



Fornebubanen - erfaring fra prosjektering og driving av løsmassetunnel

NBG – vårsleppet 12.3.2026

Arild Neby – Fornebubanen
(fagansvarlig geofag)

Olav Hval - Multiconsult
(prosjekteringsleder tunnel)



Bakgrunn og historikk

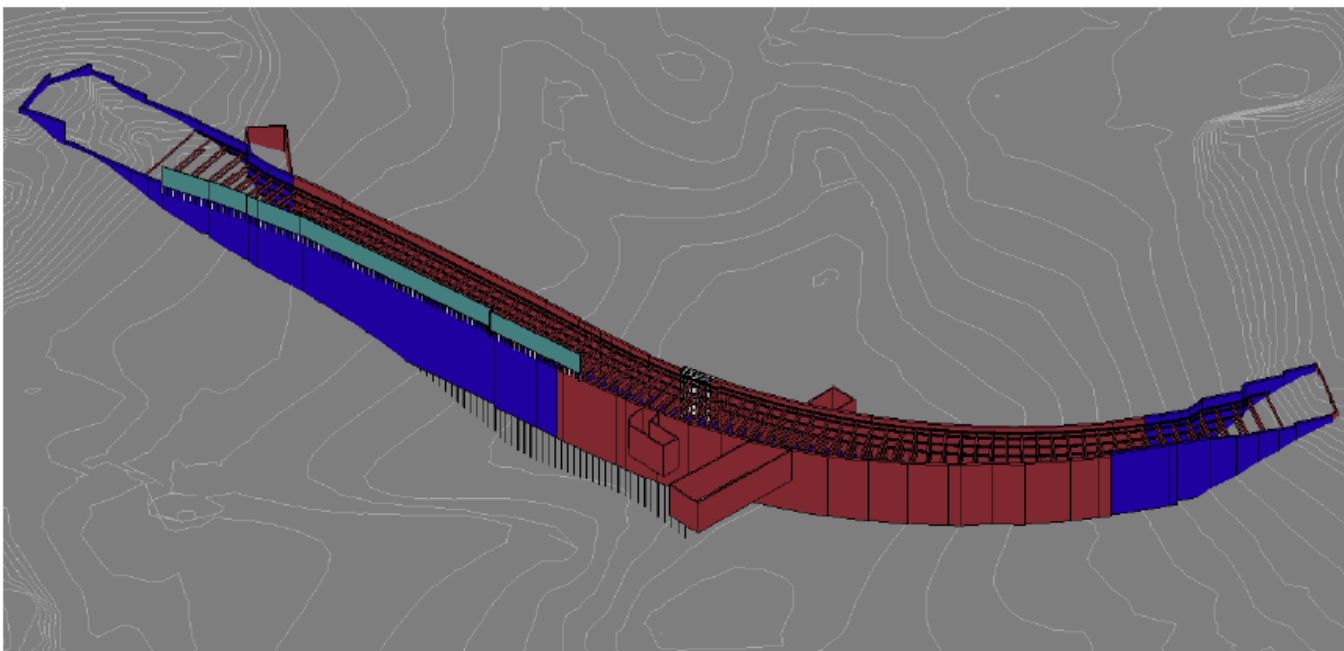
Skøyen T-banestasjon – regulert og ny løsning

- Opprinnelig var Skøyen T-banestasjon regulert som en kulvertløsning i Hoffsveien, langsmed jernbanestasjonen
- Åpenbart god løsning for overgang mellom tog og bane
- Men kompliserte grunnarbeider i veg og nær tilstøtende bygg og Skøyen jernbanestasjon

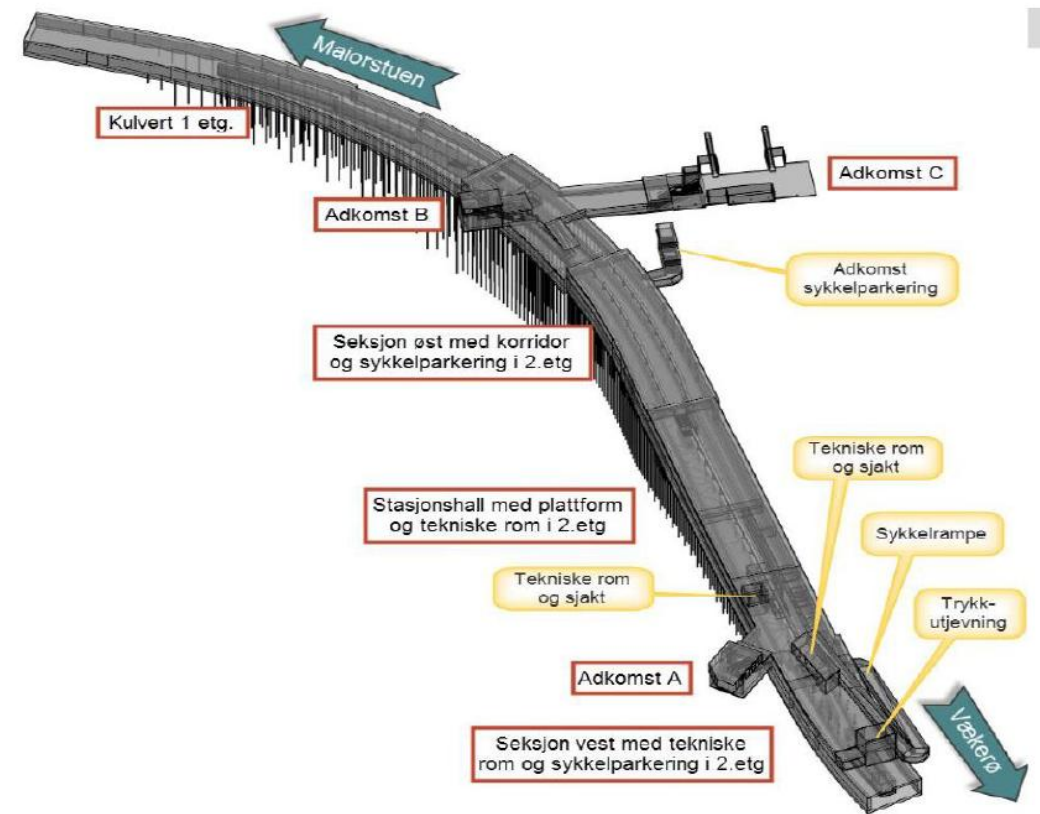


Opprinnelig løsning for
Skøyen T-banestasjon
(KS2 rapport)

Skøyen stasjon - kulvertløsning



Figur 0-25: Bruk av slissevegger (rød) og rørspunt (blå) på Skøyen



Figur 0-22: Modell over nye Skøyen t-banestasjon

KS2 rapport – utfordringer med regulert løsning

- Midlertidig flytting av trikketraséen og Hoffsveien, riving av hus, omlegging av kabler og fjernvarme, omlegging av kulvert for Hoffselva, ny fundamentering under en del av Hoffsveien 1, en 130-150 meter lang sikringsskjerm mot jernbanen, flytting av rundkjøring ved Drammensveien
- 18 meter dyp byggegrop
- Hele stasjonen som betongkulvert i åpen byggegrop, understøttet av stålkjernerpeler til berg, både for laster og oppdrift.
- Ytre hovedelementer med en tykkelse på minimum 1 meter
- Hovedadkomst ned i byggegroppen fra vest, for så å drive arbeidene i retning øst. Utgraving i avtrappende lag, gitt den store høydeforskjellen
- Hoffsveien stengt i hele byggefasen

KS2-rapportens anbefaling (2019)

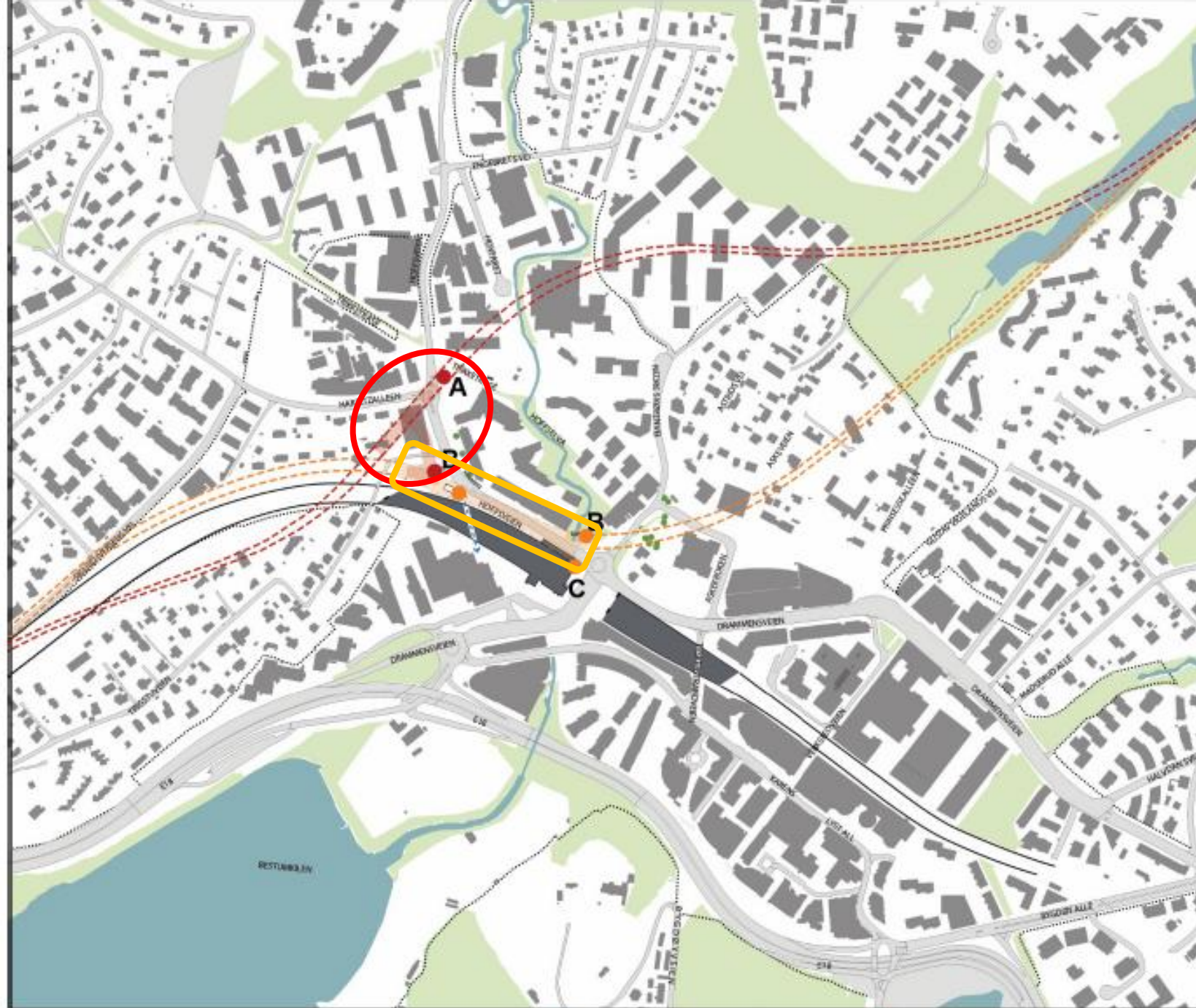
- KS2 anbefaler å analysere et nytt konseptuelt alternativ for Skøyen stasjon der stasjonen flyttes inn i berg og nordover.
 - ikke dokumentert godt nok at arbeidene for Skøyen stasjon kan gjennomføres innen fastsatt tid og kostnader
 - I tillegg vurdert som betydelig usikkerhet og risiko for gjennomføring av løsningene

Skøyen T-banestasjon før og nå:

- Regulert alternativ – kulvert langs Hoffsveien og jernbanestasjonen
- Nytt løsning– stasjon i berg «Skøyen rett frem»
- Mange justeringer av stasjon for å forsøke å krysse dyprenna med berg over:
 - *Skøyen rett-rett frem osv.*
 - En maksimal begrensning på dybde for plassering av stasjon: 45 m
- I tillegg en krevende reguleringsmessig prosess, og tilbake til start for prosjektering av stasjonen
- Flere fremtidige utbyggingsprosjekter tett inn mot sjakt B

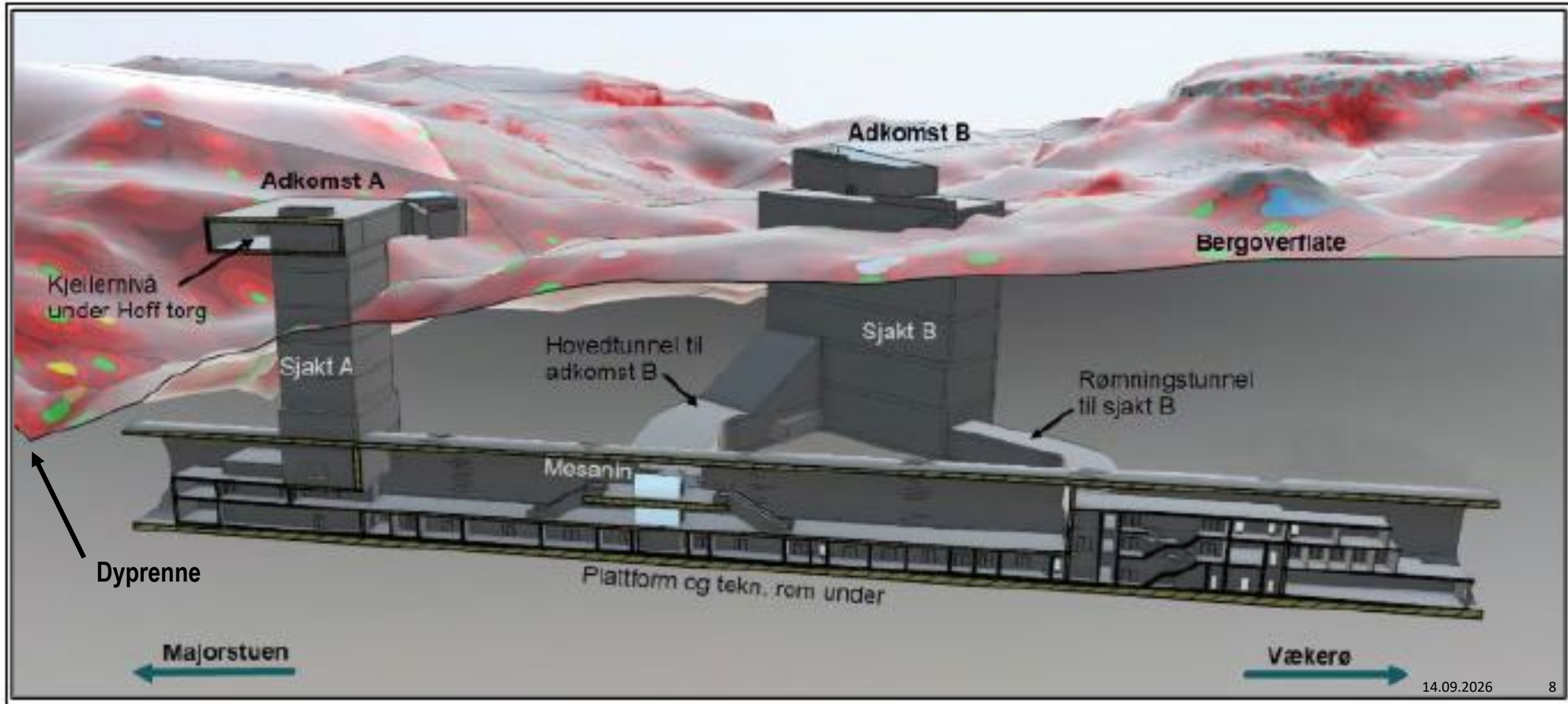


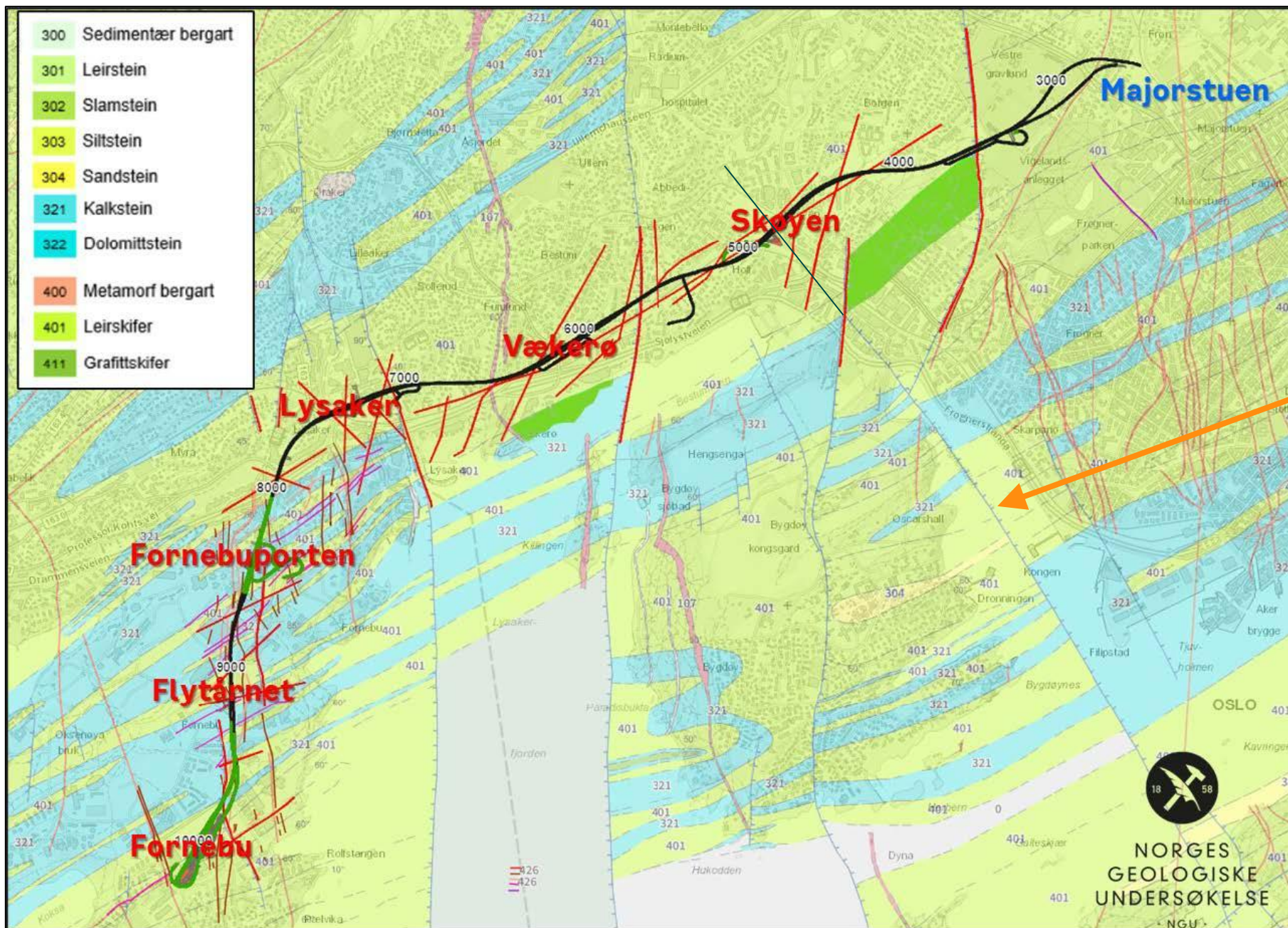
Oslo



● Skøyen regulert løsning ● Skøyen alternativ 1

Ny stasjonsplassering og utfordring med dyprenne øst for stasjonen





Oversiktsbilde:
tunnel, stasjon, dyprenne og
forkastning

Borekammer for frysing
og rørskjerm

Majorstuen

Dyprenne, 40 m dybde til
berg, marin leire.
20 m bred forkastningszone

Skøyen stasjon

Utgående tunneløp
Inngående tunneløp

Sjakt A

Sjakt B

Tverrslag

Lysaker

Tegnforklaring

Tunnel

Geo

Løsmassedypde

U_F_GEO_LOSMASSEMODELL_Polygon

gridcode

0-2 m, fjell i dagen

2-5 m

5-10 m

10-25 m

Mer enn 25 m

Prosjektering av løsning



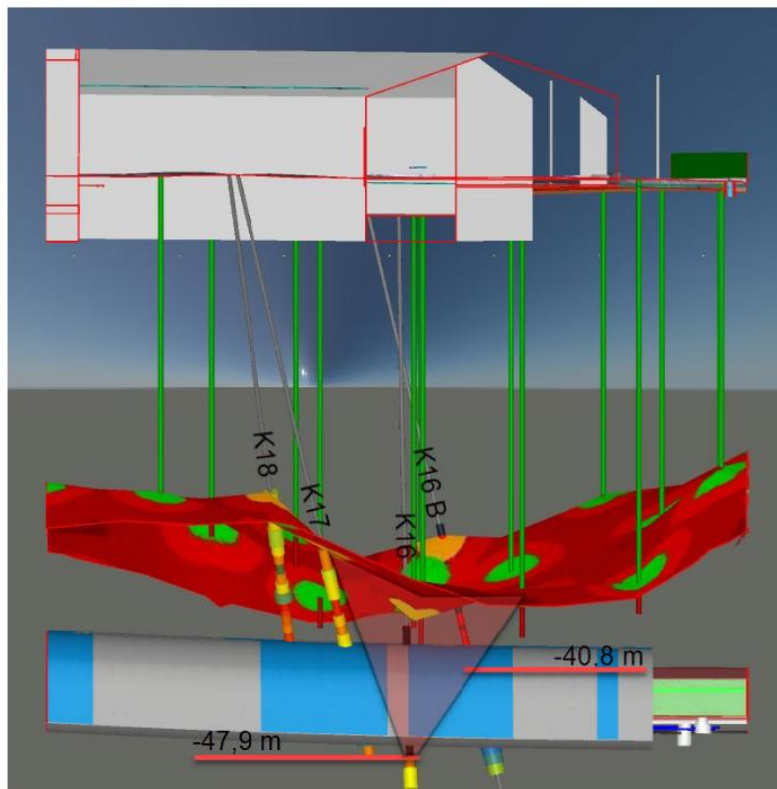
Hovedproblemstillinger for dyprenna

1. Usikker bergmasseoverdekning og svært dårlig bergkvalitet
2. Stor løsmasseoverdekning (40 m) marin leire og mye infrastruktur / bygningsmasse over tunnelen
3. Stor permeabilitet registrert i enkelte kjerneborhull
 - Evt. erosjon av materiale og mulig kollaps av tunnel
 - Poretrykksfall i dyprenna

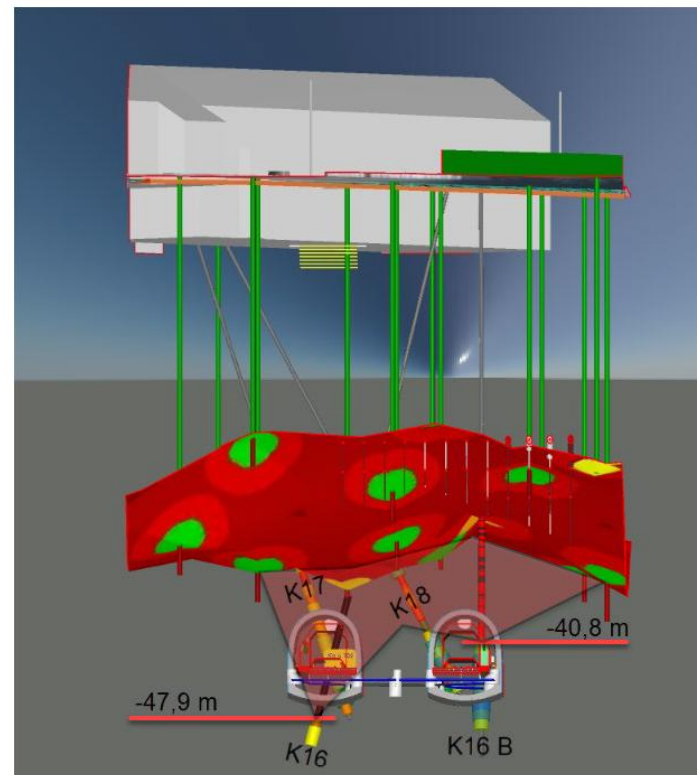
Grunnboringer fra terreng

- Stort antall totalsonderinger og fire kjerneborhull utført fra terreng (mars-mai 2020)
- Først med konvensjonelt kjerneboringsutstyr, med relativt godt kjerneopptak
- Deretter kjerneprøver med en Sonic rigg kombinert med veldig tidspress, hvor resultatet ble et noe dårligere kjerneopptak
- Felles for kjerneboringene

Grunnundersøkelser (2020-2021)



Figur 3- Snitt sett fra NV i retning mot SØ.
Bygget er Hoffsvæien 11



Figur 4- Snitt sett fra stasjonsvegg i SV og i
retning mot NØ. Bygget er Hoffsvæien 11.

Basert på disse hullene, antar vi foreløpig at hull K16 er boret ned i en knusningssone med mye leire (antagelig ikke kvartær). Resultatene fra boret lengde ca. 44m viser at dette ikke er berg, til det er trykkfasthetene alt for lave, og romvekten er lavere enn for berg. Dersom det er riktig at det er boret rett ned i en svakhetssone i berget er det antagelig ikke mulig å si hvor overgangen mellom løsmasser og berg ligger akkurat i dette hullet. Resultatene fra de fire hullene som er boret i dette området viser også svært varierende dybder for kvartær leire, noe som viser at bergoverflaten er svært uryddig.

Løsningsalternativer

- PGF vurderte rørskjerm, eller rørskjerm i kombinasjon med grunnfrysing eller jetgrouting
- 1. Anbefalt løsning: Jetgrouting fra terreng i kombinasjon med rørskjerm fra tunnel (PGF)
 - Ble ikke mulig pga. manglende grunnnervv (2021)
 - Nå var det kritisk å finne en ny løsning raskt!
- 2. iC Consulenten (Østerrike) ble kontrahert som underrådgiver i september 2022 for å prosjektere «avansert rørskjerm» - tube à manchette injeksjon i kombinasjon med rørskjerm
 - Potensielt sylindrisk rørskjerm omkring hele tunneltverrsnittet
- 3. iC endret etter første arbeidsmøte hovedalternativ til frysing av dyprenna, kombinert med rørskjerm og sprøytebetongkonstruksjon, (tube à manchette injeksjon + rørskjerm som alt. løsning)



ic-group.org



Oslo

Supplerende Kjerneprøver – fra stasjonshall Skøyen – høsten 2024 (triple barrel, ø85 mm)



Figure 2: Sandy/gravelly material alternating with clayey material and shear bodies (KP2b_Oct24, 6-9 m).



Figure 5: Fractured but otherwise undisturbed rock mass of the damage zone (KP1_Sep24, 21-24 m).

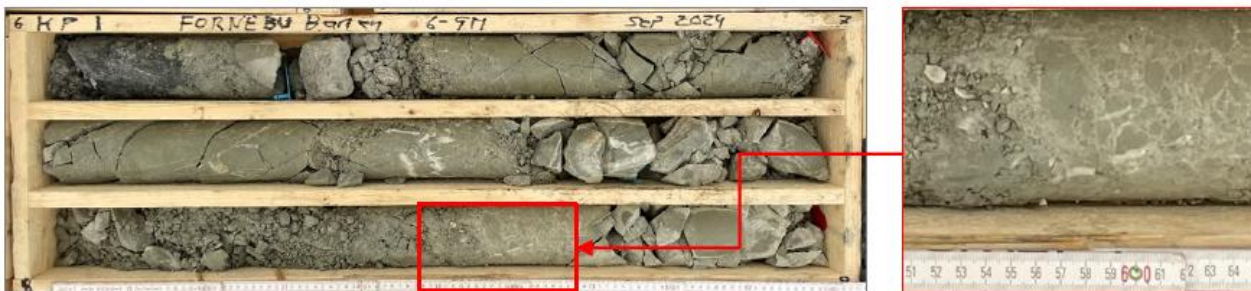


Figure 3: Highly fractured to disintegrated Maenait (KP1_Sep24, 6-9 m).

- Svært variabel kvalitet på kjerner boret ut fra forkastningssonen
- Men allikevel en god del fragmenter med intakt berg – grunnlag for forenklet drivemetodikk
- Svært mye bedre kjerneopptak med triple barrel ø85 mm enn senere ø44 mm standard kjerneopptak

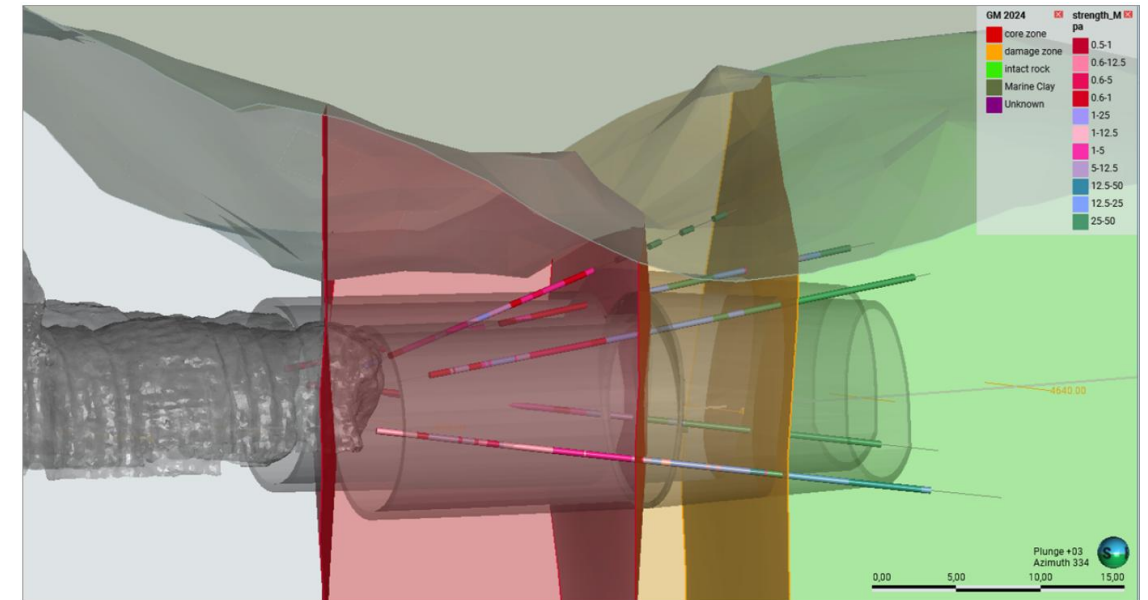
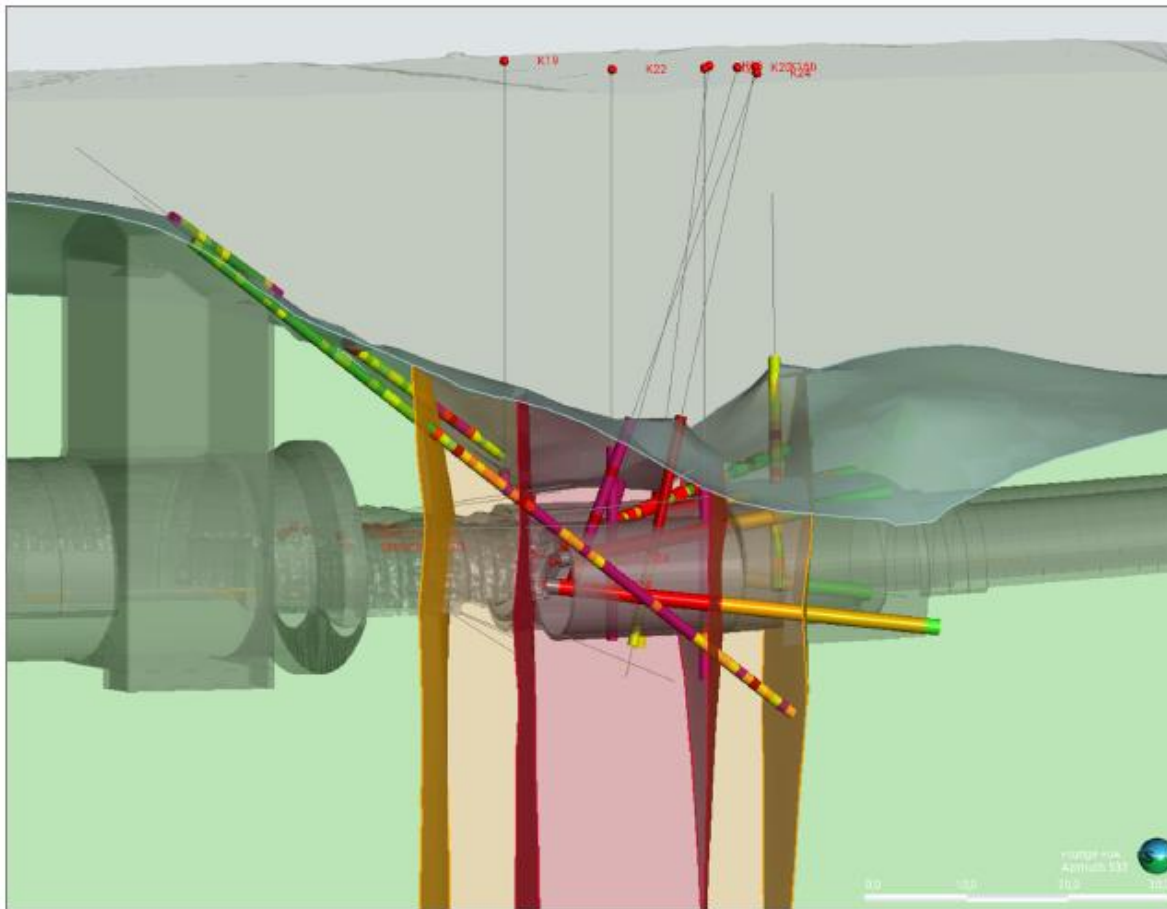
Laboratorietester NGI

- Kornfordeling, partikkeltetthet, enaksial trykkfasthet, triaksialtester, ødometer
- Svært få prøver egnet til å teste trykkfasthet, slik at disse representerte det sterkeste materialet fra kjerneprøvene

Sammenstilling av kjerneboringer fra dagen og fra tunnel

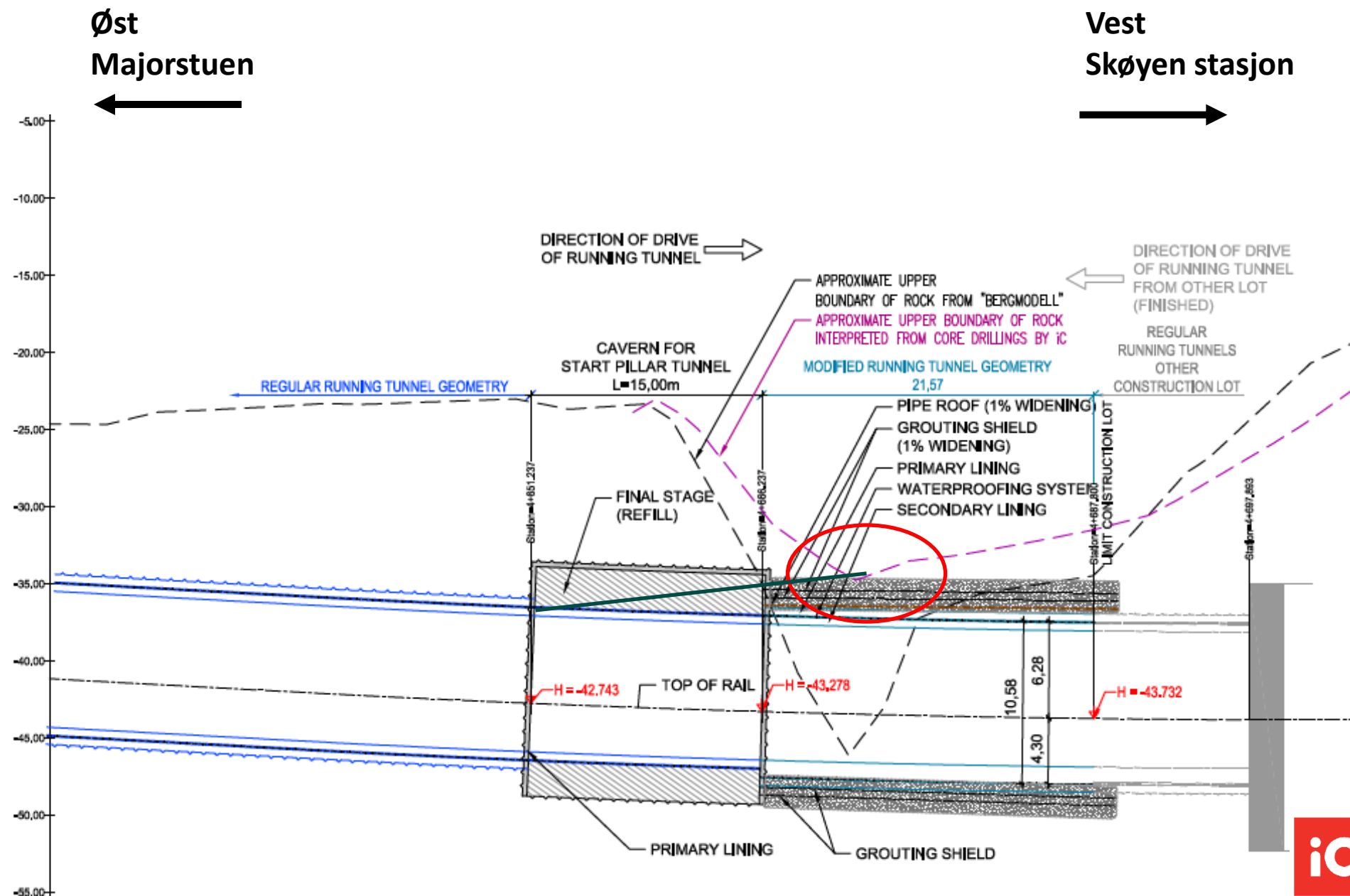
Tolkning av kjernesone og sideberg til forkastningen

(Modellert i LeapFrog)



Lengdesnitt tunnel

- Lengdesnitt utgående spor, usikker bergoverdekning
- Det ble registrert flere boringer ut i løsmasser ved én injeksjonsboring fra utgående tunnellop (øst for forkastningen)



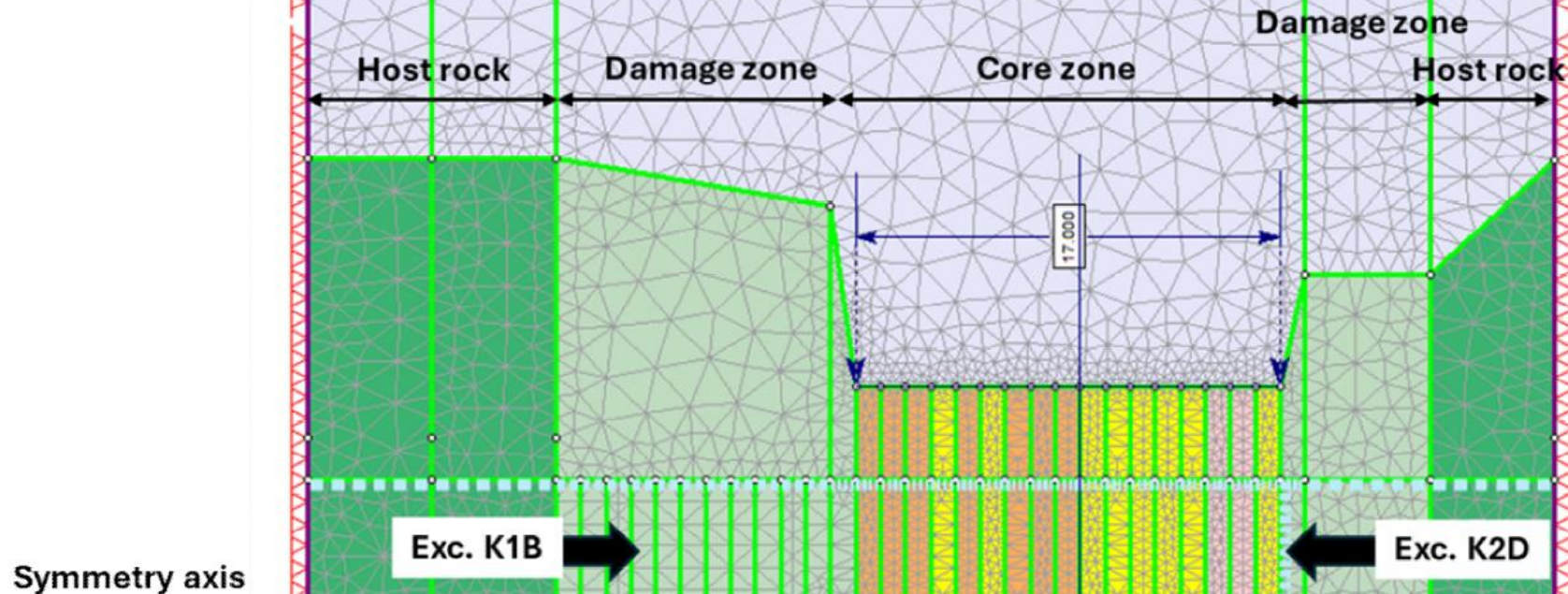
Bergmekanisk analyse

- Bergmekanisk analyse ble frem mot konkurransegrunnlag basert på fjellkontrollboringer og kjerneboring i dagen
- Endelig valg av løsning og oppdatert bergmekanisk modellering basert på kjerneboringer og labtester, fra stasjonshall, vest for forkastningen
 - Overgang berg - løsmasser ble ikke påvist ved disse boringene
- Bergmekanisk analyse utført i 2D og 3D ved finite element software, ZSoil
- Analysen antydte overflatesetninger på opp til 8-9 cm, men var ventet å bli mindre grunnet forenklete materialparametre i kjernen av forkastningen.
 - Modellen hensyntok forbedret materialkvalitet som følge av injeksjon, men..
 - Deler av materialet hadde betydelig større styrke enn det som har blitt lagt til grunn i forenklet modell
 - Videre forutsatte modellen betydelig poretryksreduksjon, noe som ikke ble realiteten (15-40 % reduksjon av setninger ved opprettholdelse av poretrykk)

Bergmekanisk analyse – tolkede verdier for forkastningszone

Ground surface

Material Name	Material Color	Unit Weight (MN/m ³)	Poisson's Ratio	Young's Modulus (MPa)	Failure Criterion	Peak Tensile Strength (MPa)	Peak Friction Angle (degrees)	Peak Cohesion (MPa)
Marine clay		0.019	0.2	9	Mohr-Coulomb	0	28.5	0.005
Damage zone		0.026	0.2	3400	Mohr-Coulomb	0.05	40	0.2
Shear bodies		0.024	0.2	700	Mohr-Coulomb	0.05	28	0.08
fault material finegrained		0.02	0.3	30	Mohr-Coulomb	0.05	30	0.1
fault material coarse grained		0.022	0.25	150	Mohr-Coulomb	0.05	35	0.01
Host rock		0.026	0.2	7800	Mohr-Coulomb	0.05	50	0.6



Oslo

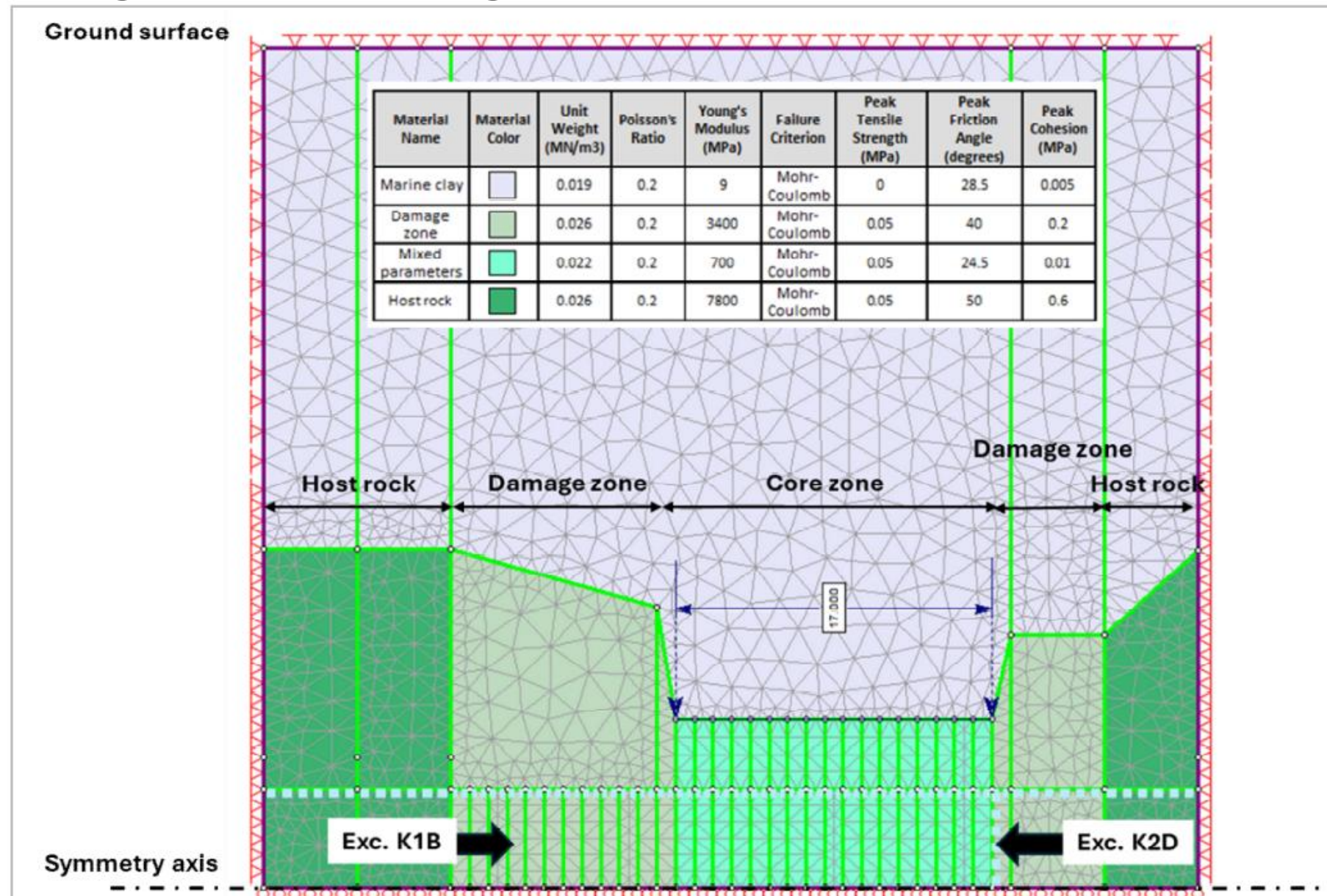


ic-group.org

14.09.2026

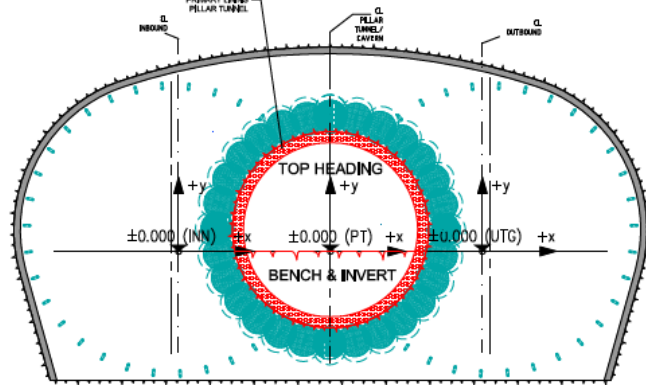
21

Bergmekanisk analyse – forenklet modell til analyse for modellering av forkastningszone

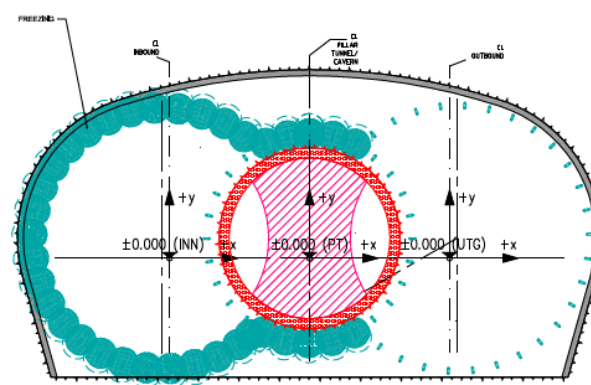


Grunnfrysing, med pilottunnel, betongvegg og sprøytebetongring

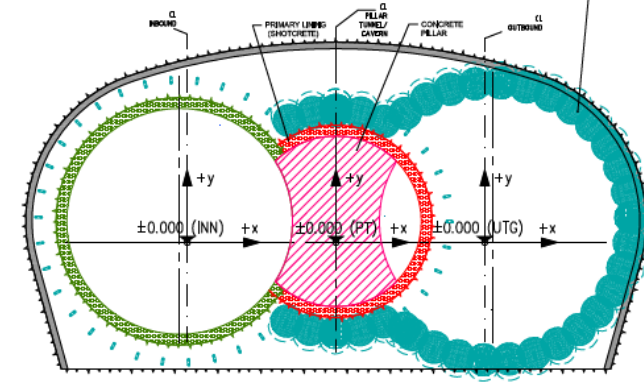
CONSTRUCTION SEQUENCE - PHASE 4:
CONSTRUCTION OF PILLAR TUNNEL
MAINTAIN FREEZING OF PILLAR TUNNEL



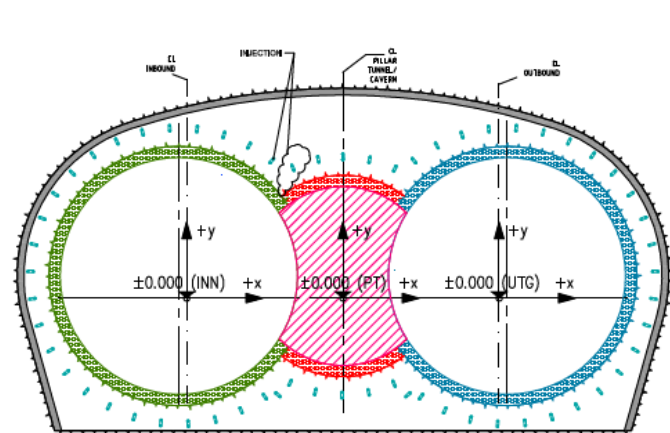
CONSTRUCTION SEQUENCE - PHASE 6:
PARTIAL THAWING OF PILLAR TUNNEL AND MAINTAIN
FREEZING OF INBOUND TUNNEL AREA



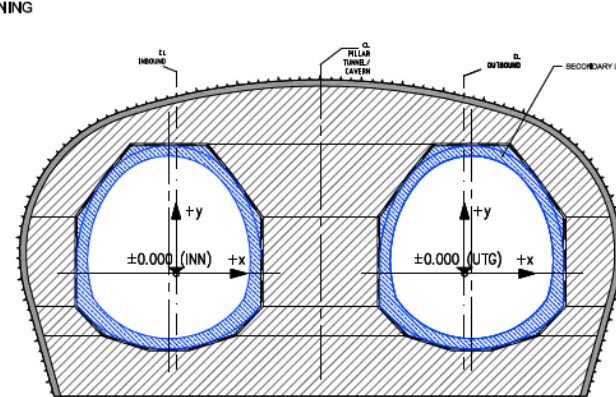
CONSTRUCTION SEQUENCE - PHASE 8:
1.) DEACTIVATE FREEZING OF INBOUND TUNNEL
2.) MAINTAIN FREEZING OF OUTBOUND TUNNEL



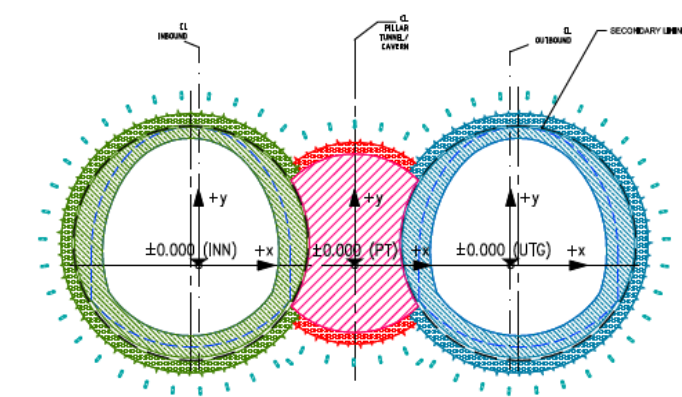
CONSTRUCTION SEQUENCE - PHASE 10:
END OF FREEZING,
INJECTIONS IF WATER INFLOW IS TOO HIGH



CONSTRUCTION SEQUENCE - PHASE 11:
REFILL CAVERN, INSTALL MEMBRANE
THEN CONCRETING OF SECONDARY
LINING



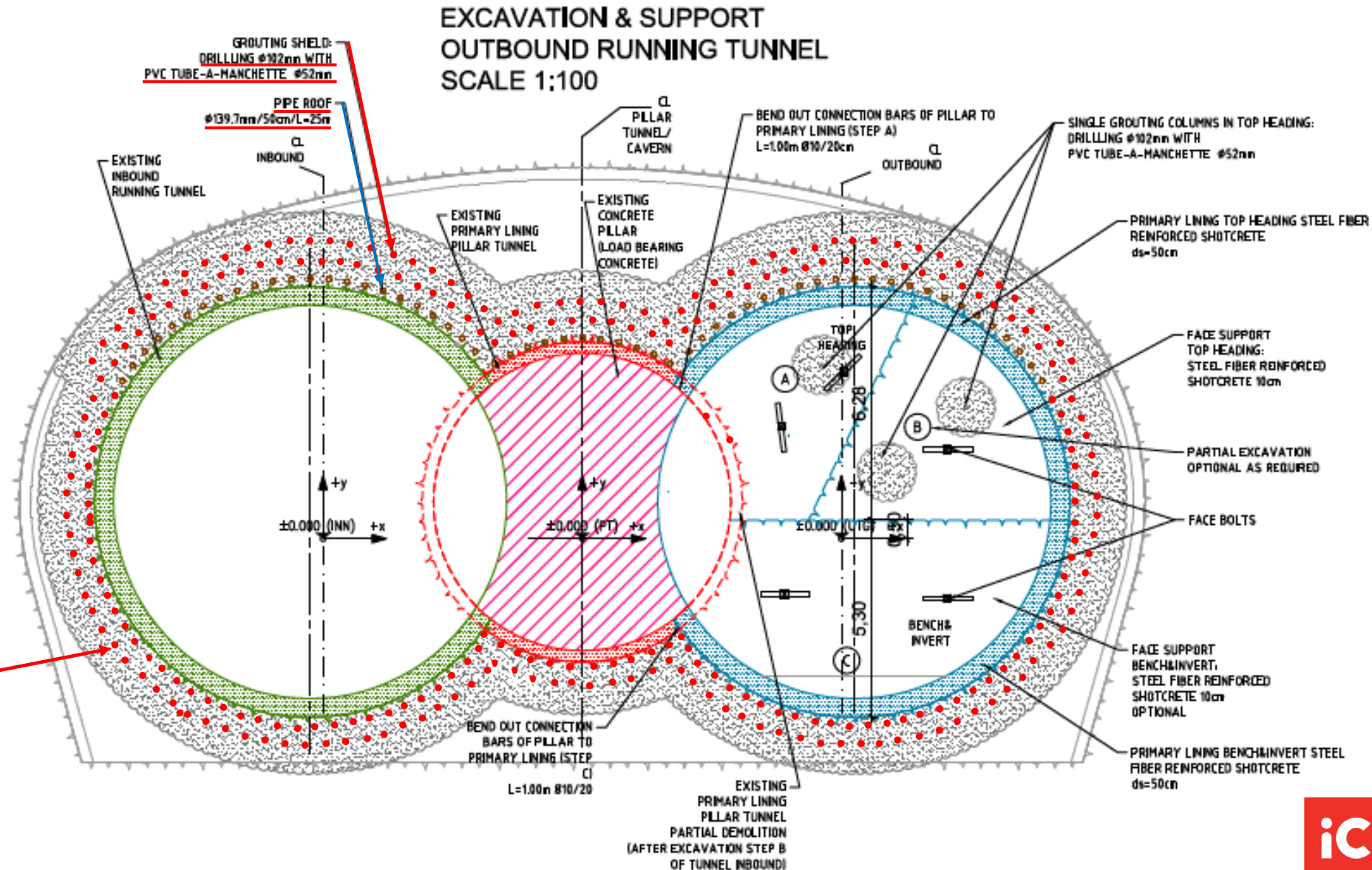
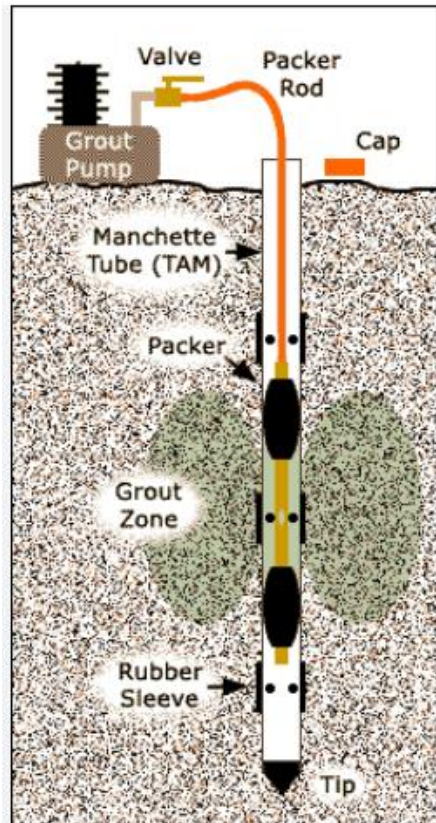
CONSTRUCTION SEQUENCE - PHASE 12:
MEMBRANE AND SECONDARY LINING



Tube á Manchette løøsning + rørskjerm og pilottunnel

(prinsipielt samme steg som fryseløsning, men TAM-injeksjon erstatter frysing)

- Løsning til konkurransegrunnlag, med **Tube á Manchette injeksjon**, pilottunnel, betongvegg, rørskjerm og sprøytebetongring (uten frysing)
- Sammenliknbar tid og kost som frysing

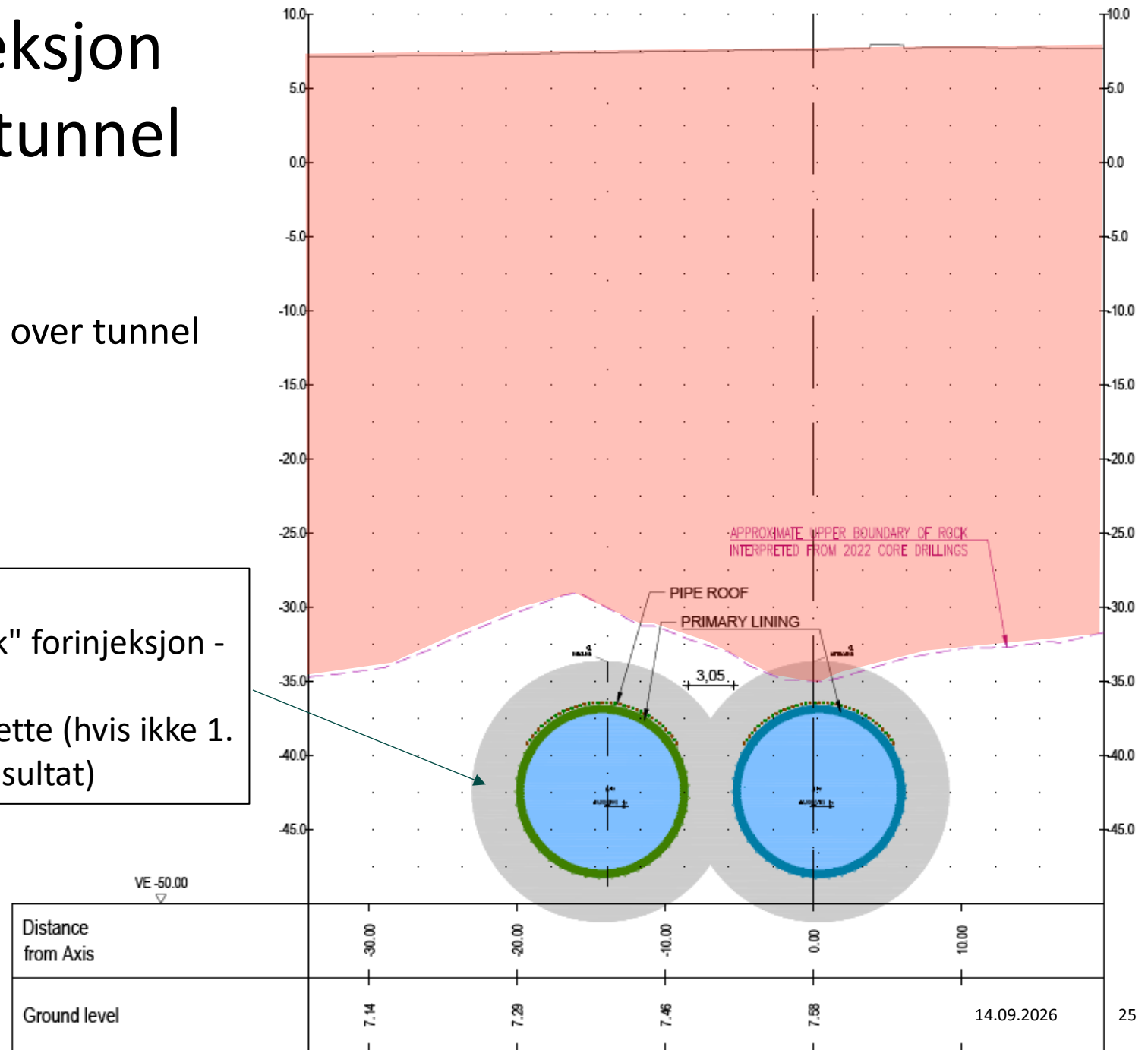


Tube á Manchette injeksjon + rørskjerm uten pilottunnel

- Løsmassemektighet: 40 m marin leire over tunnel

Injisert sone med

1. klassisk "norsk" forinjeksjon - og så
2. Tube á Manchette (hvis ikke 1. gir godt nok resultat)



Klassisk FOB forinjeksjon fra begge sider av forkastningssone

- Totale mengder (tonn)

	Mikro < 25 mikro	Spesial Mikro < 16 mikron	Ultrafin < 13 mikron	Silika Sol	
K2D	0 0	0 0	368 214	0 21,8	Injisert fra enden av stasjon Injisert fra enkeltløpene
K1B	51 0	266 47	0 0	17.5 0	Utført fra rørborekamrene Annulus injeksjon av rør i skjerm
SUM	51 tonn	313 tonn	582 tonn	39,3 tonn	985,3 tonn

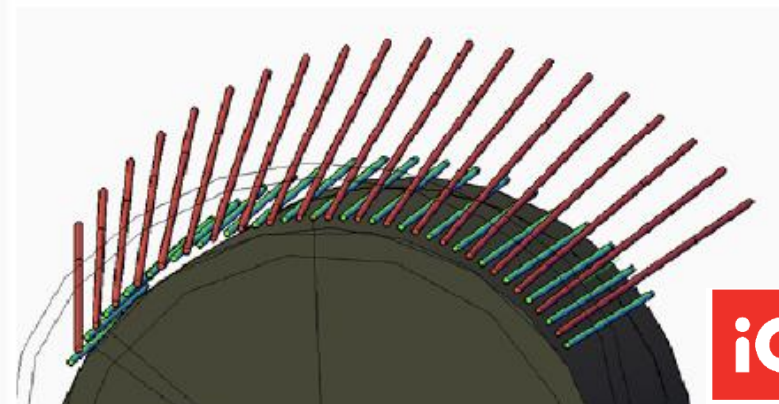
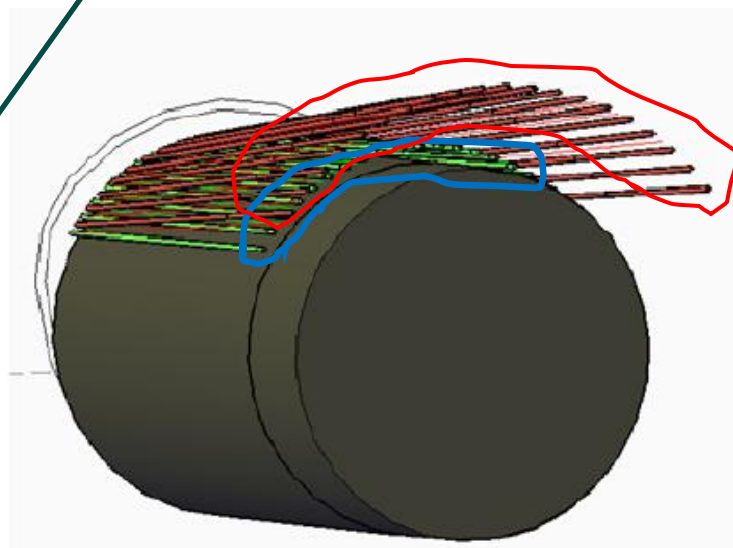
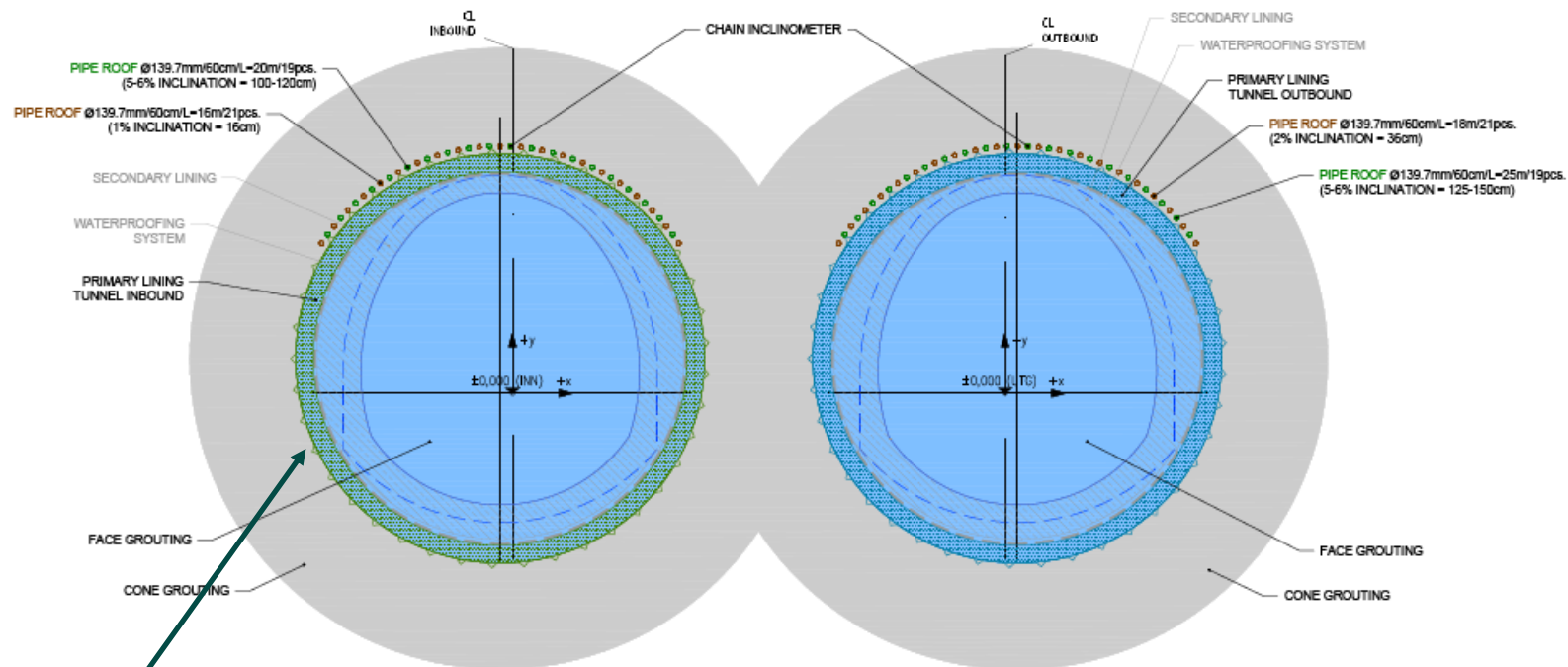
Rørskjerm og sprøytebetongring - endelig løsning

Basert på kjerneboringer høsten 2024 og gode injeksjonsresultater (erosjon/poretrykk) ble det konkludert med forenklet løsning: rørskjerm og sprøytebetongring

- uten frysing, eller tube á manchette injeksjon og uten pilottunnel med betongvegg

Løsning:

- To raster rørskjerm, nedre vinklet 1°, øvre vinklet 5-6° fra horisontalplanet
- Nedre rast 18 (16) m lengde, 21 stk
- Øvre rast 20/25 m lengde, 19 stk
- 50 cm fiberarmert sprøytebetong i hele det sirkulære tverrsnittet



Utførelse og nitid oppfølging

- The Heathrow Express Rail Link Tunnel Collapse (1994):
- Key factors of concern in the analysis of the collapse included **the timing of ring closure** and **the distance between the temporary ring closures and the advancing top heading** during excavation under the NATM philosophy.

Health and Safety Executive (HSE)

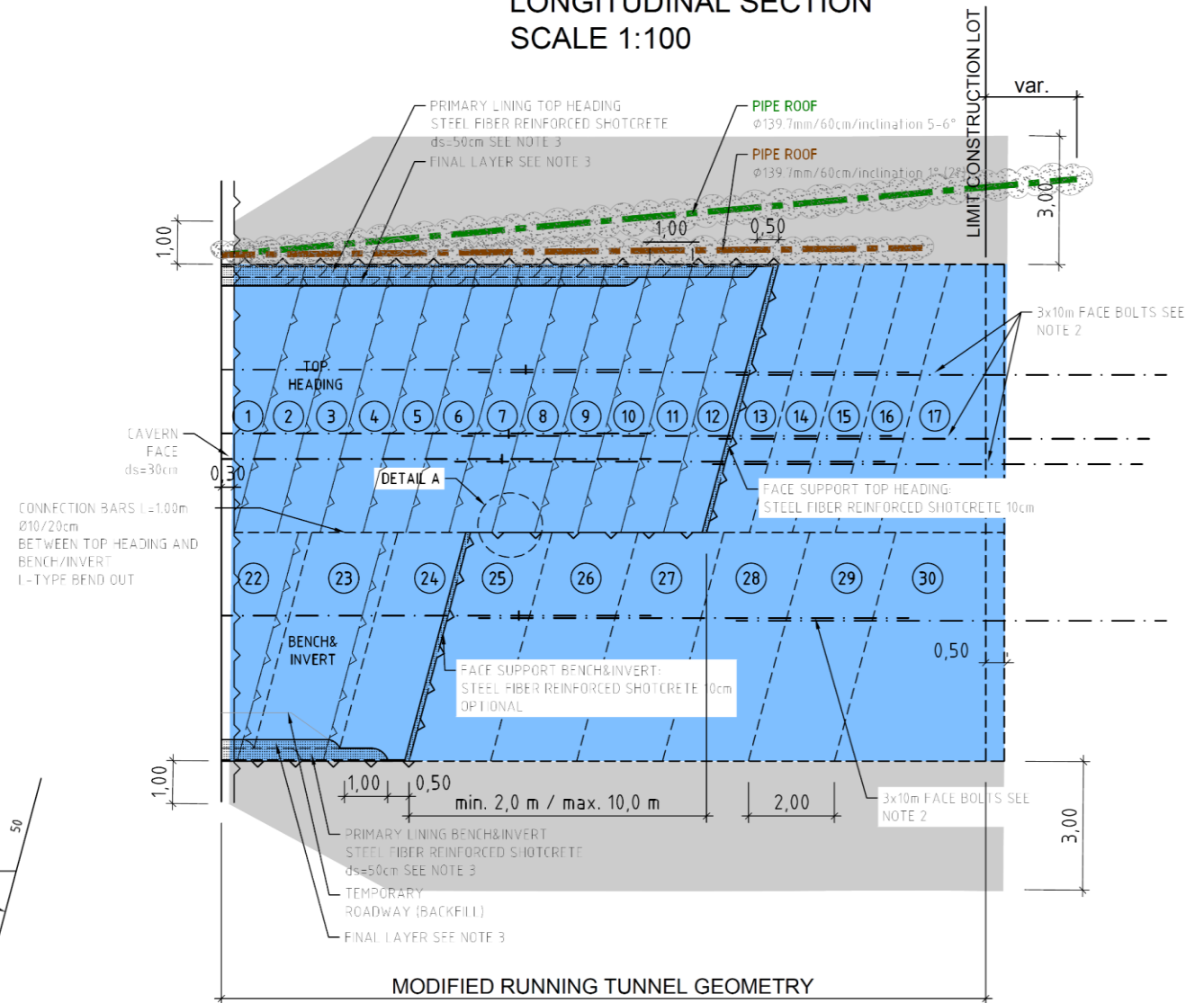


Kilde: New Civil Engineer (NCE)

Rørskjerm - drivemetodikk

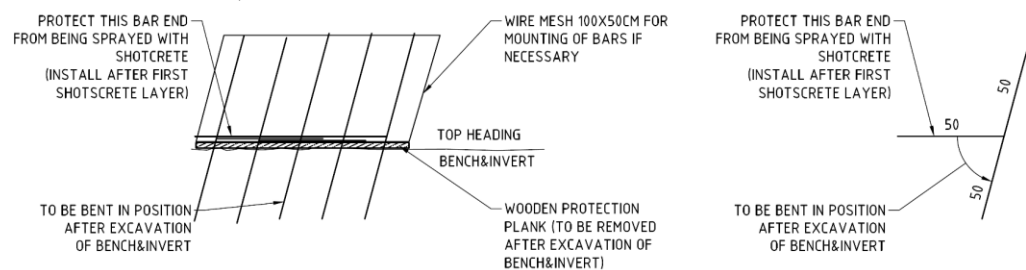
- Toppstollen maks 10 m, min 2 m foran bunnstrossen
- Armeringsskjøt mellom sprøytebetong i øvre og nedre del

EXCAVATION & SUPPORT MODIFIED RUNNING TUNNEL LONGITUDINAL SECTION SCALE 1:100



DETAIL A CONNECTION BAR BETWEEN TOP HEADING AND BENCH/INVERT

NOT TO SCALE
CONNECTION BAR $\phi 10 / 20 \text{ cm}$, $L = 1.00 \text{ m}$



- Cone grouting: Start point spacing: $1.0 - 1.25 \text{ m}$ (indicative); end point spacing: max. 2.0 m
- Face grouting: Start point spacing: $2.0 - 3.0 \text{ m}$ (indicative), parallel to tunnel axis



Oslo

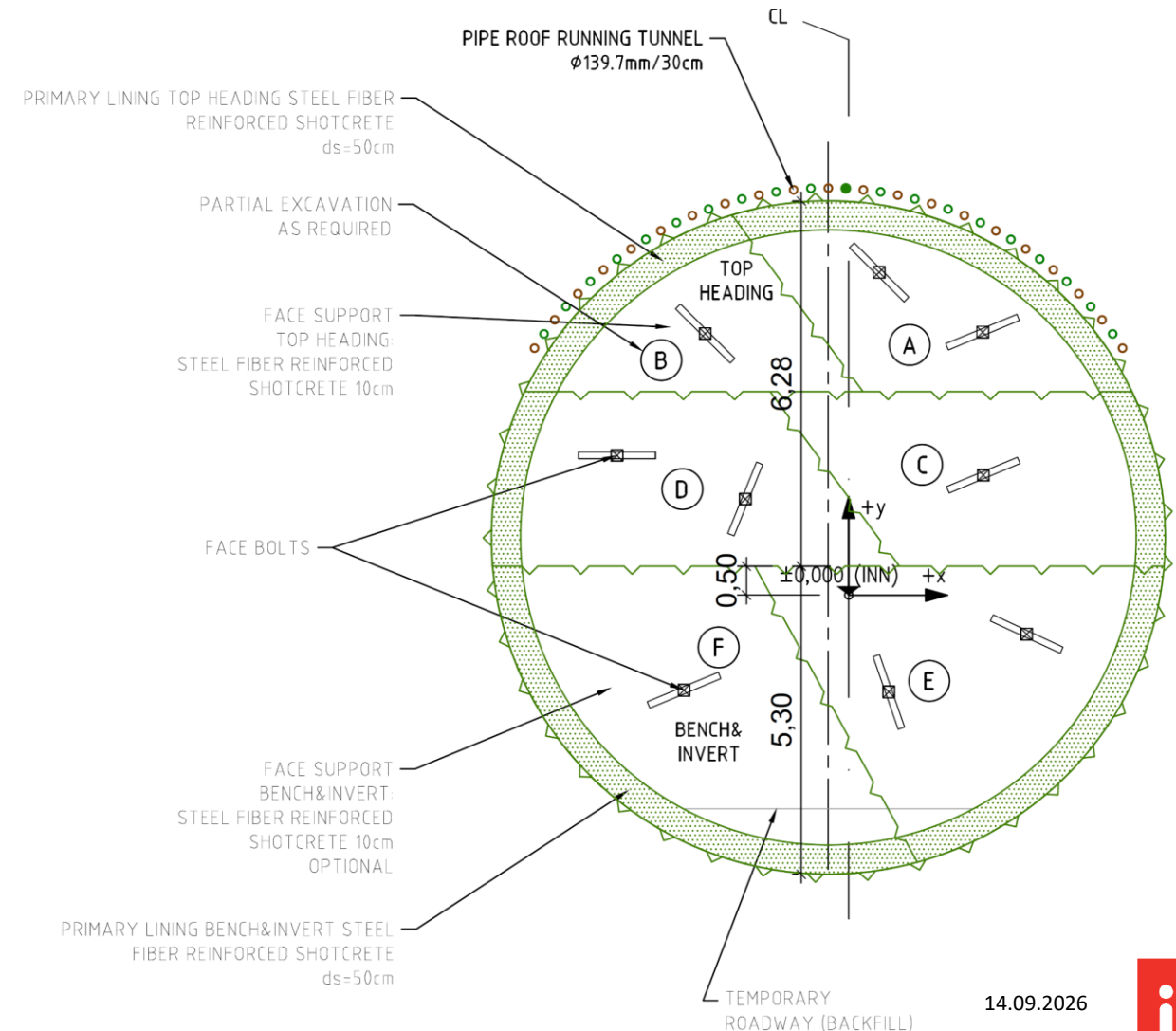


ic-group.no

Rørskjerm – drivemetodikk (lommegraving)

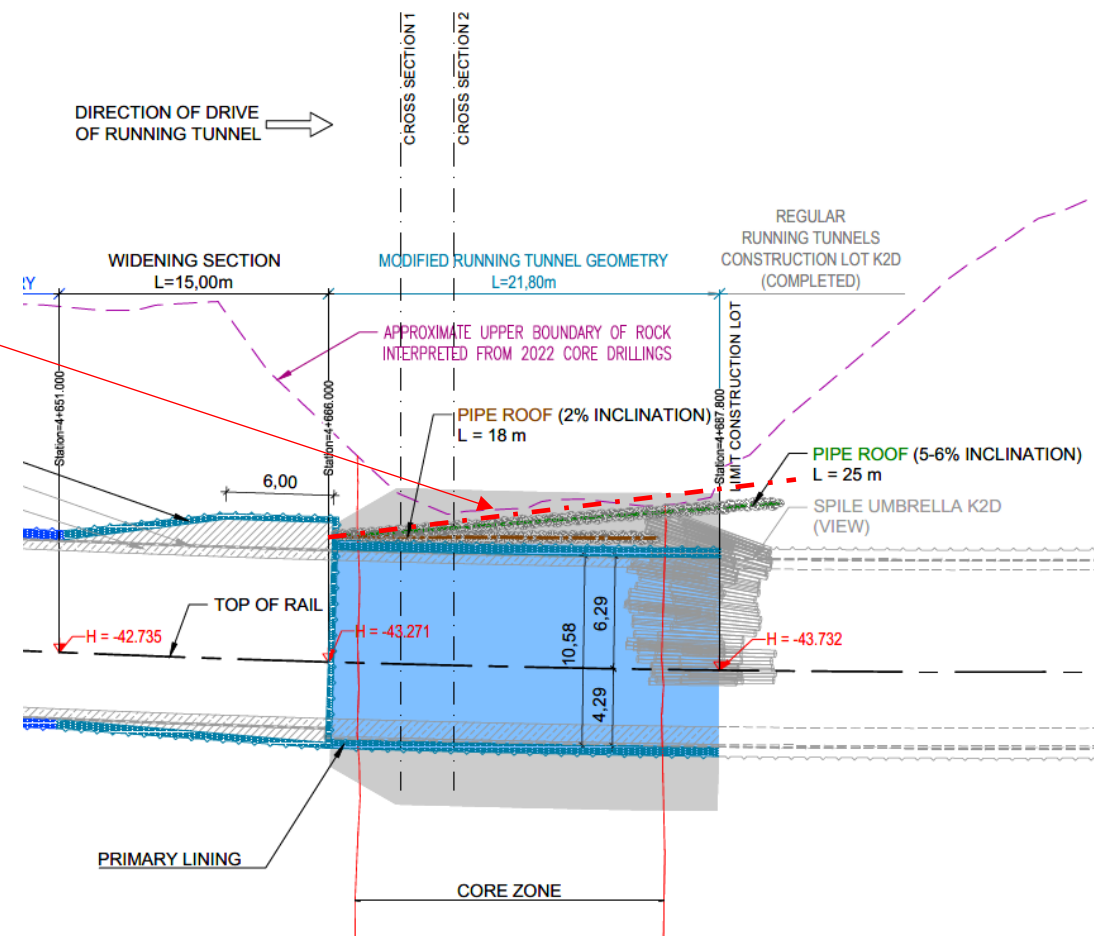
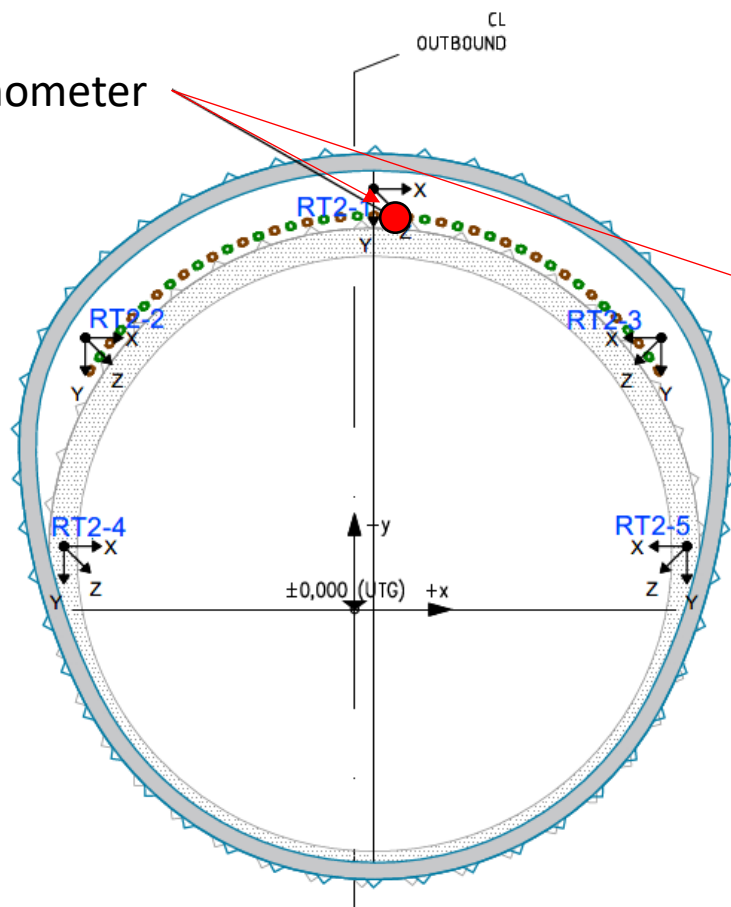
- Stappen oppdelt i flere seksjoner (lommer)
- Bruk av sprøytebetong og helgjengede bolter i hver lomme på stoff
- Sprøyting av kontur i hver seksjon

EXCAVATION & SUPPORT MODIFIED RUNNING TUNNEL SCALE 1:100



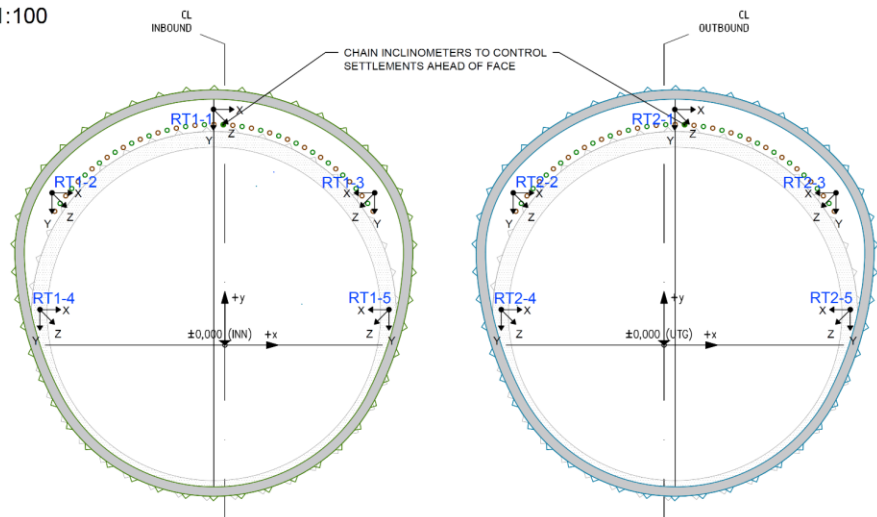
Rørskjerm – overvåkingsregime

Chain inclinometer



Rørskjerm – overvåkingsregime

MONITORING SECTION
FINALE AND EXCAVATION
WIDENING SECTION
SCALE 1:100

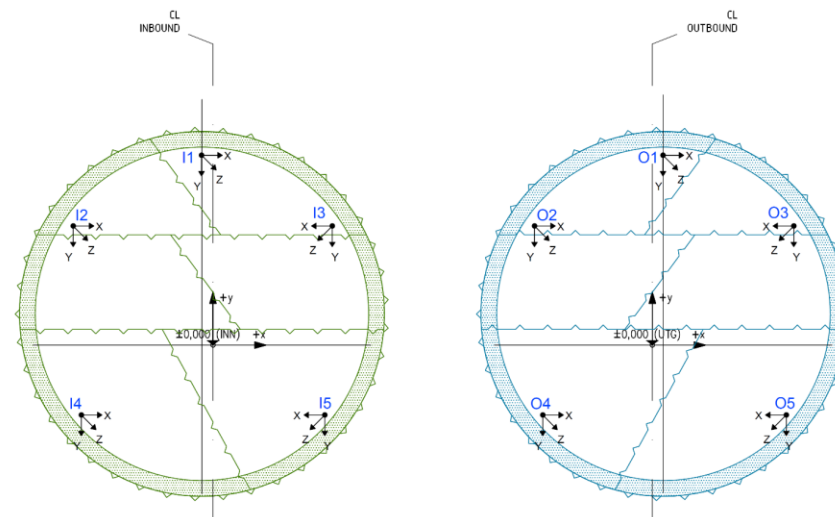


MONITORING OF WIDENING SECTION

INSTALLATION OF MONITORING POINTS	DISTANCE BETWEEN MONITORING SECTIONS		MEASUREMENT INTERVALS	DURATION OF MEASURING WORKS
< 1m BEHIND THE EXCAVATION FACE	< 5 m	EXISTING RUNNING TUNNEL (RT): 1m BEFORE WIDENING SECTION (THIS LOT) AND 1m IN RT OF OTHER LOT	2 MEASUREMENT PER DAY	REGULAR MEASUREMENTS THEN TWICE A WEEK UNTIL ENDS WITH ACHIEVEMENT OF SECONDARY LINING INSTALLATION.

MONITORING SECTION
RUNNING TUNNEL
SCALE 1:100

SCALE 1: 200 (A1)
10m 0 10m 20m



MONITORING OF RUNNING TUNNELS

INSTALLATION OF MONITORING POINTS	DISTANCE BETWEEN MONITORING SECTIONS	MEASUREMENT INTERVALS	DURATION OF MEASURING WORKS
< 1m BEHIND THE EXCAVATION FACE	< 4m	2 MEASUREMENT PER DAY	REGULAR MEASUREMENTS ENDS WITH ACHIEVEMENT OF CONVERGENCE, THEN TWICE A WEEK UNTIL SECONDARY LINING INSTALLATION

Totalt 12 målestasjoner i hvert løp inkl. midlertidige og 1 målestasjon i hver stoff på Skøyensiden

Beredskap ifb. med boring og tunneldriving: trafikklyssystem

Location	Observation parameter	Type of measurement	Target behaviour	Warning level 1		Warning level 2	
			Criterion	Criterion	Measures	Criterion	Measures
	Observations during installation of pipe roof	Visual inspection	- outflow from boreholes stops after stop in drilling works or total completion of the drilling works - no outflow from grouted boreholes - no outflow from other pipes or pipe perimeter drilled - no water seepage through shotcrete lining due drilling works	- continuous outflow of clear water from open boreholes < 12 l/min (0,2 l/s) - continuous outflow of clear water from grouted boreholes < 3 l/min (0,05 l/s) - cracking of shotcrete lining	- grout open boreholes as soon as practicable - grout pipe perimeter at tunnel face - inform client and designer - Analyse situation and jointly agree on further procedures and measures - increase number of borehole cleaning cycles per drill pipe - increase overcut of drill bit	- continuous inflow from open hole > 12 l/min (0,2 l/s) - unexpected increase of inflow from borehole - ingress of fine material/erosion ('milky water') - large development of shotcrete lining cracks and additional cracks	- stop drilling and grout boreholes immediately - inform client and designer immediately - Analyse situation and jointly agree on further procedures and measures
	Stability of tunnel face and unsupported round area	Visual inspection	- stable conditions after sealing of current round and application of face support	- local overbreaks from sealed surfaces with low volume (<~0,05 m³)	- Increase face support and/or reduce round length or increase number of face parts - inform client and designer	- large overbreaks or imminent face collapse	- stabilize critical area (e.g. with backfill, shotcrete plug etc.) - stabilize lining (apply fully shotcrete thickness, additional shotcrete, steel ribs, logs if deemed necessary) - inform client and designer immediately - Analyse situation and jointly agree on further procedures and measures
	Radial displacements of tunnel lining K1B	Geodetic measurement, visual inspection	- measured radial displacements < trigger level - displacements stabilize after invert closure	- measured radial displacements > trigger level - ongoing increase of displacements after invert closure ("creeping") - cracks in shotcrete lining	- inform client and designer - Analyse situation and jointly agree on further procedures and measures	- rapid increase of displacements after invert closure - further opening of cracks and development of additional cracks in shotcrete lining	- stabilize lining (e.g. with additional shotcrete, steel ribs, logs) - inform client and designer immediately - Analyse situation and jointly agree on further procedures and measures
	vertical displacement in chain inclinometer K1B	Chain inclinometer	- measured displacements ahead of face < trigger level	- measured displacements ahead of face > trigger level	- increase face support - stop top heading excavation and close invert - inform client and designer	- repeated rapid increase of displacements ahead of face	- stop top heading excavation - stabilize face with additional support - close invert - inform client and designer immediately - analyse situation and jointly agree on further procedures

Trafikklyssystem: Grenseverdier og ansvarsfordeling

Observation parameter		Target behaviour Criterion	Warning level 1 Criterion	Warning level 2 Criterion
Radial displacements of tunnel lining K1B		< 40 mm	> 40 mm	-
Radial displacements of tunnel lining K2D/K10		< 10 mm ¹	> 10 mm ¹	-
Vertical displacement in chain inclinometer K1B		< 25 mm	> 25 mm	-
Surface settlement	Cumulative settlement during installation of pipe roof	< 5 mm ²	> 5 mm ²	> 10 mm ²
	Settlement rate during tunnel excavation	< 3mm/24h	> 3mm/24h	> 6mm/24h
	Cumulative settlement during tunnel excavation	< 50 mm ²	> 50 mm ²	> 90 mm ²
Light railway (tram) tracks		< 15 mm	> 15 mm	> 20 mm
Surface angular distortion		< 1:500	> 1:500	> 1:300

Annotations:

¹ _value refers to displacements related to excavation in K1B

² _settlements at beginning of weakness zone excavation shall be considered as "zero-reading"

Piezometer trigger levels		
Name	Warning level [m]	Alarm level [m]
Srf3-2	1,05	0,55
Srf13-1	3,17	2,67
Srf13-2	0,78	0,28
PZ53	0,9	0,4
PZ54-1	4,08	3,58
PZ879	1,72	1,22
PZ884	2,5	2
PZ52	1,76	1,26

Responsibilities				
Task	Person	Entity	Email	Phone
Visual inspection during pipe roof drilling	Tunnel foreman	Veidekke (Zublin)		
	Shift Engineer	FOB		
Visual inspection during tunnel excavation	Tunnel foreman	Veidekke		
	Shift Engineer	FOB		
Geodetic measurements and data evaluation - underground	Surveyor K1B	Veidekke		
	Surveyor K10	FOB (ScanSurvey)		
Chain inclinometer measurements and data evaluation	Contractor management	Veidekke (NGI)		
Geodetic measurements and data evaluation - above ground		FOB		
Piezometer measurements and data evaluation		FOB		
Interpretation of monitoring data		FOB		
		PGF		
Designer and consultants		iC		
		iC		



Utførelsesfasen – boring av rørskjerm

- Utførende – boring: Züblin Spezialtiefbau Ges.m.b.H.
- Borerigg Soilmec SM22 - to boremotorer med motsatte rotasjonsretninger på hhv. rør og borestreng
- Borkrona vris ut i boreposisjon med klokka og vris tilbake til liten diameter mot klokka, for uttrekk etter endt boring. Rør roterer mot klokka under innboring
 - Rotasjon i motsatt retning skal gi mindre boravvik
 - Det ble heller ikke målt vesentlige boravvik på rør i skjerm
 - Viktig med robust boresystem for å være sikker på å kunne bore hele rørlengden i én omgang
- Borestreng - diameter $\varnothing 88,9$ mm, borkrone - $\varnothing 152$ mm, rør i skjerm - $\varnothing 139,7$ mm (gir 6,15 mm annulus)
- I hovedsak luftblåsing av borehull (18 – 20 bar, 15 – 20 m³/min) for å begrense bruken av vann



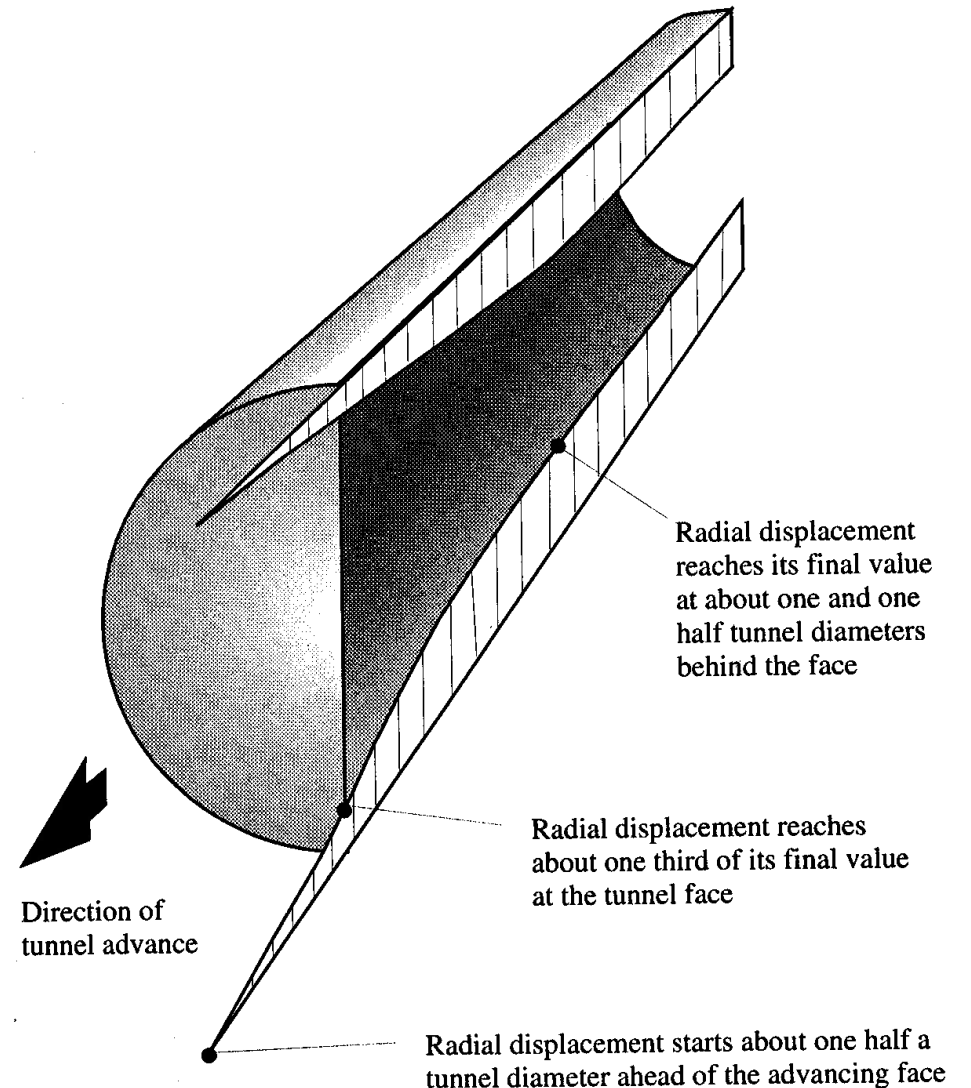
Utførelsesfasen – boring av rørskjerm

- Rørskjerm: diameter: 139,7 mm, veggtykkelse: 8,0 mm, stålkvalitet: S355 (355 MPa flytgrense)
- Hull i røret utstyrt med gummiplugger, designet for åpning ved 5 bar trykk
- Plugger fungerte dårlig og ble derfor senere fjernet før innboring, og injeksjon av annulus forenklet fra to til ett steg



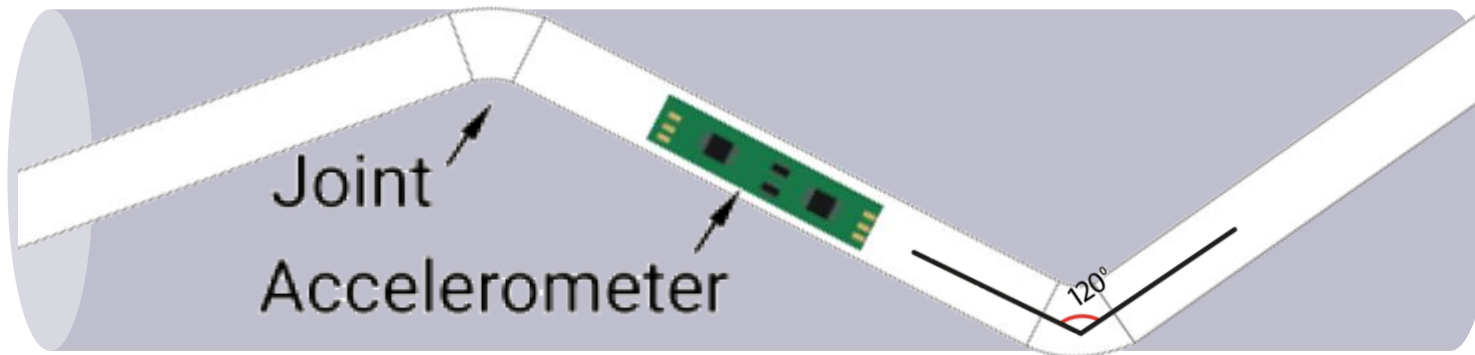
Klassisk teori: Deformasjon foran og bak stuff

- Deformasjon starter ca. $\frac{1}{2}$ diameter foran stuff
- Mesteparten av deformasjonen har skjedd $1 \frac{1}{2}$ diameter bak stuff
- Ved skvising kan deformasjon fortsette langt bak stuff
- Diameter Fornebubanen to sirkulære enkeltsporstunneler: $\varnothing 11,7$ m



Installasjon av inklinometer (NGI)

- Inklinometer er knekt opp og ned mellom veggene i plastrøret, for å ha kontakt med pvc-rør, men muliggjøre senere demontering av inklinometer
- Mulig feilkilde ved vibrasjoner osv. (bevegelser som ikke skyldes deformasjon)
- Kurveforløpet allikevel så jevnt at dette ikke ser ut til å ha påvirket



Utskrift fra datalogger inklinometer

- Vertikal akse – deformasjon
- Horisontal akse – dybde i borhull
- Tidskurver (fargekodet) som viser deformasjon over tid

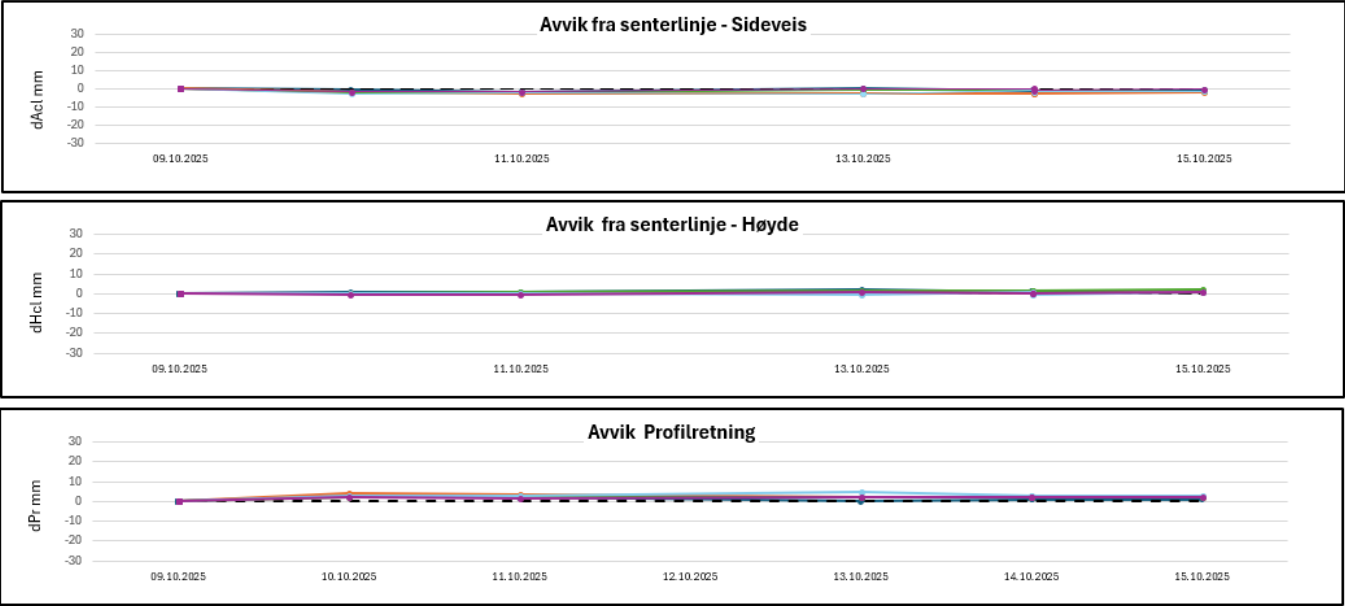


Konvergensmålinger på prismer

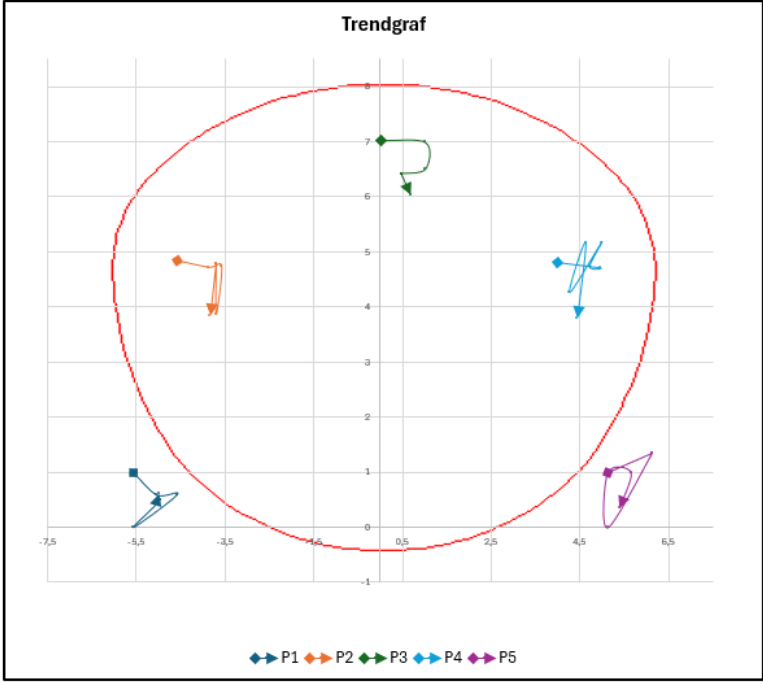
- Konvergensmålinger på prismer, 5 stk. montert i profilet i hver måleseksjon (totalt 120 stk.)
- Visuell framstilling av deformasjonsretning

Konvergensmålinger

Skøyen Venstre - Profil 4657



Veidekke



Dato måling	P1									P2									P3									Avst CL	
	Avst CL	H CL	Profilnr	dAcl	dHcl	dPr	X-skalert	Y-skalert	Z-skalert	Avst CL	H CL	Profilnr	dAcl	dHcl	dPr	X-skalert	Y-skalert	Z-skalert	Avst CL	H CL	Profilnr	dAcl	dHcl	dPr	X-skalert	Y-skalert	Z-skalert		
09.10.2025	-5,578	0,996	4656,373	0	0	0	-5,578	0,996		-4,586	4,835	4656,842	0	0	0	-4,58633	4,835049	4656,842	0,023	7,027	4656,752	0	0	0	0	0,023102	7,027247	4656,752	3,996
10.10.2025	-5,577	0,995	4656,370	-0,8468	0,8156	2,6116	-5,0471	0,5882		-4,584	4,835	4656,838	-1,90612	0,130571	4	-3,86819	4,714096		0,025	7,027167	4656,750	-1,99068	0,080315	2	1,023102	6,988113		3,999	
11.10.2025	-5,576	0,995	4656,371	-1,5949	0,7919	2	-4,578	0,6		-4,584	4,835	4656,839	-2,65425	0,106872	3,191751	-3,58633	4,736049		0,025	7,026168	4656,750	-1,99068	1,079675	2,379829	1,023102	6,501157		3,998	
13.10.2025	-5,578	0,994	4656,373	0	2	0	-5,578	-0,004		-4,584	4,834	4656,840	-2,32772	1,049289		-3,70935	3,863049		0,024	7,026	4656,750	-0,8977	1,247422	2	0,474055	6,41942		3,999	
14.10.2025	-5,577	0,995	4656,372	-1	1	1	-4,951	0,496		-4,584	4,835	4656,840	-2,32772	0,049289		-3,70935	4,789391		0,024	7,026	4656,750	-0,8977	1,247422	2	0,474055	6,41942		3,997	
14.10.2025	-5,577	0,995	4656,372	-1	1	1	-4,951	0,496		-4,584	4,835	4656,840	-2,32772	0,049289	2	-3,70935	4,789391		0,024	7,026	4656,750	-0,8977	1,247422	2	0,474055	6,41942		3,998	
15.10.2025	-5,577	0,995	4656,372	-0,931	0,765	1,000	-4,994	0,613		-4,584	4,834	4656,840	-1,991	1,080	2,000	-3,836	3,835		0,024	7,025	4656,750	-1,327	2,052	2,000	0,690	6,027		3,997	
				0	0	0	#N/A	#N/A					0	0	0	#N/A	#N/A					0	0	0	0	#N/A	#N/A		
				0	0	0	#N/A	#N/A					0	0	0	#N/A	#N/A					0	0	0	0	#N/A	#N/A		
				0	0	0	#N/A	#N/A					0	0	0	#N/A	#N/A					0	0	0	0	#N/A	#N/A		
				0	0	0	#N/A	#N/A					0	0	0	#N/A	#N/A					0	0	0	0	#N/A	#N/A		

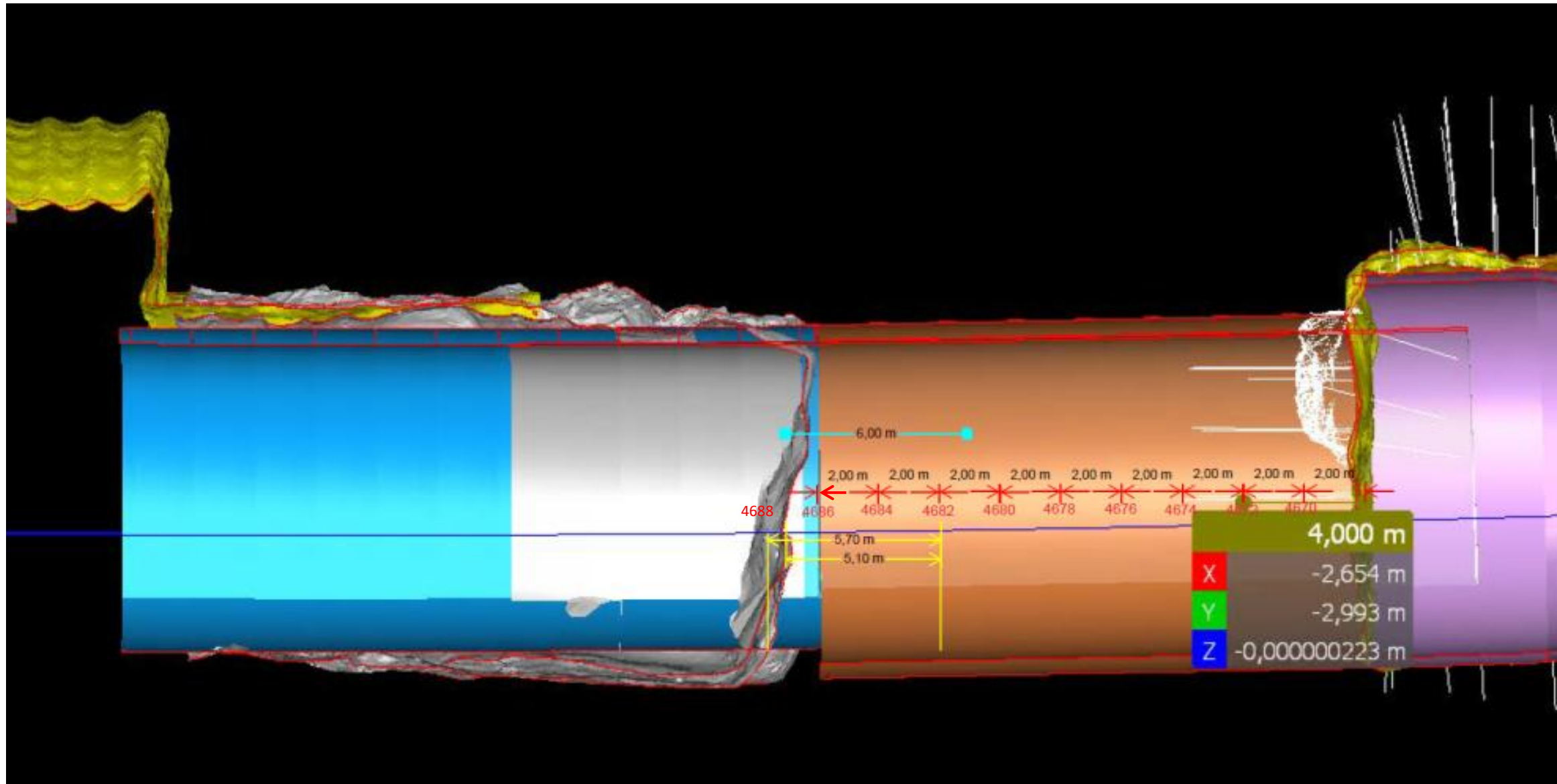


Oslo

14.05.2020

40

Inngående enkeltsporstunnel – pr 4668-4688



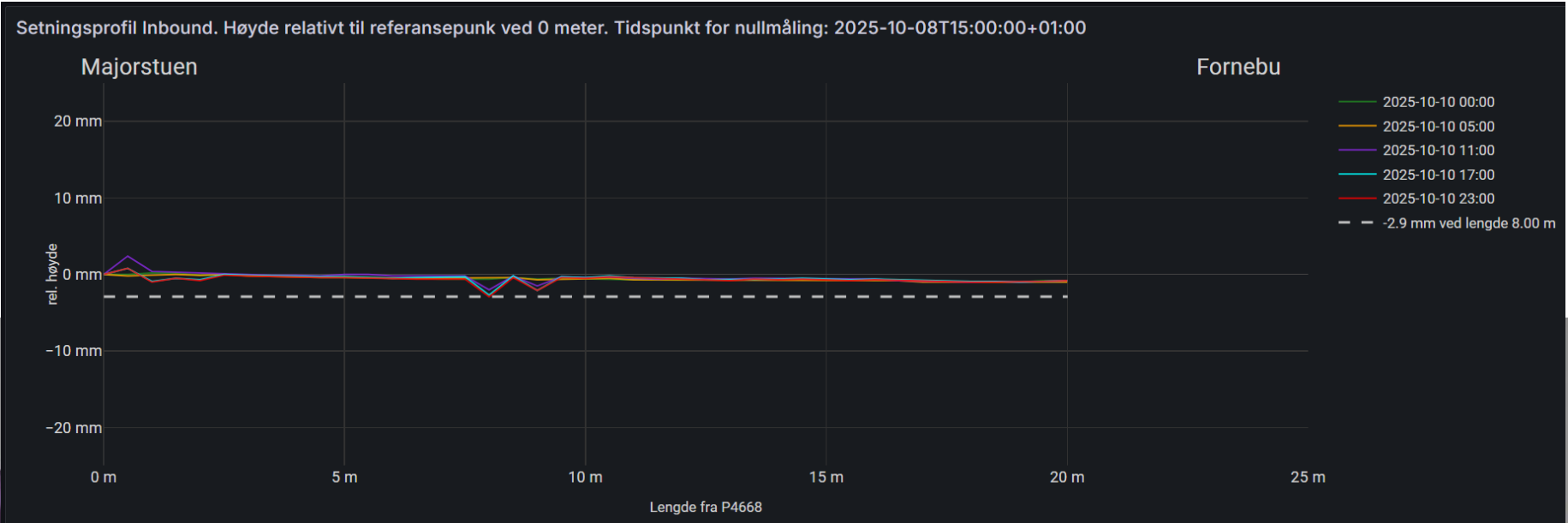
Inngående løp, profil 4666

10.10.2025:

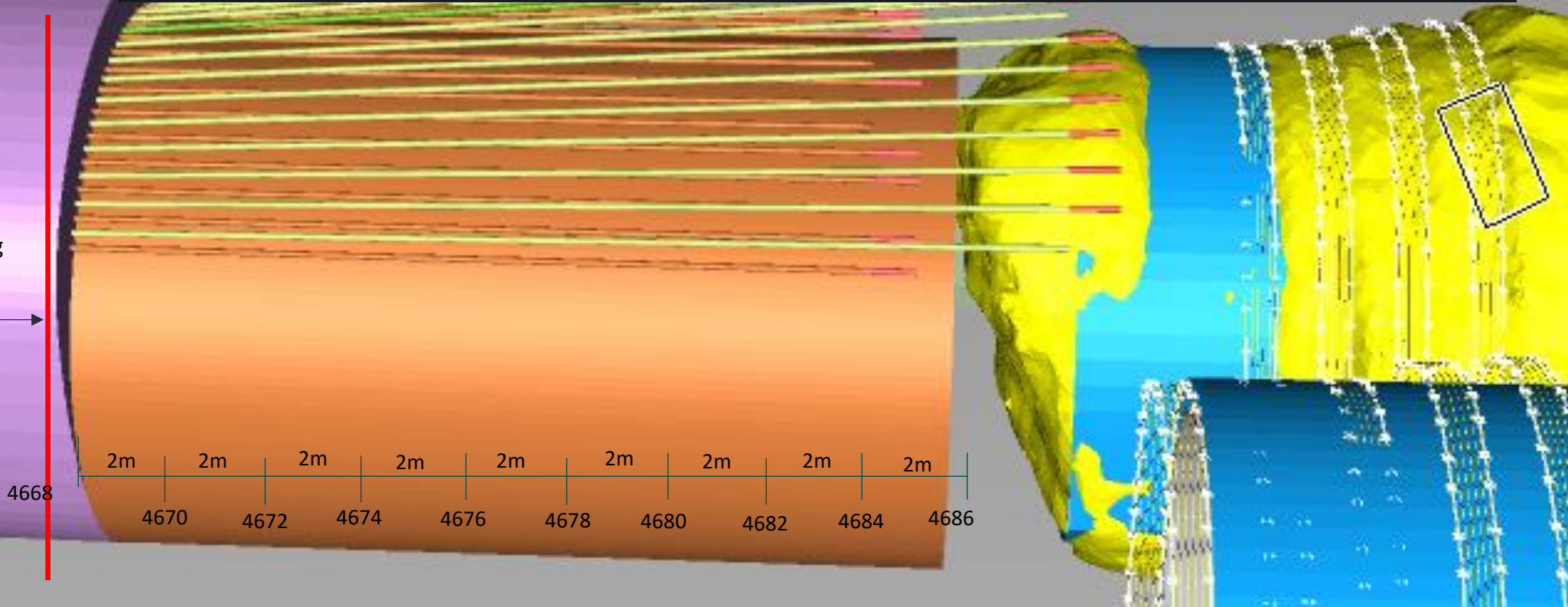
- Startet utgraving av inngående tunnellop, høyre halvdel av stoff i toppstollen ved hjelp av fresemaskin. Nokså solid berg på overflaten. Går derfor over til pigging.
- 4-delt oppdeling av stoff i toppstollen iht. design. Antall lommer ble justert basert på bergforholdene. Nødvendig med god kontroll på teoretisk utgravningslinje for å minimere overuttak mot rørparaplyen.



IG løp 4666



10.10.2025
Start tunneldriving
Km 4668

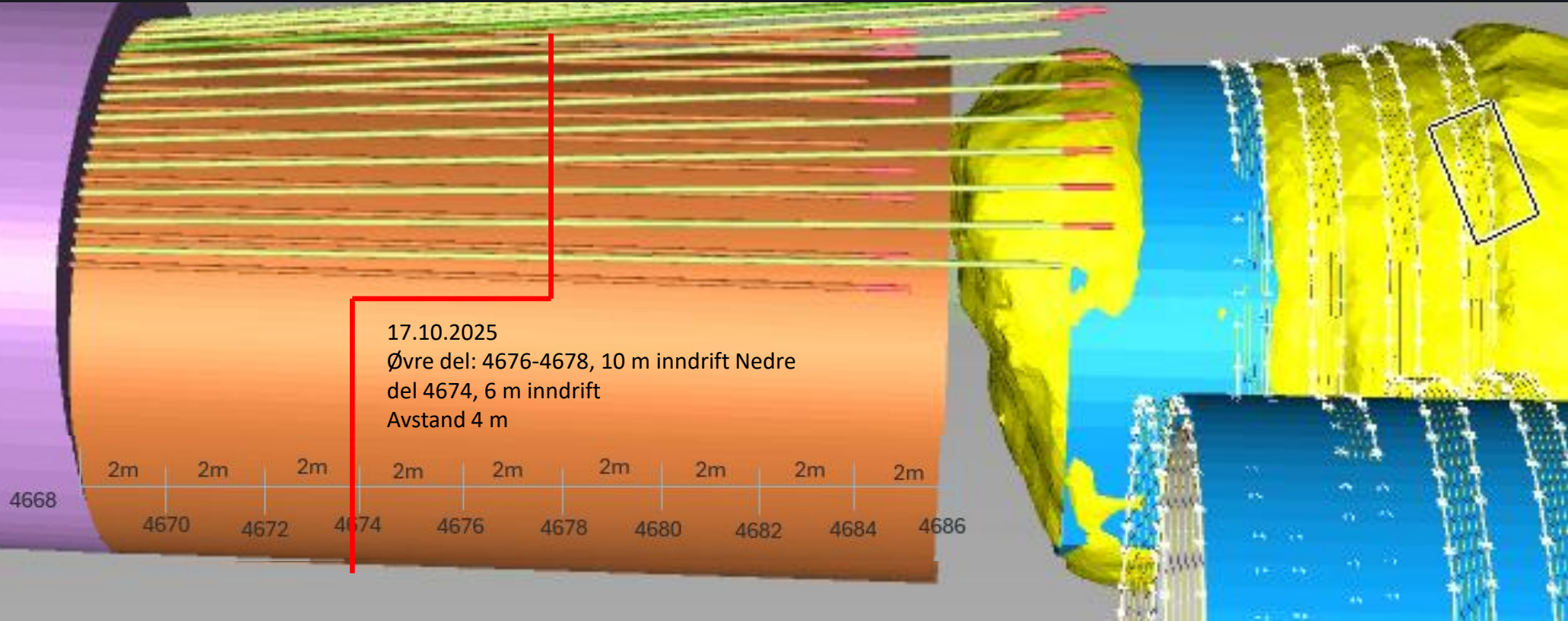
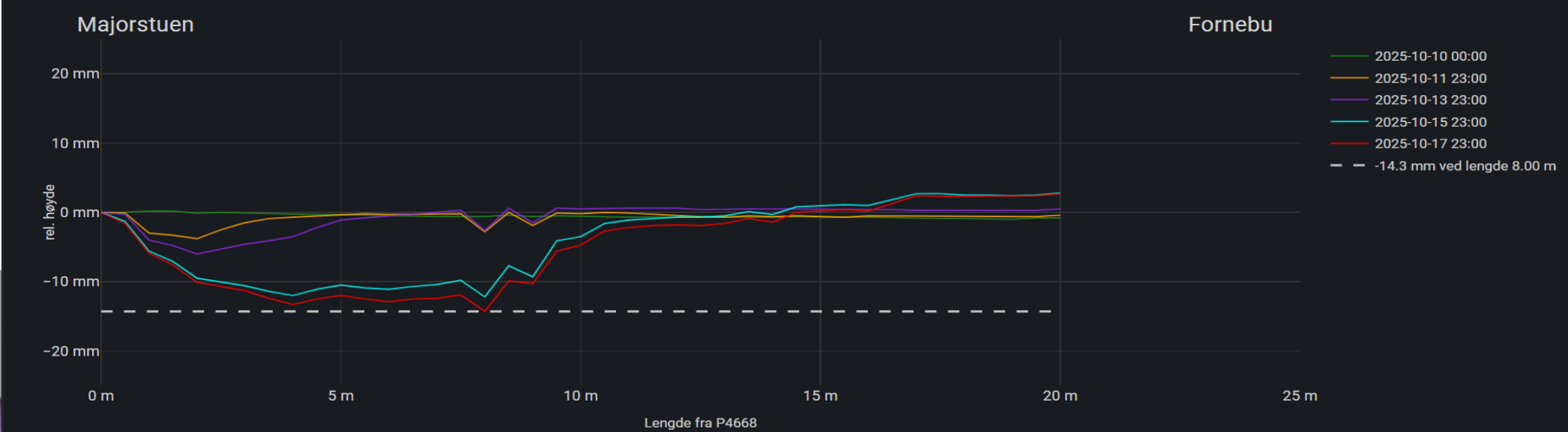


Inngående løp, profil 4678



IG løp
4678

Setningsprofil Inbound. Høyde relativt til referansepunkt ved 0 meter. Tidspunkt for nullmåling: 2025-10-08T15:00:00+01:00



Inngående løp, profil 4678 (fra FOBs daglig rapport til iC/PGF)

17.10.2025:

- Endevegg på borekammeret ved profil 4668. Venter oppstart utgraving av toppstoll venstre side fra profil 4676. Profil høyre side 4678 (10 m inndrift). Bunnstross utgravd og sprøytebetong-ring snart lukket på pr: 4674 (6 m inndrift). Nye stuffbolter installert 16.10. Står igjen ett sett med stuffbolter som skal bores gjennom til stasjonssiden med plate på begge sider av sonen først på profil 4682.
- Bergmassekvalitet: Bunnstross hovedsakelig med god bergmassekvalitet, men de siste to meterne med lavere kvalitet (kun gravemaskinskuffe ble brukt). Utfordrende å bestille tilstrekkelig sprøytebetong til å sprøyte ringlukningen i én omgang. Etter utført sprøytebetong vil entreprenøren nå fortsette med utgraving av toppstoll. Nedre halvdel av stuff-flaten fra Skøyen er ennå ikke tilbakefylt (opp til kote -42) som iC ønsker. FOB følger opp utførelse av tilbakefylling, ev. kommer opp med alternativer til oppfylling.

IG Toppstoll drevet fram til 4679

20.10.2025:

- Toppstoll, profil: 4679
- Intrusivgang (Mænaitt, mikrosyenitt) kan sees med markerte skarpe kanter i nedre høyre hjørne (betegnet som «størknet hvetemel») av stuff-folket



IG Tunnel drevet fram til 4.681

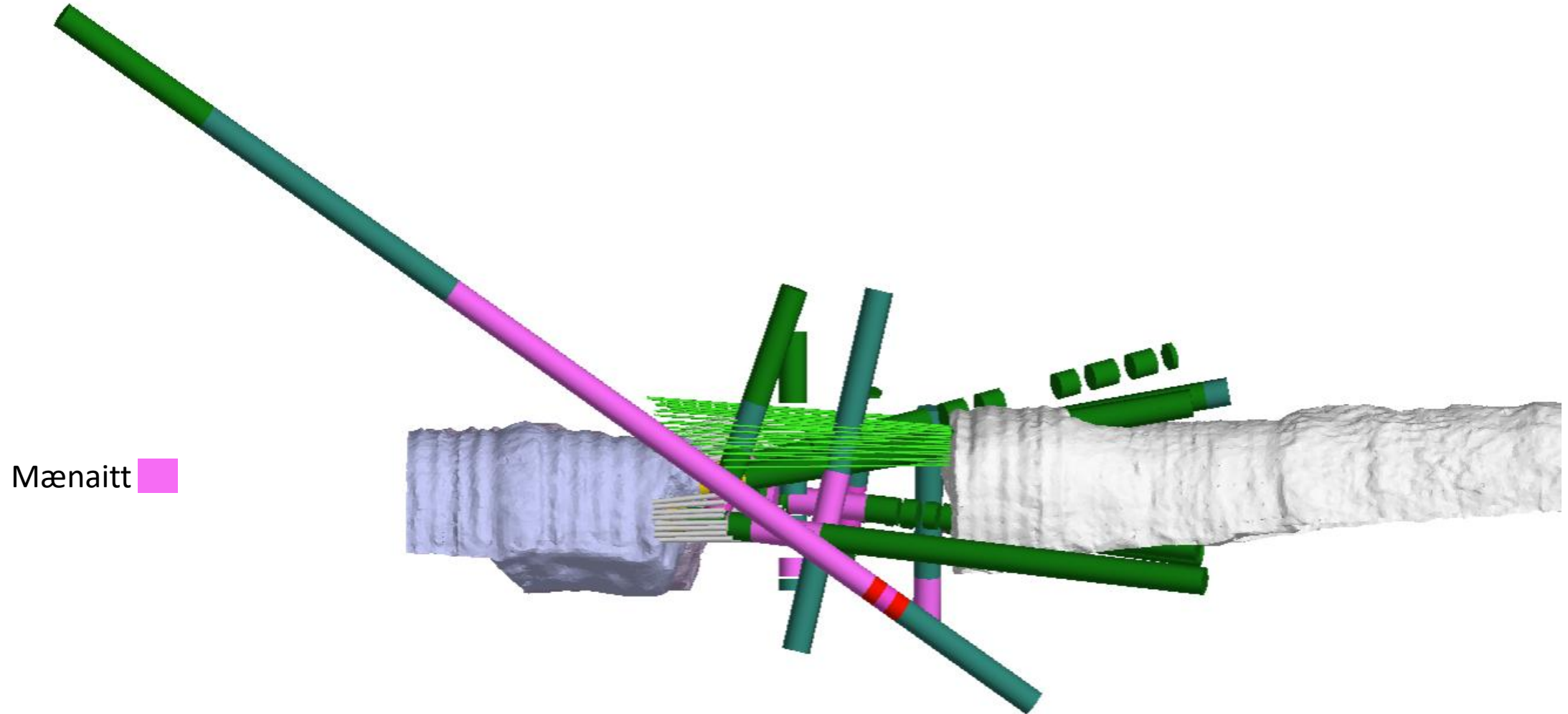
24.10.2025:

- Toppstoll, profil:
4684, bunnstross,
profil: 4681
Planlegger
gjennomslag
mandag 27.10
- Intrusivgang
(Mænaitt,
mikrosyenitt) i
øvre del av
bunnstross profil



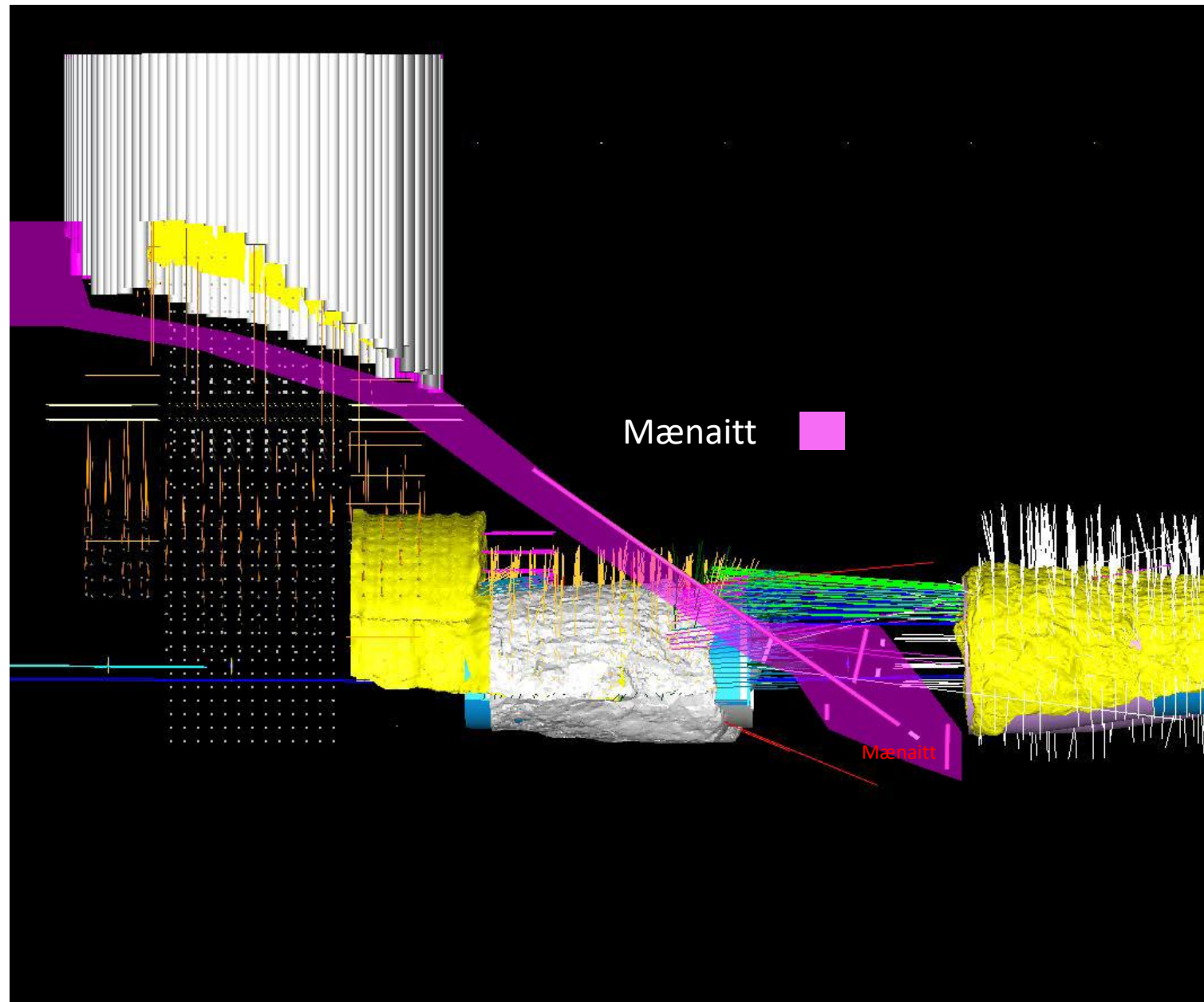
Oslo

Intrusivgang (mænaitt) i kjerneboringer – sett fra IG løp

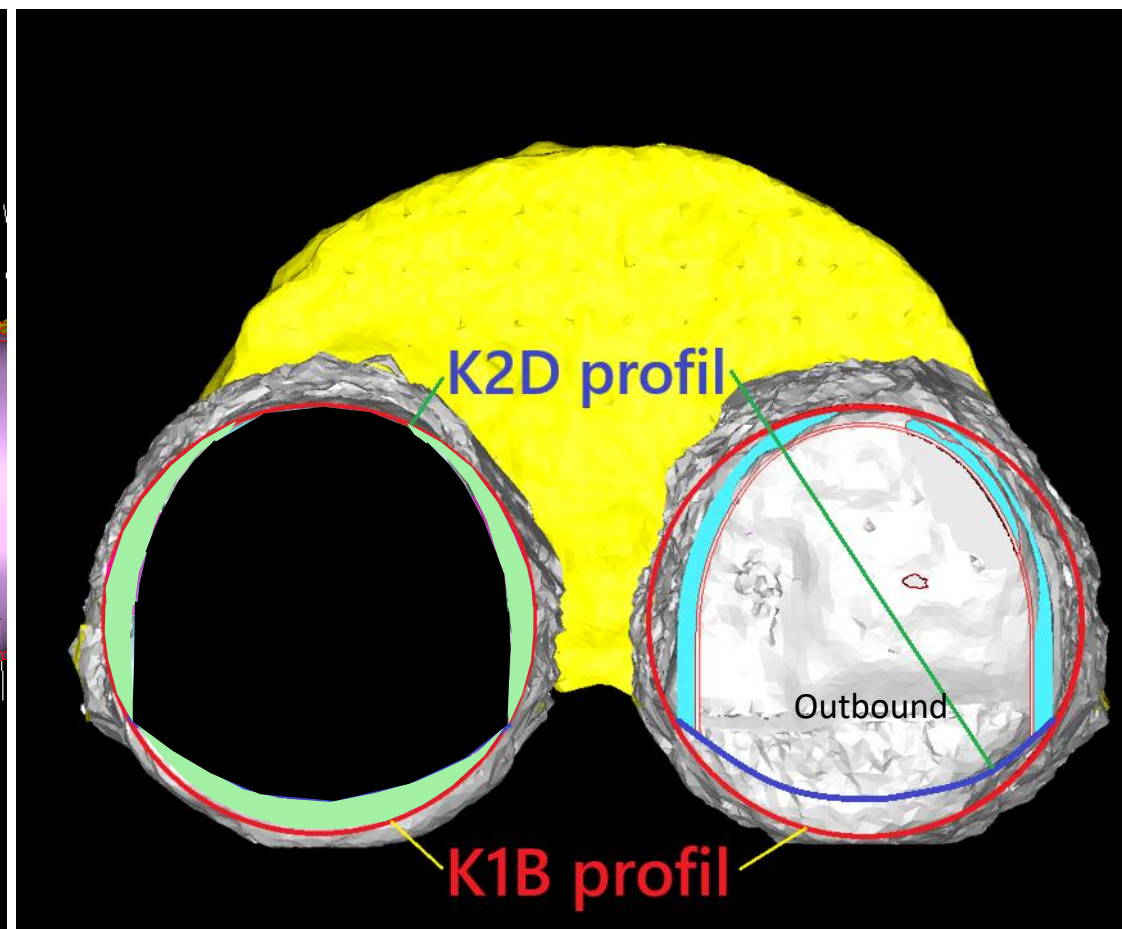
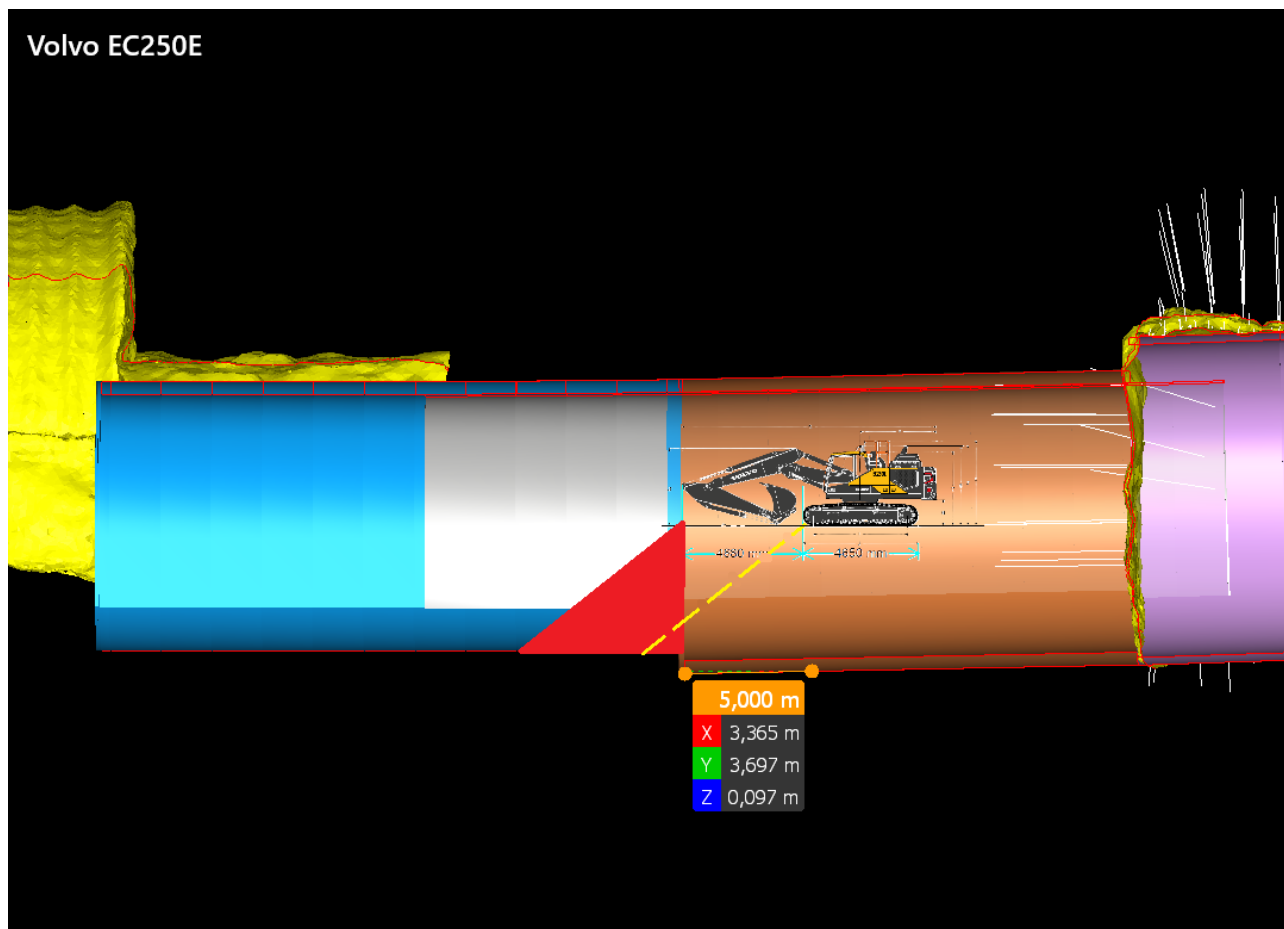


IG løp: Tolket mænaitt

Snitt av tolket opptreden av mænaitt-
gangen i Frognerkilforkastningen
basert på kjerne hull, observasjoner
under boring av sekantpelgrop og
under driving av inngående løp både
fra Skøyen og fra Madserud



IG løp: Vektrestriksjon nær stuff før gjennomslag



Inngående enkeltsporstunnel – gjennomslag

27.10.2025:

- Gjennomslag inngående tunnellop



Oslo

Inngående tunnellop

29.10.2025:

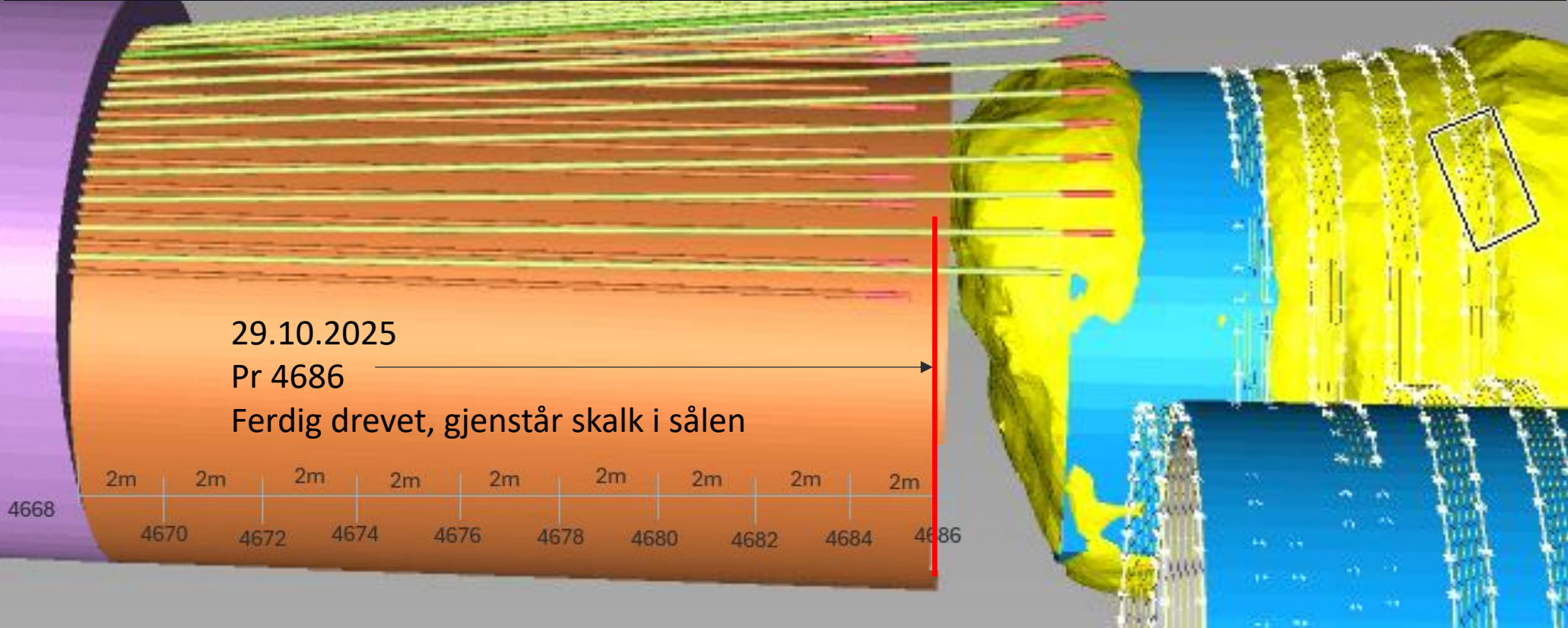
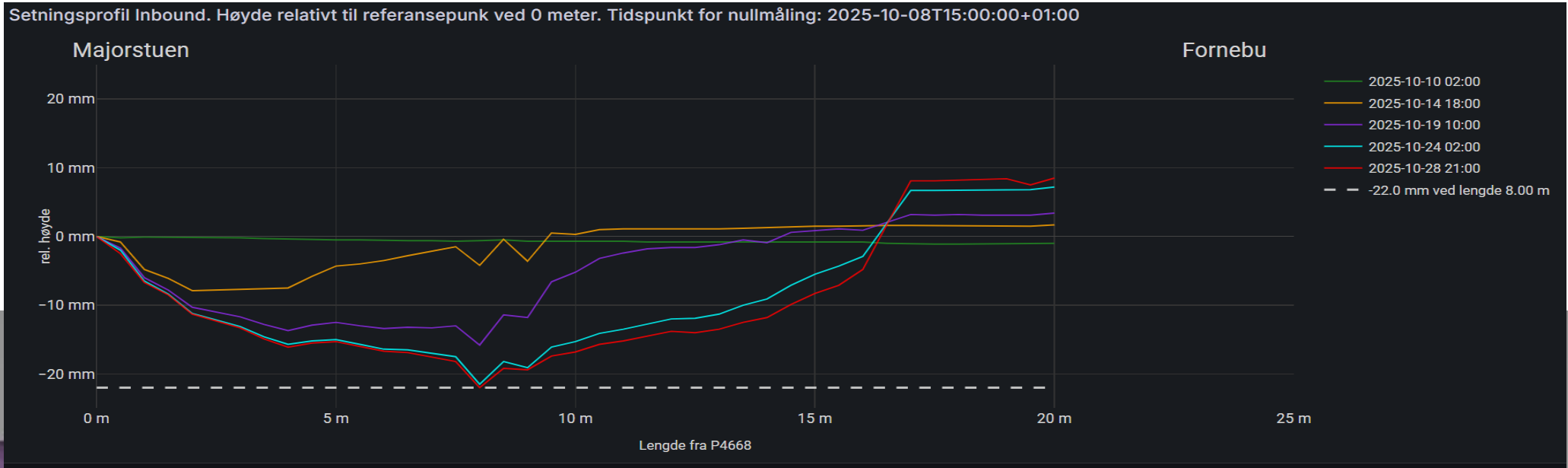
- Sålen ved pel 4683-84
- Sakte framdrift grunnet fastere berg
- Antatt berguttak fram til profil 4686 ila. dagen



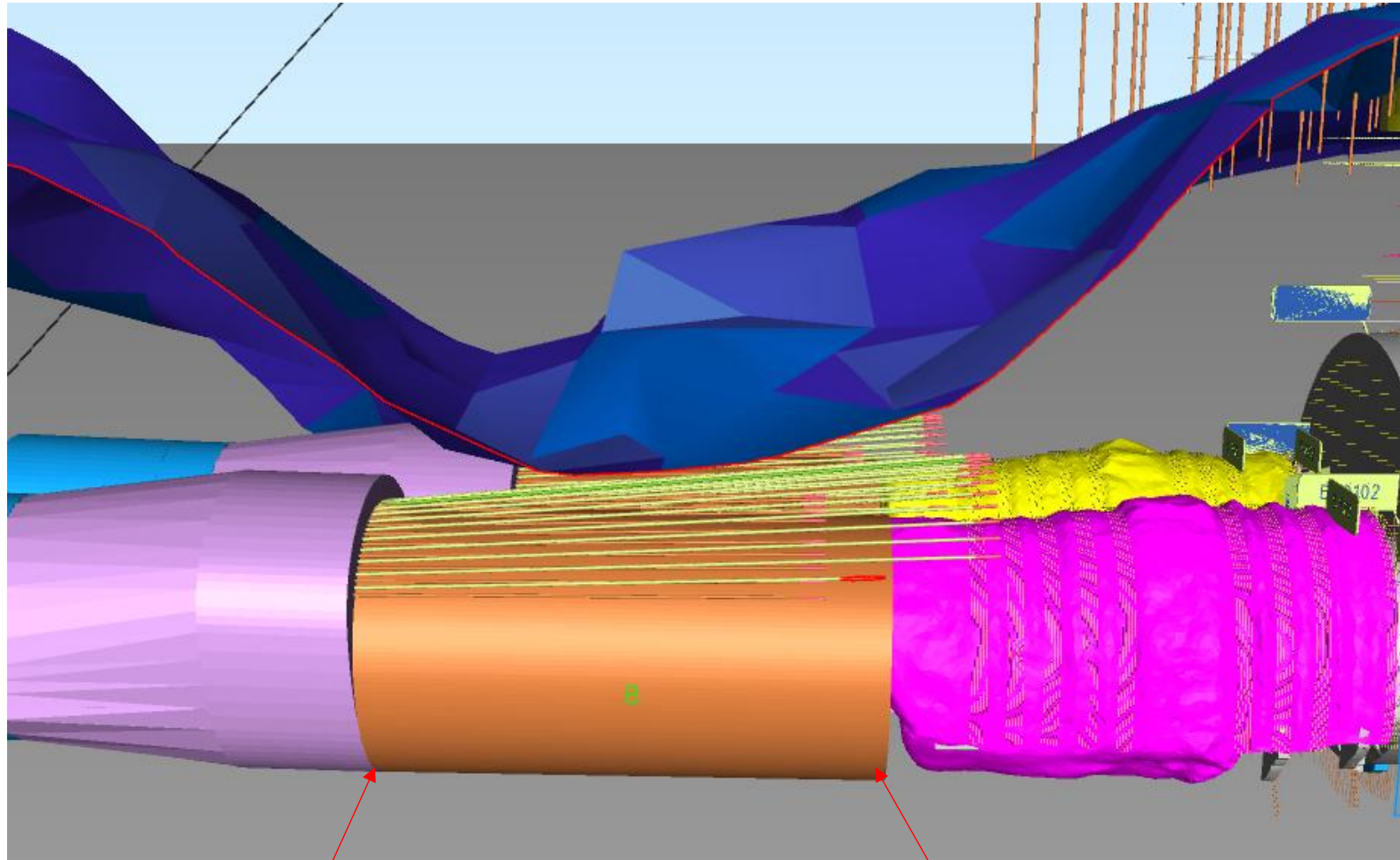
Oslo



IG løp 4686

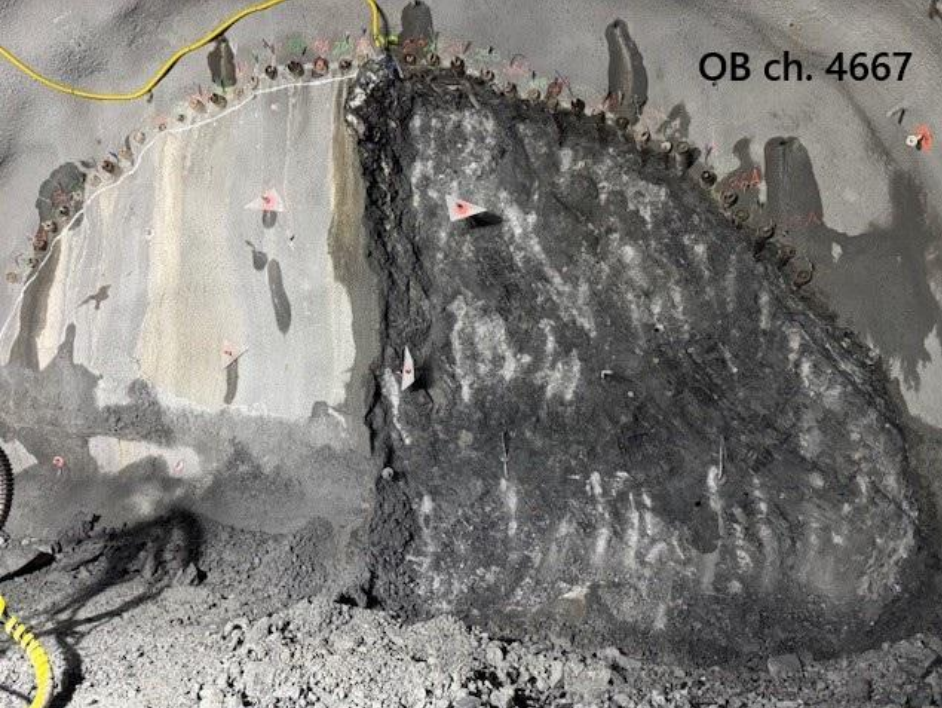


Utgående enkeltsporstunnel – pr 4666-4688



4666

4688

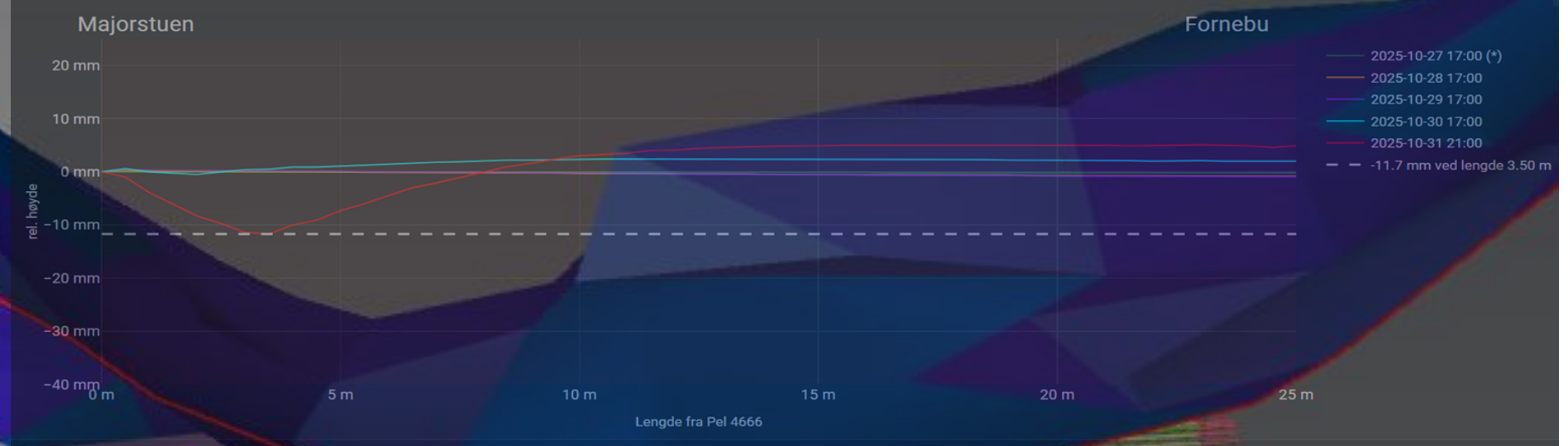


31.10.2025:

Utgravingen av den utgående tunnelen startet i natt/tidlig morgen. Ganske hard bergmasse i mesteparten av den øvre delen av stoffen, todelt vertikalt. Se bilder nedenfor.

Begge lommer i toppstollen er nå i flukt på km. 4669

Setningsprofil Outbound. Høyde relativt til referansepunkt ved 0 meter. Tidspunkt for nullmåling: 2025-10-27T17:00:00+01:00



31.10.2025
Km 4669

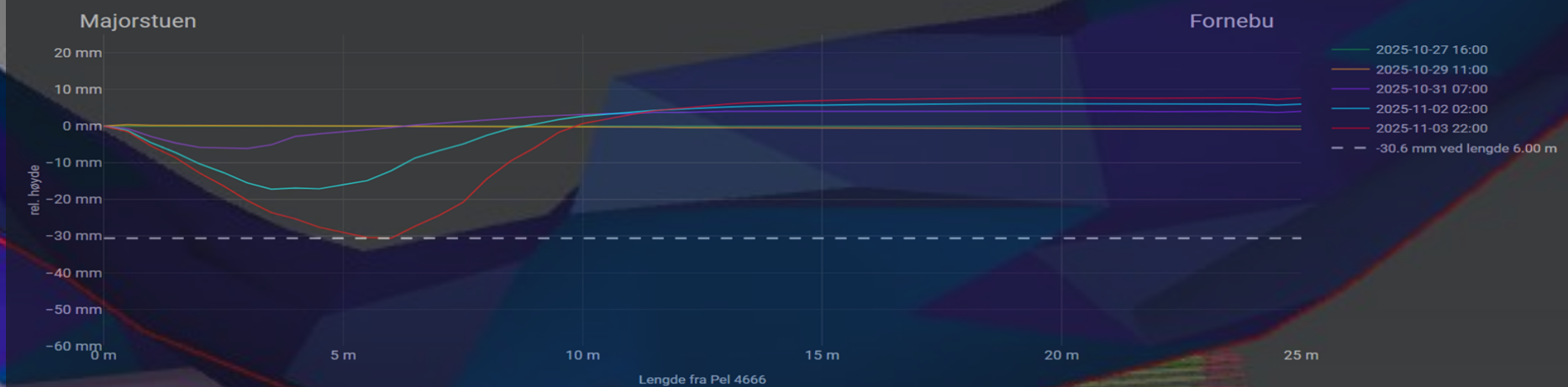
4666

4688



0

Setningsprofil Outbound. Høyde relativt til referansepunkt ved 0 meter. Tidspunkt for nullmåling: 2025-10-27T17:00:00+01:00



03.11.25

Km 4674

Avstand 8 m, - og
stopper videre
driving av toppstoll
grunnet tiltagende
deformasjon

4666

4688



OB ch. 4674/4672
2025-11-05 16:57 📷

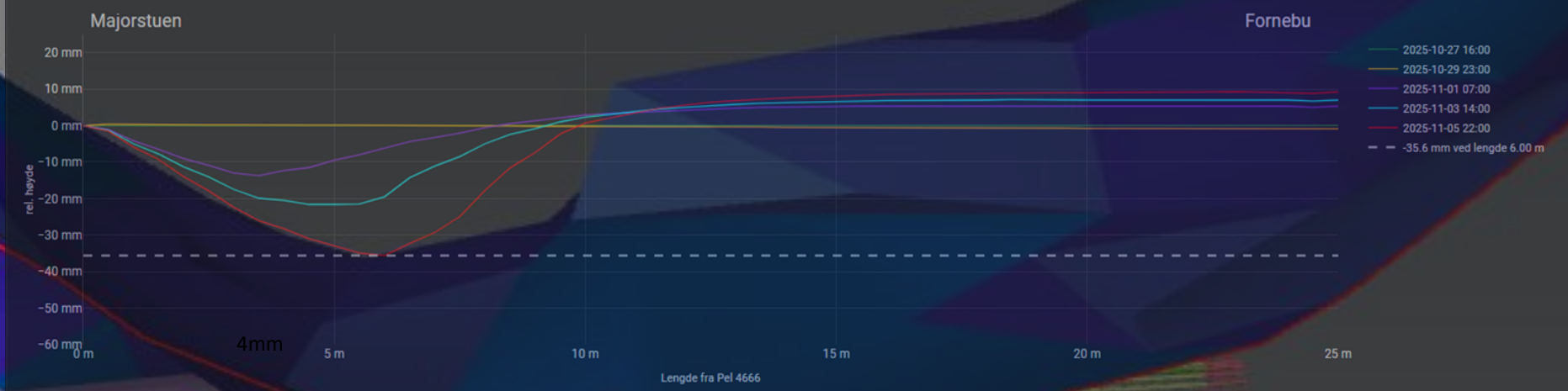
05.11.2025:

- Toppstoll, profil:
4674, bunnstross,
profil: 4672
- Intrusivgang
(Mænaitt,
mikrosyenitt) i
nedre høyre del av
stuff bunnstross



Oslo

Setningsprofil Outbound. Høyde relativt til referansepunkt ved 0 meter. Tidspunkt for nullmåling: 2025-10-27T17:00:00+01:00



05.11.25
Km 4674,5
Avtagende
deformasjon med
lukking av ring
Km 4672



4666

4688



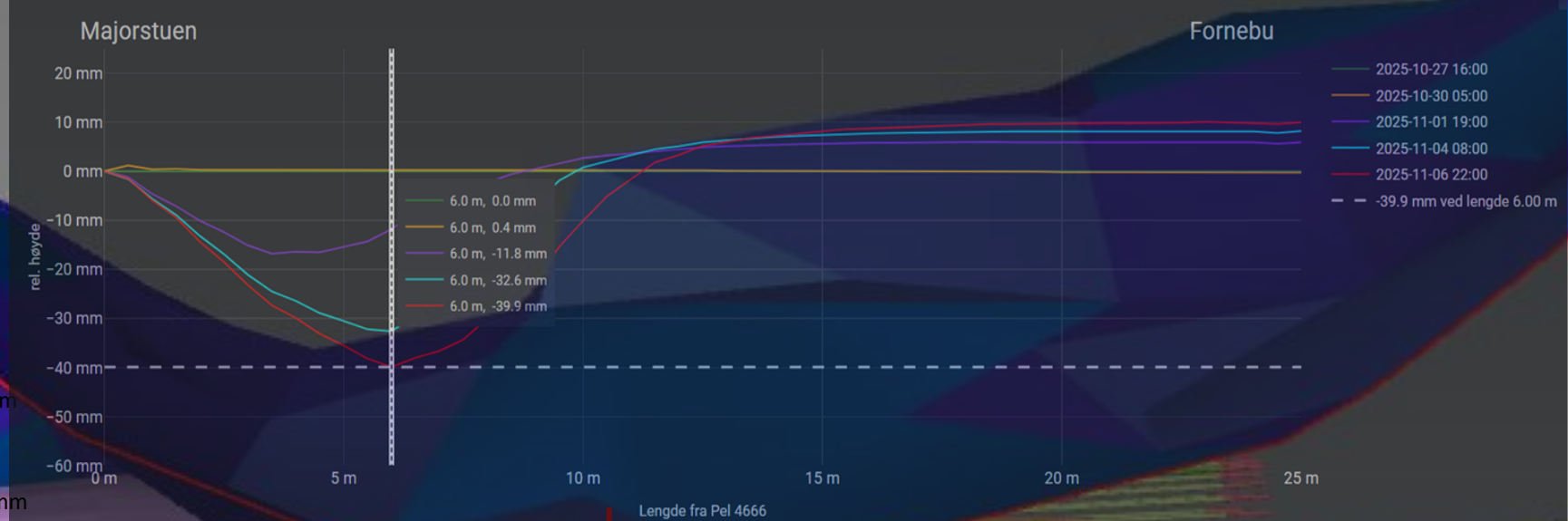
UG løp 4677

OB ch. 4677 rhs
2025-11-06 18:11



06.11.2025:

- Intrusivgang (Mænaitt, mikrosyenitt) på tvers og i øvre høyre del av stuff toppst ll



5mm

4,5mm

3,6mm

06.11.25
Km 4677

7mm

Km 4672



4666

4688



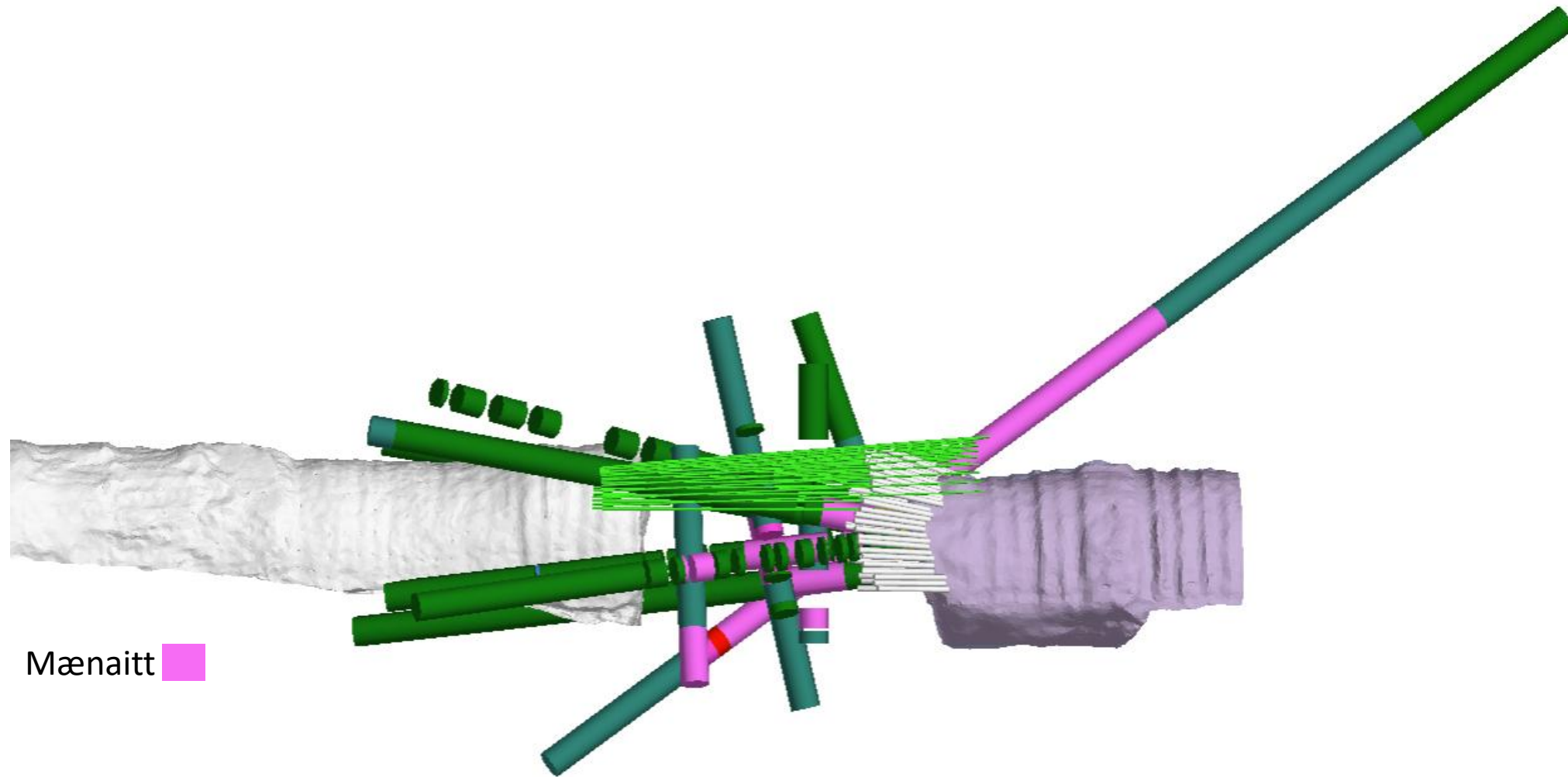
UG l p 4680



UG l p 4684-4685,2



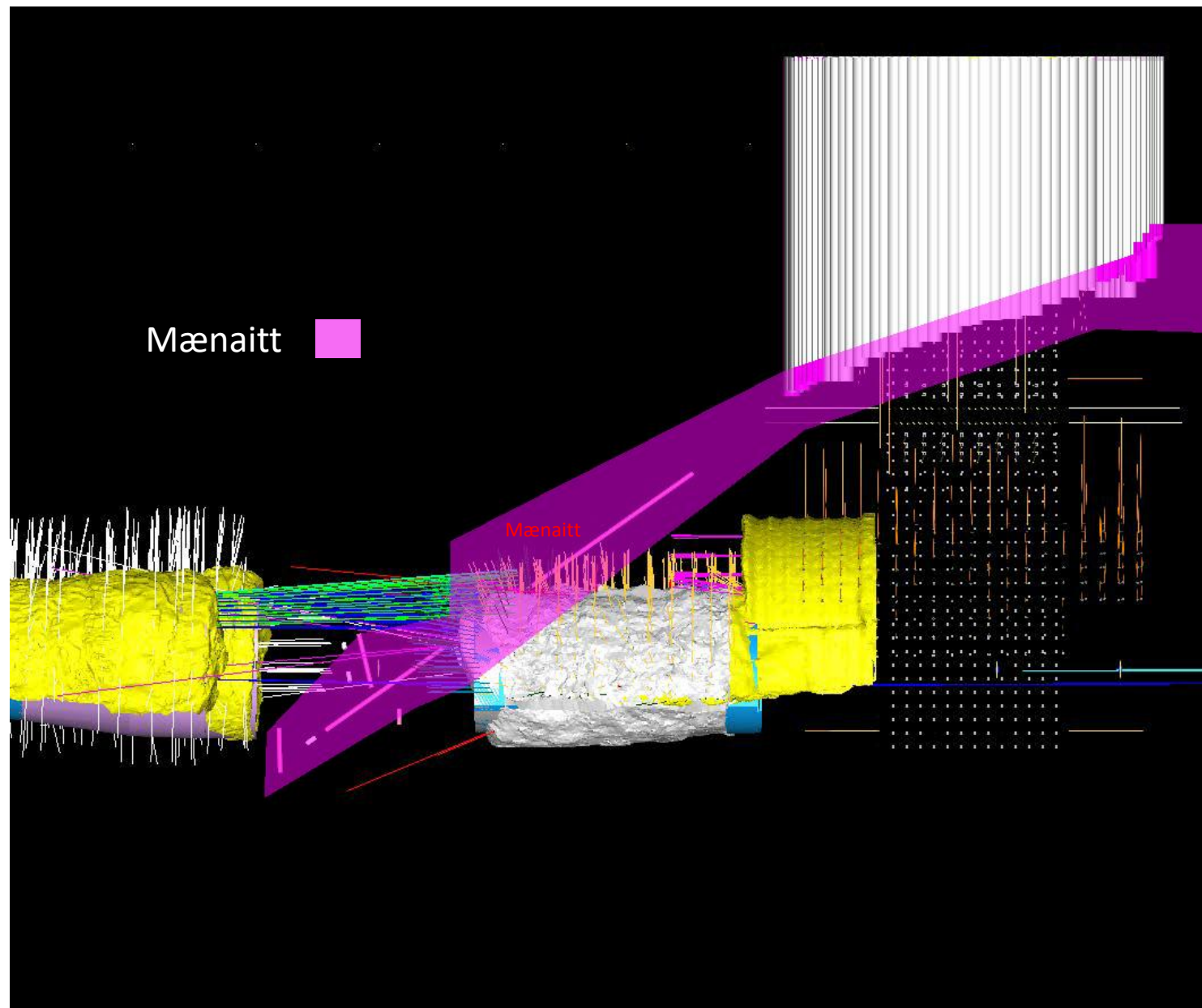
Intrusivgang (mænaitt) i kjerneboringer – sett fra UG løp



Mænaitt

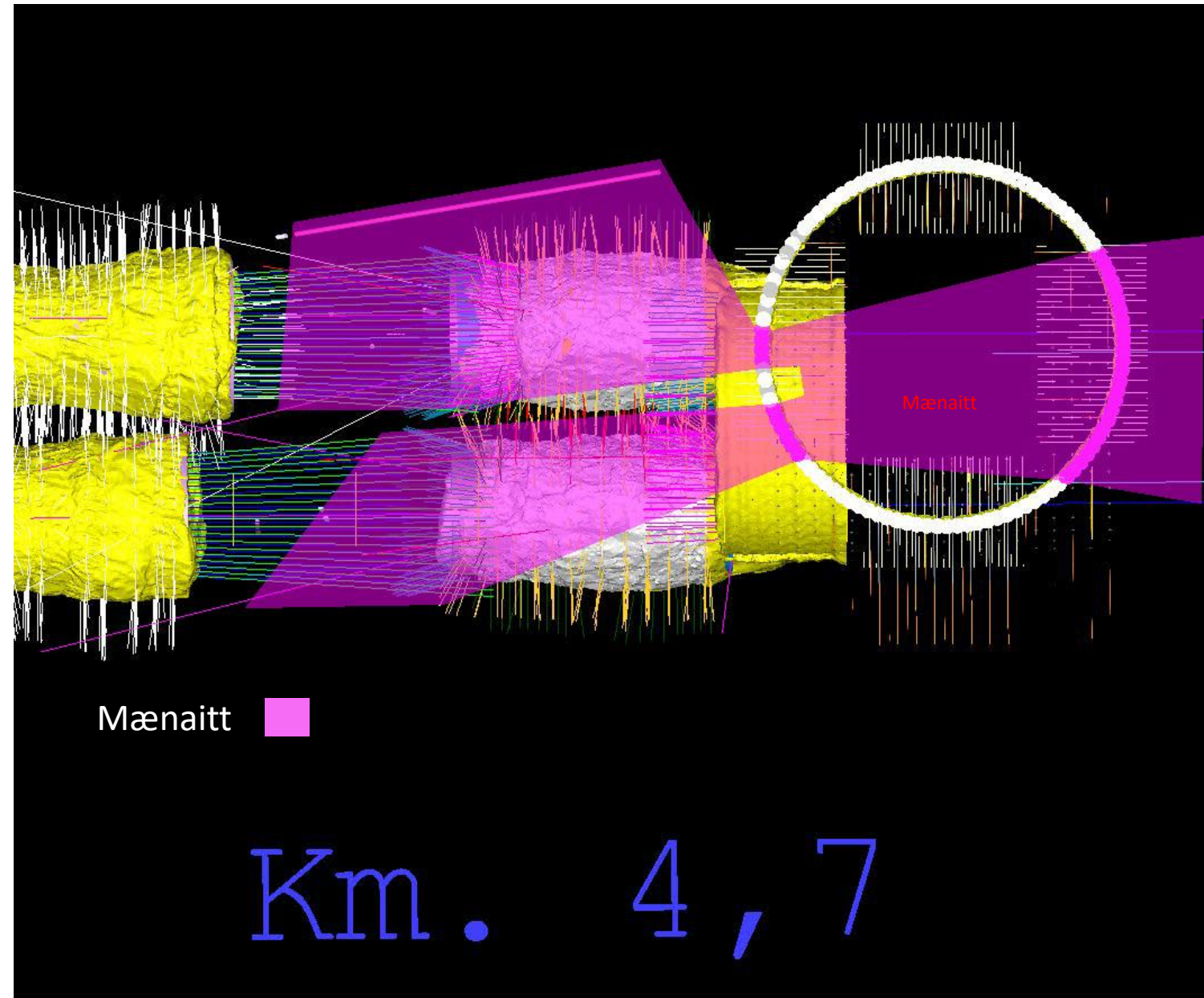
UG løp: Tolket mænaitt

Tolket opptreden av mænaitten i Frognerkilforkastningen basert på kjerne hull, observasjoner under boring av sekantpelgrop og under driving av utgående løp både fra Skøyen og fra Madserud

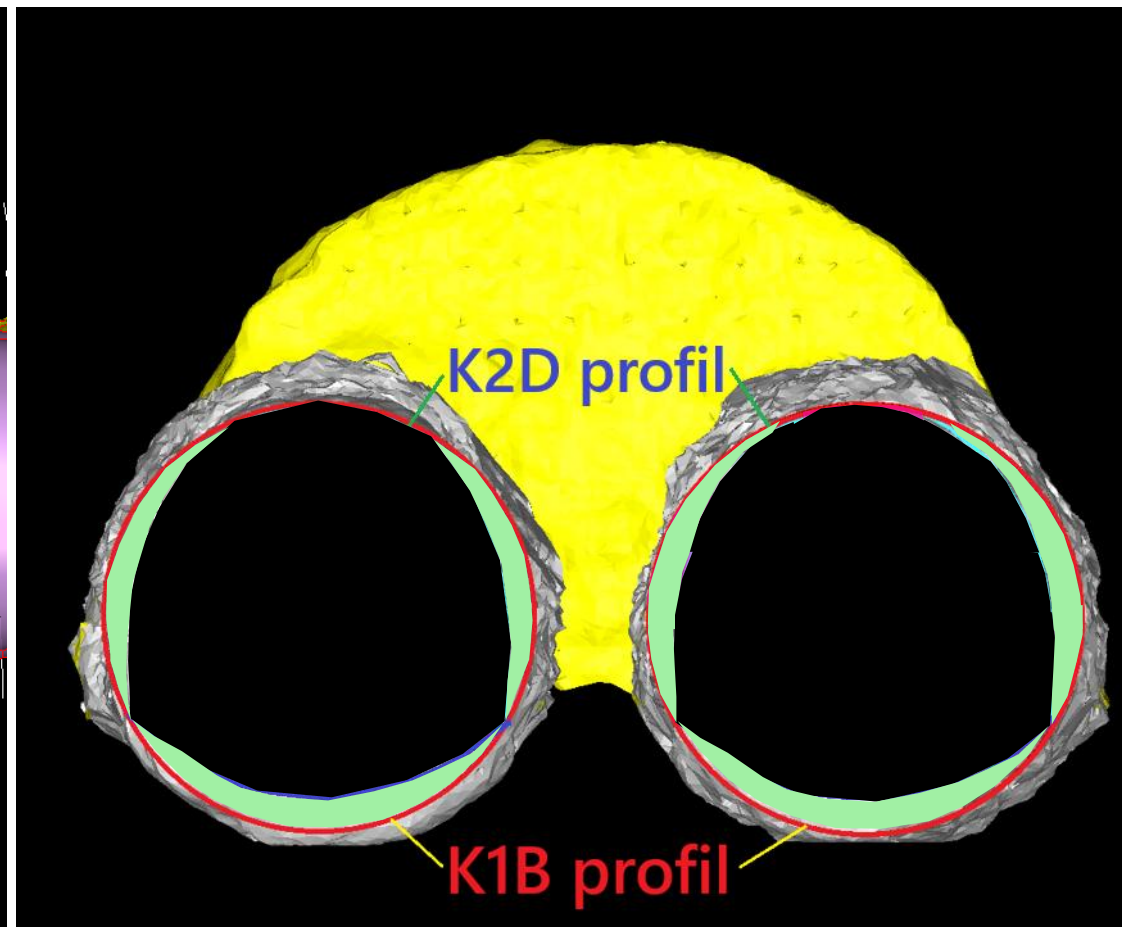
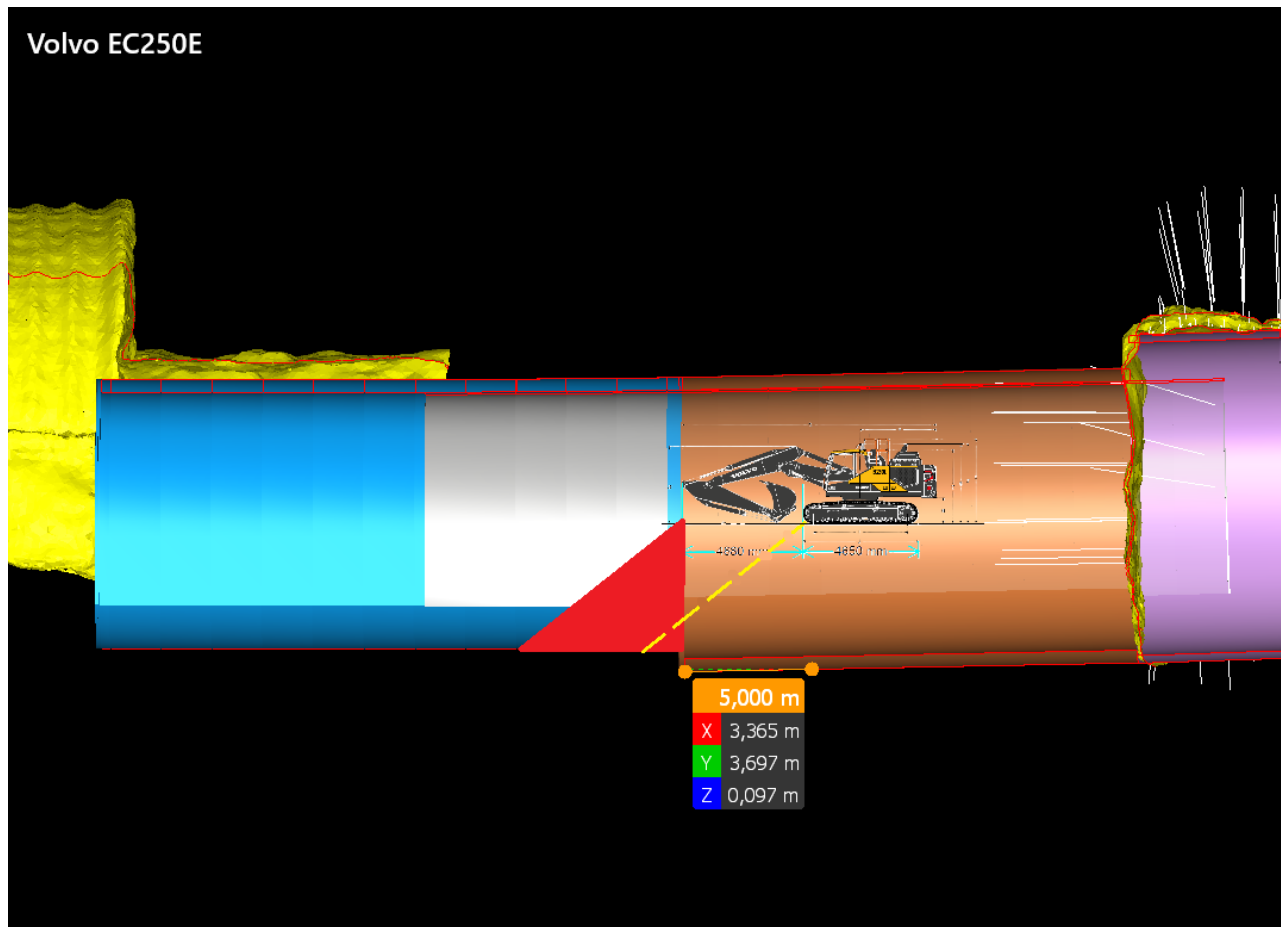


Skøyen: Tolket mænaitt

Tolket utstrekning av mænaitten i Frognerkilforkastningen nær Fornebubanens tunneler og bergrom, basert på kjerne hull, observasjoner under boring av sekantpelgrop og under driving av utgående løp både fra Skøyen og fra Madserud



UG løp: Vektrestriksjon nær stuff før gjennomslag



13.11.2025:
Gjennomslag! (aller
siste) på
Fornebubanen

Mænaitten kunne
graves for hånd
(størknet krem)



Oslo

Deformasjonsmålinger

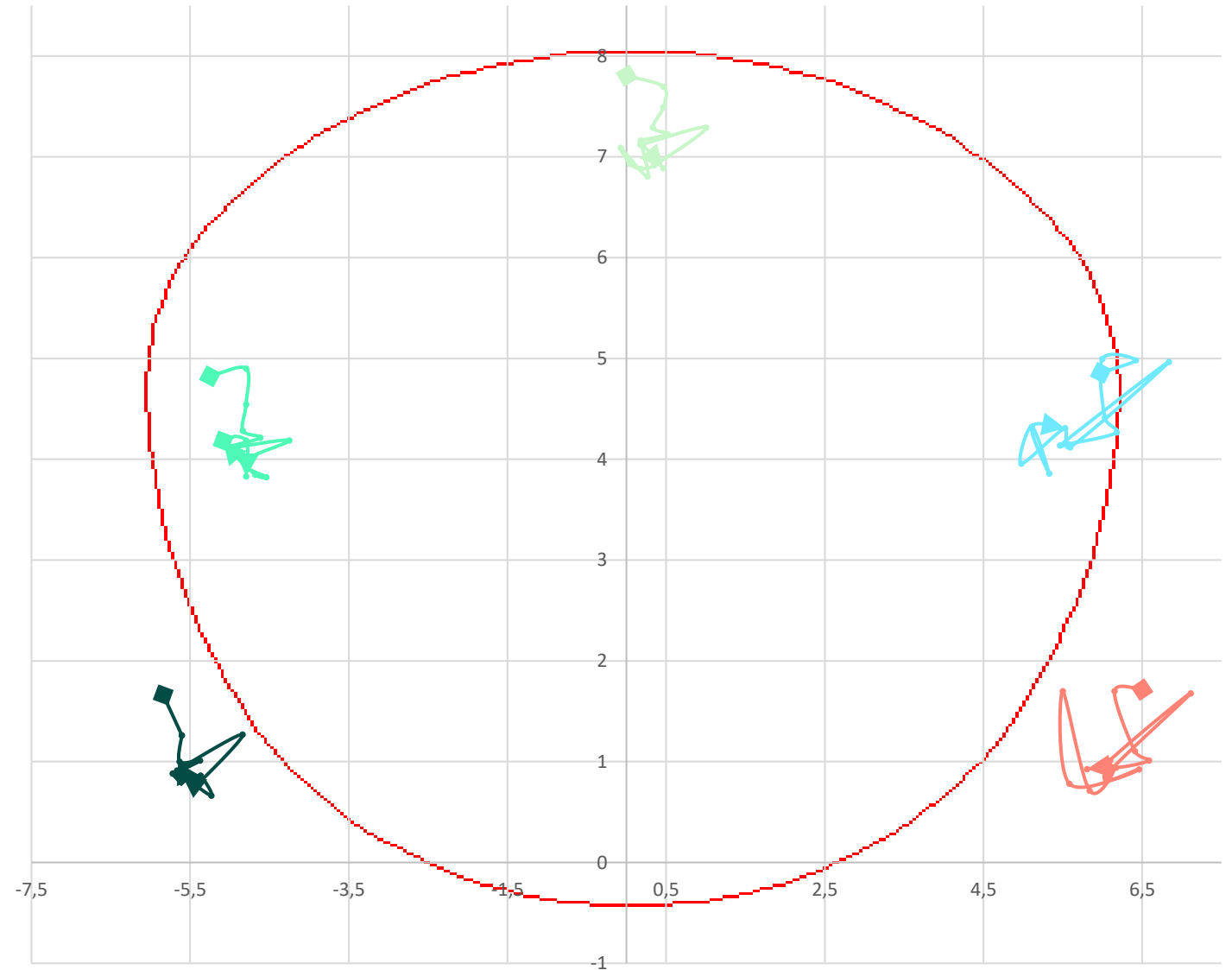
Målestasjon pr. 4665 UG løp

Plassert i borekammer 1 m foran
start inklinometer: P3 i hengen
viser 5,5 mm setning



Oslo

Trendgraf

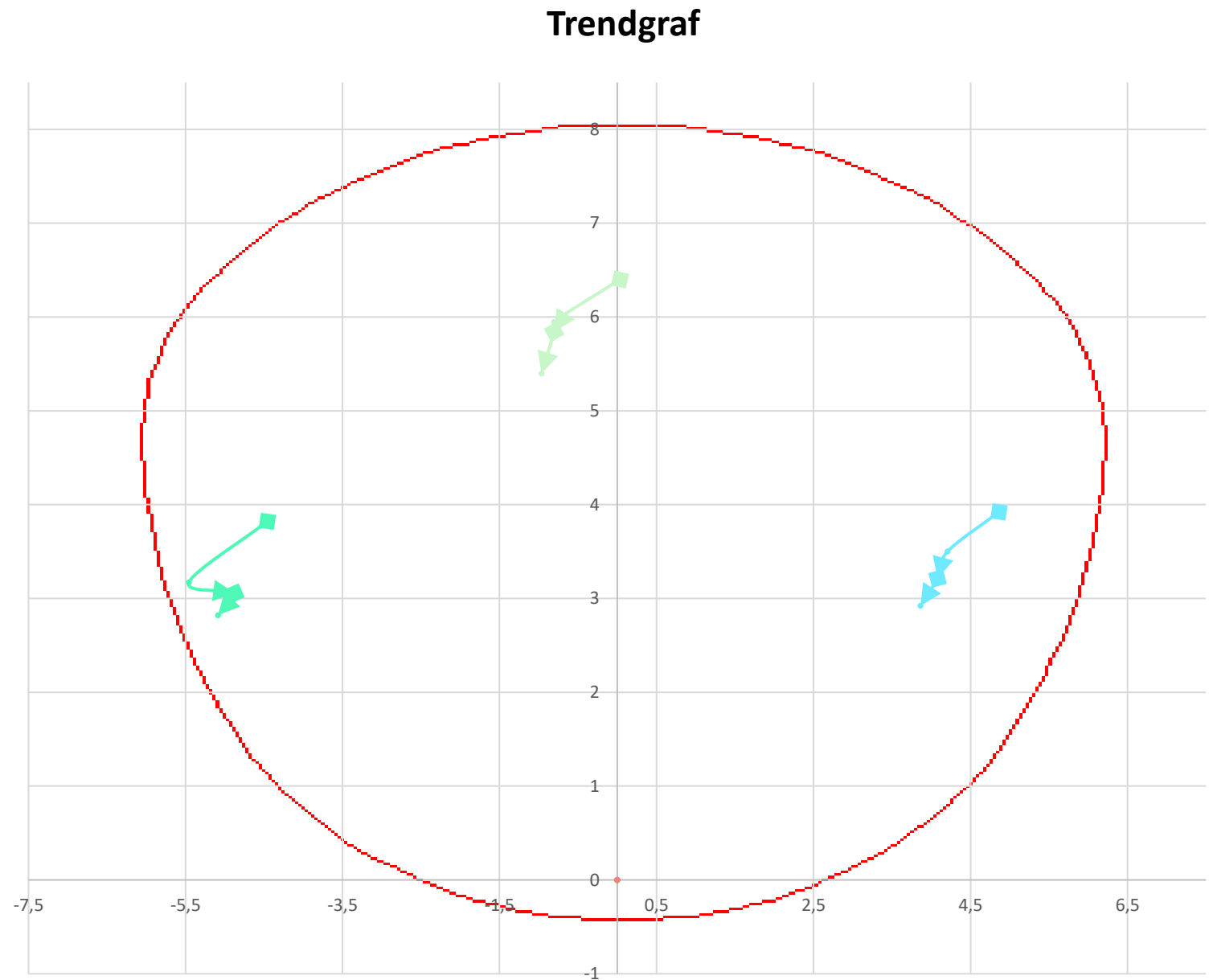


◆ P1 ◆ P2 ◆ P3 ◆ P4 ◆ P5

Deformasjonsmålinger

Målestasjon pr. 4669 UG løp

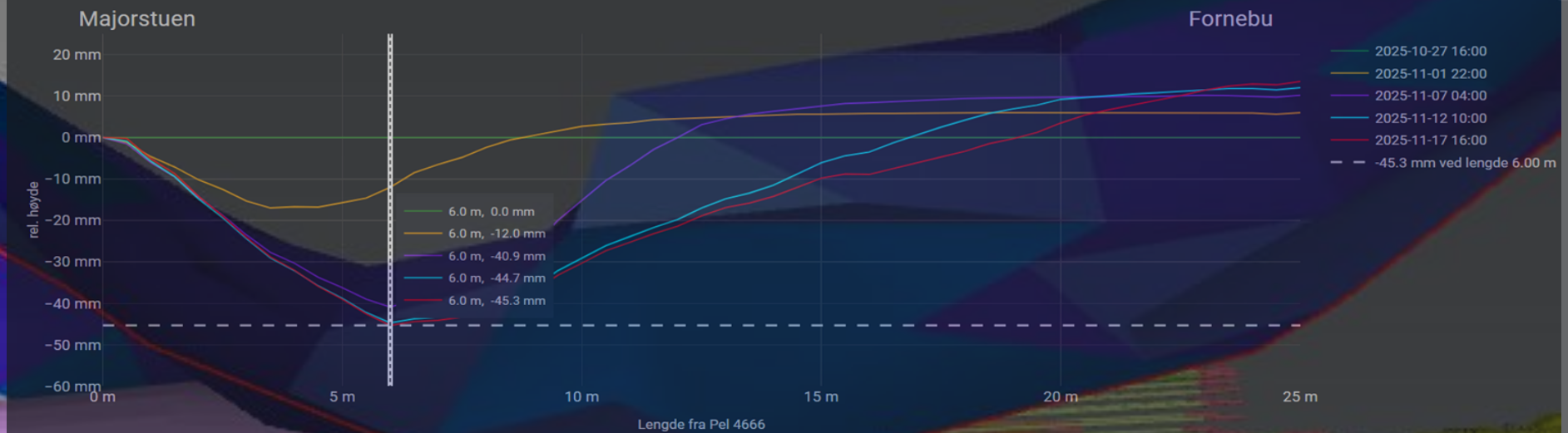
7 mm setning i høyre vegg, p4



Oslo

◆ P1 ◆ P2 ◆ P3 ◆ P4 ◆ P5

Setningsprofil Outbound. Høyde relativt til referansepunkt ved 0 meter. Tidspunkt for nullmåling: 2025-10-27T17:00:00+01:00



5,5mm

3,6mm

7mm

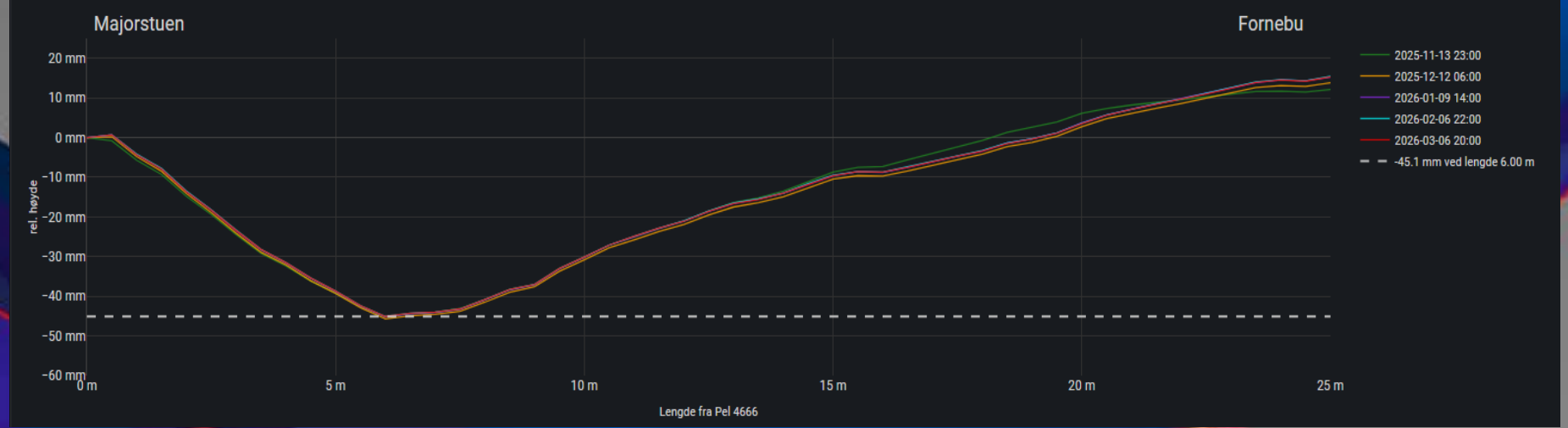
17.11.25
Km 4688

Ferdig
berguttak
Inklinometer
stabil

4666

4688





5,5mm

3,6mm

7mm

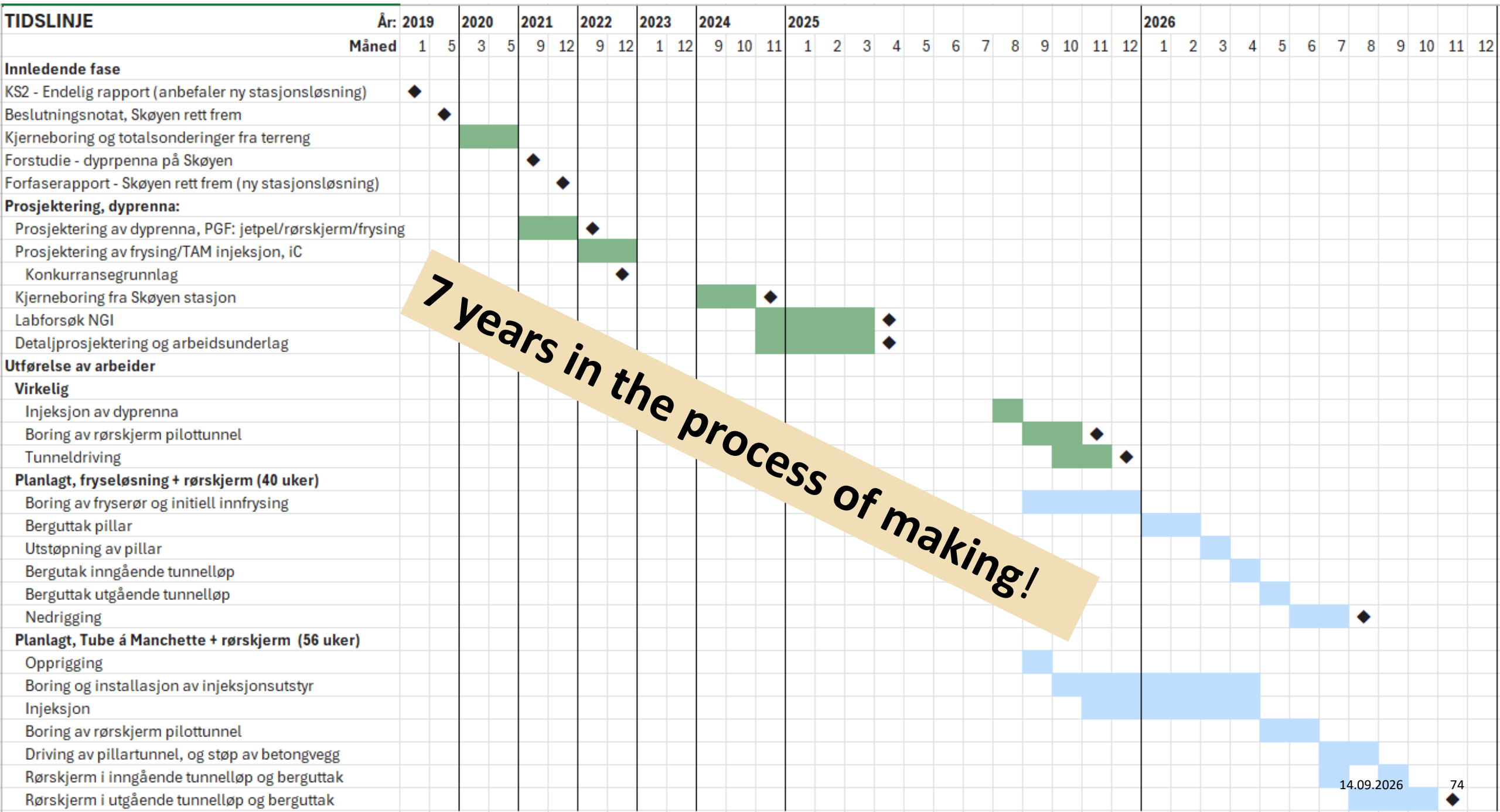
Fra gjennomslaget (torsdag 13.11.2025)
fram til fredag 06.03.2026: inklinometer
stabilisert, kun et par mm setning påløpt



4666

4688





Erfaringer

- Flytting av stasjon løste mange problemer men medførte noen nye
- Tidlig klar over utfordring med dyprenna, men mange usikkerheter mht. bergkvalitet, permeabilitet og faktisk bergoverflate
- Konservativt design som ivaretok verst tenkelig scenario (høy permeabilitet/manglende bergoverdekning, stor løsmassemektighet av marin leire)
- Gradvis forenkling av design, basert på supplerende undersøkelser, og svært gode injeksjonsresultater
 - Ola Woldmo (FOB) hadde viktig regi på gjennomføring av injeksjonsarbeidene
 - Tube á manchette, frysing og pilottunnel forble ubrukte verktøy i verktøykassen
- Entreprenør (Veidekke) tok utfordringen på noe ukonvensjonelle arbeider og konvergensmålinger
- Kritisk punkt med injeksjon av rørskjermen, krevende å få god tetting omkring rør, Injeksjon i to steg med fungerende propper hadde nok gitt mindre restlekkasje omkring rørene
- Gjennomføring gikk bra uten hendelser som ikke var forutsett
- Viktig med tett kompetent oppfølging – daglige statusrapporter og ukentlige statusmøter
- Alt tatt i betraktning – det var korrekt beslutning å flytte stasjonen!

Et vellykket
resultat av
møtet
mellom NMT
og NATM!!

