



Fornebubanen

Tekna

21-04-2022

Krevende tunnelarbeid i «kjent» geologi
for T-bane fra Majorstuen til Fornebu

Arild Neby, Fornebubanen

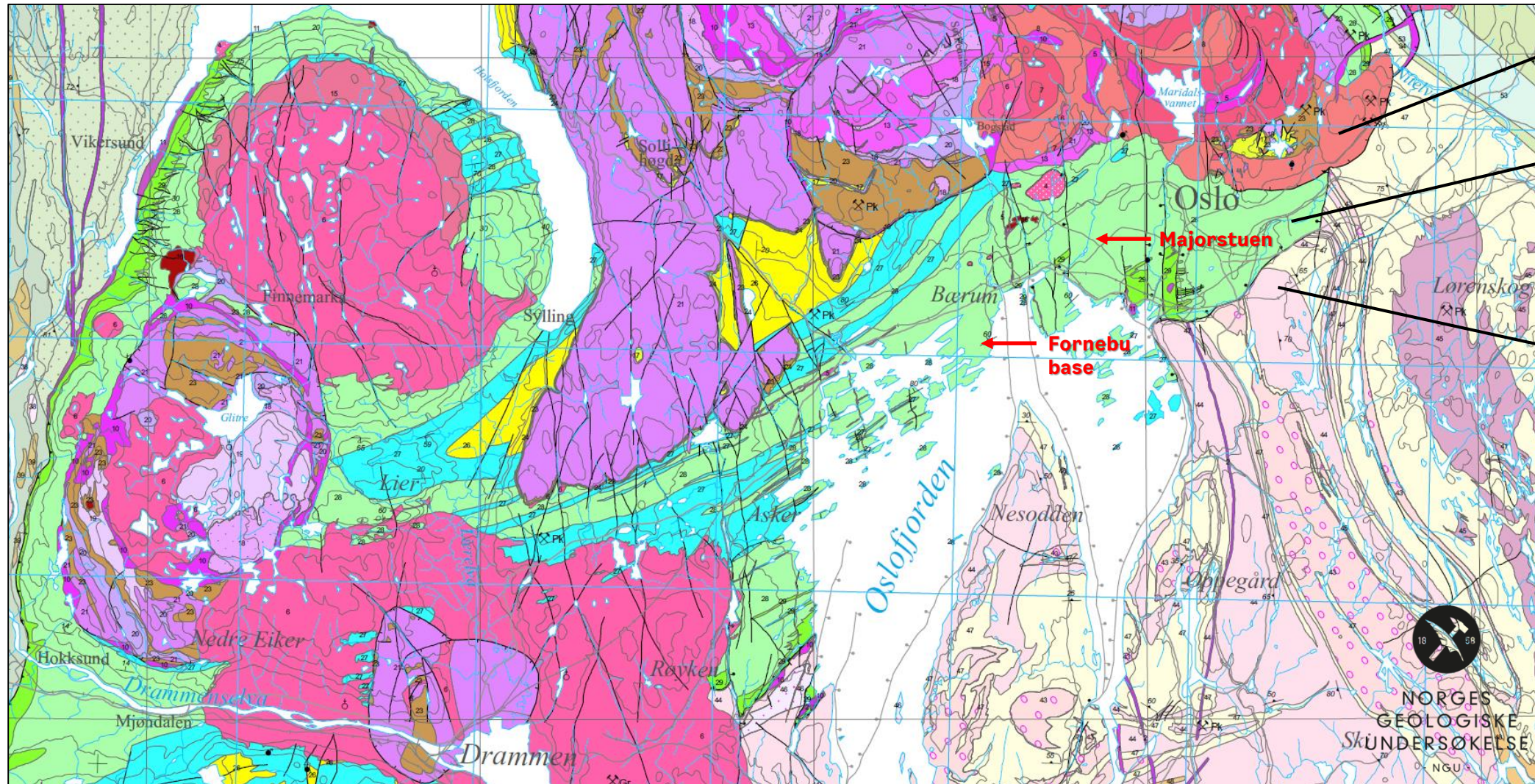


Fornebubanen – ingeniørgeologiske utfordringer

- Geologien mellom Majorstua og Fornebu
- Metroprosjektets utfordringer fra en ingeniørgeologs ståsted
- Tettestrategi og berginjeksjon
- Stabilitetssikring av berg
- Eksempel på utfordringer
 - Kryssing av dyprenne ved Hoffselva på Skøyen



Fornebuibanens geologi – del av Oslofeltet

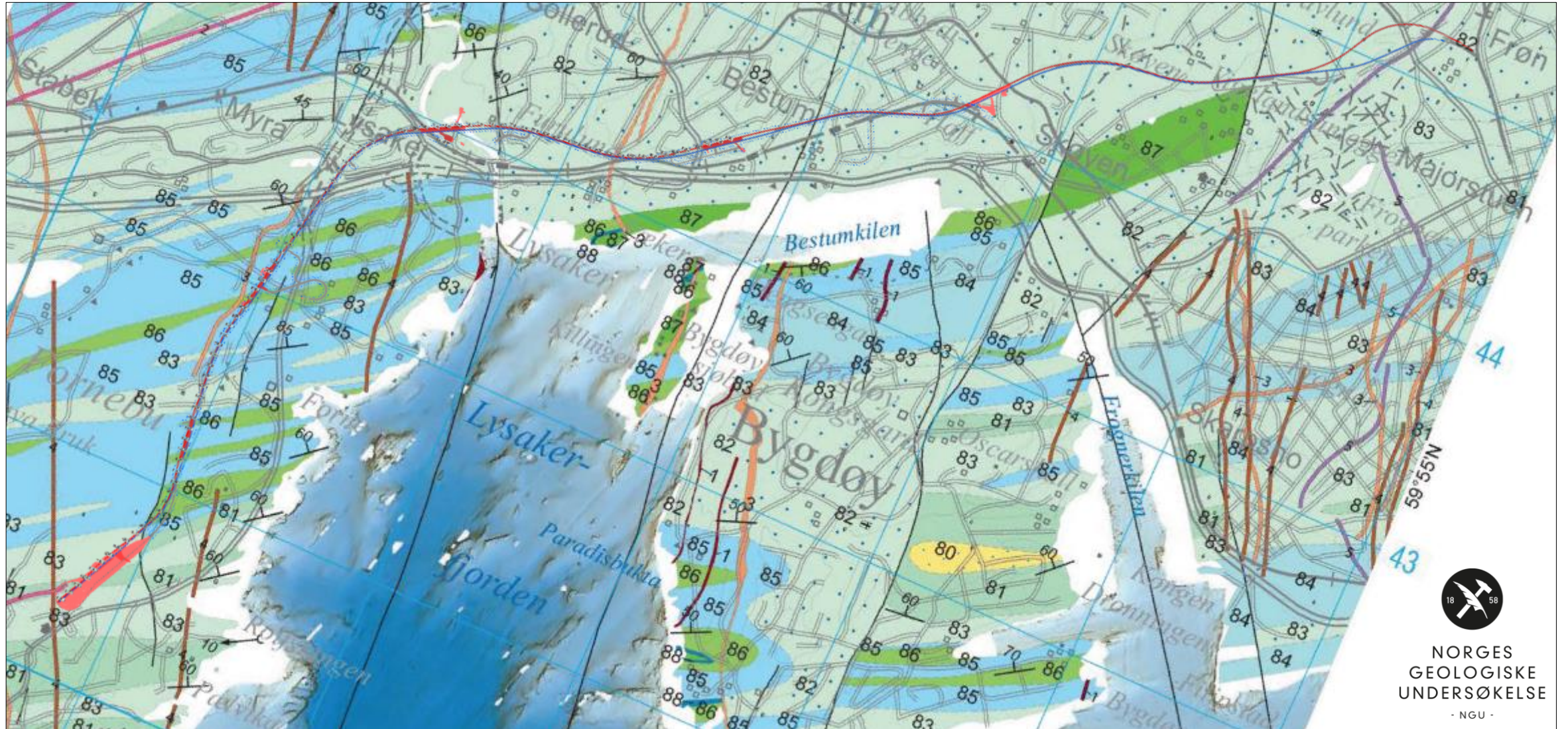


Perm:
299-272 Ma

Ordovicium:
470-444 Ma

Prekambrium:
1600-1520 Ma

Prosjektets geologi - Majorstuen til Fornebu



NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE
- NGU -

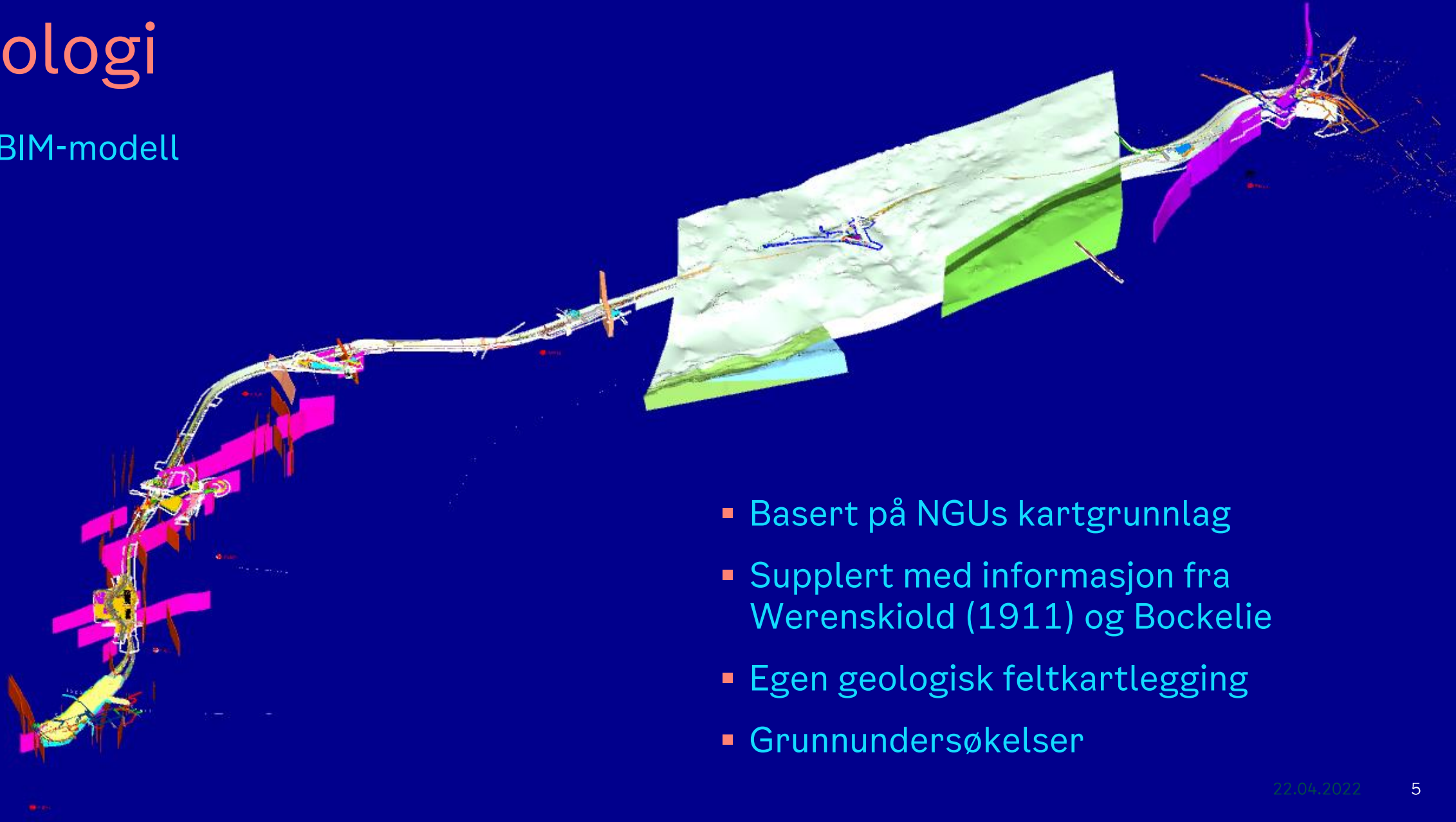


Oslo

22.04.2022

Geologi

- 3D BIM-modell



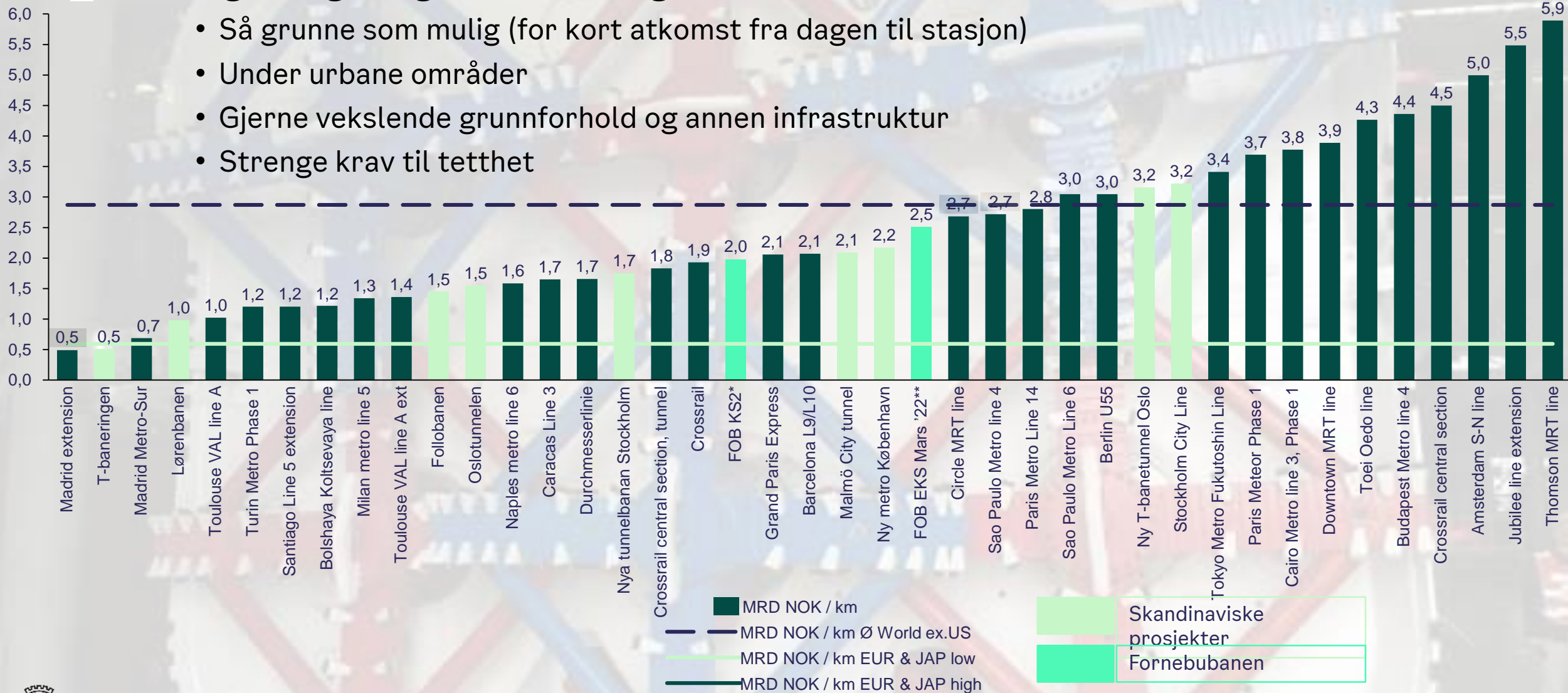
- Basert på NGUs kartgrunnlag
- Supplert med informasjon fra Werenskiold (1911) og Bockelie
- Egen geologisk feltkartlegging
- Grunnundersøkelser

Metro-prosjekter – jorda rundt: høy kostnad

■ Ingeniørgeologiske utfordringer

- Så grunne som mulig (for kort atkomst fra dagen til stasjon)
- Under urbane områder
- Gjerne vekslende grunnforhold og annen infrastruktur
- Strengt krav til tetthet

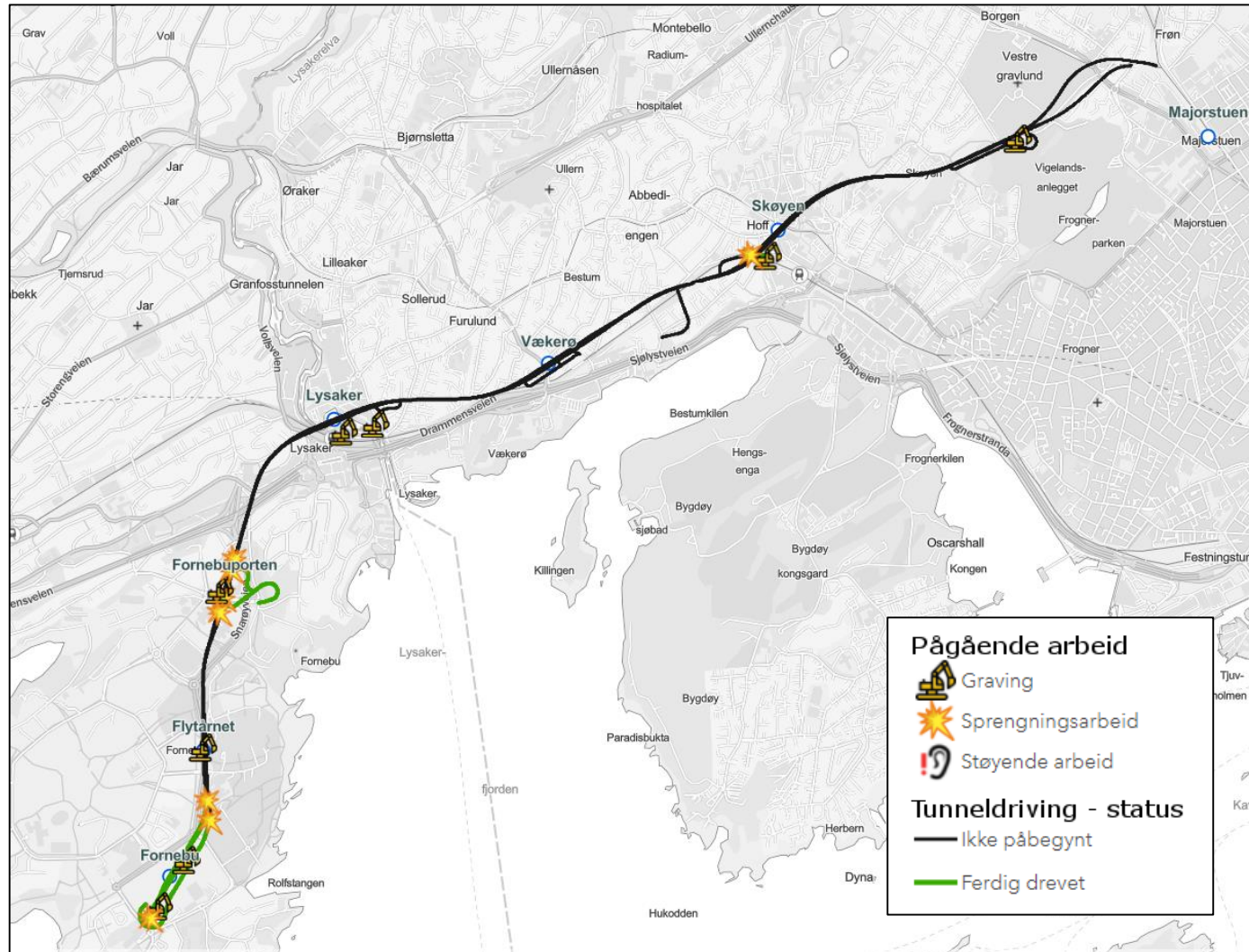
MRD NOK/km 2019



*FOB KS2: 2,0 mrd.nok/km er basert på P50 på 16,2 mrd.nok 2018K2-kr fra KS2

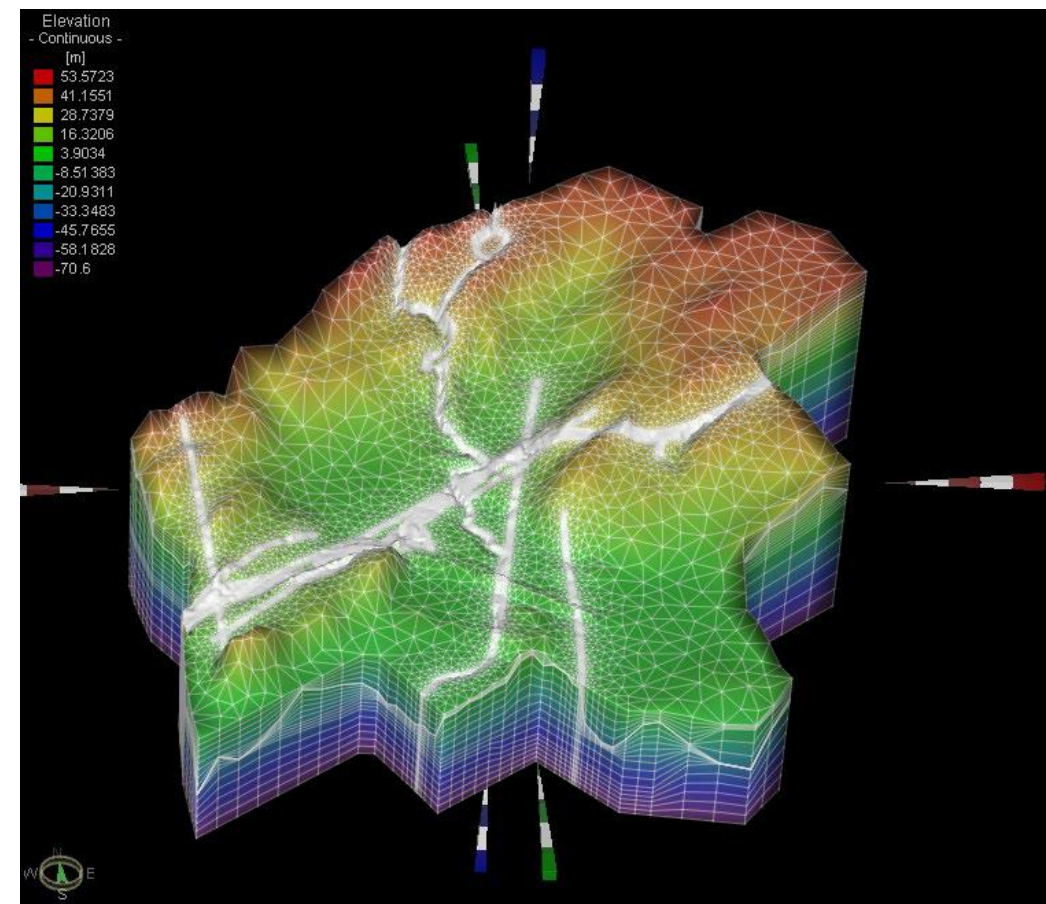
**FOB EKS Mars '22: 2,5 mrd.nok/km er basert på P50 på 23,3 mrd.nok 2021K4-kr, prisjustert tilbake til 2018K2-kr

Framdrift så langt (Fornebu banens Publikumsmodell)



Tettestrategi og injeksjon

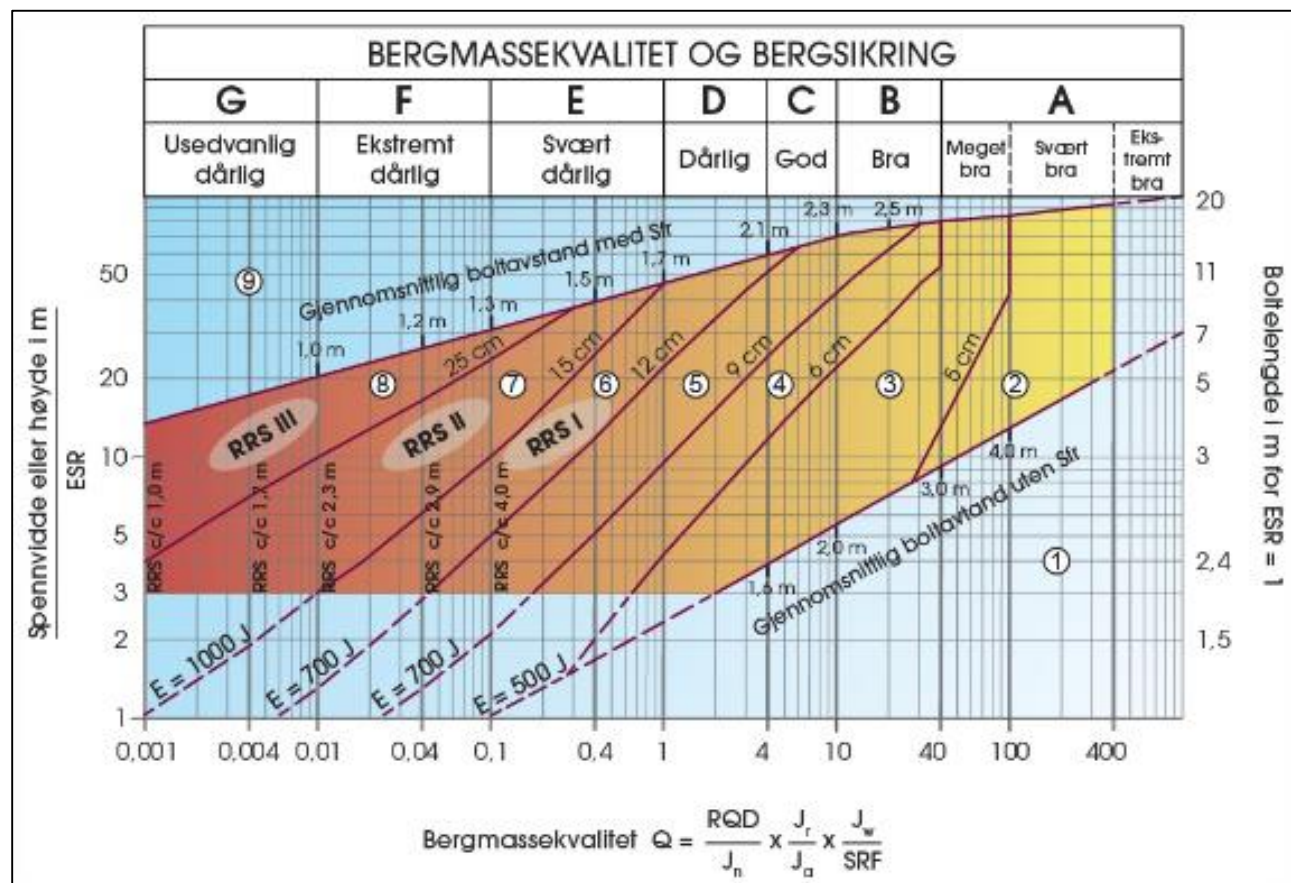
- Utarbeidet en omfattende «Tettestrategi»
- Innlekkasjemål 4 l/min/100 m tunnel
- Spesielt setningsutsatte områder identifisert
- Injeksjon basert på sement og kolloidal silika



Stabilitetssikring av berg

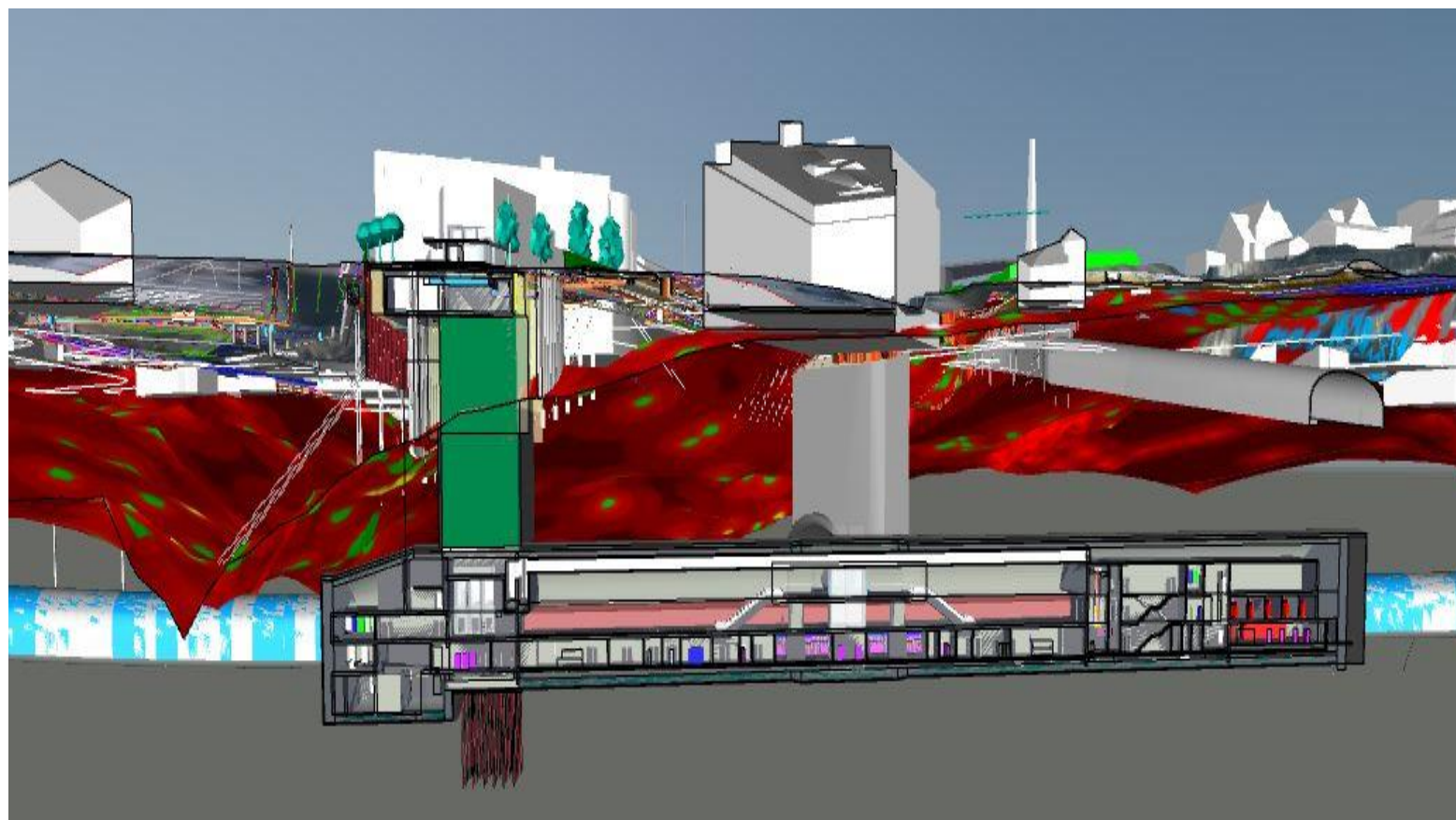
- Bergsikring dimensjoneres hovedsakelig etter N500 Vegtunneler og NGIs Q-system

Bergmasse klasse	Bergforhold Q-verdi (sprengt berg)	Sikringsklasse Permanent sikring
A/B	Lite oppsprukket bergmasse. Midlere sprekkeavstand > 1m. Q = 100 – 10	Sikringsklasse I - Spredt bolting - Sprøytebetong B35 E700, tykkelse 80 mm
C	Moderat oppsprukket bergmasse. Midlere sprekkeavstand 0,3 – 1 m Q = 10 – 4	Sikringsklasse II - Sprøytebetong B35 E700, tykkelse 80 mm - Systematisk bolting c/c 2 m
D	Tett oppsprukket bergmasse eller lagdelt skifrig bergmasse. Midlere sprekkeavstand < 0,3 m. Q = 4 - 1	Sikringsklasse III - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 100 mm - Systematisk bolting c/c 1,75 m
E	Svært dårlig bergmasse. Q = 1 - 0,2 ----- Q = 0,2 - 0,1	Sikringsklasse IV - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150 mm - Systematisk bolting, c/c 1,5 m ----- - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150 mm - Systematisk bolting, c/c 1,5 m - Armerte sprøytebetongbuer Buedimensjon E30/6 ø20 mm, c/c buer 2–3 m, Buene boltes systematisk, c/c bolt = 1,5 m, boltelengde 3–4 m - Sålestøp vurderes
F	Ekstremt dårlig bergmasse. Q = 0,1 - 0,01	Sikringsklasse V - Sprøytebetong B35 E1000, tykkelse 150–250 mm - Systematisk bolting, c/c 1,0 – 1,5 m - Armerte sprøytebetongbuer Buedimensjon D60/6+4, ø20 mm, c/c buer 1,5–2 m Buene boltes systematisk, c/c 1,0 m, boltelengde 3–6 m Doble buer kan erstattes med gitterbuer. - Armert sålestøp, pilhøyde min. 10 % av tunnelbredden
G	Eksepsjonelt dårlig bergmasse, stort sett løsmasse, Q < 0,01	Sikringsklasse VI - Driving og permanent sikring dimensjoneres spesielt



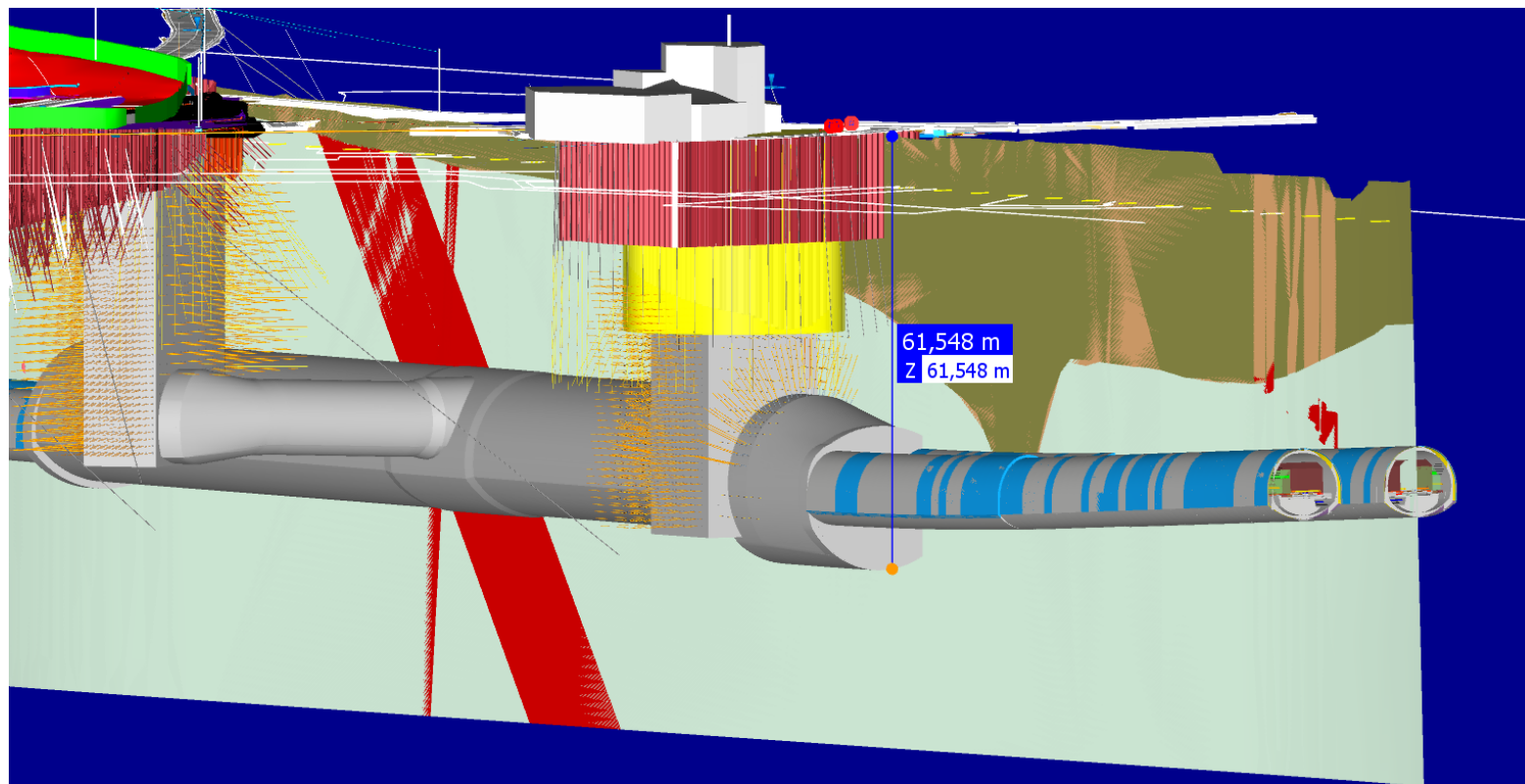
Kryssing av dyprenne ved Hoffselva på Skøyen

- Skøyen stasjon har en dyp plassering
- Dypeste punkt 61,5 m under terreng ved enden av hallen mot Majorstuen
- To dype byggegropser i løsmasser og to dype sjakter videre ned i berg
- Vanntett utforming både i stasjonshall og i tunneler i dyprenna



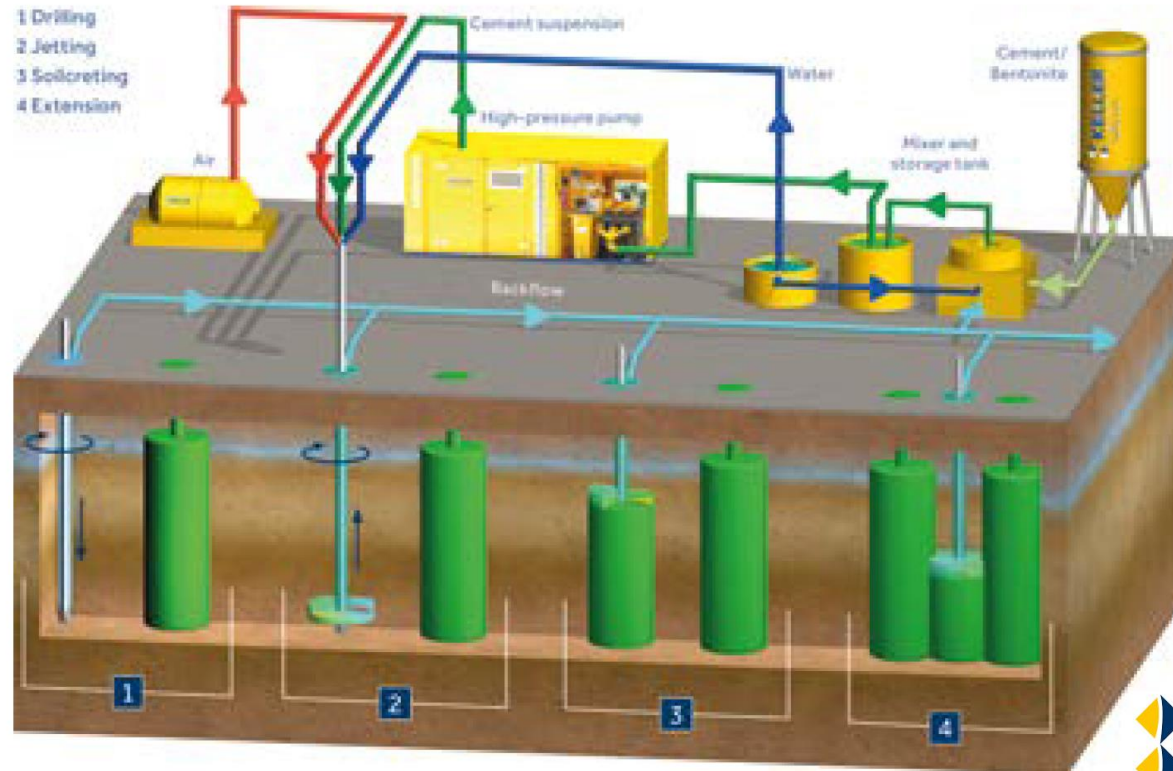
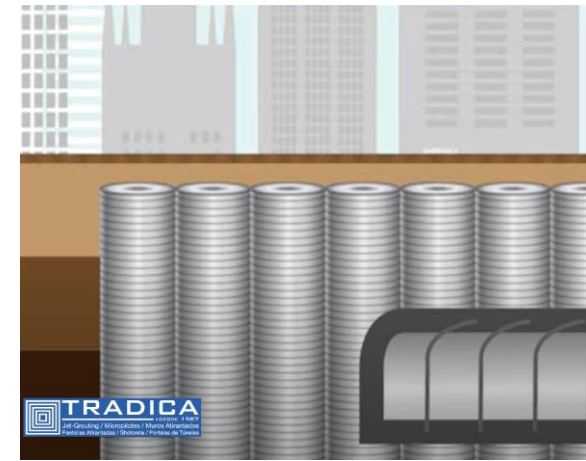
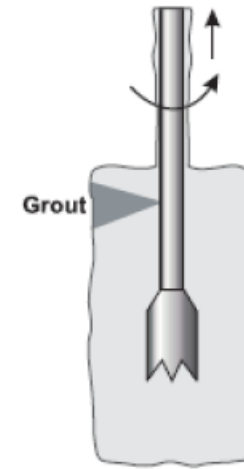
Kryssing av dyprenne ved Hoffselva på Skøyen

- Omfattende grunnundersøkelser for å avdekke form og materialer
- Nylig avsluttet supplerende boreprogram med 5 kjerne-hull.
- Vurdert ulike stabiliseringstiltak:
 - Jetgrouting
 - Rørskjermer
 - Frysing
 - Kombinasjoner av disse

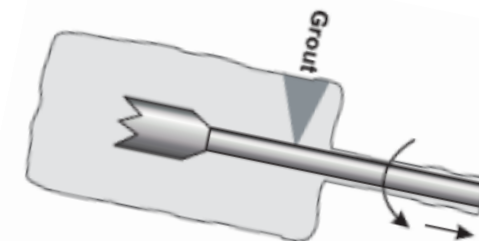
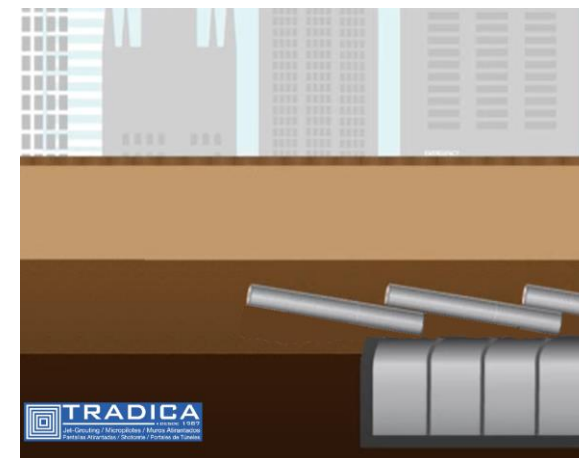
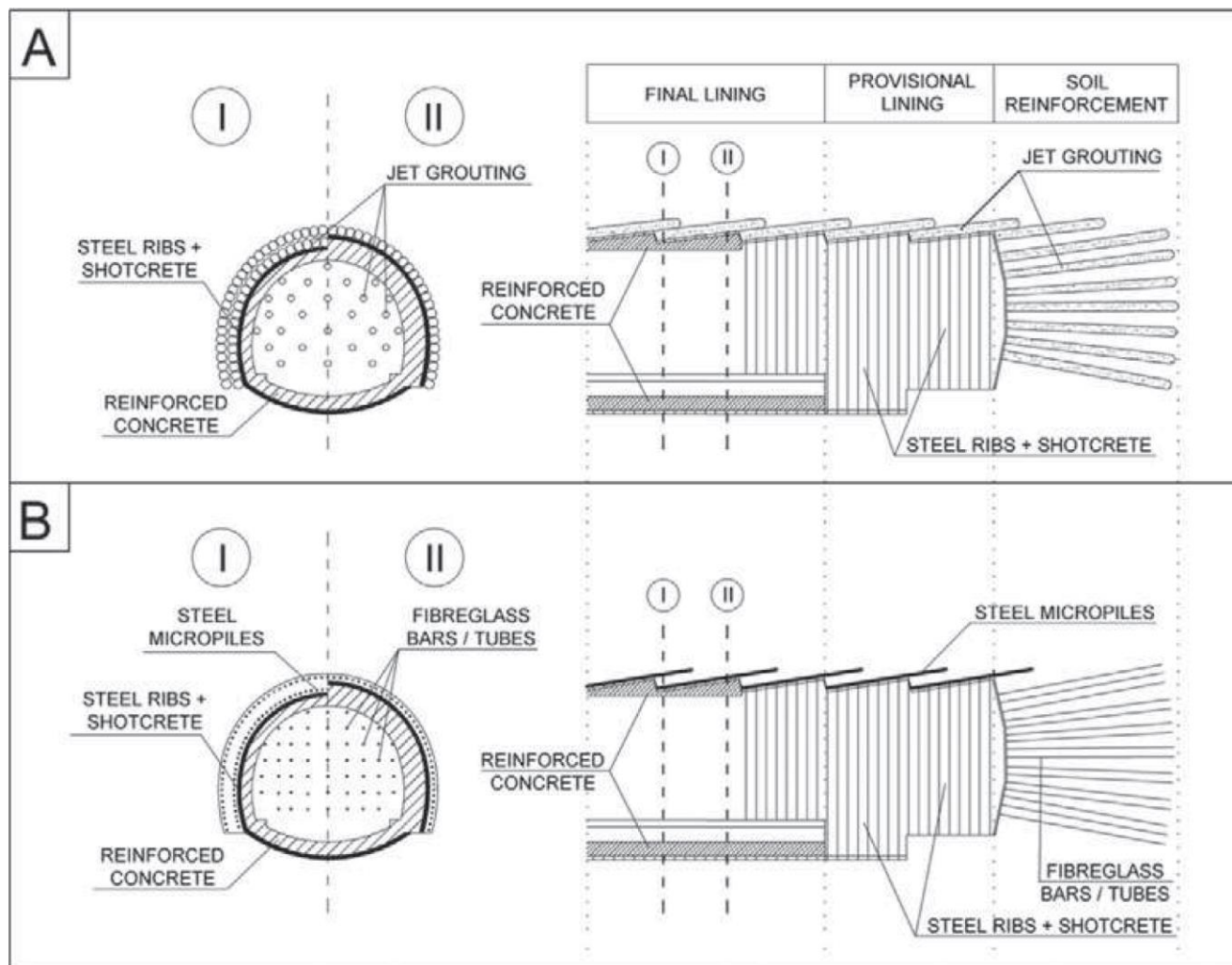


Jetinjeksjon (jet grouting) - vertikalt

- Singel fluid eller dobbel fluid Jet Grouting
 - Injeksjonsmasse pumpes gjennom staven og ut gjennom dyse(ne) med høy hastighet (≈ 200 m/s)
 - Energien forårsaker erosjon av de pakkede løsmassene og mikses med injeksjonsmassen



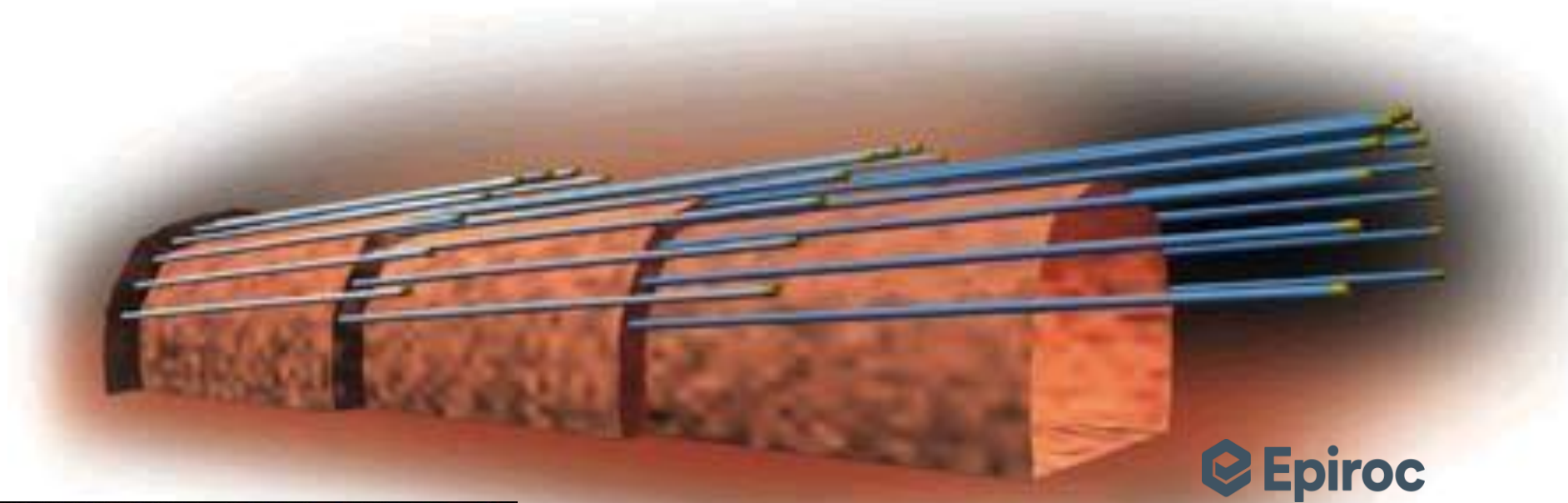
Jetinjeksjon (jet grouting) - horisontalt



- Singel fluid eller dobbel fluid Jet Grouting
 - Injeksjonsmasse pumpes gjennom staven og ut gjennom dyse(ne) med høy hastighet (≈ 200 m/s)
 - Energien forårsaker erosjon av de pakkede løsmassene og mikses med injeksjonsmassen
- Kombinasjoner av A og B mest aktuelt



Rørskjerm (pipe/tube umbrella – pipe roofing)



 Epiroc



- Mye brukt drivemetode utenfor Norge
- I Norge brukt totalt 3 ganger av:
 - Bane Nor: Holm-Nykirke og på Follobanen
 - Statens vegvesen: Rv. 13 Jobergtunnelen



Oslo


UNDERGROUND
ASHEMVIK COMPANY



Takk for meg!

