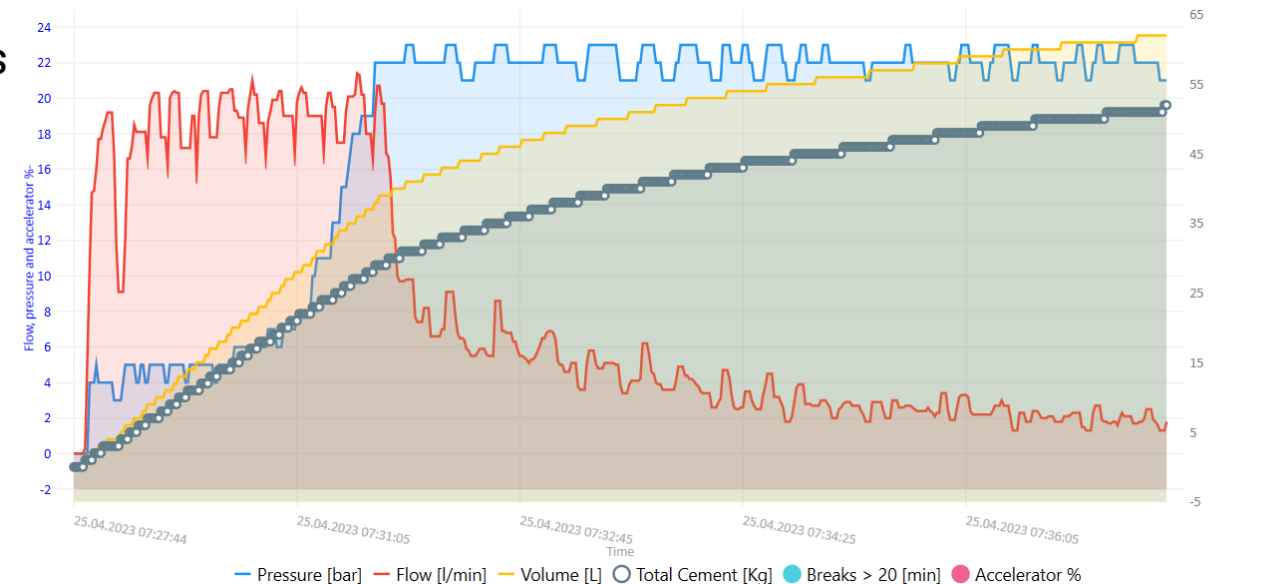
Ny injeksjonsstrategi

Delskjerm 1: Grovtetting

- Injeksjonsmiddel: Microsement
- Ikke fokus på å oppnå stopptrykk
 - Mål å fylle grove sprekker og riss.
 - Unngå undøvendig stor ingang og høyt forbruk
 - Bytter raskt til lavere v/c-tall (0,7 – 0,5)
- Ved utfordrende forhold og lav overdekning utføres delskjerm 1 i 2 omganger.
 - 1) Såle og stuff
 - 2) Resten av profilet



Målområde delskjerm 1

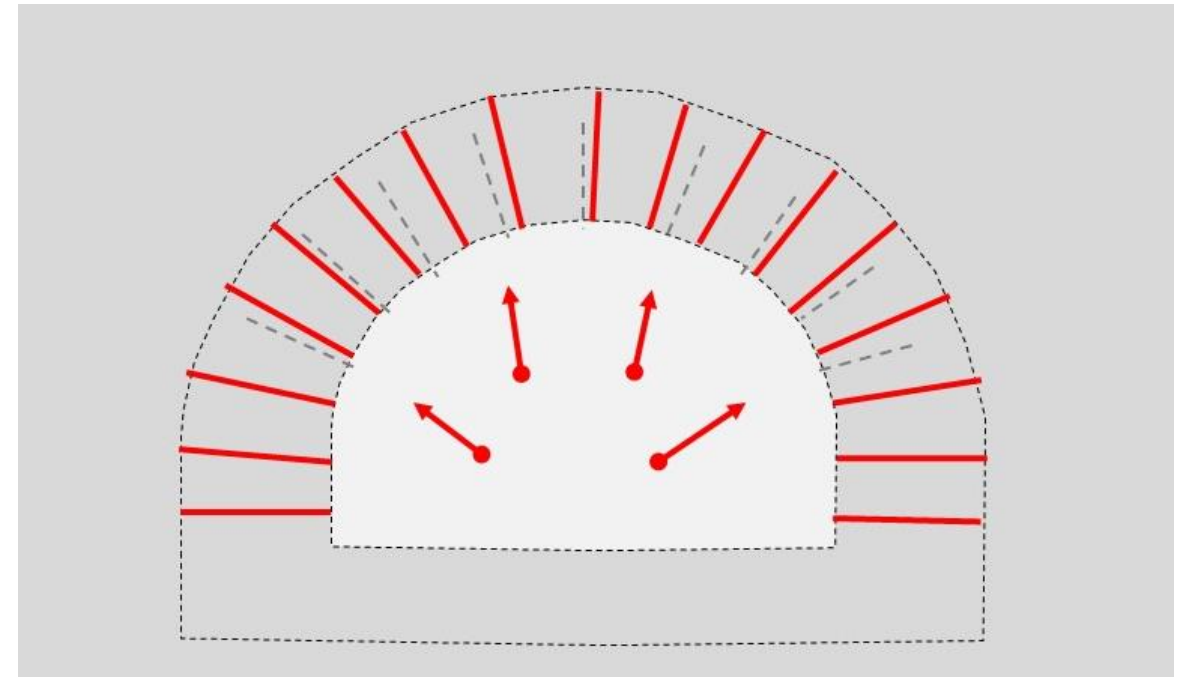


Viktig å studere injeksjonsgrafene for forløpet av injeksjonen for videre vurderinger.

Ny injeksjonsstrategi

Delskjerm 2 og 3: Fintetting

- Injeksjonsmiddel: kolloidal silika
- Tilstrebes å oppnå trykk:
 - 10-20 bar lavere enn sementinjeksjonen.
- Ikke tettefokus i såle.
- Testes ofte, temperaturavhengig geltid.
- Vurdering etter sementskjerm om det er blitt tilstrekkelig tett for å starte med fintetting



Målområde delskjerm 2

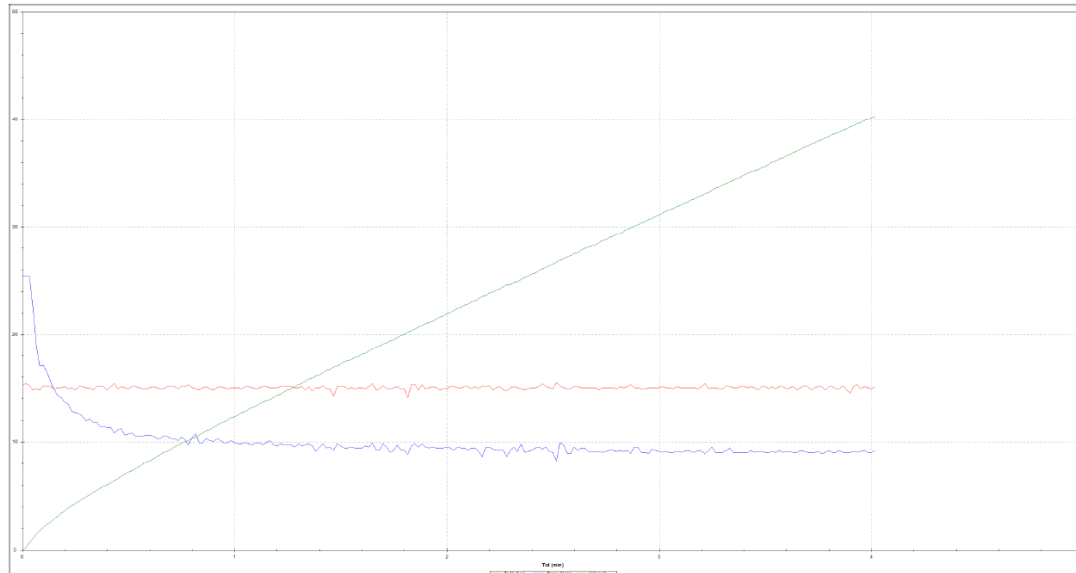


Ny injeksjonsstrategi

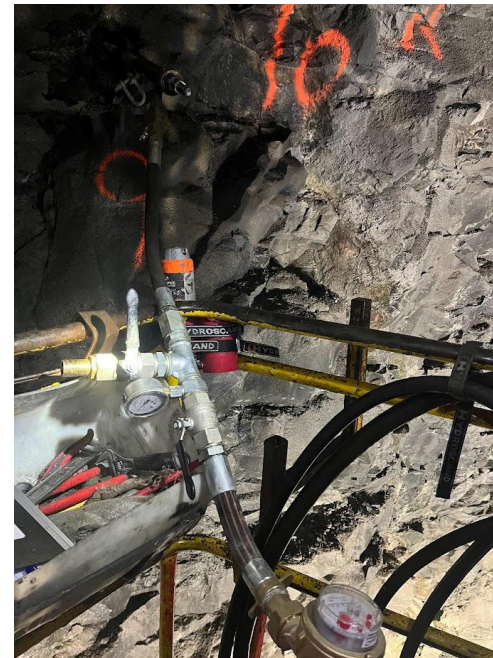
Delskjerm 2 og 3: Fintetting, Vurdering etter sementskjerm

- Systematisk vanntapsmåling:
 - manuelt, digitalt, utstyr innebygd i boreriggen.
- Forløp av sementskjerm: Trykkoppbygging, utgang etc.
- Erfaringer under boring av skjerm.

Hole Id	Hullengde	W/C	Trykk	Volum	Strøm	Tørresement	Loggtid
1	2	-	0	15.1	40.3	9.2	127.937
							09:31:45 - 09:35:46



Rapport fra vanntapsmåling med boreriggen.



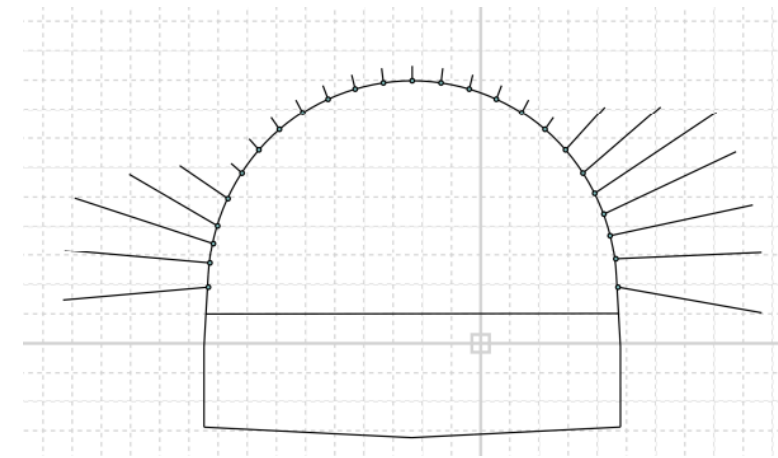
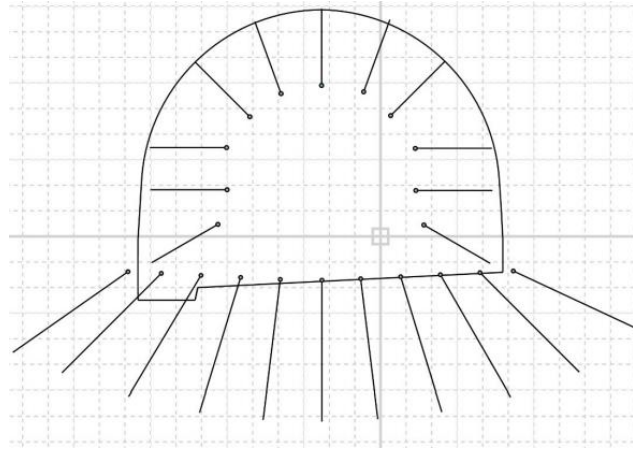
Vanntapsmåleutstyr koblet på vannet i korga på boreriggen.



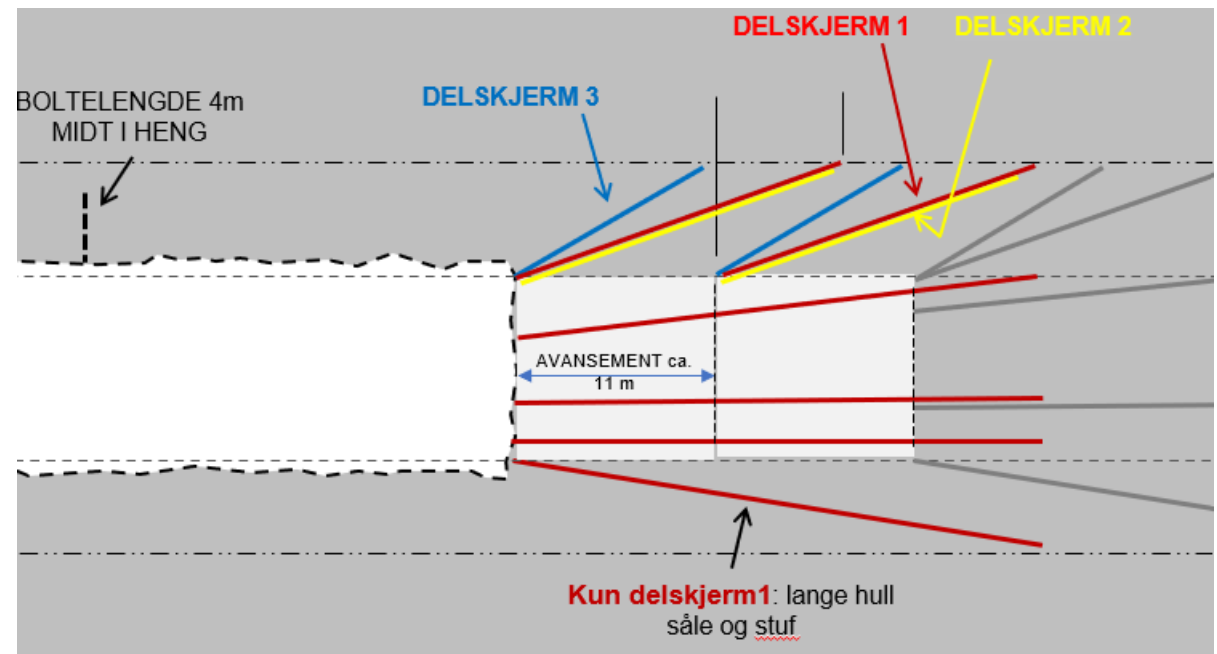
Digital måleutstyr fra NGI

Utfordrende områder

- Områder med spesielt tilpassede skjermmer
 - Lav overdekning, ned mot 5 m
 - Passering av E6
 - Ugunstige ingeniørgeologiske forhold: dårlig fjell, store vannmengder etc
- Sementskjermene deles opp



Borplaner tilpasset spesielle forhold, lav overdekning



Ny injeksjonsstrategi

Gjennomføring

- Bemanning:
 - Ingeniørgeologer som følger skift og har tett oppfølging.
 - Injeksjonsansvarlige.
 - Reperatører
- Injeksjonsrigger
 - Innebygd modus for injeksjon med kolloidal silika
- Operatøren
 - Følge med på trykk, flow grafer og ta avgjørelser fortløpende i samråd med stedlig ingeniørgeolog.
- God dialog med bygherre
 - Ukentlige møter



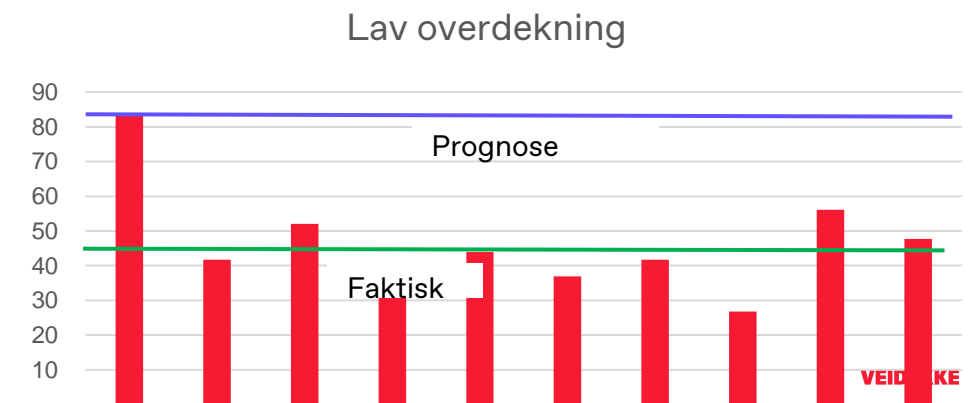
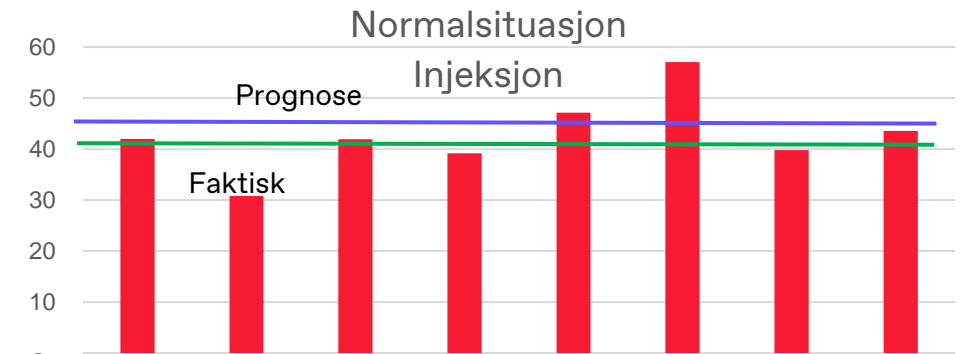
NextGen AMV injeksjonsrigg



Fargerik stuff med 3 skjermer

Foreløpige erfaringer

- Ca. 450 m hovedtunnel drevet med denne injeksjonsmetoden
 - Generelt svært gode erfaringer
- Noen mer utfordrende områder:
 - behov for flere sementskjermer før fintetting.
- Geologi
 - Lett å få inn masse, relativt åpent
- Omstilling fra “vanlig” forinjeksjon



Reduksjon i betongforbruk, prognoser

- Dersom løsningen gir ønsket effekt, vil gevinsten være stor
- Potensielt stor besparelse i betong og CO2
- Økning i mengde injeksjonsmasse

Eksempel betongforbruk lining vs. sprøytbar membran:

Lining
2 988 meter, Areal 126,24, Buelengde 28,77

Aktivitet	m3	M3/m
Sprøytebetong på stuff	13 123	4,4
Avrettingssprut	10 308	3,4
Underfundament	7 171	2,4
Fundament	5 976	2,0
Lining	41 597	17,3
Sum	88 175	29,5

Sprøytemembran 1 km av 3 km
2 988 meter, Areal 120,57, Buelengde 26,35

Aktivitet	m3	M3/m
Sprøytebetong på stuff	13 833	4,6
Avrettingssprut våtsprøyting	4 118	1,3
Beskyttelseslag	2 204	0,7
Sum	20 155	6,7

Reduser mengde betong 68 020m3 = 77%

Reduksjon CO2, prognoser

- Mindre betongmengde -> redusert CO2
- Økning i mengde injeksjonsmasse
- Redusert CO2 liningløsning vs. Ny løsning : 59%

- Antatt at områder med etterinjeksjon vil bli nødvendig.
- Fortsatt i startfasen

Redusert Co2 14 527 tonn= 59%

Redusert Co2 totalt for prosjektet 30%

