Vågåmo flomtunnel

Inntak

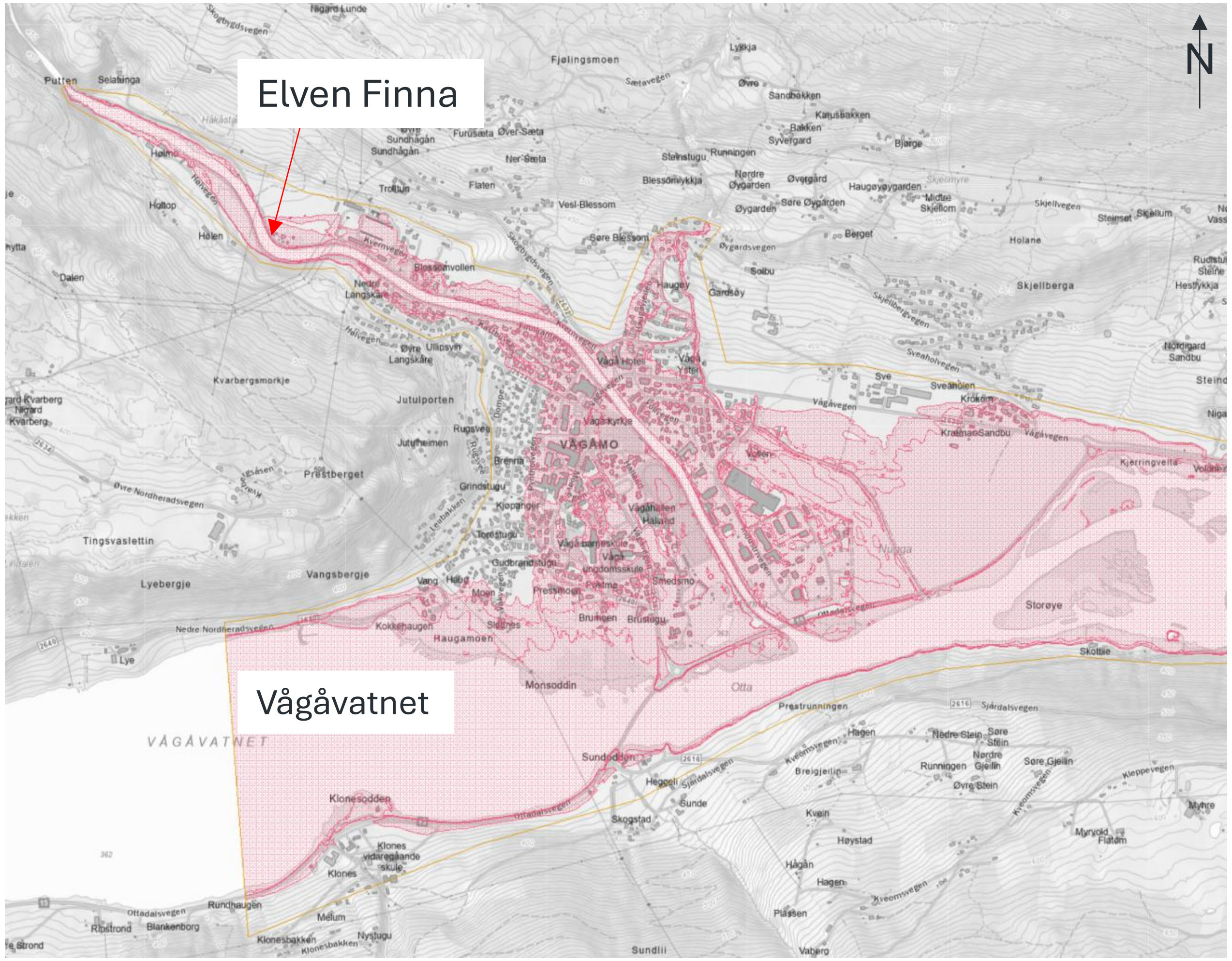
Utløp

Tidligfaseplanlegging i sterkt forvitret berg

Marie Foldøy Solem og Gaute Moe Fløan
Vårsleppet 12.03.2026

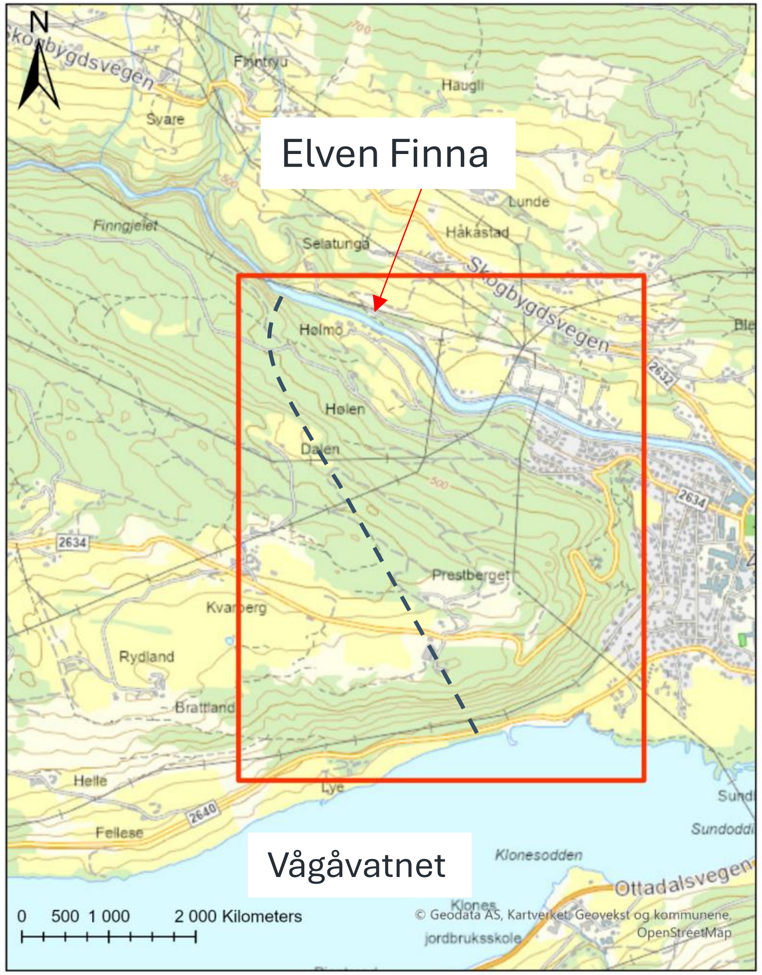
Multiconsult

Bakgrunn

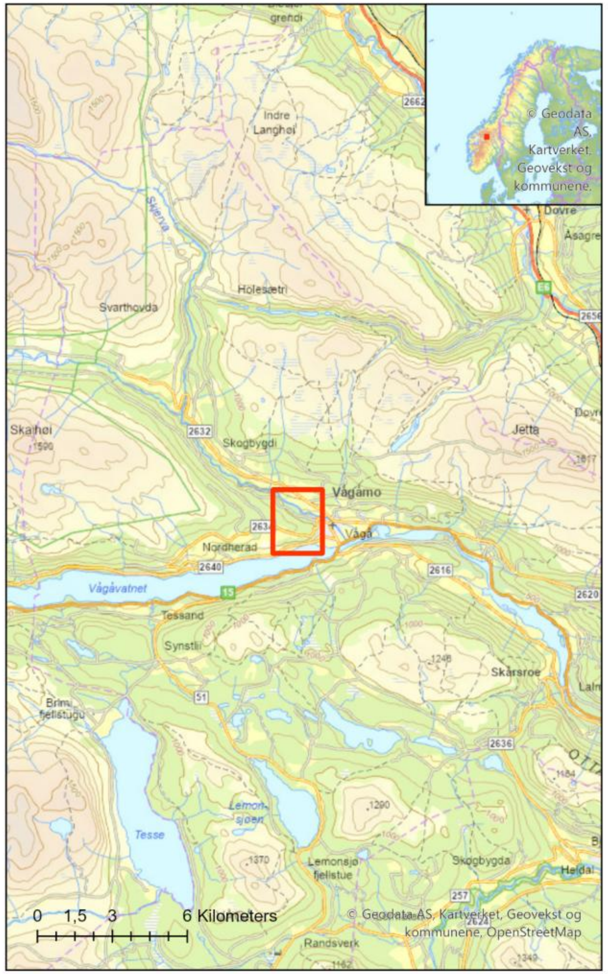


Flomsoner fra NVE Atlas.

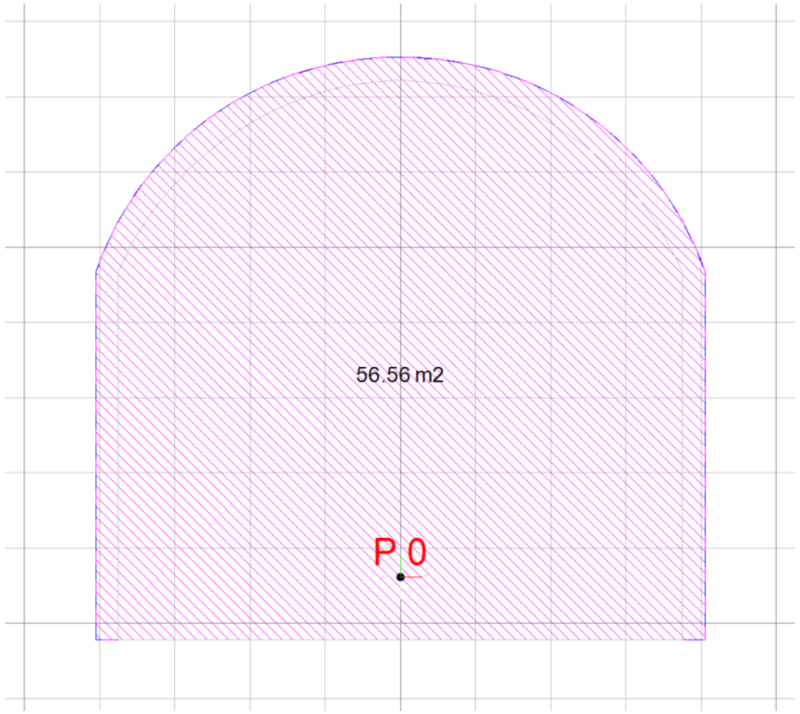
Bakgrunn



N
Elven Finna
Vågåvatnet
Skogbygdsvegen
Svare
Finntryu
Haugli
Lunde
Håkastad
Selatunga
Finngjeiet
Holmo
Holen
Dalen
Prestberget
Kvarberg
Rydland
Brattland
Helle
Fellese
Lye
Klonesodden
Sundoddi
Ottadalsvegen
2634
2640
2632
0 500 1 000 2 000 Kilometers
© Geodata AS, Kartverket, Geovekst og kommunene, OpenStreetMap

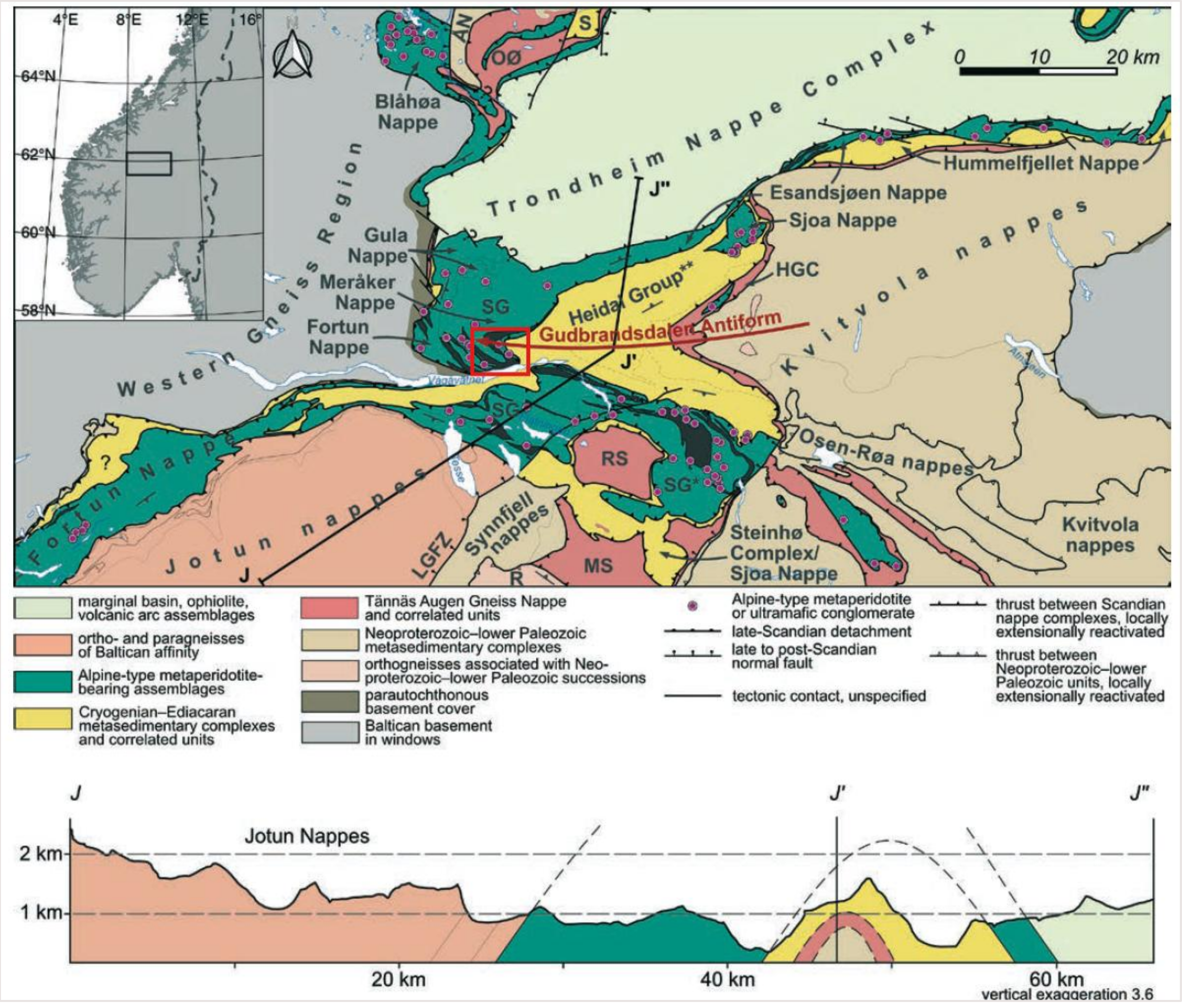


© Geodata AS, Kartverket, Geovekst og kommunene.
Indre Langhøi
Holesætri
Svarthovda
Skarhøi
Skogbygdi
Vågåmo
Vågå
Nordherad
Vågåvatnet
Tessand
Synstli
Jetta
Skårsroe
Tesse
Lemonsjøen
Lemonsjø fjellstue
Skogbygda
Randsverk
Dovre
0 1,5 3 6 Kilometers
© Geodata AS, Kartverket, Geovekst og kommunene, OpenStreetMap

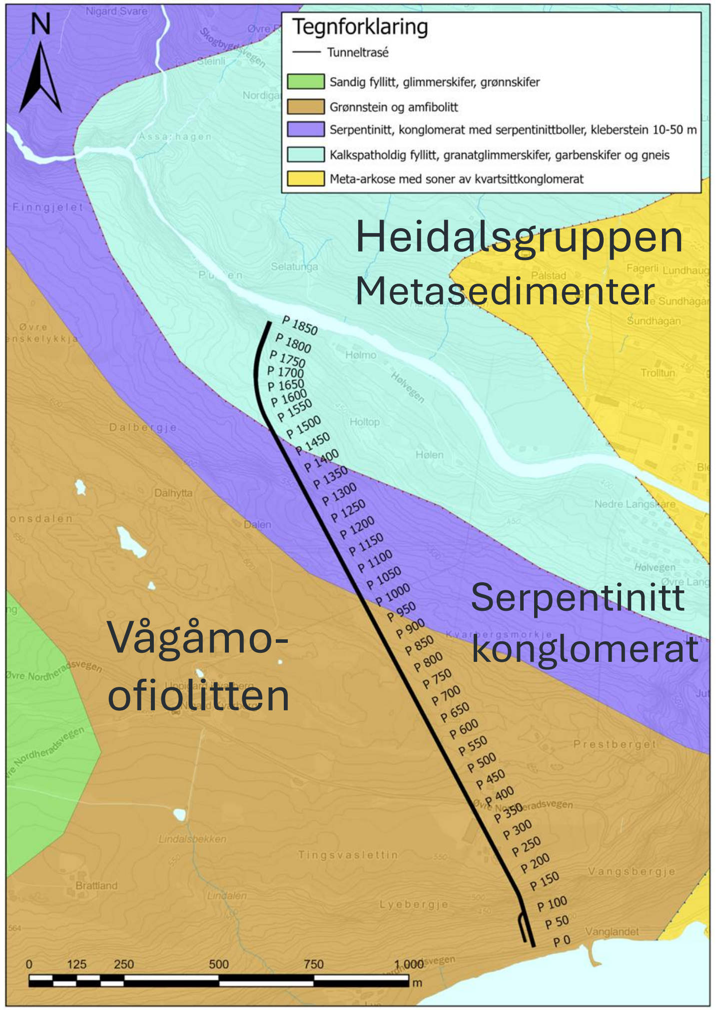


56.56 m2
P 0

Grunnforhold



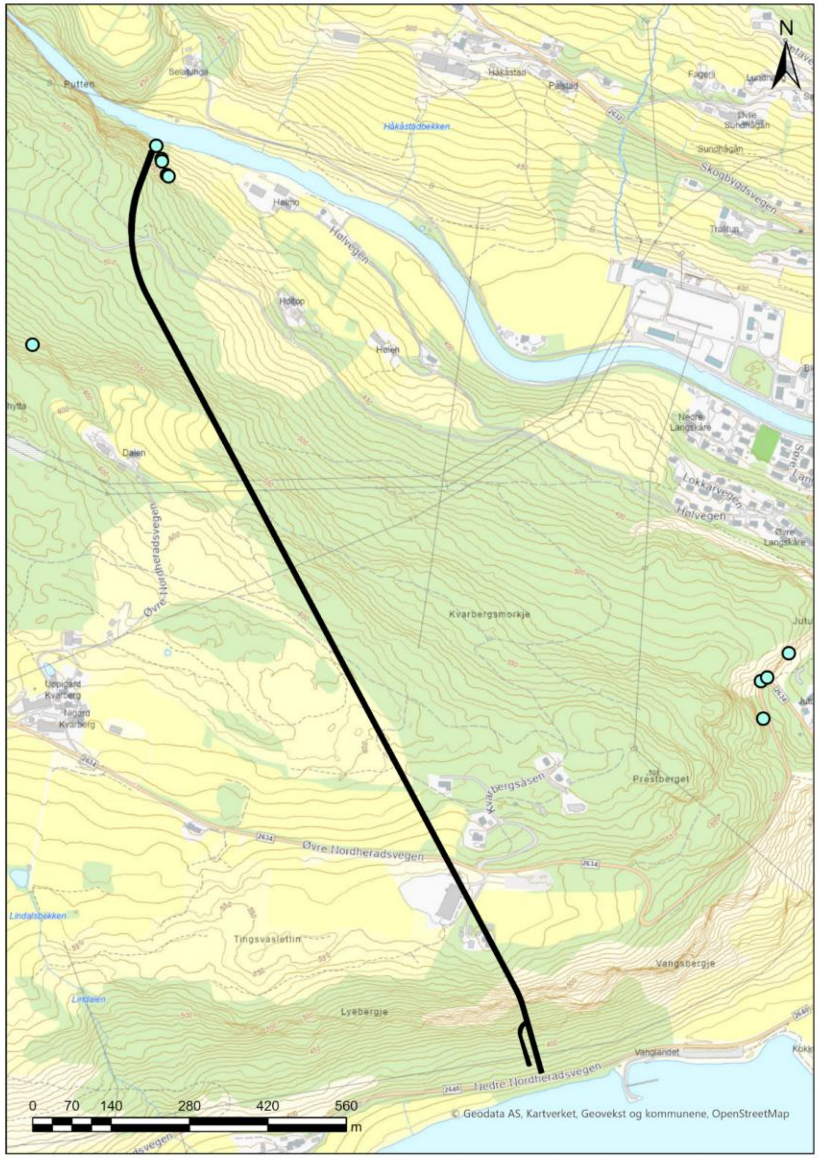
Geologisk kart fra den nordlige delen av Gudbransdalen.
Hentet fra Jakob et. al. 2022.

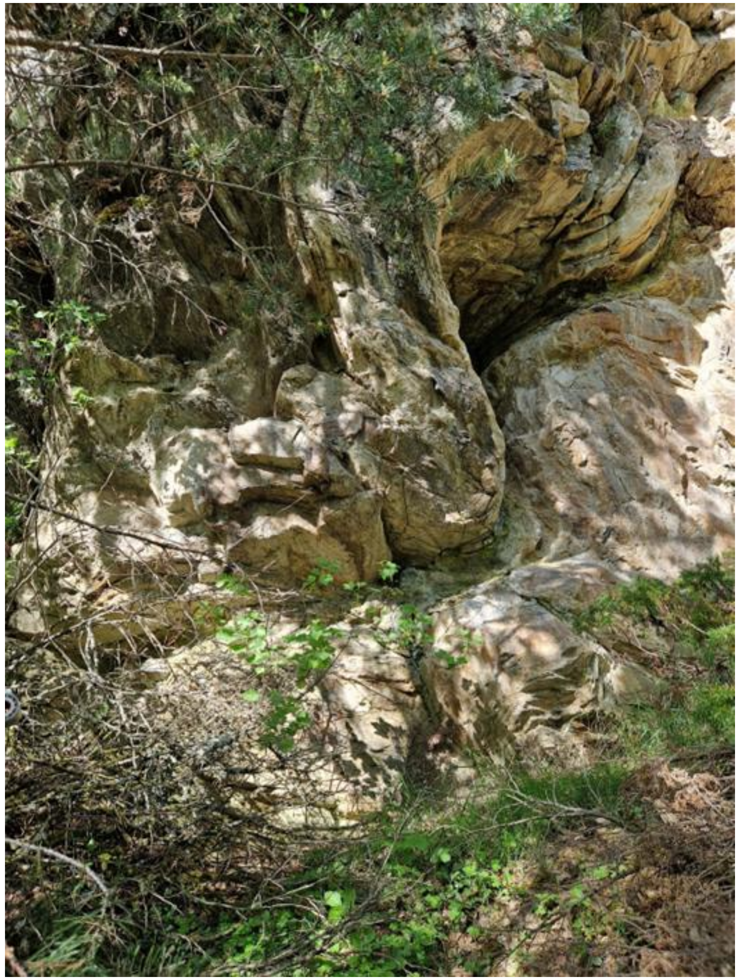


NGU: 1:250 000 berggrunnskart

Multiconsult

Grunnforhold

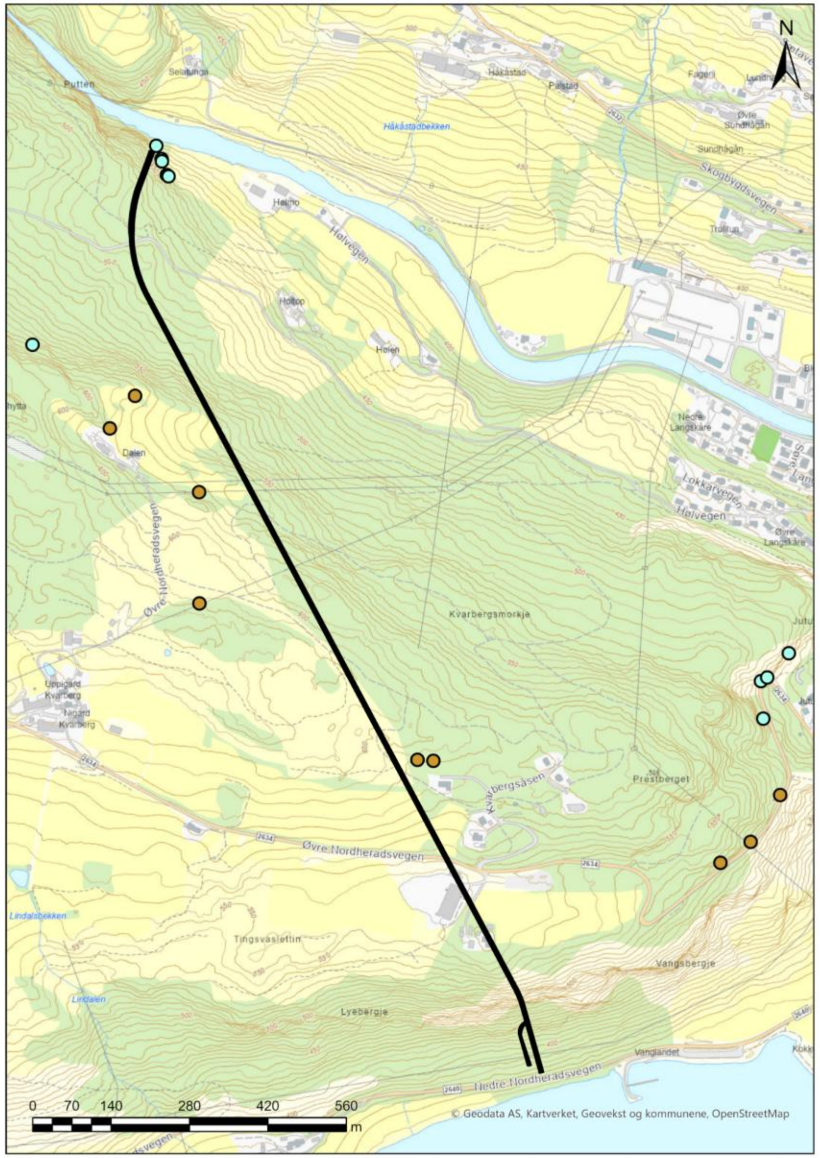




Metasedimentære bergarter

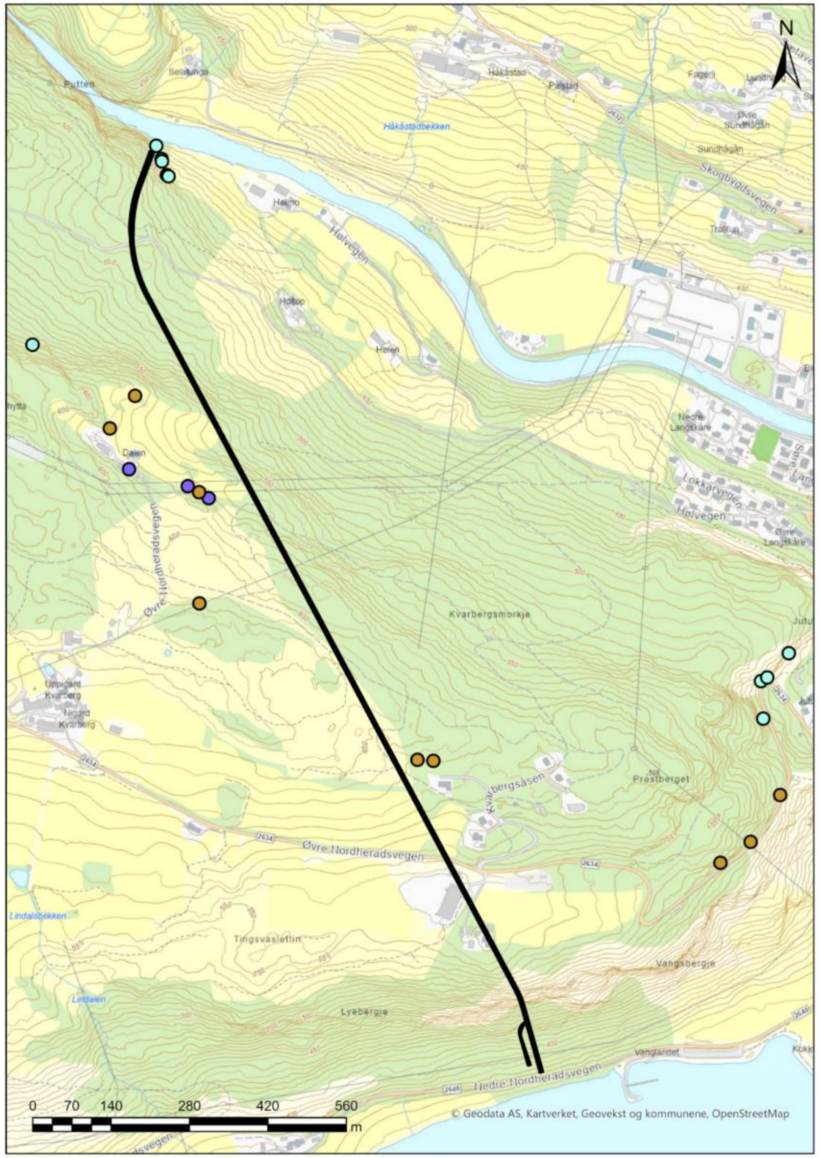
Multiconsult

Grunnforhold



Vågåmo-ofiolitten

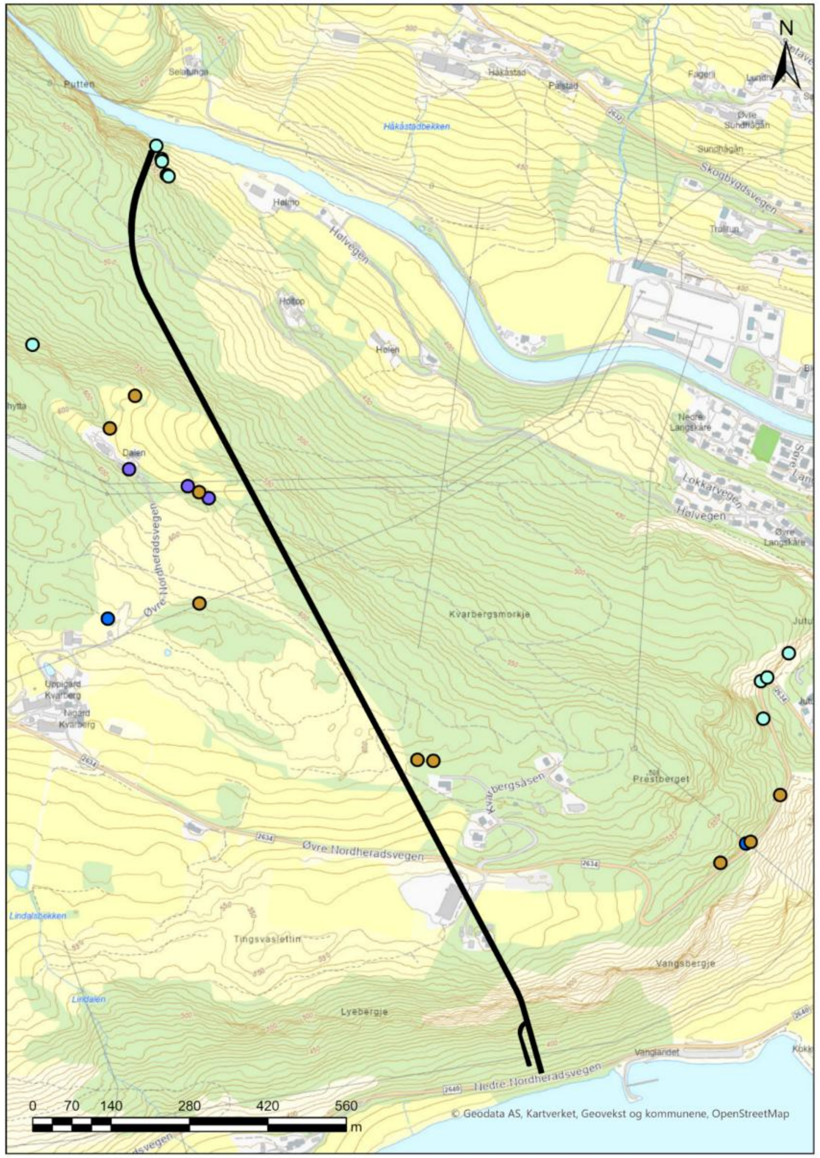
Grunnforhold



Konglomerat med boller av serpentinitt

Multiconsult

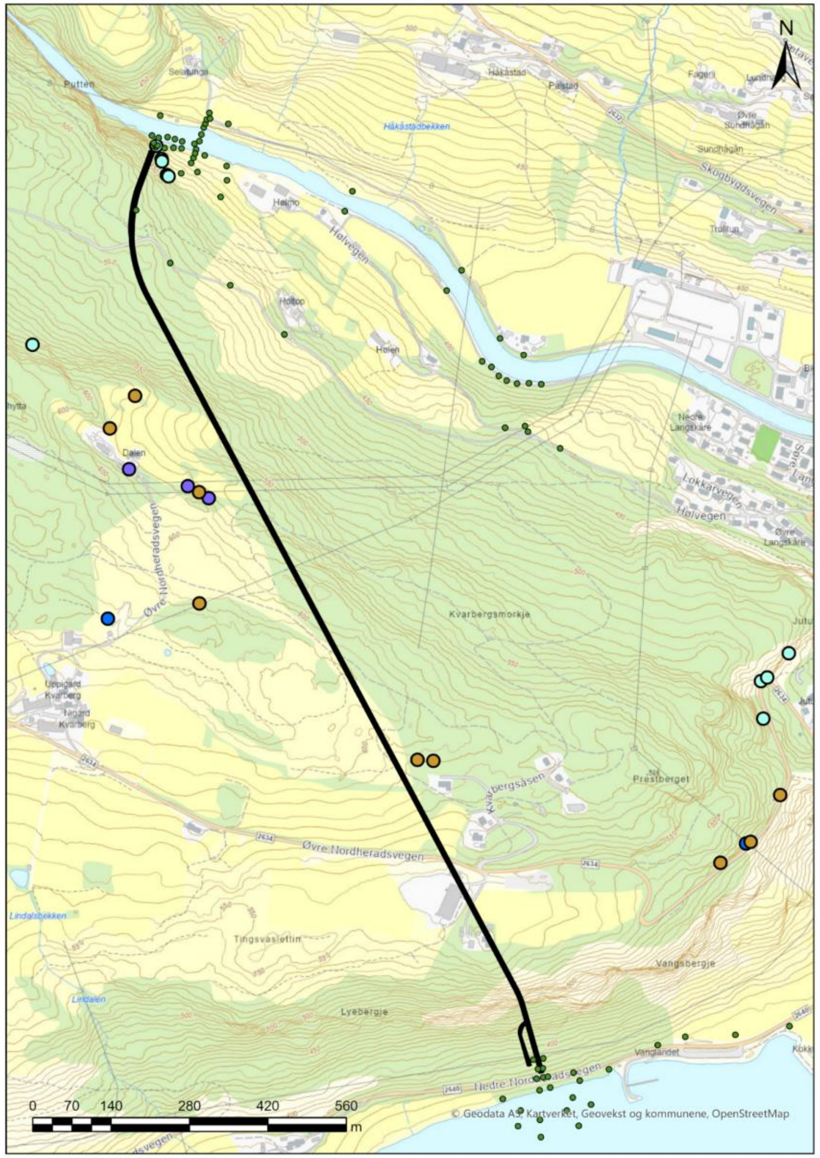
Grunnforhold



Garbenskifer

Multiconsult

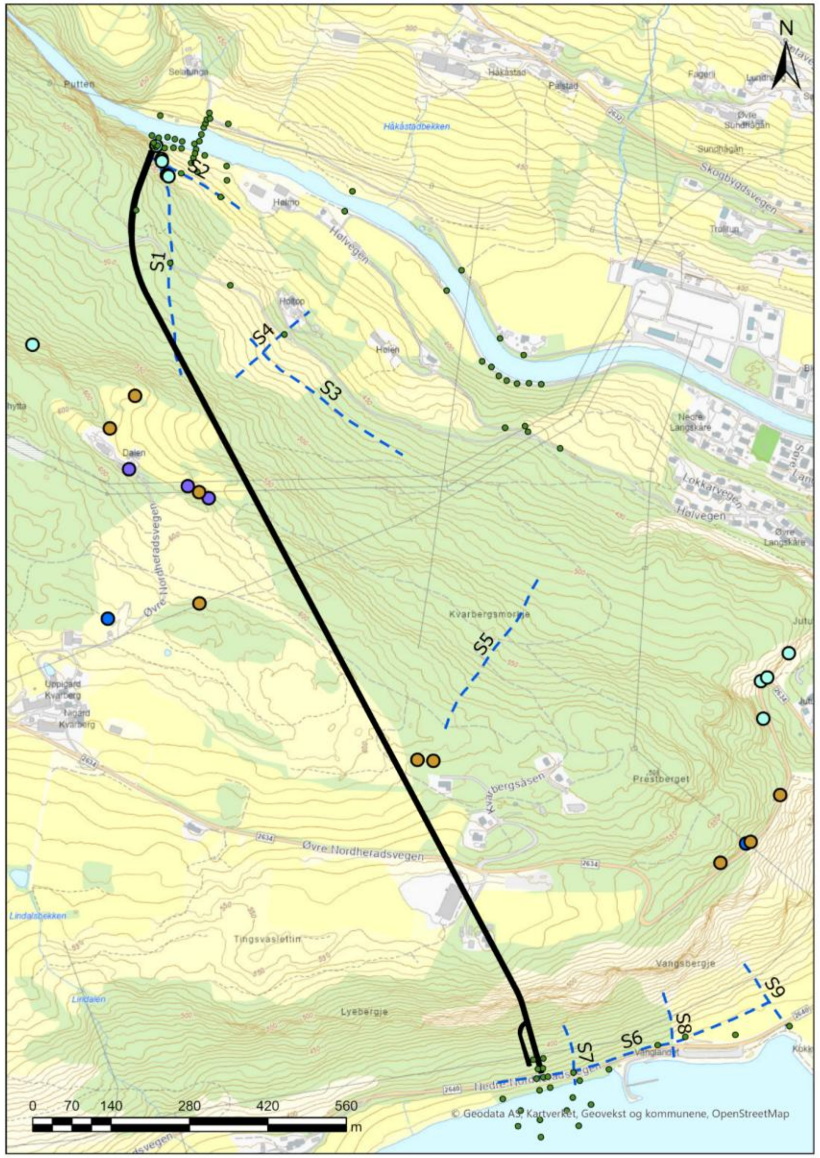
Grunnforhold



- Totalsonderinger

Multiconsult

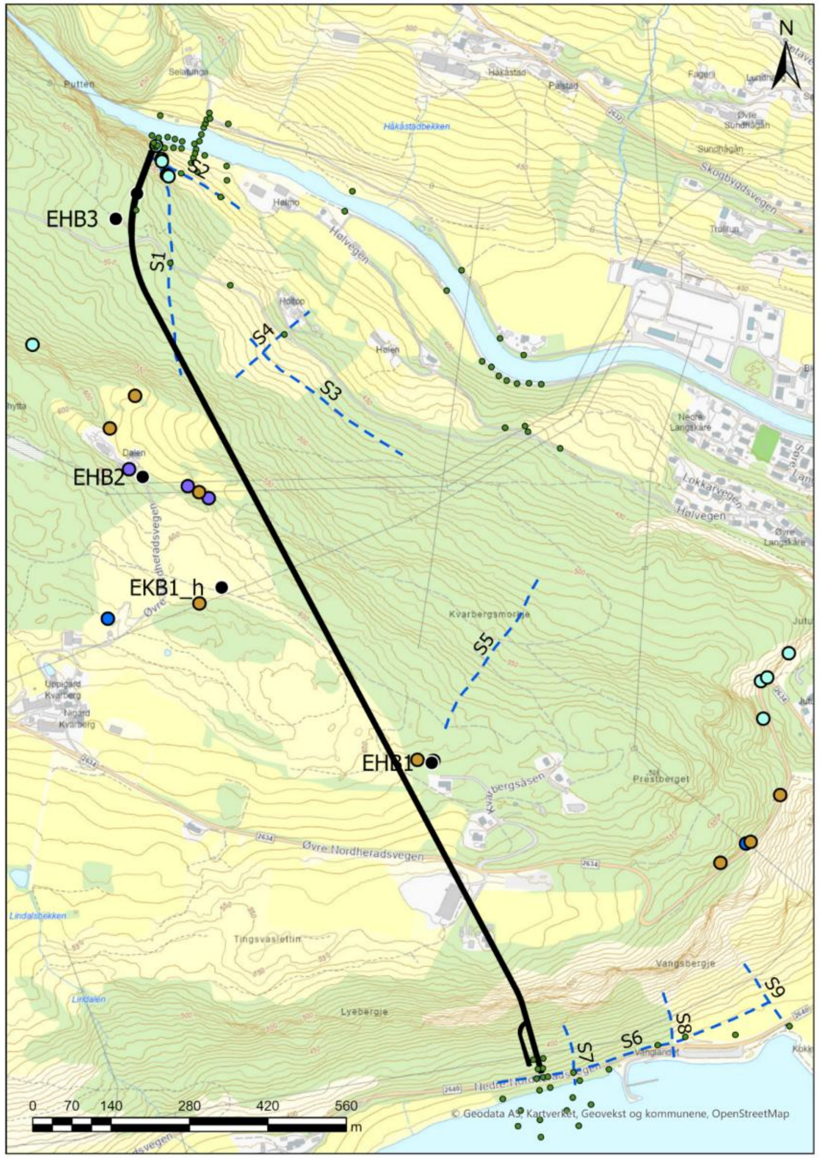
Grunnforhold



- Totalsonderinger
- Seismikk

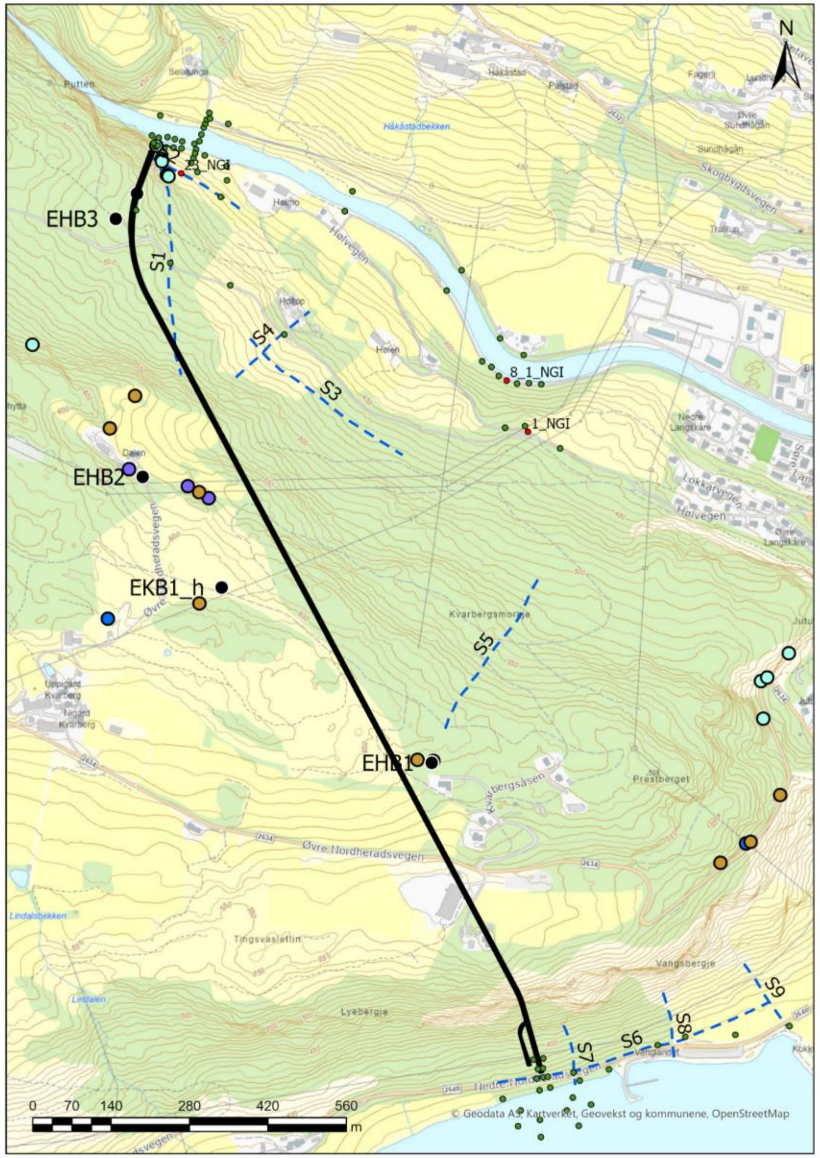
Multiconsult

Grunnforhold



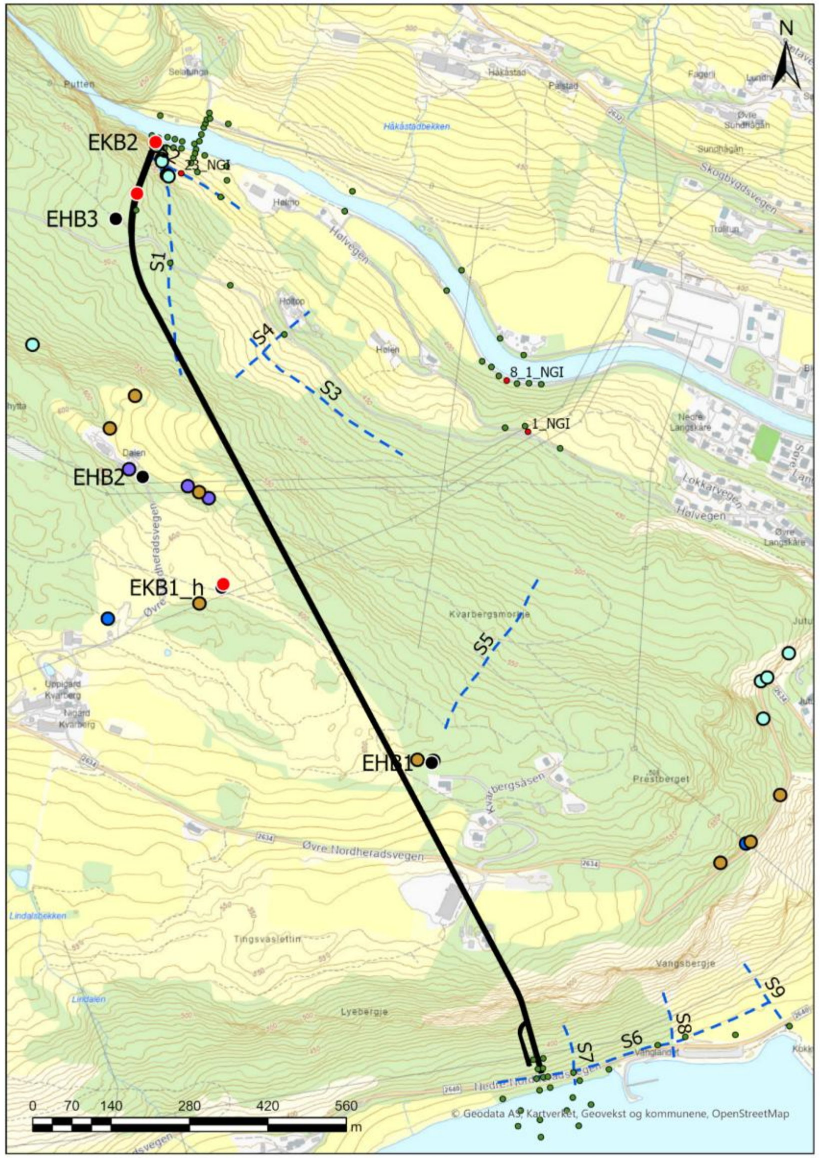
- Totalsonderinger
- Seismikk
- Hammerboringer

Grunnforhold



- Totalsonderinger
- Seismikk
- Hammerboringer
- Korte kjerneboringer

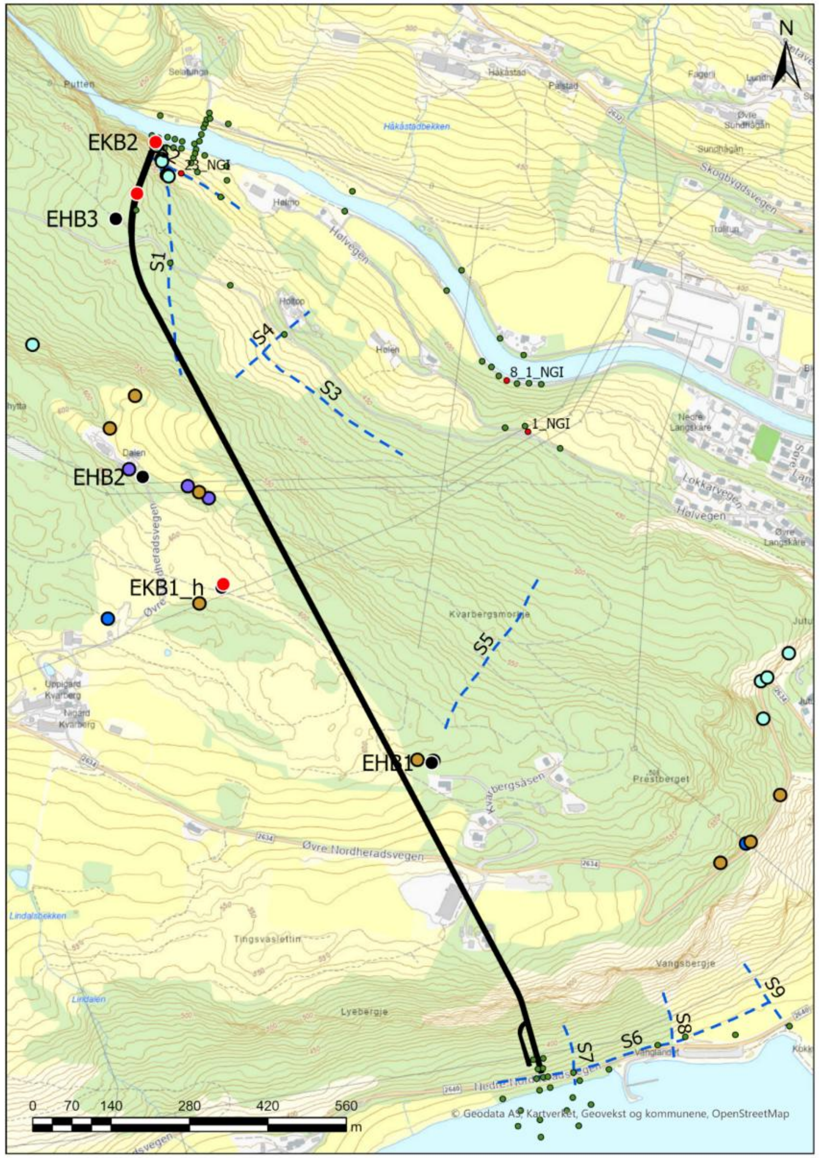
Grunnforhold



- Totalsonderinger
- Seismikk
- Hammerboringer
- Korte kjerneboringer
- Lange kjerneboringer

Multiconsult

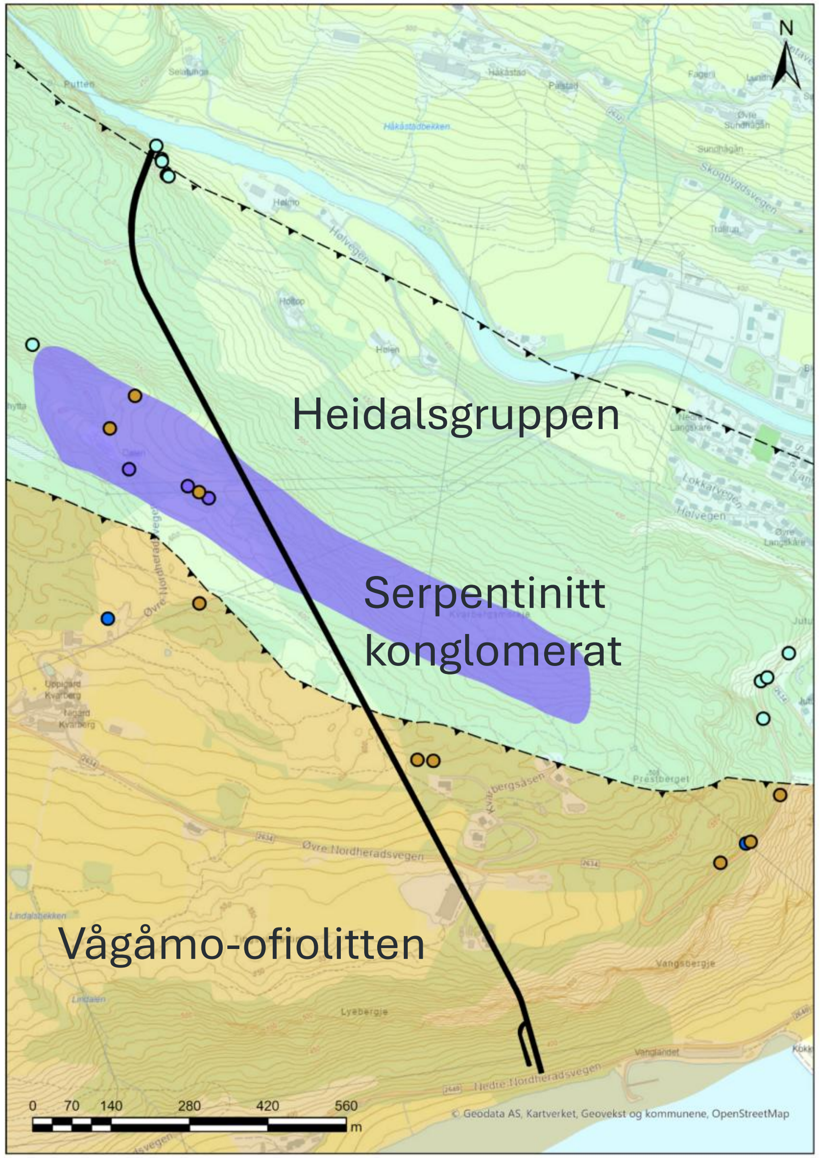
Grunnforhold

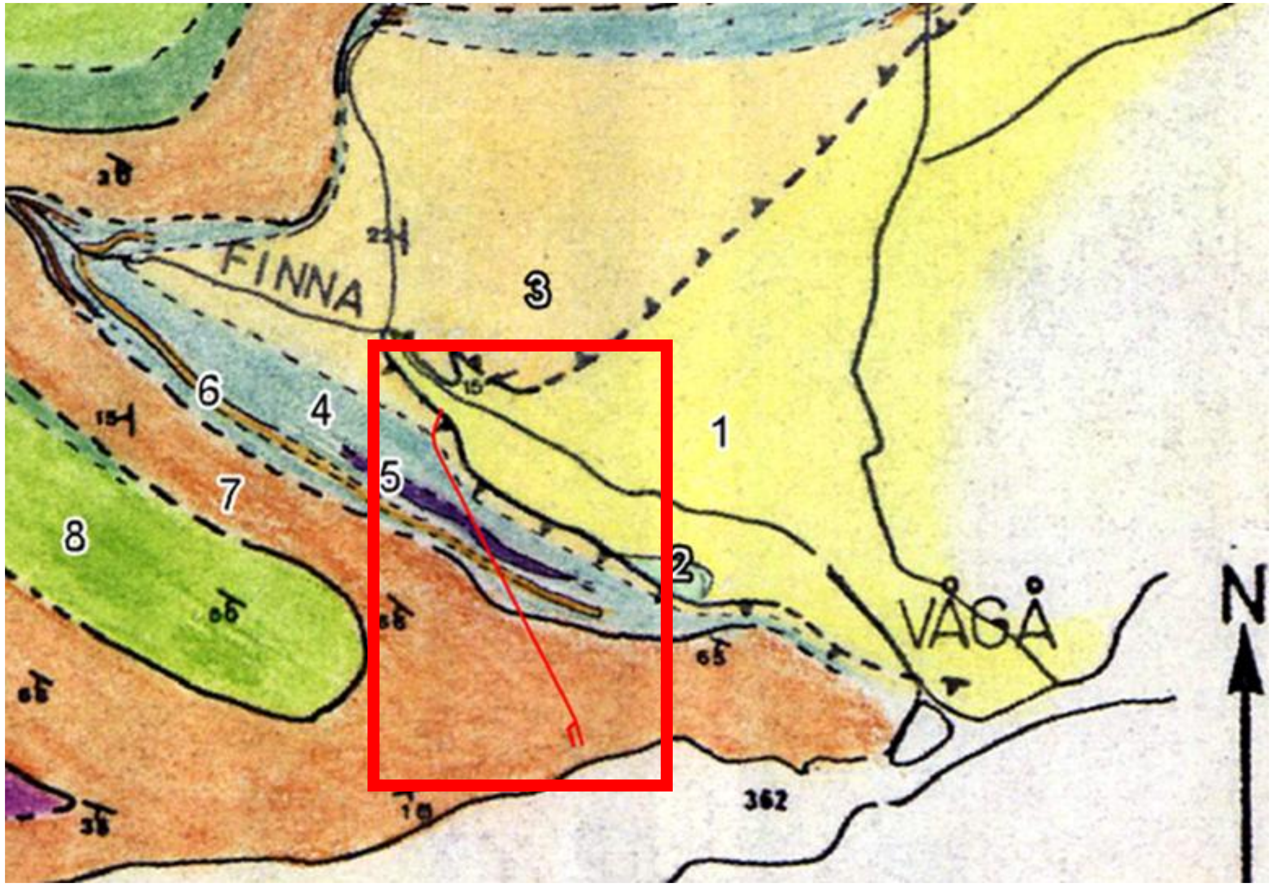


- Totalsonderinger
- Seismikk
- Hammerboringer
- Korte kjerneboringer
- Lange kjerneboringer
- Bergmekaniske og geokjemiske labundersøkelser

Multiconsult

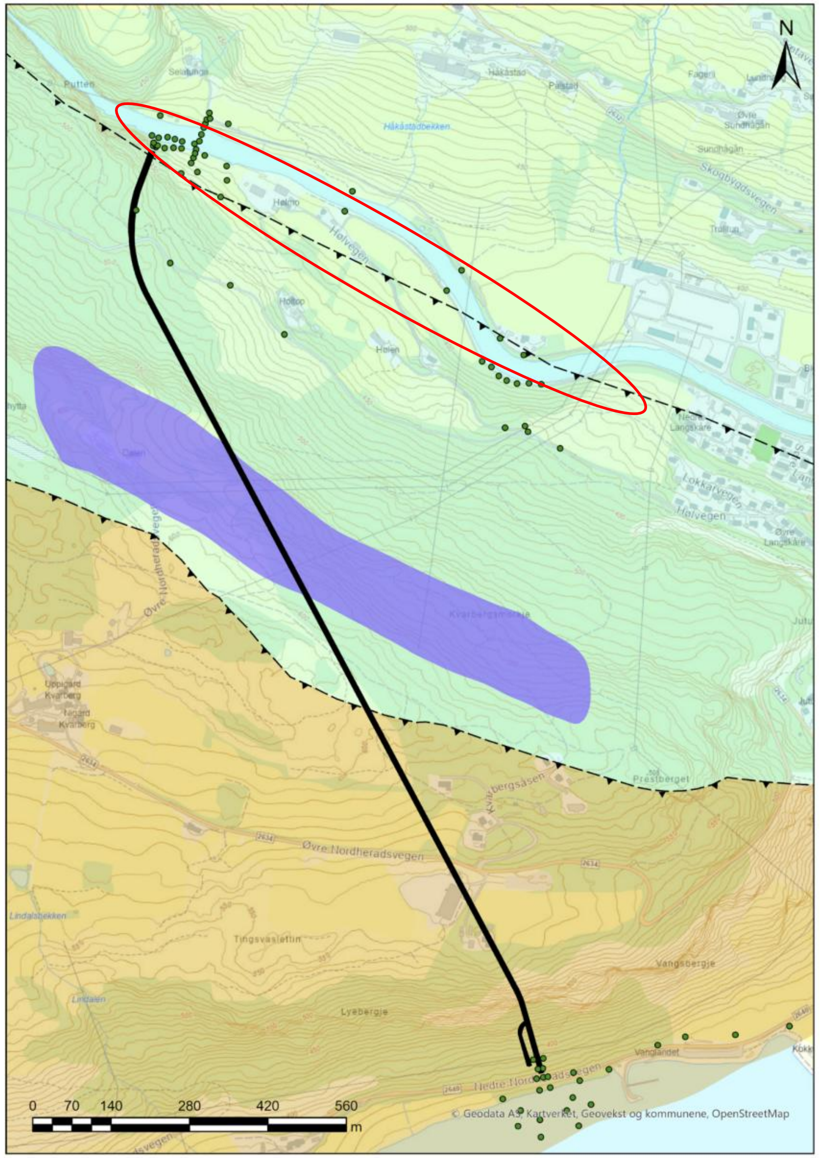
Grunnforhold





Manuskart 1:50 000 over Vågå fra 1976. Kartlagt av Edvard Iversen for NGU.

Grunnforhold

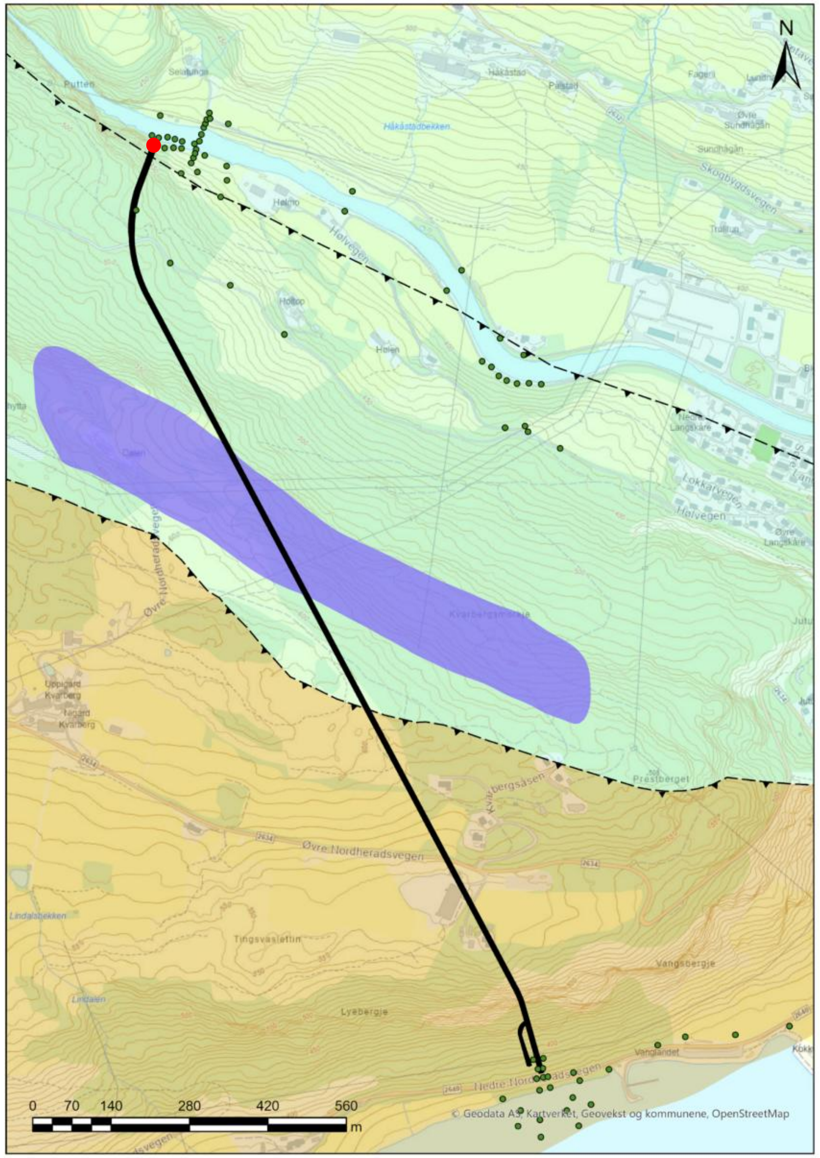


- Totalsonderinger:

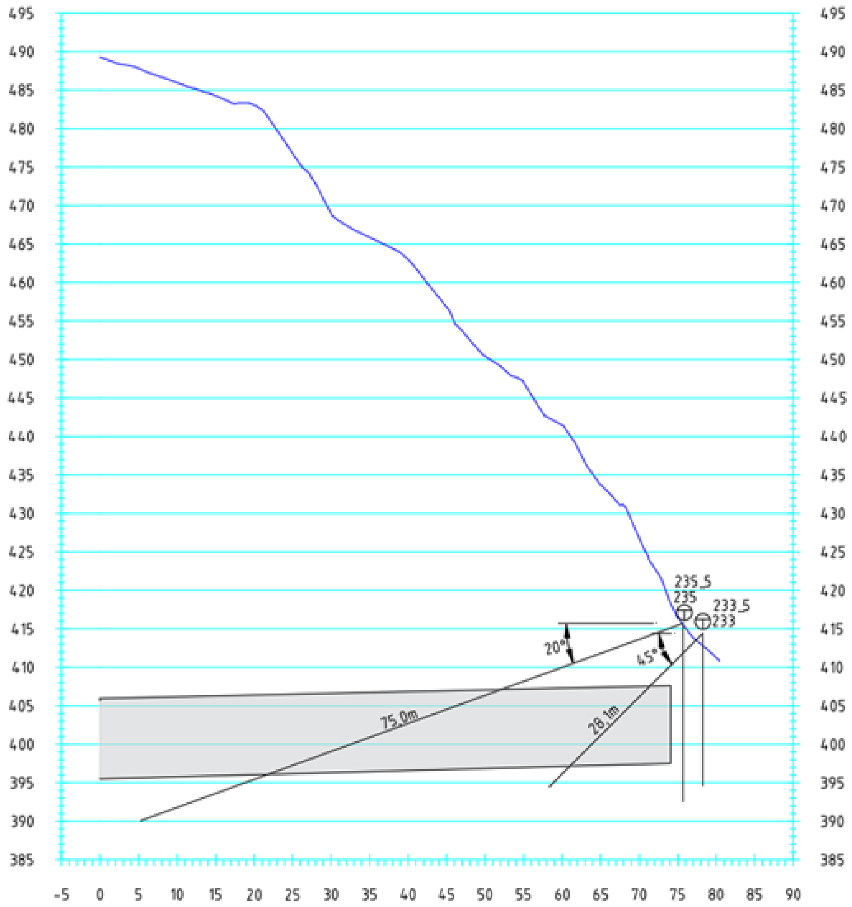
Vanskelig å skille mellom løsmasser og berg!

Multiconsult

Grunnforhold

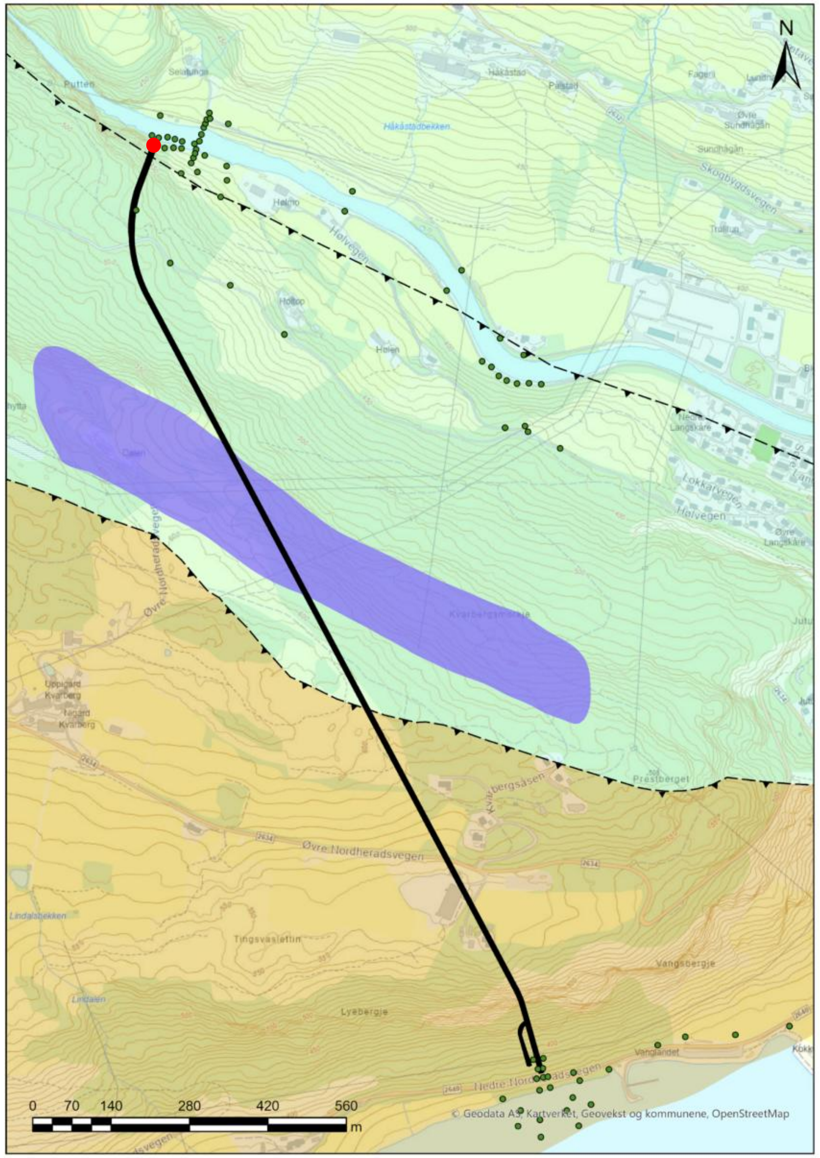


- Totalsonderinger:

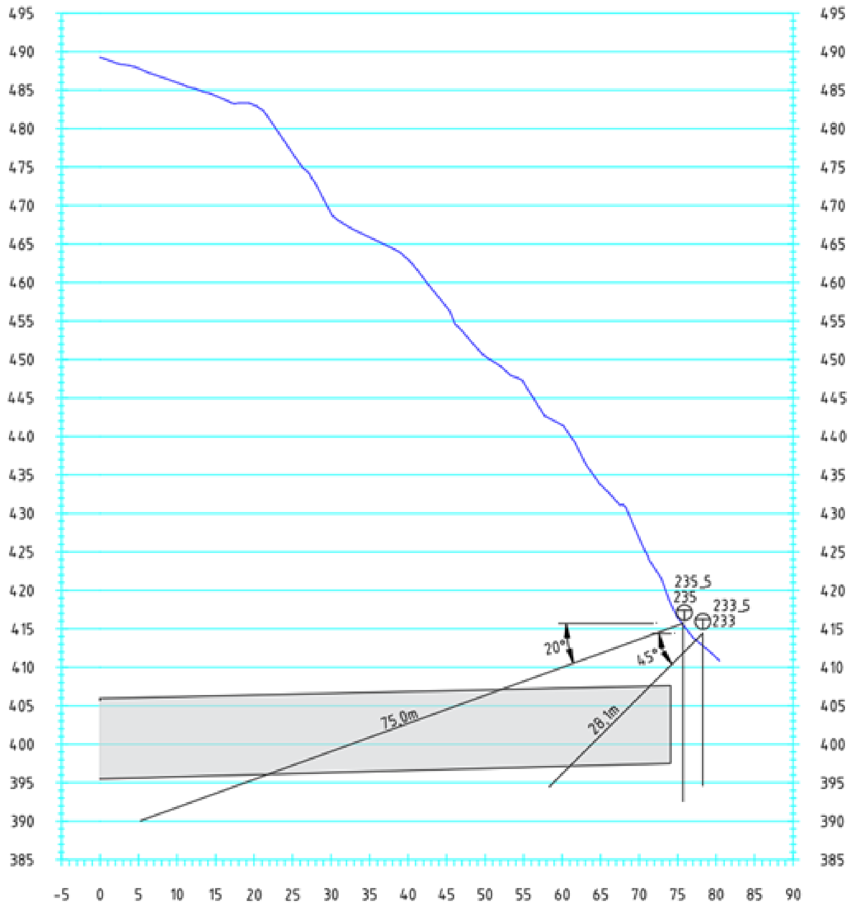


Multiconsult

Grunnforhold

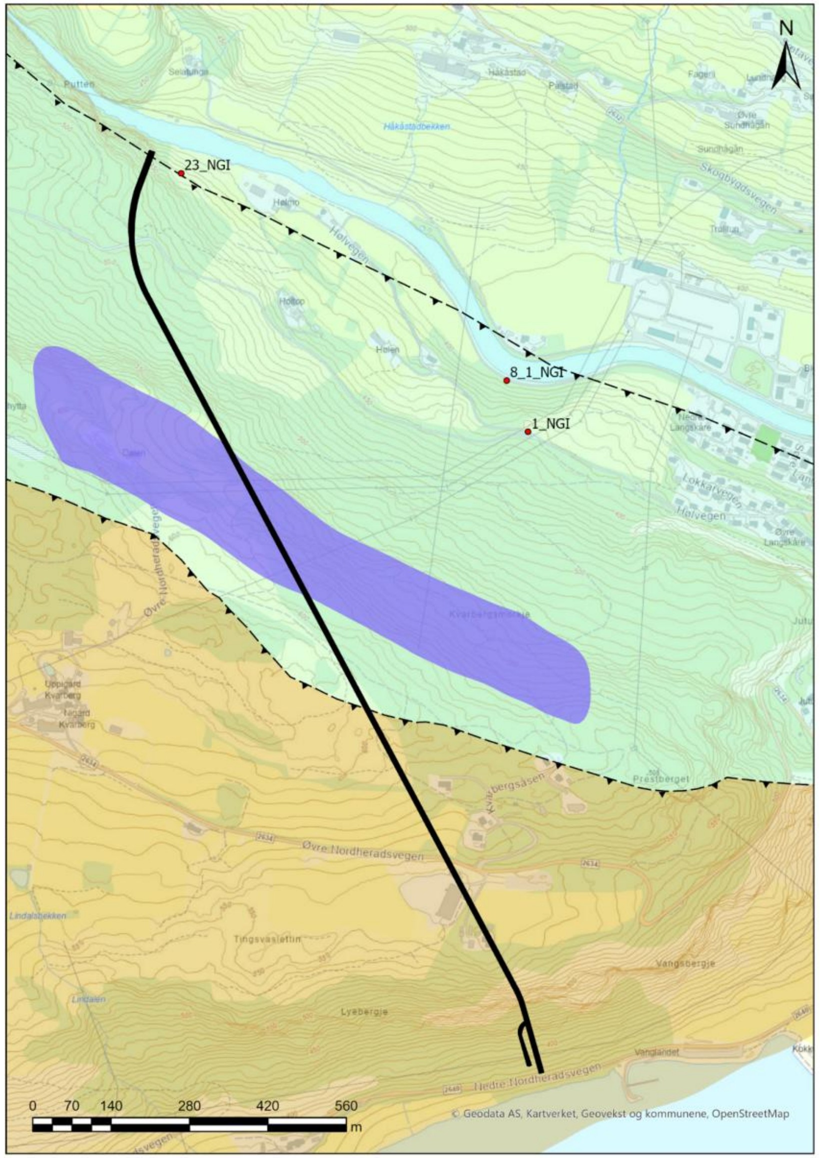


- Totalsonderinger:



Multiconsult

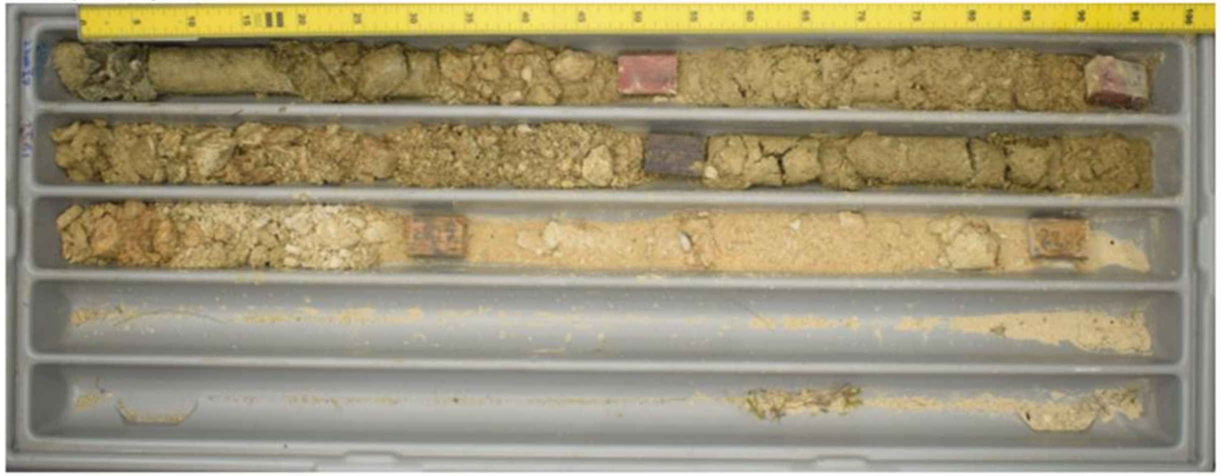
Grunnforhold



- Korte kjerneboringer:

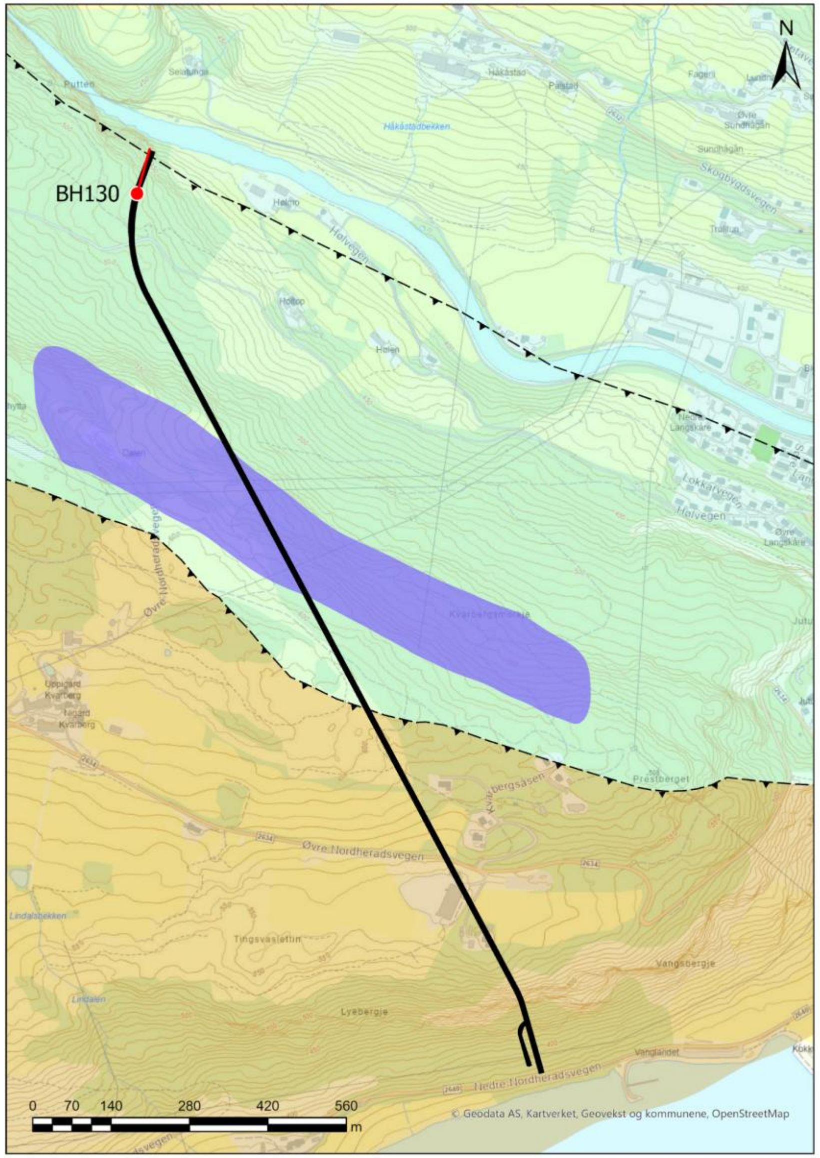
K3: 18,07 - 23,27 m

K4: 23,27 - 29,85 m



Multiconsult

Grunnforhold



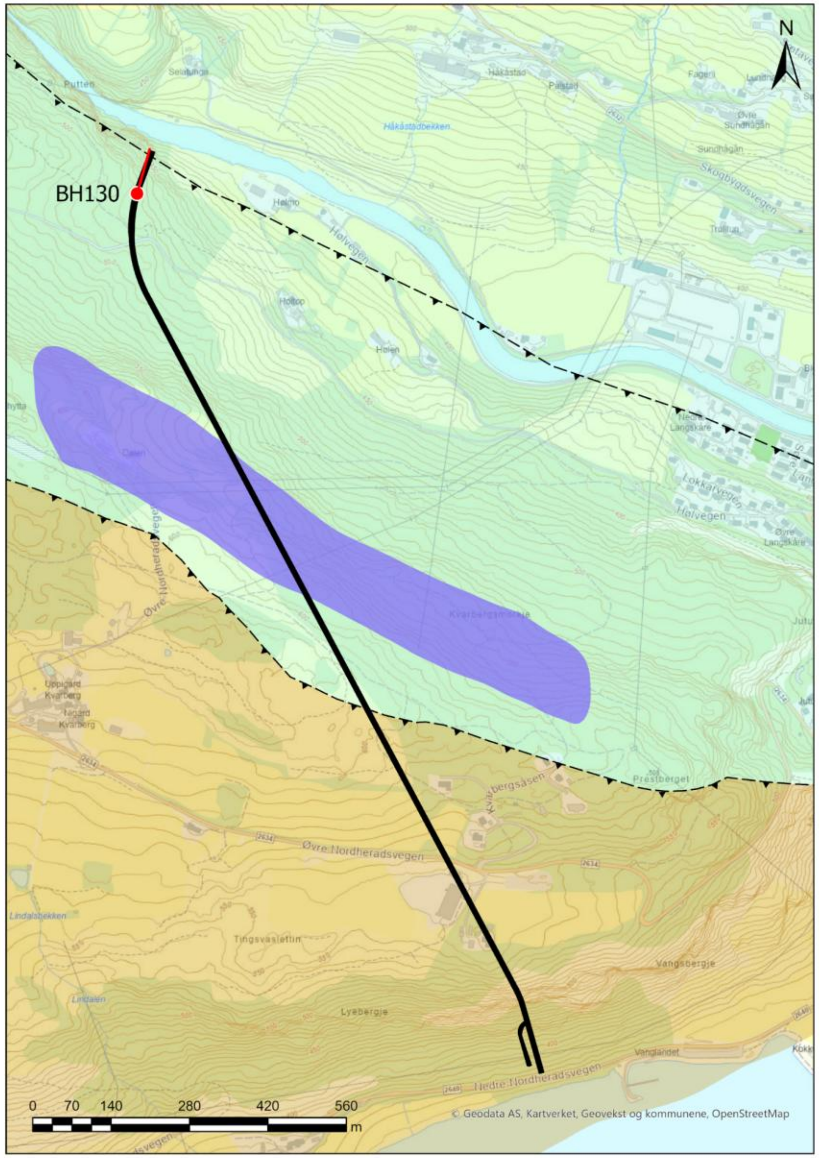
- Kjerneboring BH130

K11: 26,35 – 29,35 m

0 - 47 m: Kjerneboring

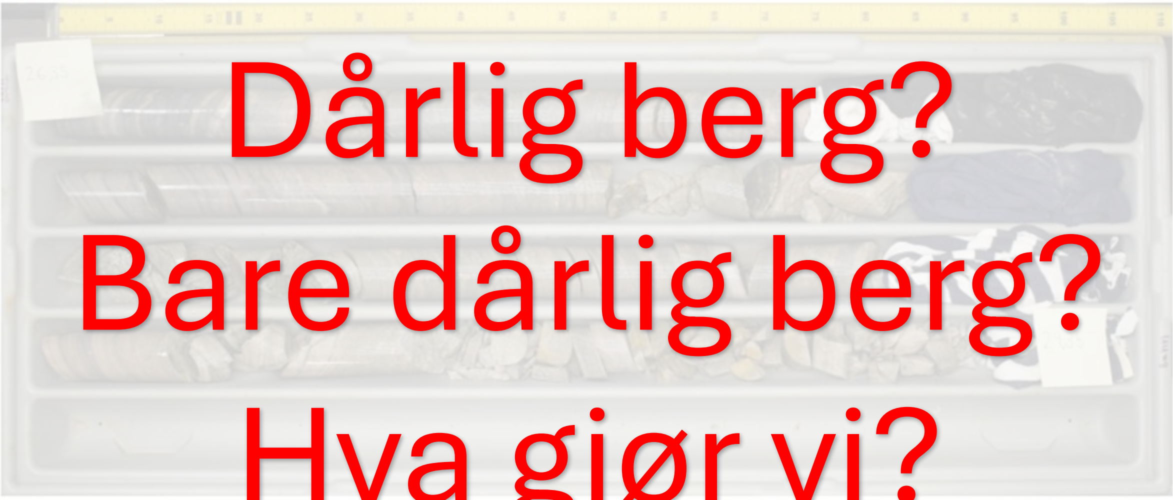
47 – 116 m: Hammerboring grunnet dårlig berg

Grunnforhold



- Kjerneboring BH130

K11: 26,35 – 29,35 m



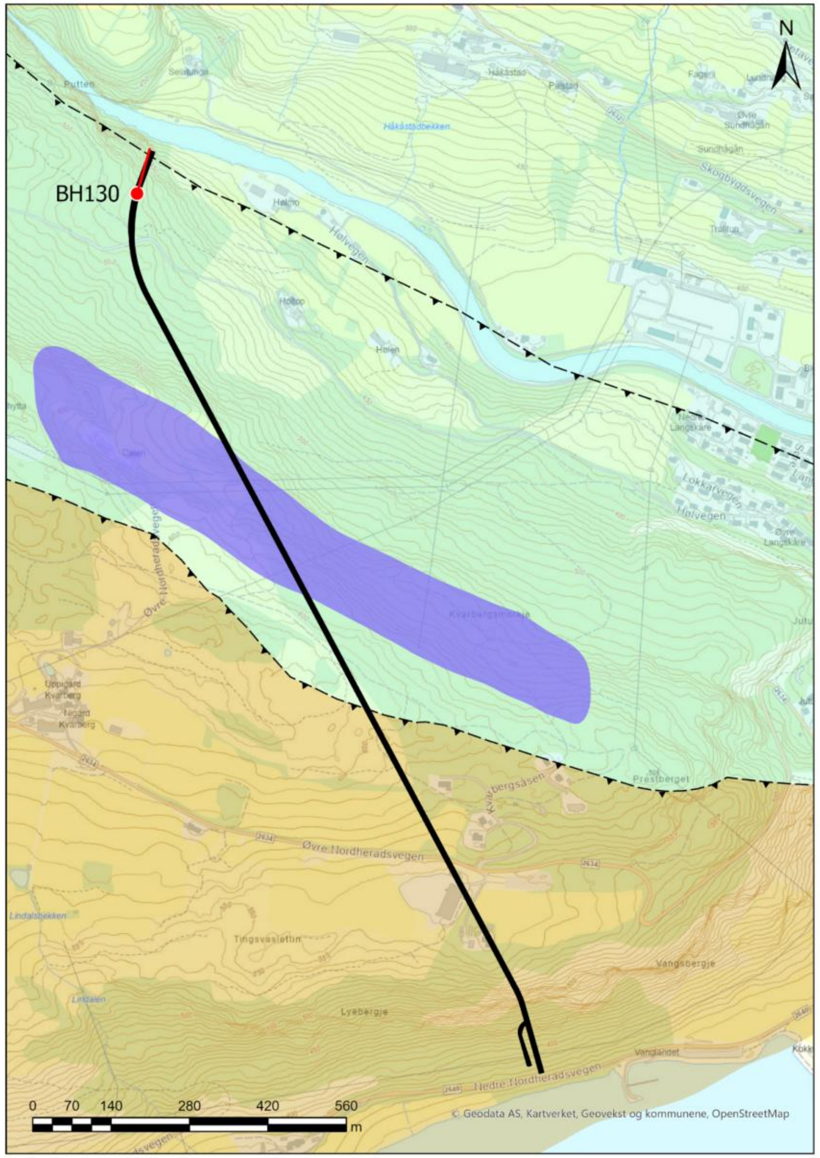
Dårlig berg?
Bare dårlig berg?
Hva gjør vi?

0 - 47 m: Kjerneboring

47 – 116 m: Hammerboring

Multiconsult

Grunnforhold



- Kjerneboring BH130

K11: 26,35 – 29,35 m

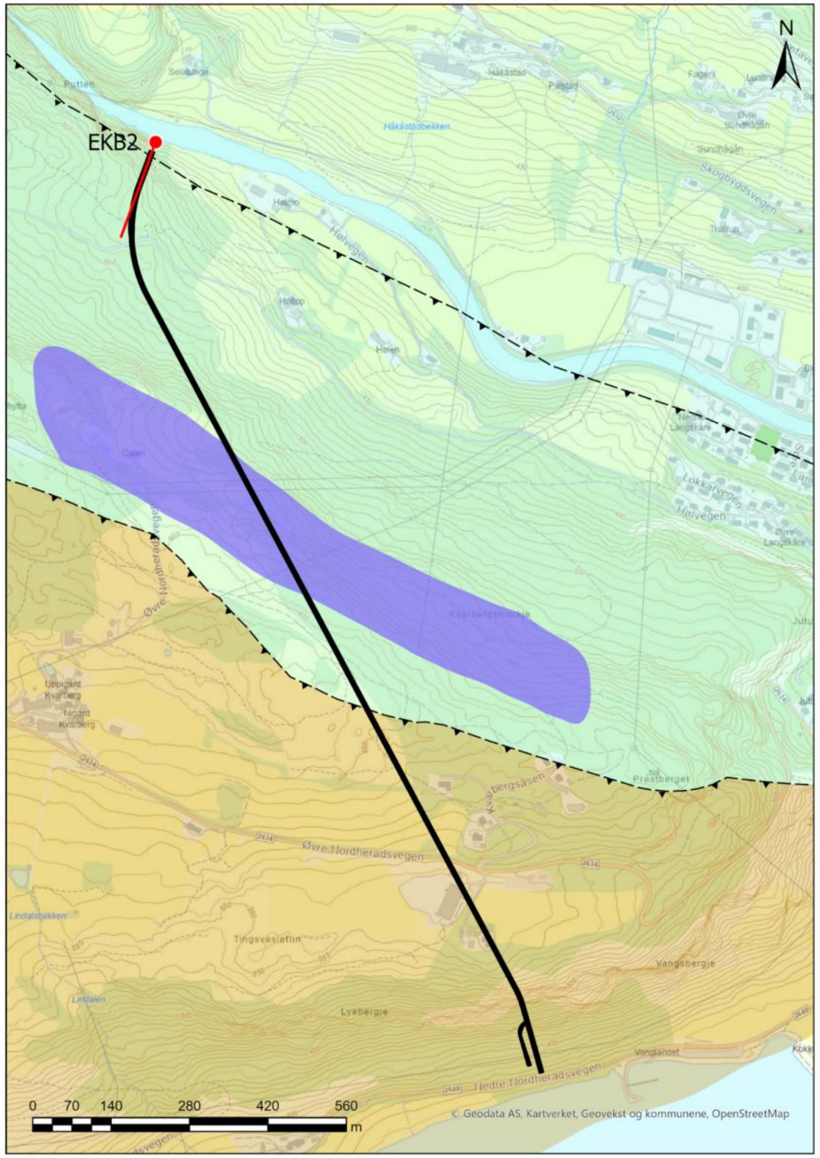
Jo!
Vi tar en kjerneboring
til!

0 - 47 m: Kjerneboring

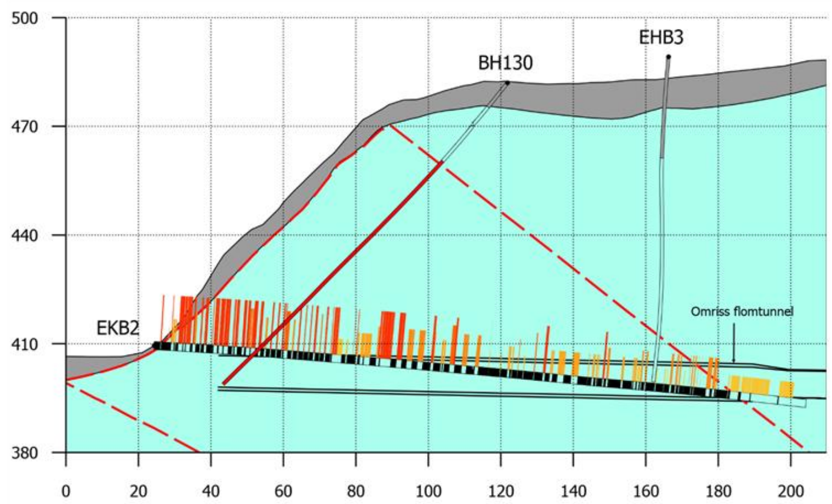
47 – 116 m: Hammerboring

Multiconsult

Grunnforhold

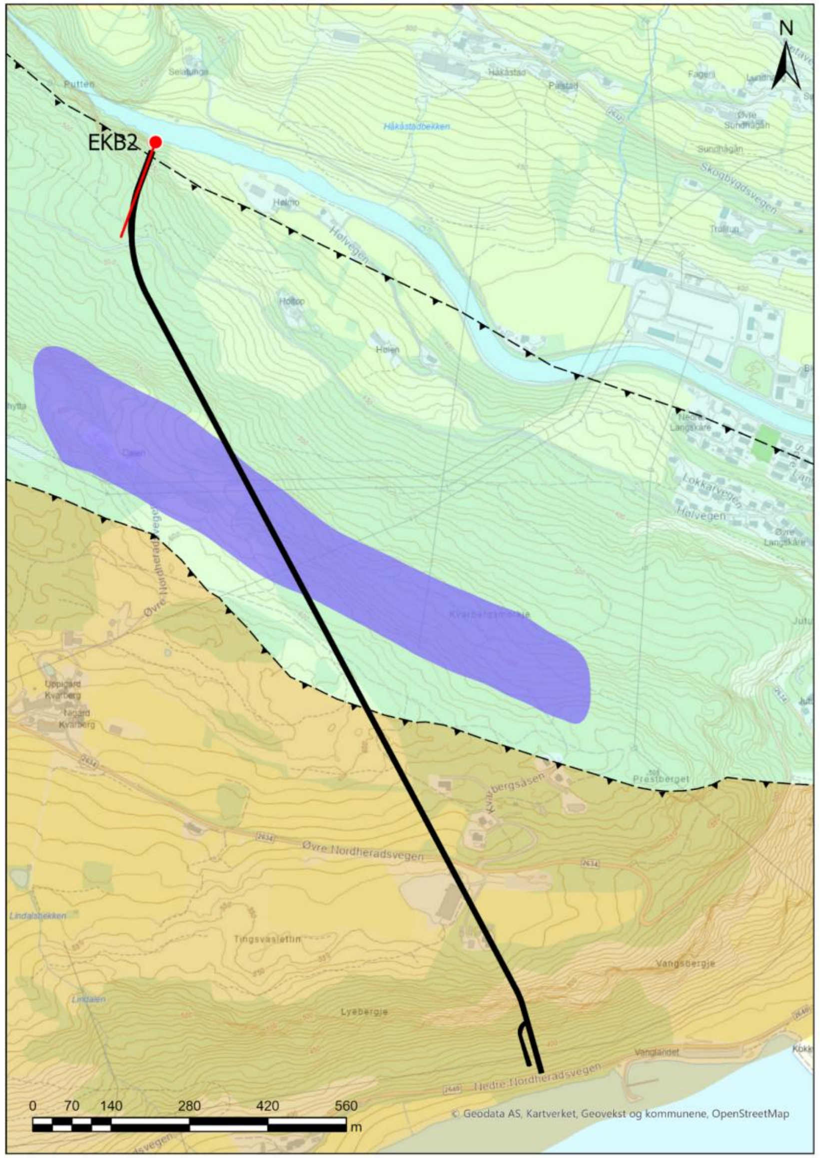


- Kjerneboring EKB2 – Trible tube core

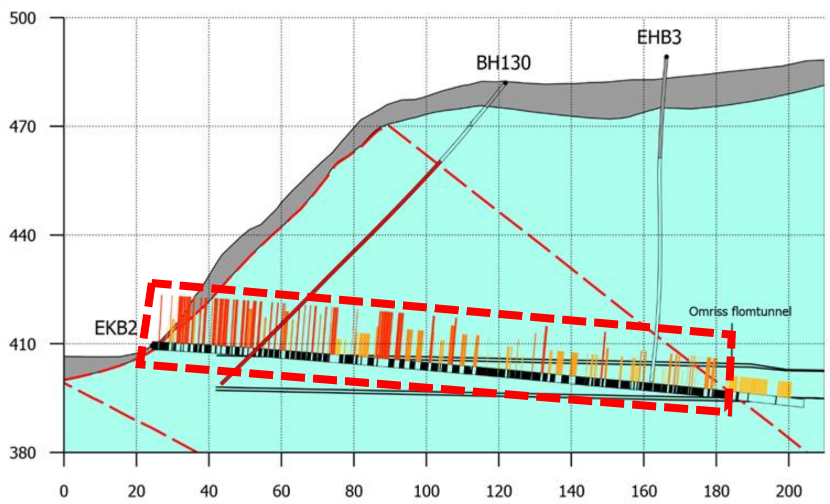


Multiconsult

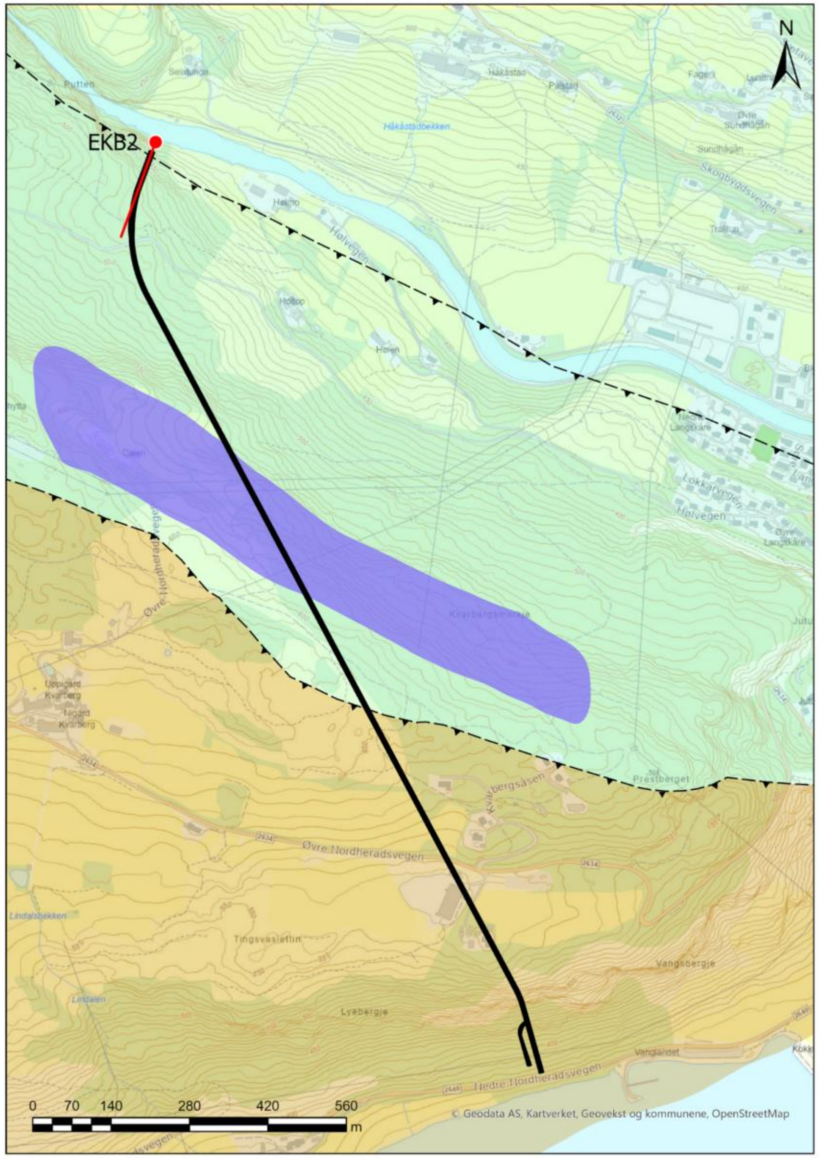
Grunnforhold



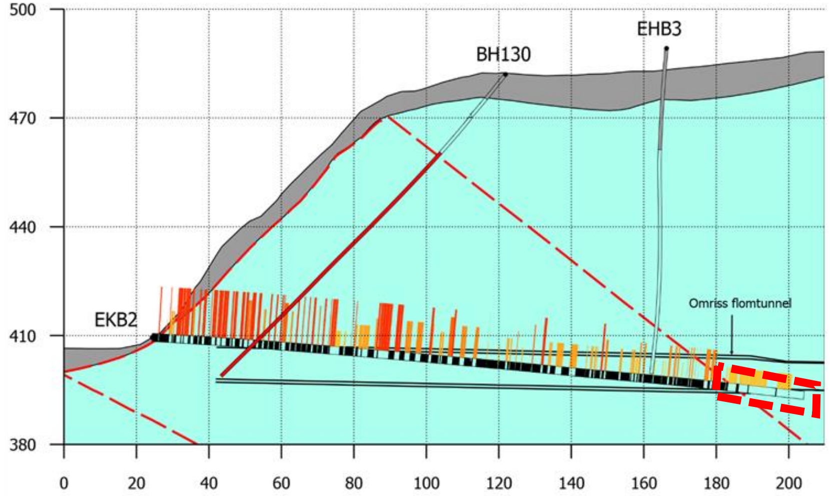
- Kjerneboring EKB2 – Trible tube core



Grunnforhold

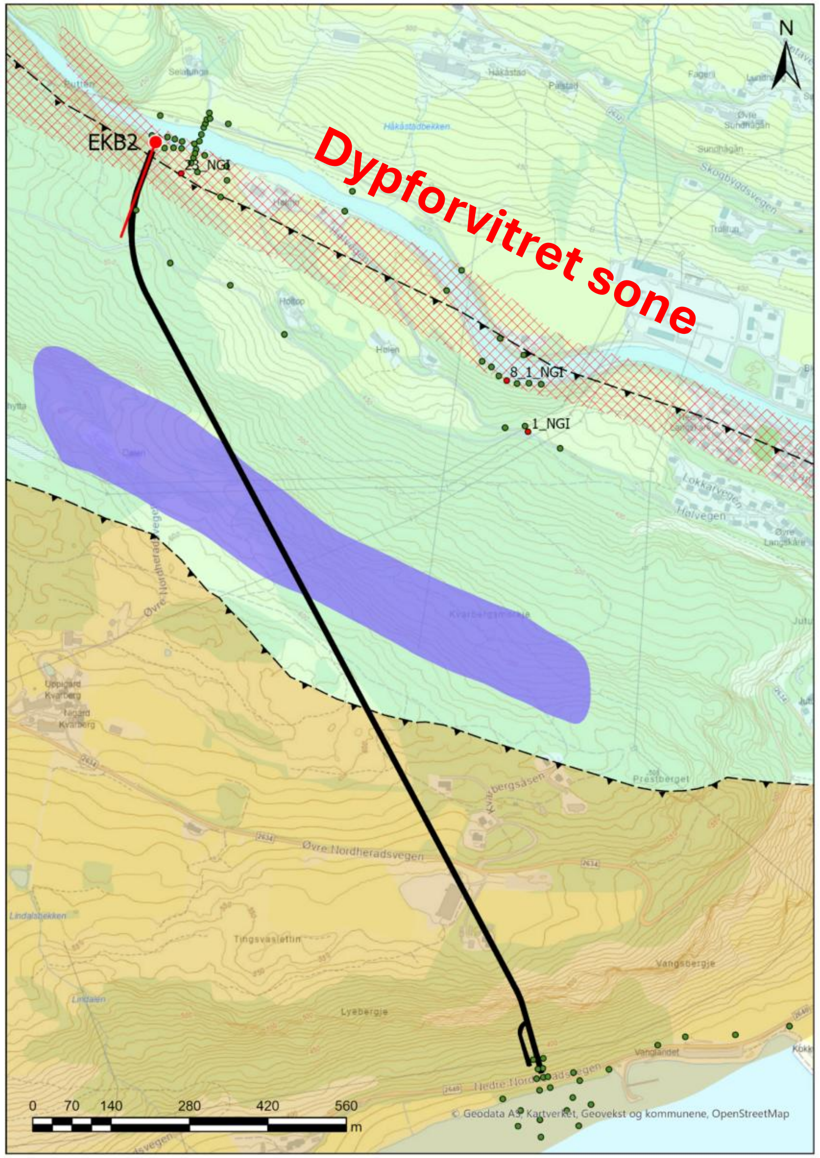


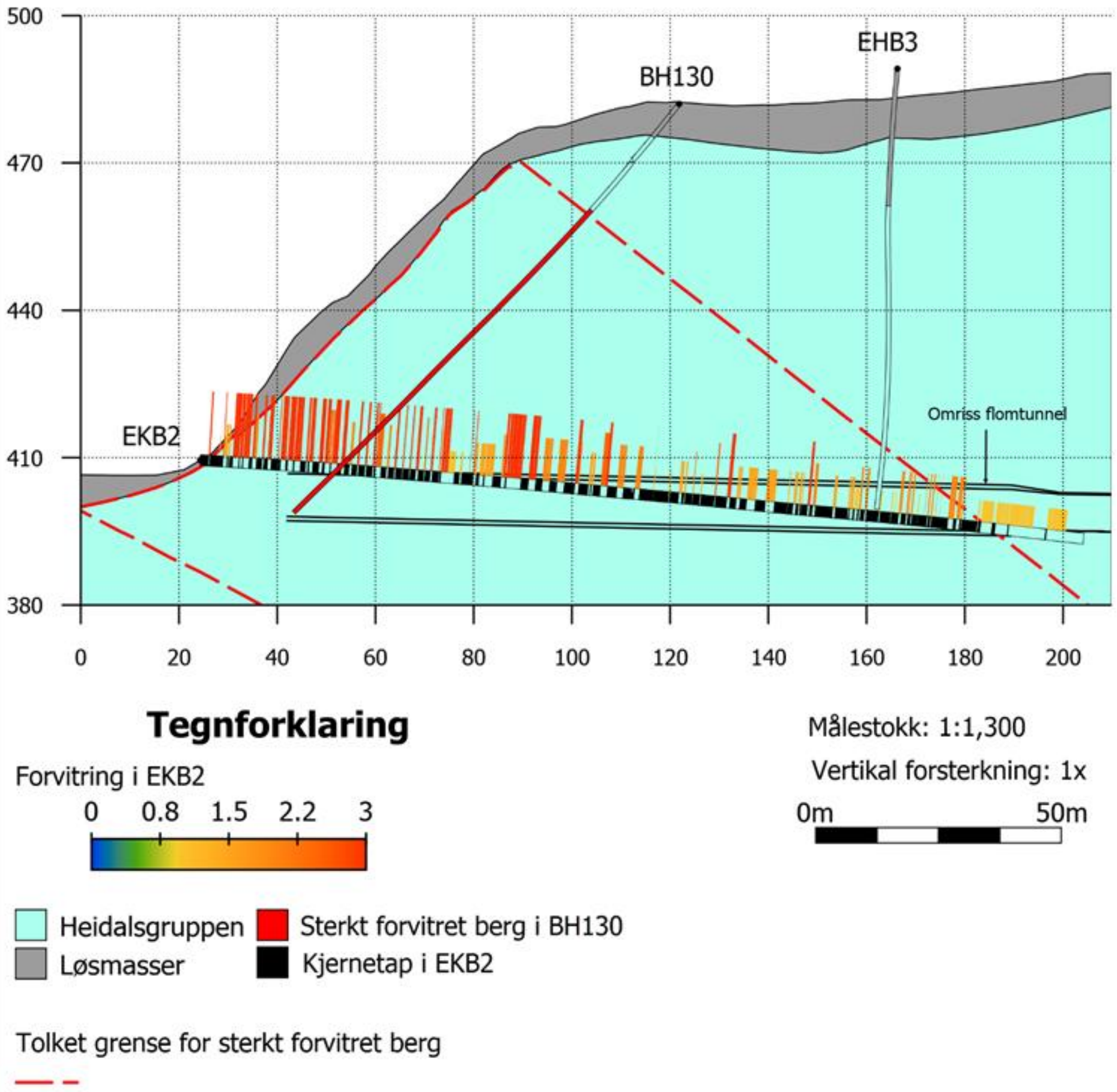
- Kjerneboring EKB2 – Trible tube core



Multiconsult

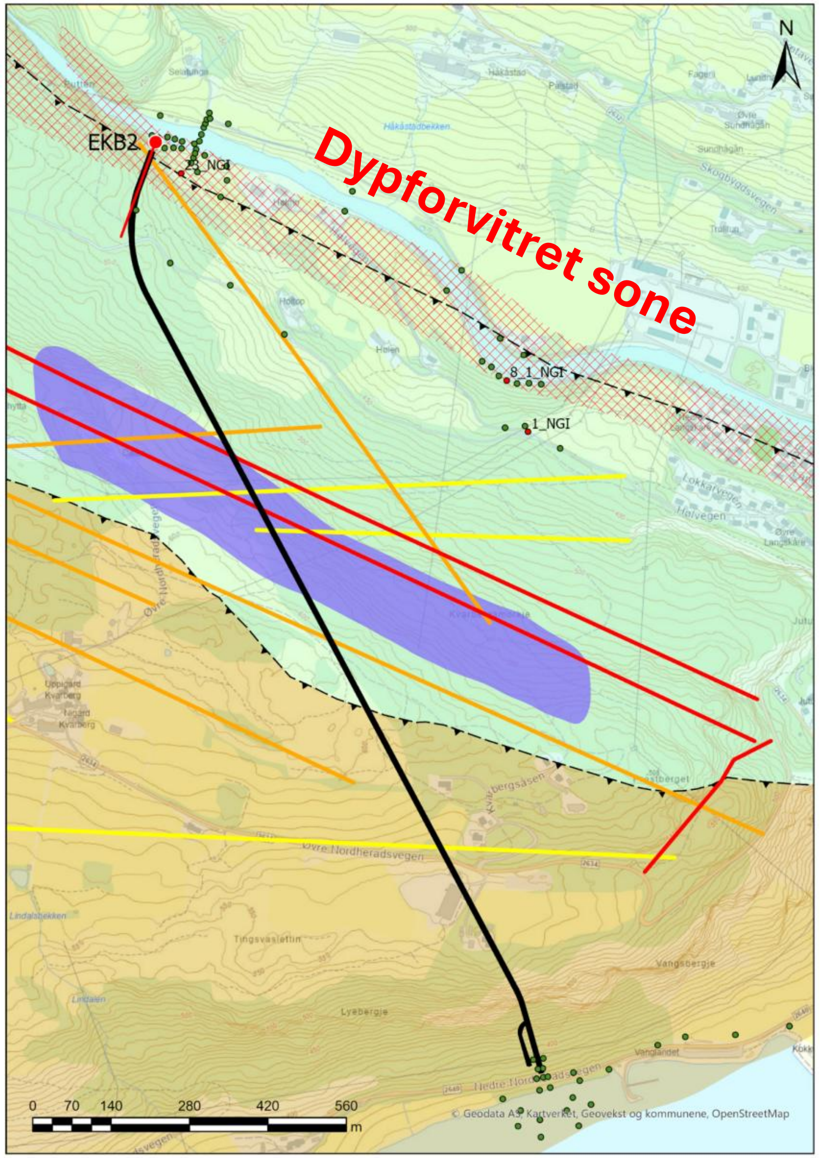
Grunnforhold

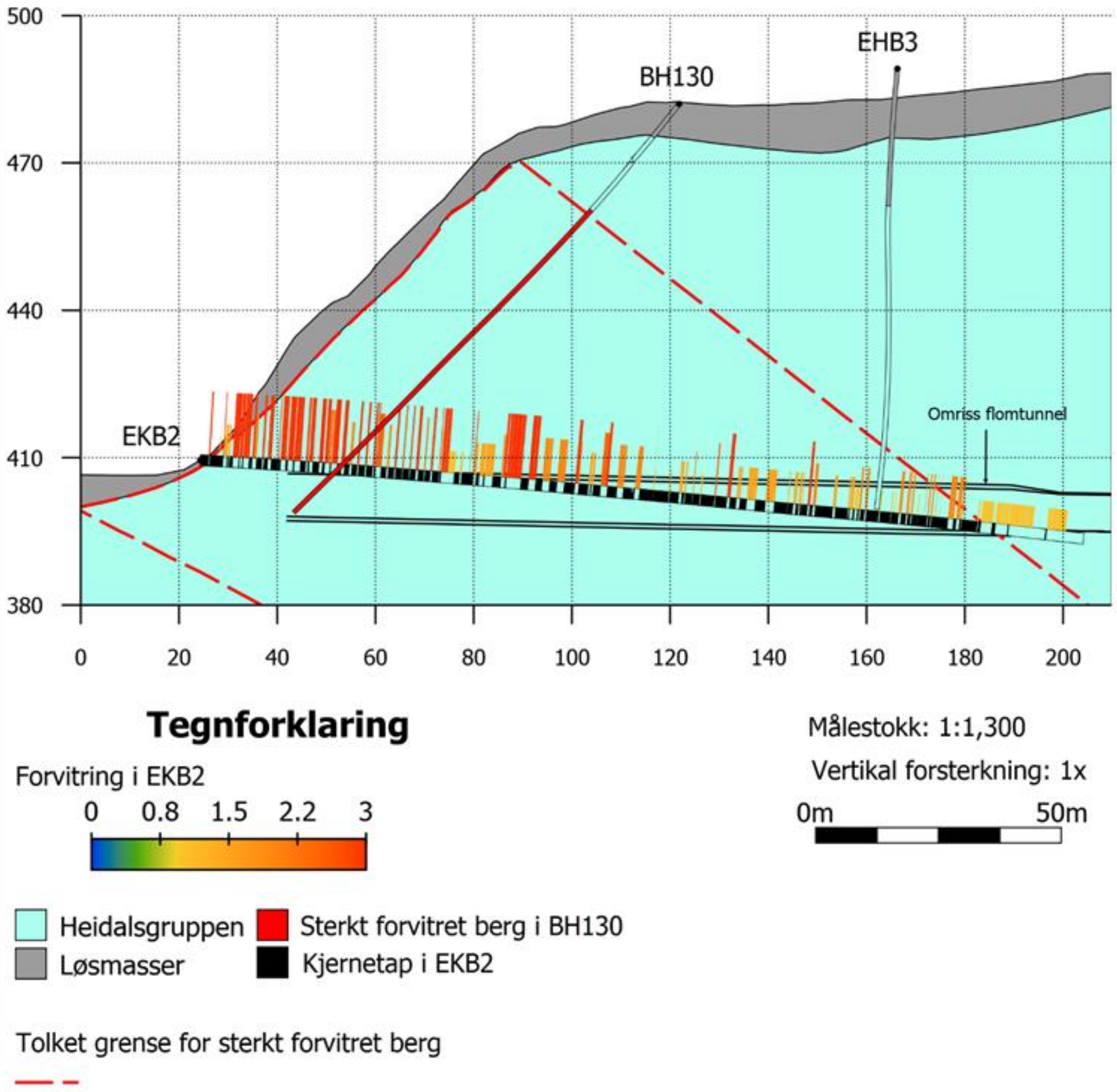




Multiconsult

Grunnforhold

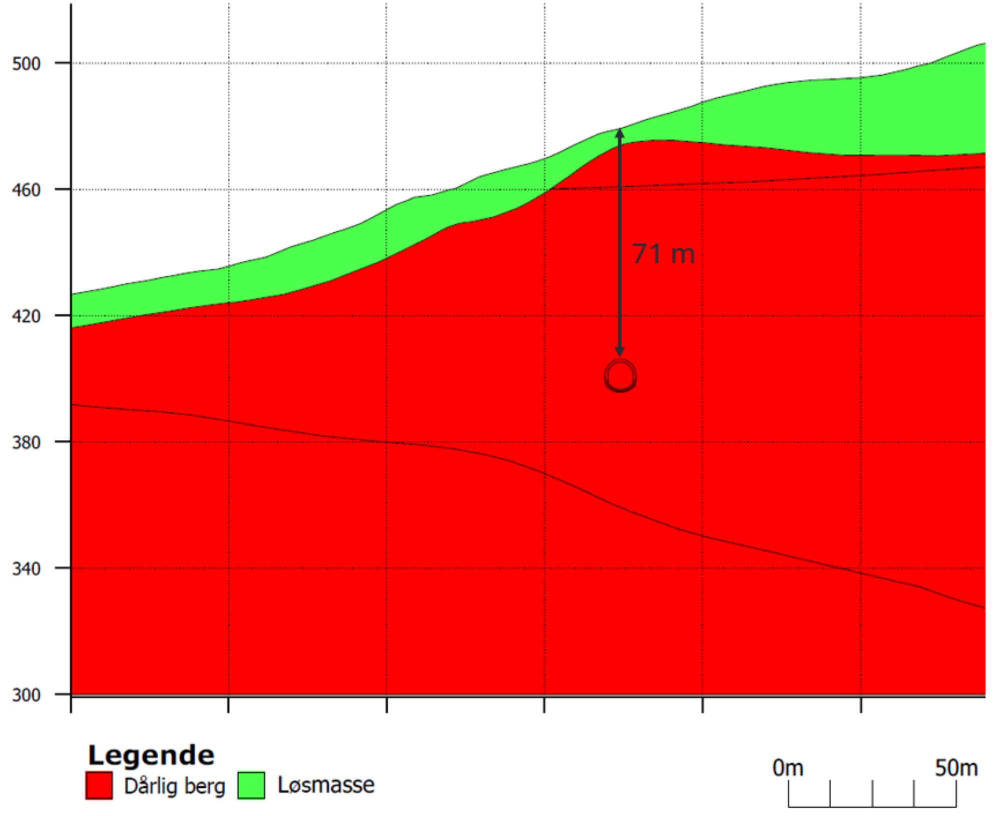


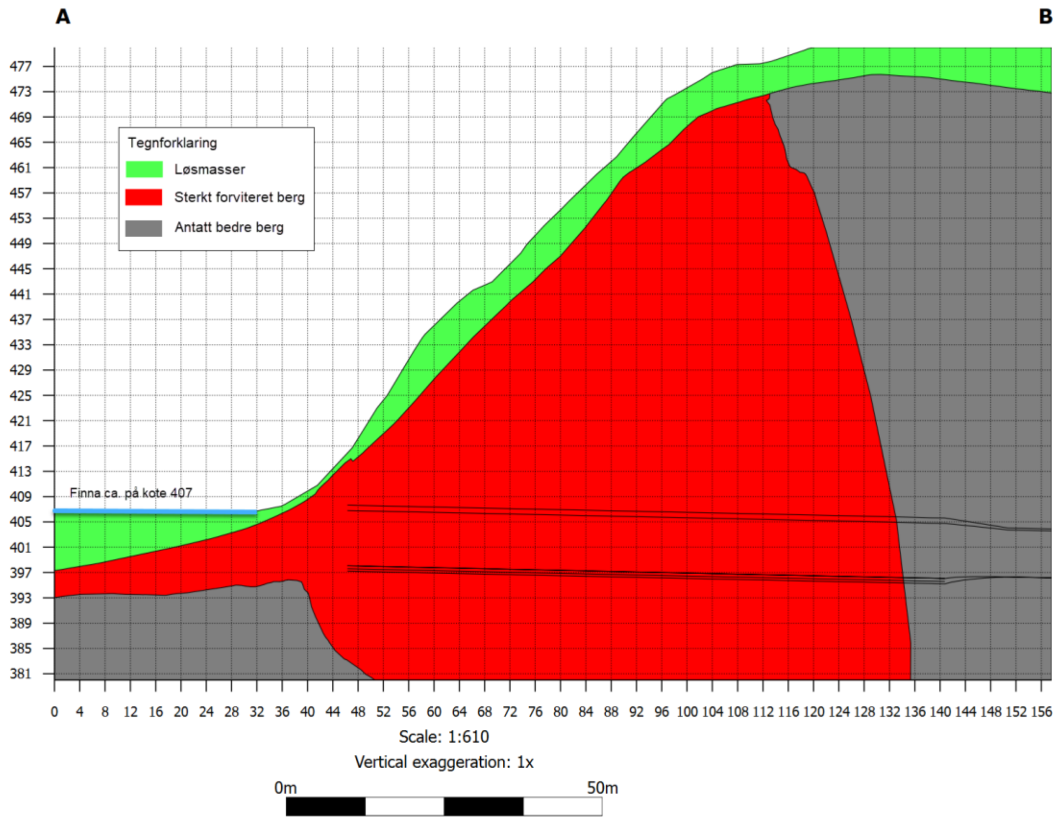


Multiconsult

Stabilitetsberegning i RS2
Formål og begrensninger

- Formål: Hvilke tiltak må til for å drive tunnel i den sterkt forvitrede sonen?
- Begrensninger: Tilgang på representativ data



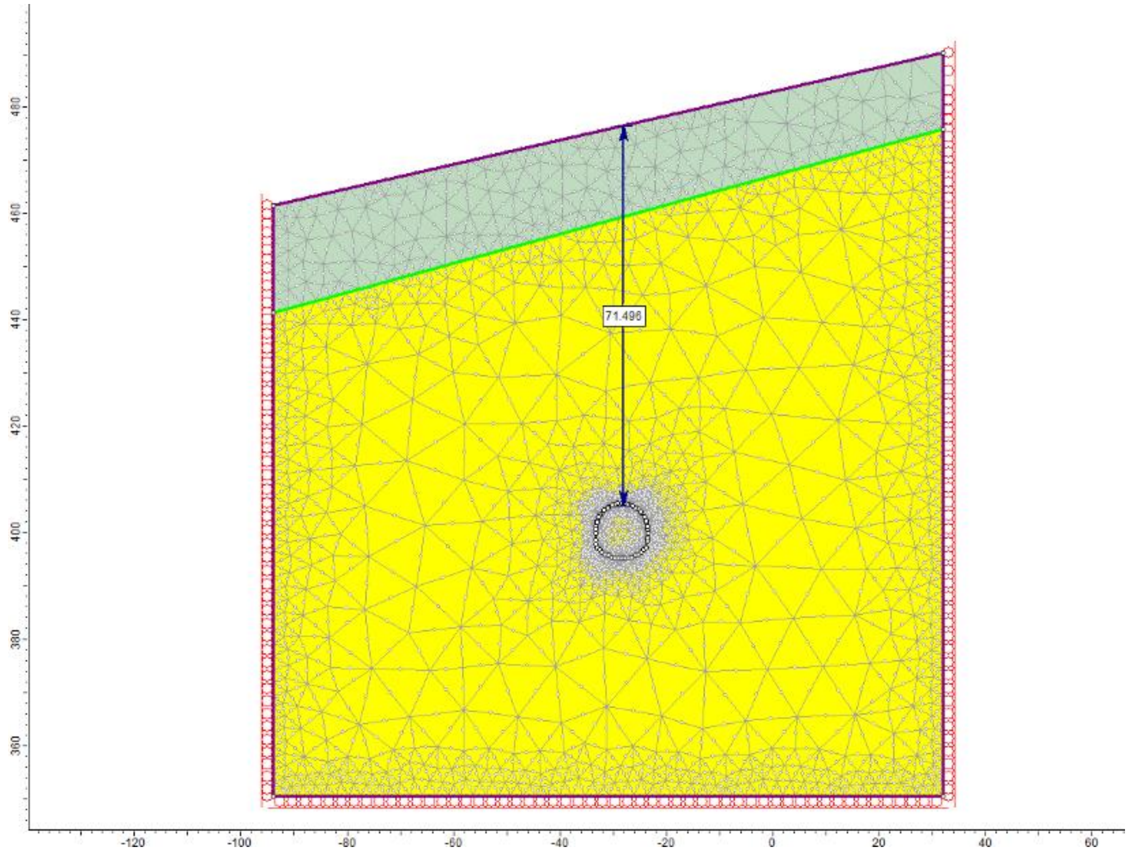


Multiconsult

Modelloppsett

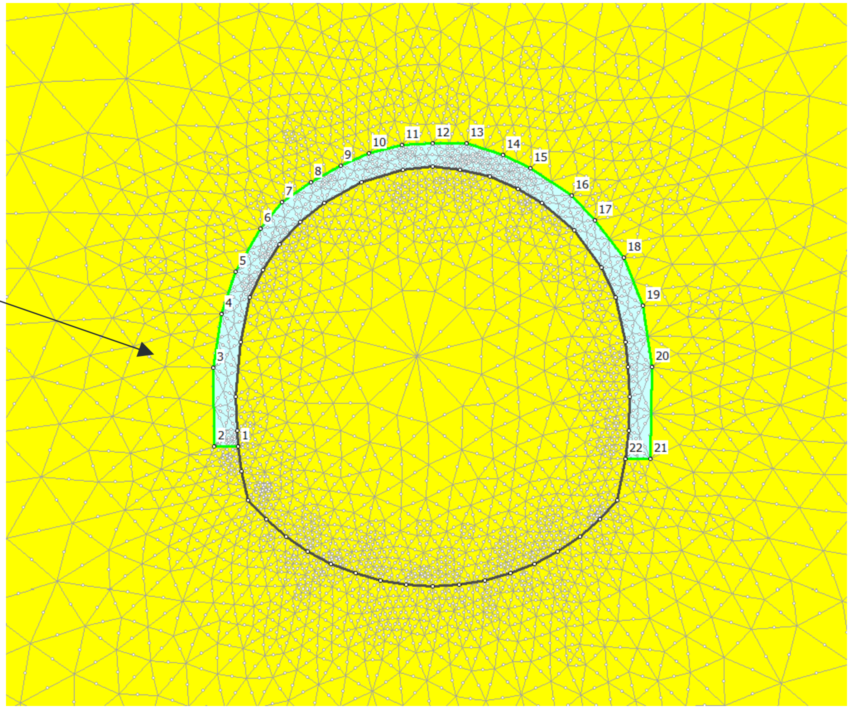
- Klassisk 2D FEM modell, RS2
- Kritisk snitt

- Generalisert Hoek brown (GSI-metode)
- Metode for skring bak stuff for å simulere 3D-effekter



Modelstrategi

Nr	Tilstand	Beskrivelse
1.	In situ	In-situ tilstand uten berguttak
2.	Berguttak	Fullprofil uttak av flomtunnel uten bergsikring (3)
3.	**Forsterkning**	**fullprofil berguttak med forsterket rørskjermlag (4 m bak stuff) (1,2)**
4.	Permanent bergsikring	Analyse av bergsikringsdesign (3,4)
5.	Laster fra driftsfase.	Flomtilstand
6.	Sensitivitetsanalyser	Grunnvann, bergmasseparametre (GSI)



Kilder

1. Hoek, Evert. *Numerical Modelling for Shallow Tunnels in Weak Rock*. Upubliserte notater.
2. Hoek, Evert. 1998. *Tunnel Support in Weak Rock*.
3. Rocscience. *Tunnel Lining Design*.
4. *Terron-Almenara et.al (2024). Permanent tunnel support with reinforced shotcrete arches and forepoling in over-consolidated till and weathered rock. A case study based on the construction of the Bergås tunnel, Norway*

Multiconsult

Inngangsparametere

Gode inngangsparametere er en forutsetning

- Bergmasseparametere: UCS, GSI
- In situ spenninger K=1
- Elastisk bergsikring
- Grunnvann ved planlagt tunnelheng kote 414

GSI ≈ 20-30 (30-40 % av påhugg)
σ_{ci} (dårligst) 2-3 MPa
σ_{ci} (best) 20-25 MPa

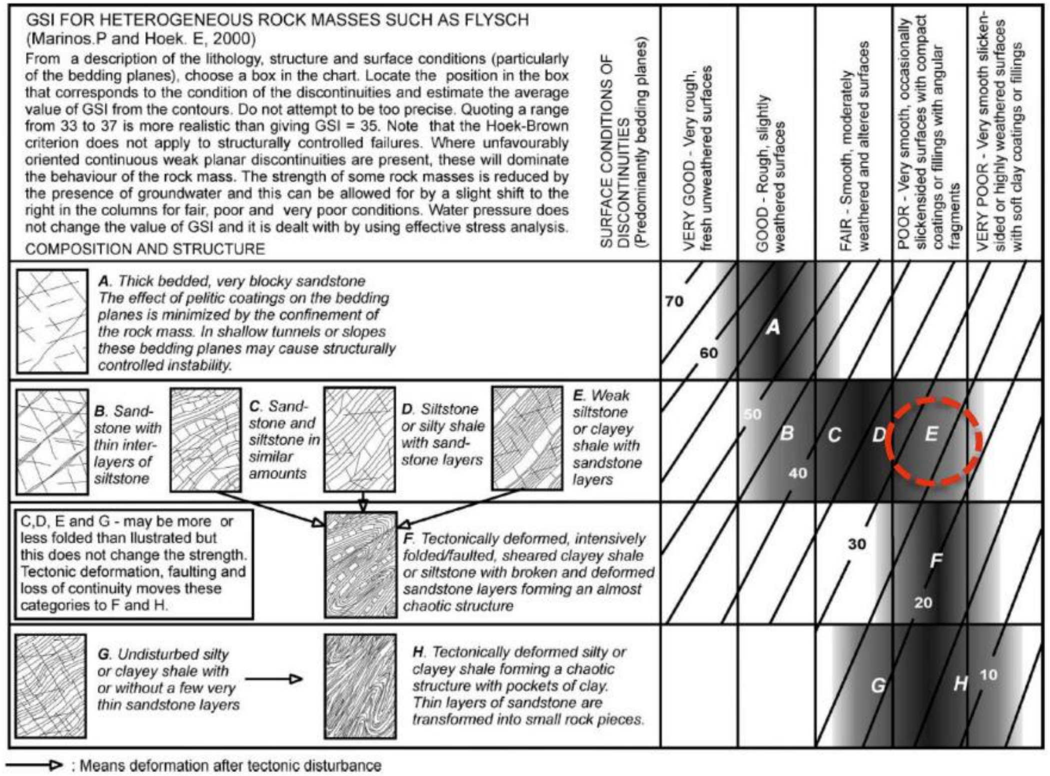
GSI ≈ 25-30 (50-60 % av påhugg)
σ_{ci} (dårligst) 2-3 MPa
σ_{ci} (best) 20-25 MPa

GSI ≈ 40-45 (0-20 % av påhugg)
σ_{ci} (dårligst) 10-25 MPa
σ_{ci} (best) 25-50 MPa

Parameter	Bergmasse ved påhugg		
	Estimat lokalt, i dårligste område	**Estimat lokalt, i øvrige del av påhuggsområdet**	**Globale parametere**
Andel av global	0.4	0.6	N/A
Bergmassetype (fra tabell om Flysch)	E	D/E	D/E
GSI	20	25	**23**
σ_{ci} (feltestimat, MPa)	2	25	16
σci (adjusted, MPa)	2	15	**10**
mi (feltestimat)	7	17	13
mi (adjusted)	7	10.2	**9**

Bergmasseparametere

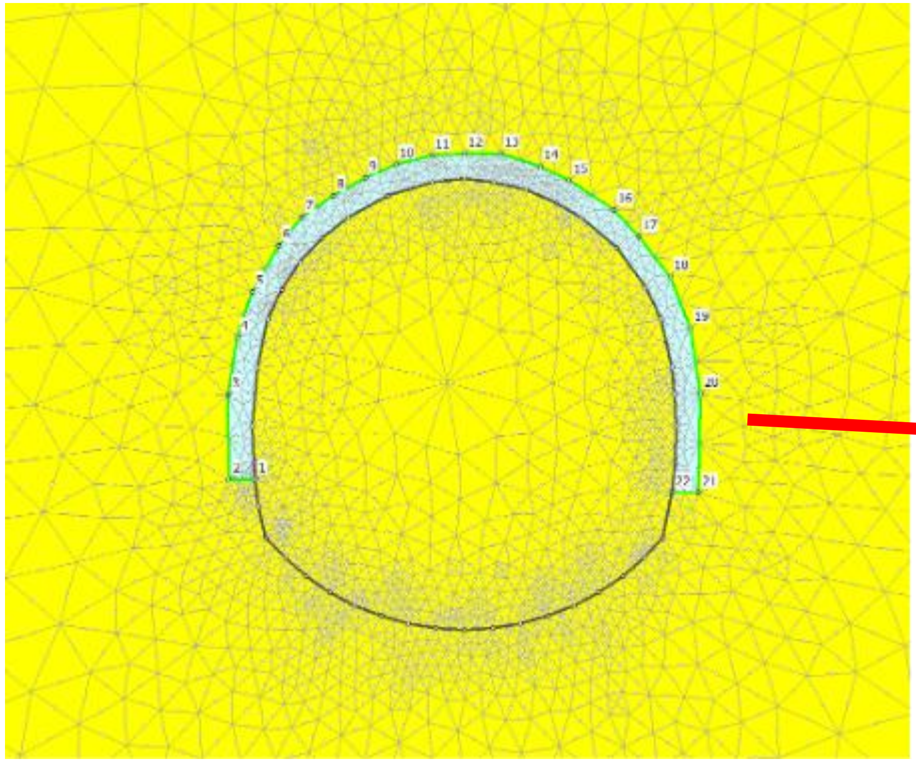
Table 3. GSI estimates for heterogeneous rock masses such as Flysch.

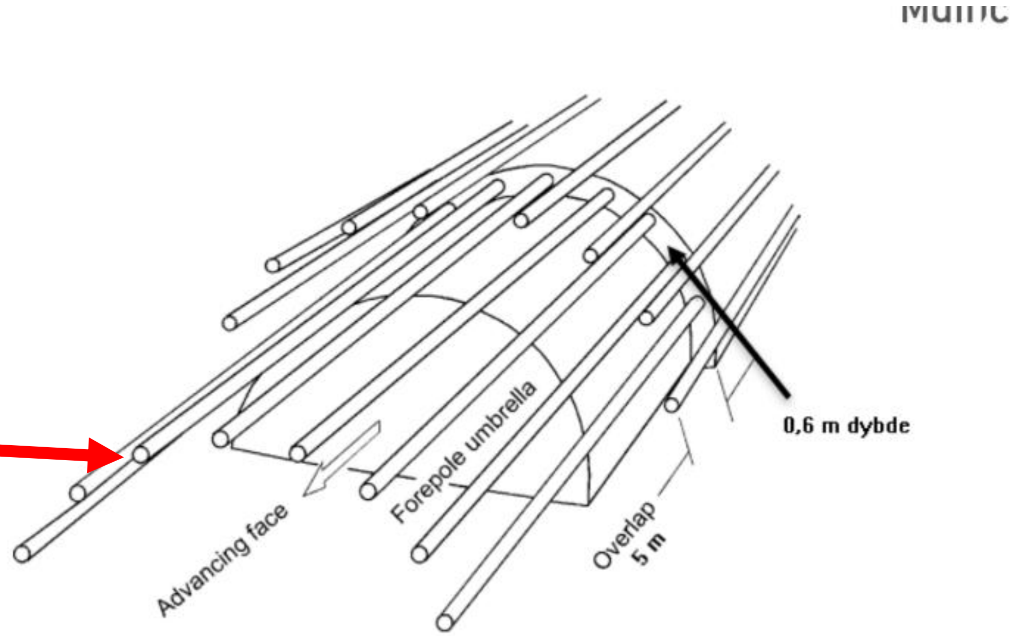


Marinos & Hoek. 2000.Practical rock engineering

Parameter		Berg i den dårlige sonen	
		Med GSI=20 Konservativ	Med GSI=23 Forvent
Intakt berg	UCS σ_{ci} (MPa)	10	10
	E-modulus (MPa)	20000	20000
Bergmasse	GSI	20	23
	Global bergartsstyrke σ_{cm} (MPa)	0,77	0,85
	m_i	9	9
	m_b	0,52	0,58
	s	0,000138	0,000192
	a	0,54	0,54
	Strekkfasthet (MPa)	0,002	0,003
	E-modulus (MPa)	728,98	1069

Rørskjerm i sterkt forvitret berg

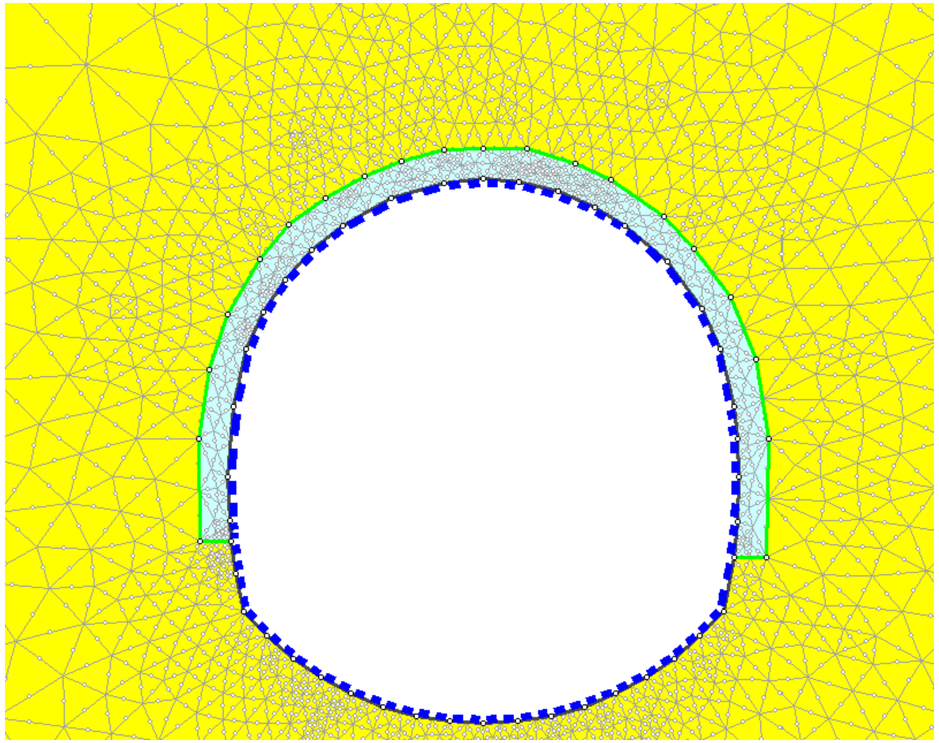




Hoek, Evert. *Numerical Modelling for Shallow Tunnels in Weak Rock*. Upubliserte notater.

Komponent	Areal (m^2)	Styrke (MPa)	Produkt
Bergmasse σ_{cm}	0,6	0,85	0,51
Rørskjerm DP55	0,005	200 [20]	1,1
Injeksjonsmasse RBA 380	0,007	35 [21]	0,2
Sum	0,62	-	1,80
Rørskjermlag σ_{cm} (MPa)	1,80/0,62=2,93		
Rørskjermlag σ_{ci} (MPa)	35		

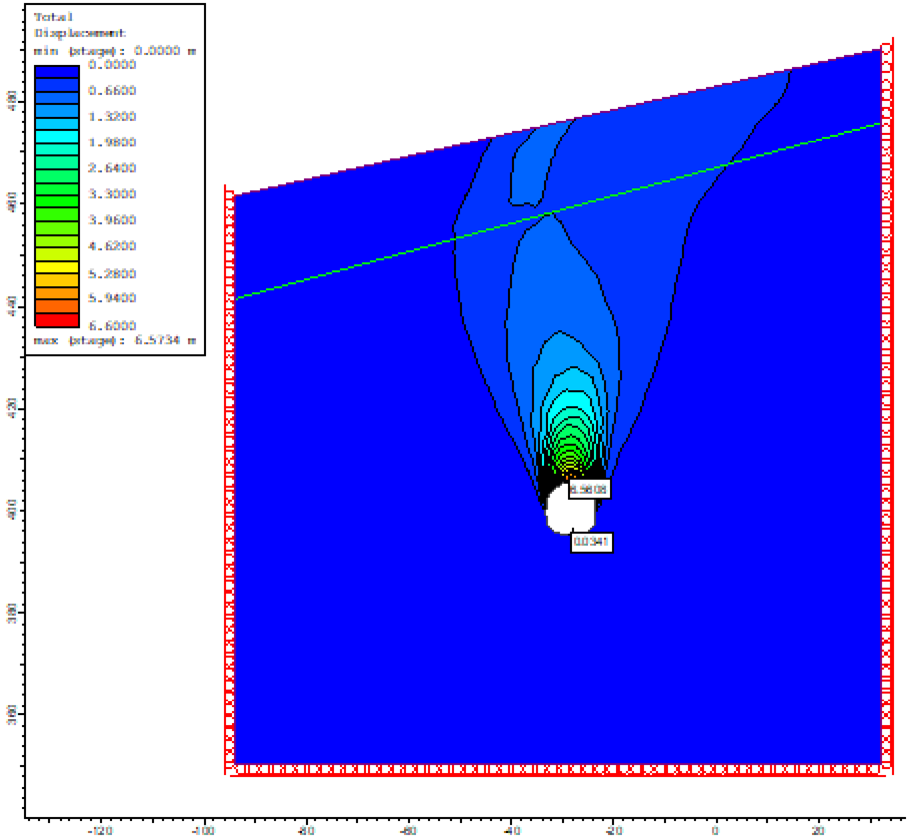
Bergsikring



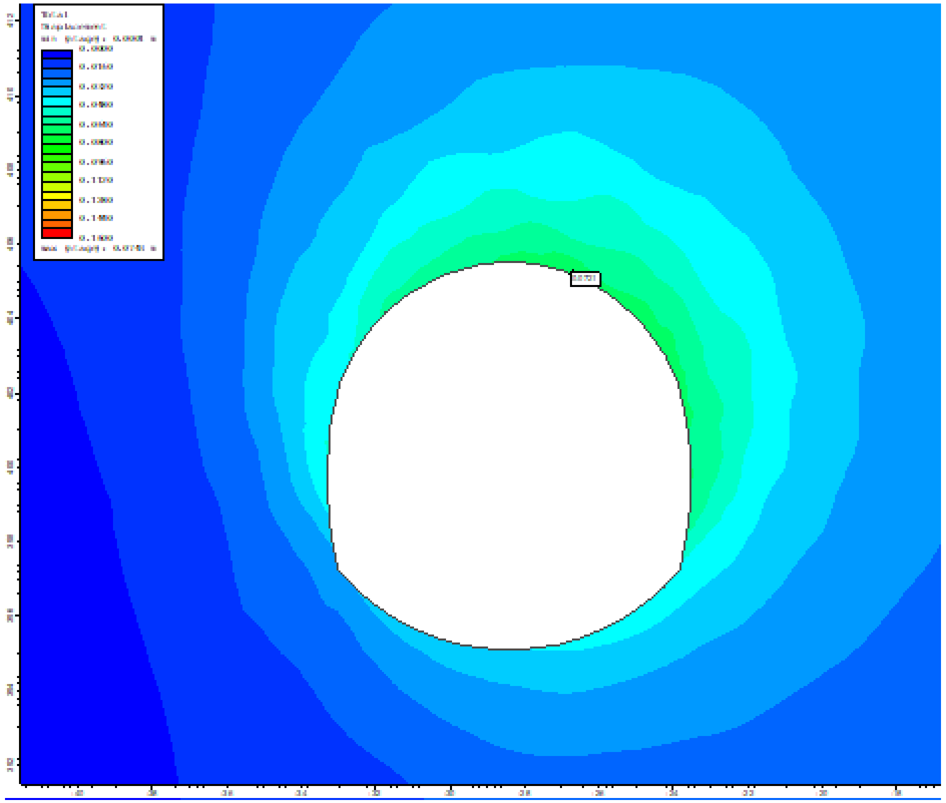
Komponent	Sprøytebetong	Bue	Sprøytebetong over bue
Tykkelse (m)	0,20	6 mm	0,2
E-modulus (MPa)	30000	200000	30000
Poisson ratio	0,15	-	0,15
Trykkfasthet (MPa)	40	400	40
Strekkstyrke (MPa)	3	400	3
Vekt (kg/m)	-	0,44	-
Senteravstand (m)	Under bue, hele profil	2	Over bue, hele profil

Resultater

- Analysen tilsier at berguttak uten bergsikring fører til svært høy deformasjon



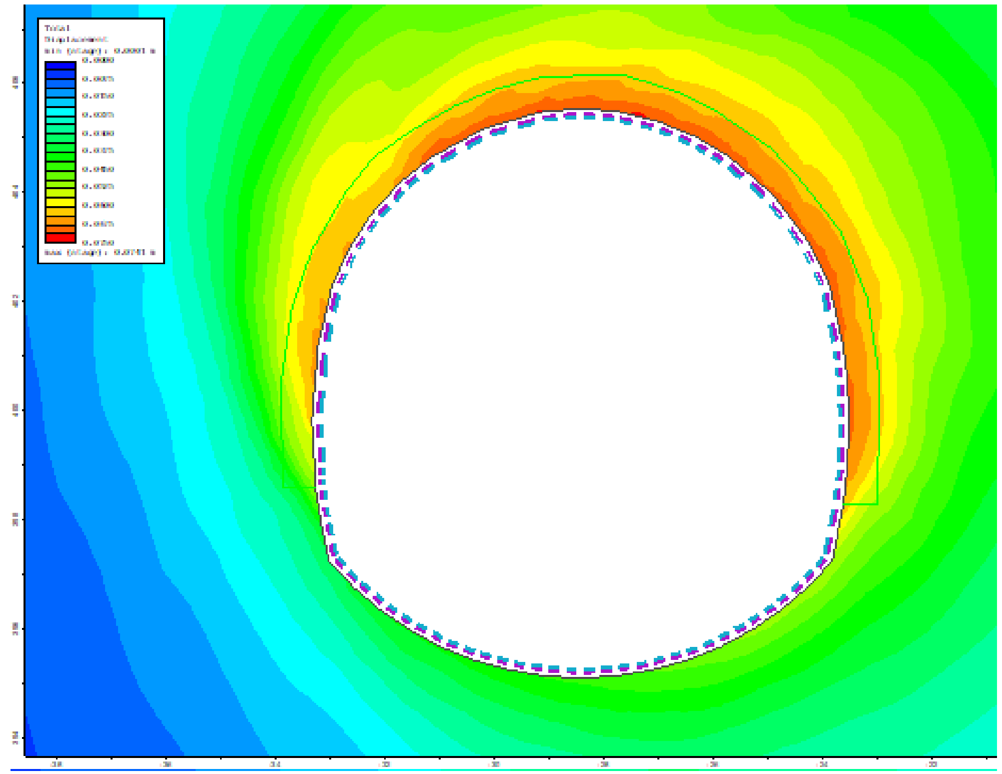
- Med rørskjermlaget reduseres deformasjoner betraktelig



Multiconsult

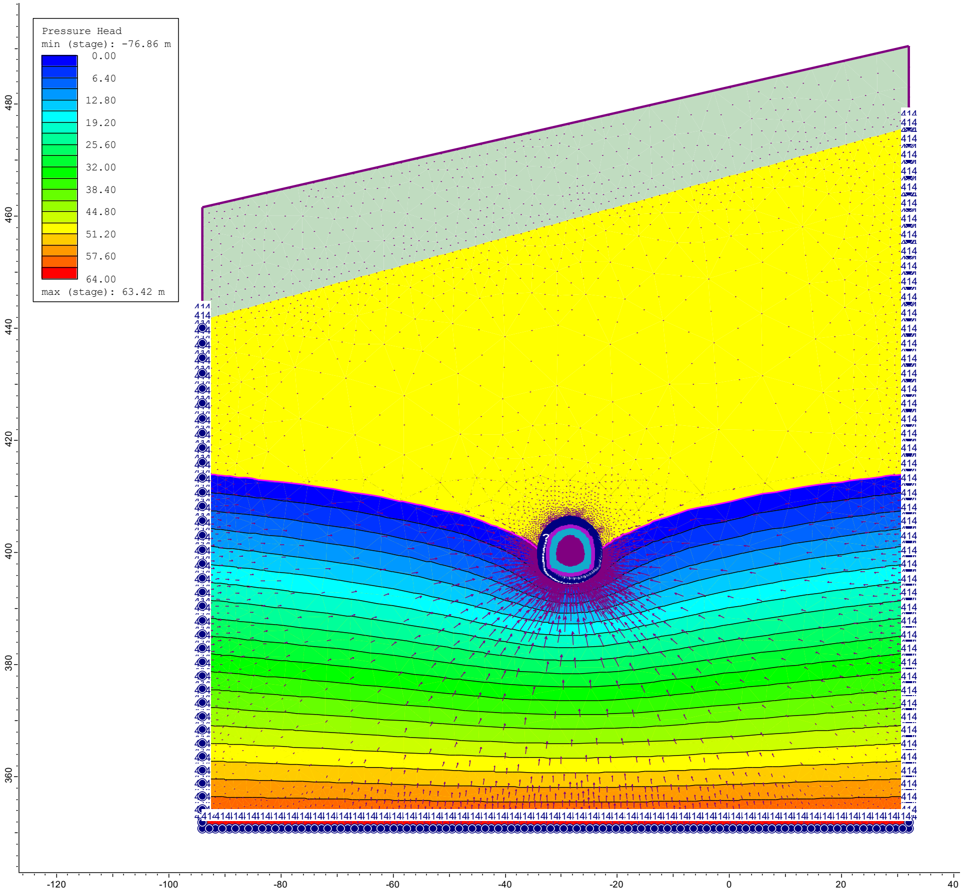
Resultater

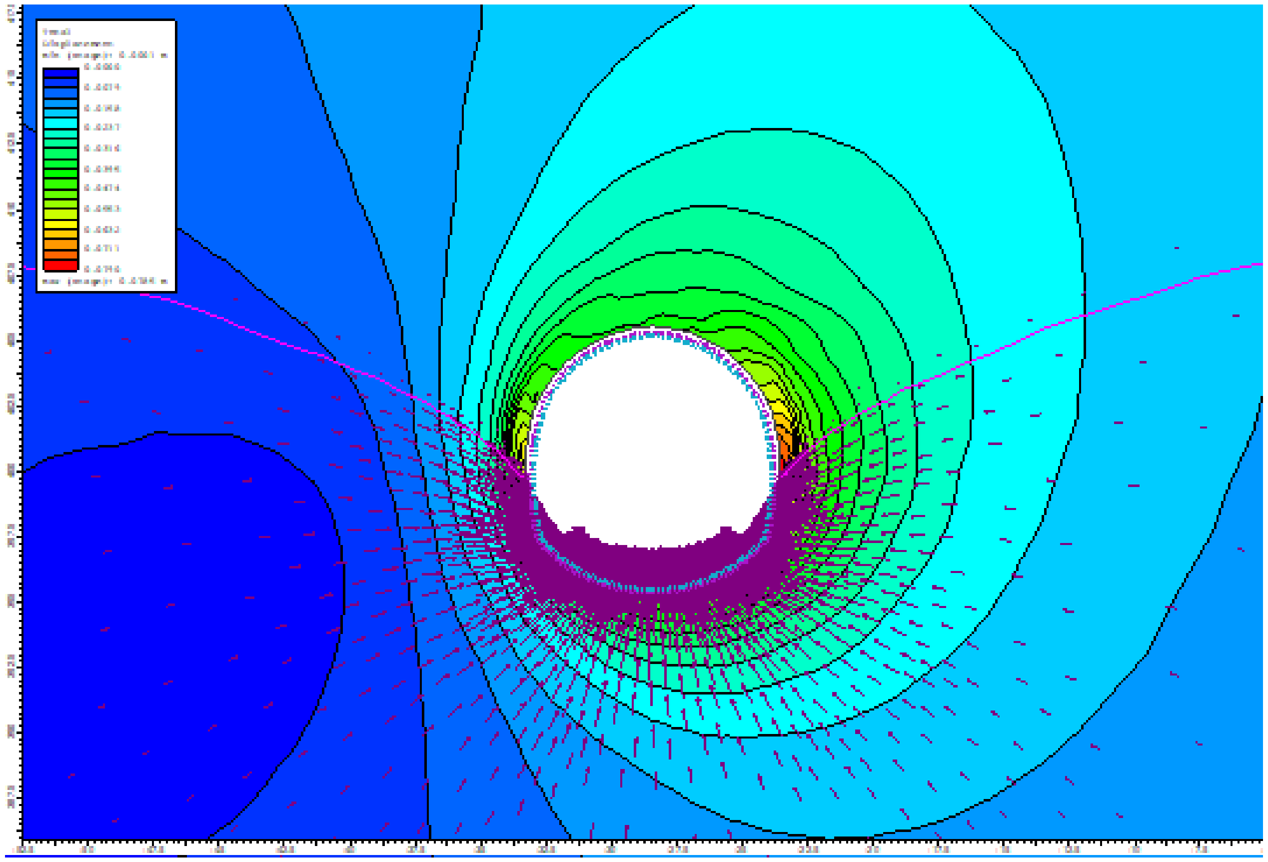
- Stiv bergsikring i lukket ring stopper videre deformasjon
- Sikkerhetsfaktor for bergsikring er tilfredsstillende >1,4



Resultater driftfase

- Stabil i driftsfase





Konklusjon

- I denne fasen konkluderer vi med at tunnelen kan drives med kombinasjon av rørskjerm og konvensjonell bergsikring
- Modellen er GSI sensitiv
- Ved lavere GSI må styrken på rørskjermlaget øke
- Bergsikringen har SF>1,4 også i driftsfase

- Det er fortsatt usikkerheter grunnet manglende informasjon
- Sensitivitetsanalyser øker sikkerheten

- Tilfredsstillende resultater for tidligfasevurdering ☺

Multiconsult

Spesiell takk til Hui Lu og Elisabeth Grasbakken