

12. juni 2026  
Statens vegvesen

---

# Tevla bru Fagrapport ingeniørgeologi

---

Byggeplan

# Tevla bru Fagrapport ingeniørgeologi

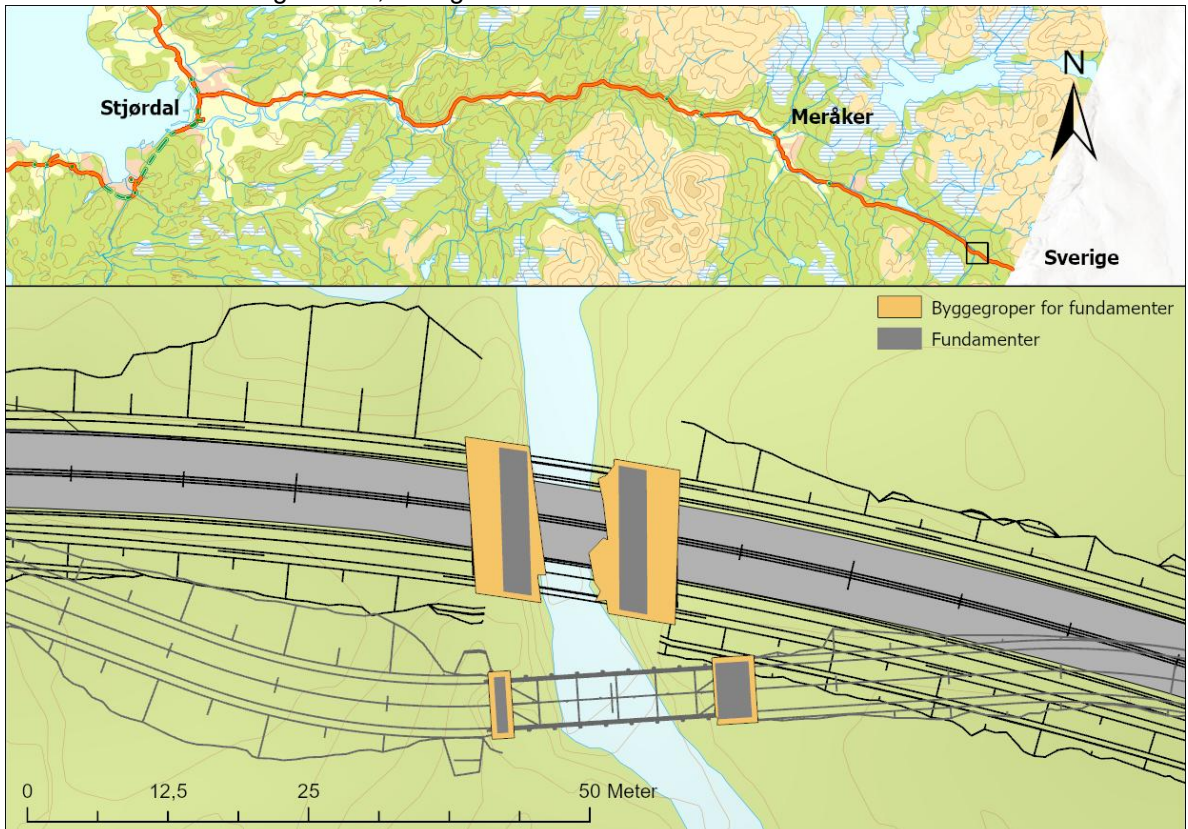
Prosjektnummer	Dokumentnummer.	Beskrivelse	Utarbeidet	Kontrollert	Godkjent
A302288	RAP-GEO-001	Vurdering av bergets bæreevne og sikring av berget ved Tevla bru	BETR	CDAN	MDLU

# Innhold

<b>1</b>	<b>Innledning</b> .....	<b>4</b>
1.1	Funksjonskrav .....	4
<b>2</b>	<b>Geoteknisk kategori</b> .....	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Grunnlagsmateriale</b> .....	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Grunnforhold</b> .....	<b>8</b>
4.1	Løsmasser .....	8
4.2	Berggrunn .....	9
<b>5</b>	<b>Befaringsobservasjoner</b> .....	<b>10</b>
5.1	Befaringslokalitet B01 .....	12
5.2	Befaringslokalitet B02 .....	13
5.3	Befaringslokalitet B03 .....	14
5.4	Befaringslokalitet B04 .....	15
5.5	Befaringslokalitet B05 .....	16
<b>6</b>	<b>Skred</b> .....	<b>17</b>
<b>7</b>	<b>Miljøgeologiske forhold</b> .....	<b>18</b>
7.1	Radon .....	18
7.2	Syredannende berg .....	18
7.3	Steinstøv .....	18
<b>8</b>	<b>Fundamentering</b> .....	<b>19</b>
8.1	Bæreevne .....	20
8.2	Strukturelt betinget stabilitet .....	25
<b>9</b>	<b>Utførelse</b> .....	<b>29</b>
9.1	Vibrasjoner .....	29
9.2	Berguttak .....	29
9.3	Sikring av berg .....	29
<b>10</b>	<b>Usikkerheter</b> .....	<b>31</b>
<b>11</b>	<b>Oppfølging i byggefasen</b> .....	<b>32</b>
<b>12</b>	<b>SHA og YM</b> .....	<b>33</b>
<b>13</b>	<b>Oppsummering</b> .....	<b>34</b>
<b>14</b>	<b>Referanseliste</b> .....	<b>35</b>
<b>15</b>	<b>Vedlegg</b> .....	<b>37</b>

# 1 Innledning

COWI er engasjert av Statens vegvesen for å utarbeide byggeplan for utskifting av Tevla bru som ligger langs E14 i Teveldalen, øst for Meråker i Trøndelag fylke. Dagens bru rives og erstattes med ny bru på samme lokasjon. I forkant av byggefasen for denne brua skal det bygges en interimsveg med bru like sør for dagens bru, se Figur 1-1.



Figur 1-1: Kart over prosjektområdet med byggegroper og fundamenter for ny Tevla bru og interimsbru.

Statens vegvesen er byggherre, og COWI AS prosjekterer tiltaket. Prosjektet gjennomføres som en utførelsesentreprise med prosessbeskrivelse, basert på tegningsgrunnlag med tilhørende stikningsdata i modell.

Denne rapporten omhandler bæreevnevurderinger av berget ved Tevla bru og vurdering av sikring og stabilitet av berget for brufundamentene for bru tilhørende både hovedveg og interimsveg.

## 1.1 Funksjonskrav

Tevla bru dimensjoneres etter årsdøgntrafikk (ÅDT) i 2024. Med ÅDT 1830 og fartsgrense 80 km/t på nasjonal hovedveg (Europaveg) settes dimensjoneringsklassen til H1 i henhold til N100 [1].

E14 inngår i en transportkorridor med strategisk betydning for nasjonal og alliert militær mobilitet. I henhold til Statens Vegvesens (SVV) sin langsiktige utviklingsstrategi (LUS 2060) er det vurdert at strekningen skal dimensjoneres etter H1-vegstandard. Dimensjonerende trafikksituasjoner er knyttet til perioder med høy andel tunge og lange kjøretøy, kolonnevis transport og samtidighet mellom militær og sivil trafikk. ÅDT alene er derfor ikke dimensjonerende.

Tiltaket utføres som en punktutbedring, men prosjekteres etter dimensjoneringskriterier for nasjonal hovedveg (H1-standard). Dagens ÅDT (2025) er ca. 1800, med estimert økning til ca. 2600 i 2060.

## 2 Geoteknisk kategori

Vegprosjekter skal gis geoteknisk kategori etter Eurokode 7 del 1 [2]. Geoteknisk kategori reflekterer prosjektets kompleksitet og risiko. Eurokode 7 er ikke spisset mot anlegg i berg, og Norsk bergmekanikkgruppe (NBG) har derfor utarbeidet en veileder for slike anlegg [3].

Kriterier gitt i Eurokode 0 gir føringer for valg av konsekvensklasse (CC) [4]. Det nasjonale tillegget til Eurokode 0 angir tilhørende pålitelighetsklasse (RC), se Tabell 2-1. Vurdering av vanskelighetsgrad etter NBGs veileder til Eurokode 7 er vist i Tabell 2-2 [3].

Tabell 2-1: Utdrag av tabell NA.A1 (901) i Nasjonalt tillegg til Eurokode 0 [4].

Veiledende eksempler for klassifisering av byggverk, konstruksjoner og konstruksjonsdeler	Pålitelighetsklasse (CC/RC)			
	1	2	3	4
Atomreaktorer, lager for radioaktivt avfall				X
Grunn- og fundamenteringsarbeider og undergrunnsanlegg i kompliserte tilfeller*.		(X)	X	(X)
Grunn- og fundamenteringsarbeider og undergrunnsanlegg i enkle og oversiktlige grunnforhold*	X	(X)		
Veg- og jernbanebruer			X	

\*Ved vurdering av pålitelighetsklasse for grunn- og fundamenteringsarbeider og undergrunnsanlegg skal det også tas hensyn til omkringliggende områder og byggverk.

Tabell 2-2: Vurdering av vanskelighetsgrad etter NBGs veileder til Eurokode 7 [3].

Vanskelighetsgrad	
Lav	Oversiktlige og enkle grunnforhold eller et prosjekt som er lite påvirket av grunnforholdene. Ingen eller bare enkle grunnundersøkelser kreves for å fastlegge eventuelle nødvendige geotekniske parametere. Tilfredsstillende erfaringer fra tilsvarende grunnforhold og konstruksjoner kan dokumenteres.
Middels	Noe uoversiktlige eller vanskelige grunnforhold og et prosjekt som er påvirket av grunnforholdene. Grunnforholdene kan fastlegges med rimelig grad av nøyaktighet. Tilfredsstillende erfaringer fra tilsvarende grunnforhold og konstruksjoner kan dokumenteres.
Høy	Uoversiktlige eller vanskelige grunnforhold og et prosjekt som er påvirket av grunnforholdene. Grunnforholdene kan bare delvis fastsettes og undersøkelser under bygging kan være nødvendig.

Geoteknisk kategori gis av pålitelighetsklasse og vanskelighetsgrad, som vist i Tabell 2-3.

Tabell 2-3: Fastsettelse av geoteknisk kategori [3].

Pålitelighetsklasse	Vanskelighetsgrad		
	Lav	Middels	Høy
CC/RC 1	GK1	GK1	GK2
CC/RC 2	GK1	GK2	GK2/3
CC/RC 3	GK2	GK2/3	GK3
CC/RC 4*	*	*	*

Prosjektet omfatter en vegbru, som gir konsekvens- og pålitelighetsklasse 3 (Tabell 2-1). Vanskelighetsgraden vurderes lav, med enkle og oversiktlige grunnforhold (Tabell 2-2). Sammen gir dette geoteknisk kategori 2. Oppsummering av geotekniske prosjekteringsforutsetninger sees i Tabell 2-4. Pålitelighetsklasse 3 gir prosjekterings- og utførelseskontrollklasse 3, noe som medfører krav til utvidet kontroll i henhold til Eurokode 0 [4].

Dersom det viser seg at grunnforholdene i elva avviker betydelig fra kartlagte grunnforhold, kan det være aktuelt å endre vanskelighetsgrad. Dette vil kunne påvirke geoteknisk kategori.

Tabell 2-4: Oppsummering av geotekniske prosjekteringsforutsetninger for Tevla bru.

<b>Prosjekteringsforutsetning</b>	<b>Verdi</b>	<b>Begrunnelse</b>
Konsekvensklasse (CC)	3	Fundamentarbeider knyttet til vegbru
Pålitelighetsklasse (RC)	3	Fundamentarbeider knyttet til vegbru
Geoteknisk kategori (GK)	2	Oversiktlige og enkle grunnforhold kombinert med CC/RC 3
Prosjekteringskontrollklasse (PKK)	3	Følger av pålitelighetsklasse 3
Utførelseskontrollklasse (UKK)	3	Følger av pålitelighetsklasse 3

## 3 Grunnlagsmateriale

For å vurdere fundamenteringsforholdene for Tevla bru er følgende grunnlagsmateriale benyttet:

- › Eurokode 7 Geoteknisk prosjektering [2]
- › Veileder for bruk av Eurokode 7 til bergteknisk prosjektering [3]
- › Eurokode 0 Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner [4]
- › Vegnormal N200 Vegbygging [5]
- › Vegnormal N400 Bruprosjektering [6]

Andre relevante rapporter:

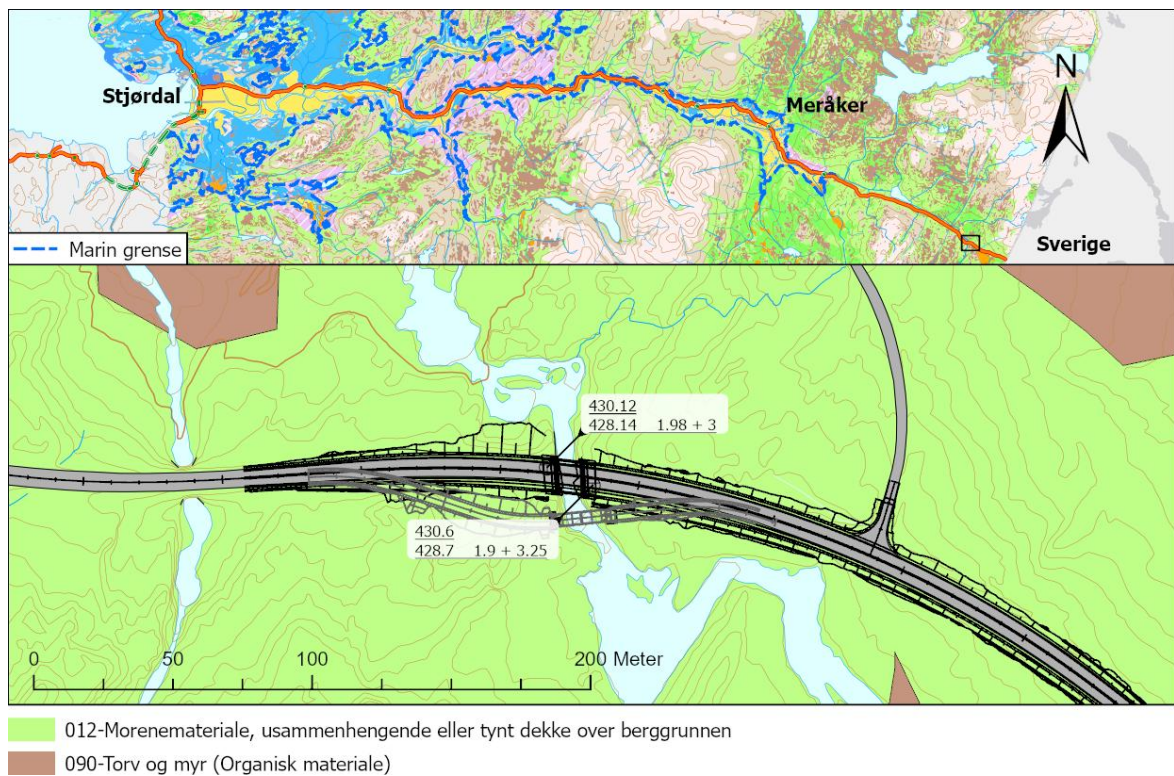
- › E14 Tevla bru Vurdering av grunnundersøkelser [7]
- › Geoteknisk datarapport for Tevla bru [8]
- › Brurapporter [9, 10]
- › Flomberegning (hydrologi) for Tevla bru [11]
- › Vannmiljørapport for Tevla bru [12]

# 4 Grunnforhold

I henhold til N400 skal det utføres grunnundersøkelser for å avklare grunnforhold og geotekniske/ingeniørgeologiske forhold. Ved spesielt krevende grunnforhold skal nødvendige forutsetninger avklares ved teknisk kontroll av konsept [6]. Det er avklart med vegdirektoratet at dette tiltaket ikke krever teknisk kontroll av konsept.

## 4.1 Løsmasser

Tiltaksområdet ligger i slakt hellende terreng langs elva. Berget er blottlagt ved elvebredden og kun delvis dekket av løsmasser i større avstand fra elva. Løsmassene i tiltaksområdet er kartlagt av NGU [13]. Mot svenskegrensa preges løsmassesammensetningen av veksling mellom morenemateriale av ulik mektighet og torv og annet organisk materiale av ulik mektighet. Tevla bru ligger mer enn en mil øst for marine grense, og problemer med kvikkleire kan utelukkes. Tevla bru ligger i et område registrert som morenemateriale som et tynt dekke over berggrunnen, se også Figur 4-1.



Figur 4-1: Løsmassekart over Tevla bru. I innkuddskartet øverst er det kun inkludert tegnforklaring for den marine grensa, men kartet gir for øvrig et overblikk over løsmassetypene og -utviklingen østover langs E14.

Grunnundersøkelser viser at løsmassetykkelsen i de to totalsonderingene er like under 2 m. Sonderingene er gjort i vegbanen, og det er forventet at løsmassene under sonderingspunktet består av vegoppbyggingsmasser (grus og pukk etc.).

## 4.2 Berggrunn

Bergartene i prosjektområdet er kartlagt av NGU som metagråvakke med innslag av leirskifer. Like vest for Tevla bru er det registrert leirskifer med innslag av metagråvakke [14], se også Figur 4-2. Befaringsobservasjoner bekrefter at berget ved Tevla bru er gråvakke.

Bergartene tilhører den øvre kaledonske dekkeserien og er en del av bergartene som ble dannet ved fjellkjedeformingen langs store deler av midt- og nord-Norge, noe som forklarer de mange bergartsgrensene med strøk N/NØ-S/SV.

I Figur 4-2 er det lagt inn en sprekkerose som viser strøket av alle innmålte sprekker med fall brattere enn 45°, det vil si sprekesett S2, S3 og S4 (se kapittel 5). Foliajonen (S1), som er det dominerende sprekesettet, har typisk fall på mindre enn 20 grader med strøkretning omtrent N/NØ-S/SV. Dette samsvarer med de regionale bergartsgrensene og har trolig sammenheng med den kaledonske fjellkjedefoldingen.



Figur 4-2: Berggrunnskart over prosjektområdet. Det øverste berggrunnskartet er inkludert for å vise de mange bergartstypene og bergartsgrensenes strøk, men på grunn av mange bergarter er det ikke inkludert tegnforklaring for det øverste kartet.

# 5 Befaringsobservasjoner

Det ble utført en ingeniørgeologisk befarings ved Tevla bru tirsdag 19.05.2026. Under befaringen ble det utført identifisering av bergart, feltundersøkelser på bergprøver og søkt etter indikasjoner på syredannende egenskaper i berget. Videre ble det utført sprekkemålinger på tilgjengelige steder langs elva, og sprekkenes egenskaper og utstrekning ble kartlagt. Basert på observasjonene ble det gjort en skjønsmessig vurdering på de mulige stabilitetsutfordringene som finnes for byggegropene for Tevla bru og interimsbrua.

En oppsummering av de geologiske observasjonene er vist i Tabell 5-1 og Tabell 5-2.

Tabell 5-1: Geologisk beskrivelse for befaringslokalitet B03, B04 og B05.

	Samlede observasjoner fra B03, B04 og B05
Bergbeskrivelse	Berget er skifrig med foliasjonsplanet (S1) som meget fremtredende. Berget fremstår for øvrig som sterkt med varierende sprekkeavstand på de ulike sprekkesettene.
Bergart	Metagråvakke.
Isotropi	Anisotrop.
UCS	Berget fremstår som sterkt (krever flere hammerslag for å deles) med empirisk anslått verdi mellom 50-100 MPa til veldig sterkt (krever mange hammerslag for å deles) 100-250 MPa.
RQD	RQD er svært retningsavhengig. Normalt på foliasjonsplanet er RQD anslått til å være 0-25. I andre retninger kan RQD ligge på 75-90 (stedvis også høyere).
Antall sprekkesett	Fire (4) sprekkesett. Foliasjonen (S1) er den tydeligste. S2 var tydelig på begge sider av elva, men med stor avstand mellom sprekkenes. S3 var lite fremtredende, men mulig å observere på begge sider av elva. S4 var hovedsakelig mulig å observere fra vestsiden av elva (med unntak av ett sprekkeplan i elva på østsiden).
J <sub>r</sub>	For det meste var de sprekkeflatene ru og plane (1,5), men det er observert sprekker (på S1) med bølger/krusninger som ligner bølgeslag på havstrand.
J <sub>a</sub>	1 a) Uomvandlede sprekkeflater, kun noe overflateoksidasjon
Forvittringsgrad	Friskt og uforvitret. Lite tegn til forandring.
Bergvann	Tørt (utenom i selve elveløpet).
Overvann	Nei.
Blokkstørrelse	Varierende blokkstørrelse på grunn av varierende RQD. Det kan være store blokker av «stabet S1» på opptil flere kvadratmeter.
Vær på befaringsdagen	Tørt og skyfritt.

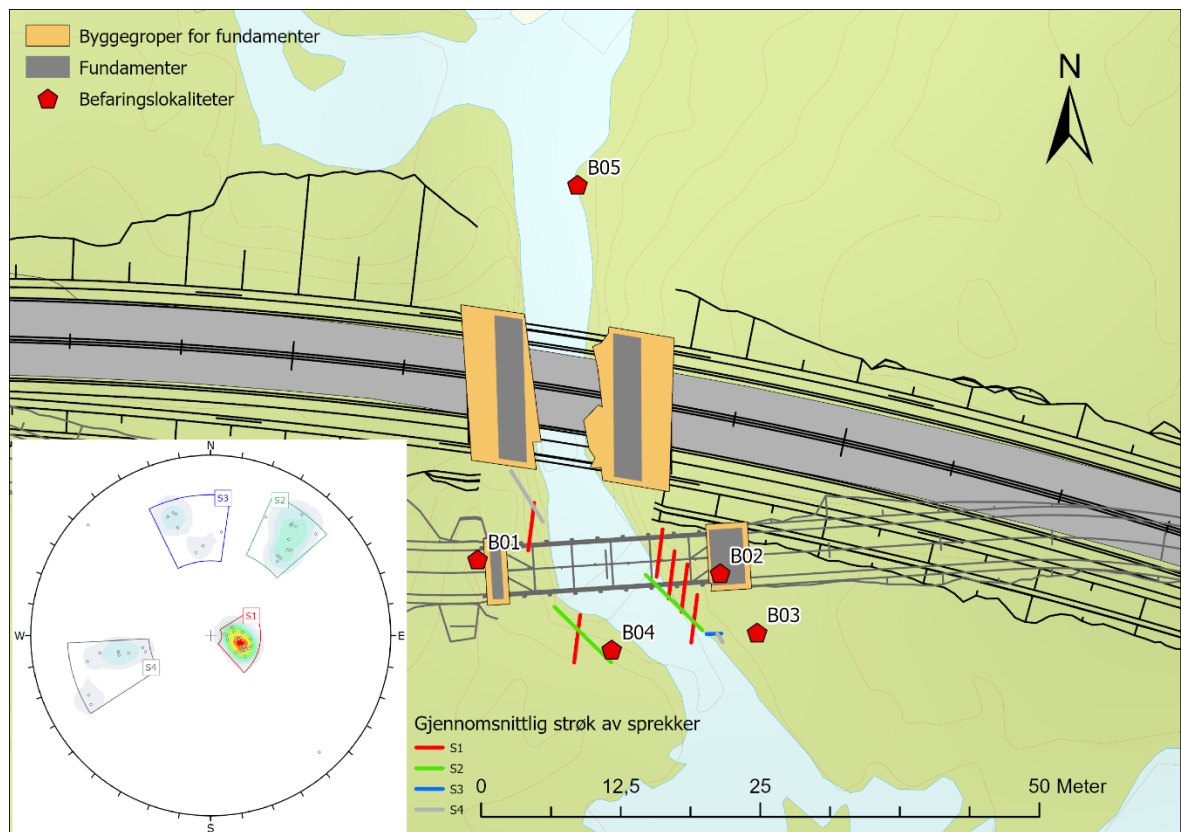
Tabell 5-2: Registreringer av sprekkesett ved befaringslokalitet B03, B04 og B05.

	S1 (foliasjon)	S2	S3	S4
Orientering (fall°/fallretning °)	18/282	69/219	62/168	58/075
Sprekkestrekning	> 2 m	> 2 m	< 1 m	> 2 m
Sprekkeavstand	Omtrent 10 cm Liten	Typisk > 200 cm. Veldig stor	20-60 cm Middels	Typisk > 200 cm Veldig stor
Sprekkeåpning	<0,1 mm. Veldig tett.	<0,1 mm. Veldig tett.	<0,1 mm. Veldig tett.	<0,1 mm. Veldig tett
Sprekkefyll	Ikke observert.	Ikke observert.	Ikke observert.	Ikke observert
Sprekkeruhet mm	Ru/ glatt	Ru	Ru	Ru
Sprekkeruhet cm	Plan (stedvis bølget/ kruset)	Plan	Plan	Plan
Sprekkeruhet m	Rett/ buet	Rett/ buet	-	Rett/ buet

Tevla bru ligger i et relativt flatt område, med liten mulighet for avrenning fra omkringliggende områder. Det er ikke observert forhold under befaring som tilsier at utsprenning av byggegroper vil kunne gi endrede vanngjennomstrømninger i berget. Det er derfor vurdert til at hydrogeologiske forhold ikke vil påvirke prosjektgjennomføringen, og omtales derfor ikke videre i rapporten.

Figur 5-1 viser plasseringen av de fem befaringslokalitetene som er beskrevet i denne rapporten. B01 og B02 representerer henholdsvis vestre og østre fundament/ byggegrop for interimbrua. Sprekkemålinger og de fleste undersøkelsene av bergets og sprekkenes egenskaper er utført ved B03 og B04. B05 er en tilleggslokalitet som viser bl.a. bergartstype og sprekkenes forløp på nordsiden av elva.

I figuren er det inkludert et polplott med alle registrerte innmålinger fra B03 og B04. Det er tolket fire sprekkeseett, i tillegg til et par målinger som ikke synes å sammenfalle med noen av de tolkede sprekkeseettene. Det er utført flest målinger av S1, da dette sprekkesettet er mest fremtredende.



Figur 5-1: Oversikt over befaringslokaliteter med polplott og tolkede sprekkeseett nederst til venstre i figuren. Det er inkludert gjennomsnittlig strøk på sprekkene i figuren for å visualisere hvor sprekkemålingene er tatt, samt orienteringen (strøket) av sprekkene. Merk at antall og lengde av disse linjene kun er tenkt for å gi et visuelt inntrykk av hvilke sprekker det er tatt flest målinger av, og hvor størsteparten av målingene er tatt.

For visuell forståelse av polplottet: Polene ligger på motsatt side av fallretningen. Dersom en pol (liten hvit firkant) ligger i «øst»/ til høyre er fallretningen til sprekkene mot vest. En pol som ligger nærme sentrum har slak fallvinkel, mens en pol som ligger i periferien har bratt fallvinkel.

## 5.1 Befaringslokalitet B01

Figur 5-2 viser befaringslokalitet B01, som representerer vestre fundament for interimsbrua. Fundamentet vil plasseres omtrent i den naturlige bergskjæringen der den gule jakka henger. I Quadrimodellen går bakkant av byggegrop delvis inn i denne bergskjæringen, se Figur 8-1. Dersom byggegropa justeres slik at noe av berget må sprenges kan det medføre at behov for sikring må justeres.

Ut fra figuren kan man se at berget på vestsiden av elva er relativt grovblokkig.



Figur 5-2: Utsikt fra B02 mot B01. Gul jakke markerer omtrentlig plassering av fundament og lokalitet B01. Foto tatt mot vest.

## 5.2 Befaringslokalitet B02

Figur 5-3 viser befaringslokalitet B02, som representerer østre fundament for interimsbrua. Fundamentet vil plasseres omtrent der den gule jakka ligger. Det påpekes at berget øst for elva, og like sør for Tevla bru i et begrenset område er mer småblokkig, se like over fossefall i Figur 5-3.

Det østre fundamentet for interimsbrua vil plasseres i relativt god avstand fra elva som et plant avtrykk ned i terrenget. På grunn av vegetasjon er det usikkert å si hvordan berget er under, men det kan forventes en del avløste blokker øverst.



Figur 5-3: Utsikt fra B01 mot B02. Gul jakke (innenfor rød sirkel) markerer omtrentlig plassering av fundament og lokalitet B02. Foto tatt mot øst.

### 5.3 Befaringslokalitet B03

De fleste sprekkemålingene og undersøkelsene av bergets og sprekkenes egenskaper er tatt ved B03. På østsiden av elva vises foliasjonen (S1) svært godt. Ved B03 fremstår berget som skifrig og til dels blokkig, der bergartslagene ligger nærmest stablet oppå hverandre som en kortstokk, se Figur 5-4.

Sprekkeflatene fremstår som plane med en ru overflate og lite tegn til oksidasjon og forvitring. I stor skala er sprekkeflatene for foliasjonen undulerende. Langs foliasjonen er det små striper i sprekkeflatene med samme retning som foliasjonsplanet. En av sprekkeflatene har en bølget struktur, men dette ble ikke observert andre steder.



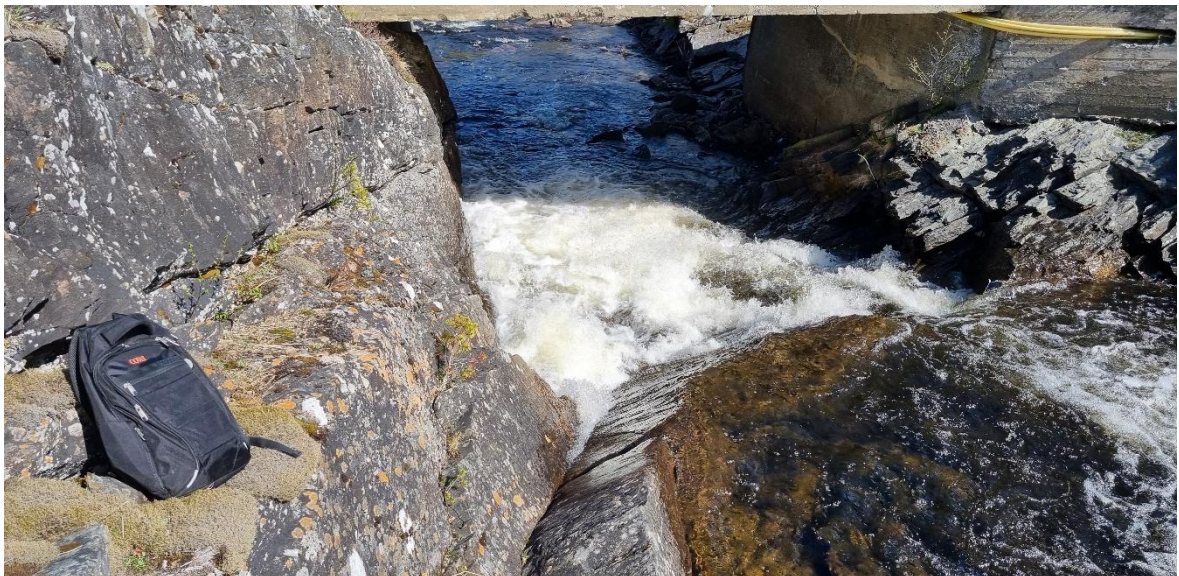
Figur 5-4: Øverst: Oversiktsbilde fra B03. På østsiden av elva var det tydelig å se «flakene» dannet ved foliasjonen (S1). Foto tatt mot nord. Detaljbilde nederst til venstre: På en av de observerte sprekkeflatene er det en bølget struktur. Detaljbilde nederst til høyre: Typisk sprekkeoverflate med plane flater og ru overflate.

## 5.4 Befaringslokalitet B04

De øvrige sprekkemålingene er tatt fra B04, fra stedet der oversiktsbildet i Figur 5-5 er tatt og ned mot vestre landkar for Tevla bru. Foliasjonen (S1) er tydelig på begge sider av elva. S2 Det kan se ut som at den skifrige (flakige) strukturen av berget er mest dominerte i de laveste delene av berget, mens øvre deler av berget synes mer blokkig (småblokkig på østsiden og grovblokkig på vestsiden).



Figur 5-5: Oversiktsbilde fra B04. Foto tatt mot nord.



Figur 5-6: Detaljbilde fra B04 i forkant av Tevla bru. En tydelig kile dannet av S1 (flattliggende foliasjon) og S4 (steiltstående sprekk). Foto tatt mot nord.

## 5.5 Befaringslokalitet B05

Figur 5-7 viser et oversiktsbilde fra B05. Berget på nordsiden av Tevla bru er av samme kvalitet som på sørsiden.



Figur 5-7: Oversiktsbilde fra B05. Foto tatt mot sør.

Figur 5-8 viser et detaljbilde av gråvakken. Det er hamret løs et bruddstykke som viser friskt berg. Det er ingen tydelige tegn til svakhet, glimmer eller svovel inne i berget.



Figur 5-8: Et bruddstykke av metagråvakken ble brutt av etter gjentatte hammerslag. Bergarten er finkornet, og med typisk grå farge, slik gråvakke gjerne har.

## 6 Skred

Ifølge NVEs temakart er ikke prosjektområdet registrert utsatt for jord- og flomskred [15], snøskred [16] eller steinsprang [17]. Området er over marin grense og utenfor mulighet til å påtreffre kvikkleire [18].

Prosjektområdet ligger innenfor aktsomhetsområdet for flom [19]. Dette er omtalt i egen flomberegningsrapport [11].

# 7 Miljøgeologiske forhold

## 7.1 Radon

NGUs aktsomhetskart for radon viser høy aktsomhetsgrad for radon i prosjektområdet [20]. Alt arbeid med fundamentet og brua vil foregå i dagen (i motsetning til f.eks. en vegtunnel) og nærmeste bygning er omtrent 300 m sør-øst for brua. Sprengning og følgelig avdekking av berget vil ikke kunne medføre endringer av radonstrømmer for fastboende i nærheten. Det gjennomsnittlige globale radonnivået utendørs varierer mellom 5-15 Bq/m<sup>3</sup>, noe som er langt under tiltaksgrensen på 100 Bq/m<sup>3</sup> [21]. Det anses derfor ikke som nødvendig å gjøre tiltak mot radon.

## 7.2 Syredannende berg

Visse bergarter kan gjennom forhøyet sulfidinnhold ha potensiale for å gi sur avrenning til omgivelsene. Ved sprengning øker bergets overflateareal, som vil øke mengden sur avrenning og dermed gi større effekter på omgivelsene. Sur avrenning kan gi en rekke uheldige konsekvenser, som for eksempel negativ innvirkning på resipientens flora og fauna og forvitring av betong og stål i konstruksjoner [22].

Tevla bru ligger i et område registrert som metagråvakke, med leirskifer like vest for prosjektområdet, begge av kaledonsk opprinnelse iht. NGUs berggrunnskart. NGU beskriver at det er innslag av metagråvakke og fyllitt i leirskiferen og leirskifer i metagråvakken [23]. Det er kjent at *kambro-ordovisiske* leirskifere, fyllitter og gråvakter har forventet høyt syredannende potensiale. Det er ikke kjent hvorvidt leirskifer av *kaledonsk art* er syredannende. Det finnes leirskifer i Støren (sør for Trondheim) som beskrives som pyrittholdig (syredannende) [24]. Det kan sannsynliggjøres at leirskiferen har potensiale for å være syredannende.

Berget er undersøkt for syredannende egenskaper av ingeniørgeolog under befarings tirsdag 19.05.2026. Det ble ikke funnet tegn til syredannende egenskaper i berget i umiddelbar nærhet til Tevla bru.

## 7.3 Stein støv

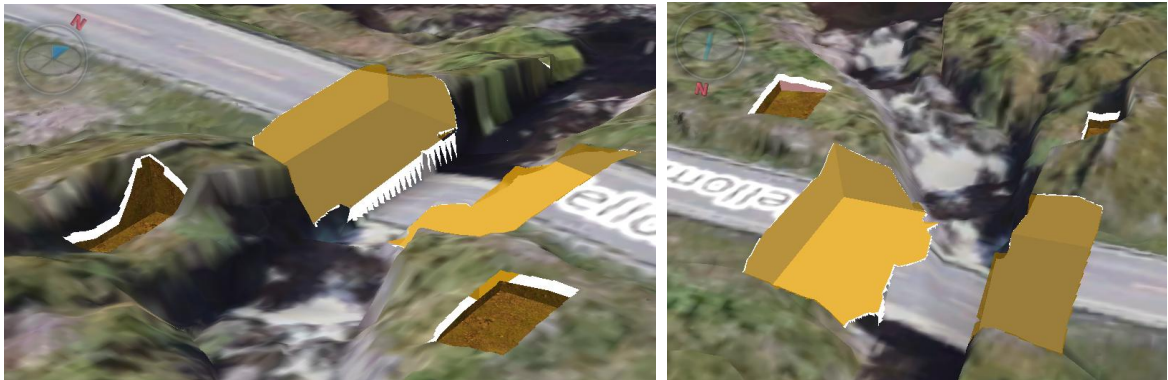
Nydannet bore- og sprengstøv kan inneholde små partikler med skarpe kanter. Det er særlig to hovedgrupper av steinstøv som medfører betydelig helseisiko: asbestminerale og kvartsstøv.

I prosjektområdet er det forventet å påtreff leirskifer, fyllitt og metagråvakke. Fyllitt består i hovedsak av glimmerminerale og kvarts. Leirskifer består i hovedsak av fyllosilikater (ligner glimmerminerale i den omvandlede fyllitten), kvarts og til dels feltspat. Gråvakke består i hovedsak av kvarts og feltspat, kalkspat mm. Listen over minerale er ikke uttømmende og mindre innslag av andre minerale og jernoksider kan finnes i bergartene.

Det er ikke forventet asbestminerale i disse bergartene. Det forventes imidlertid et relativt høyt innhold av kvarts i gråvakken. Kvarsstøv anses som en helsemessig risiko, og det må påregnes tiltak for å forebygge eksponering av kvarts ved f.eks. vanning. Dagens grenseverdi i arbeidsluft på kvartsstøv er på 0,05 mg/m<sup>3</sup> [25].

# 8 Fundamentering

Som grunnlag for fundamentering på berg er det fremvist mål og dybde for utsprengt byggegrop. Dette er vist i Figur 8-1 og Tabell 8-1. For ytterligere informasjon om geometrien til byggegrop og ferdig fundament, bru og gjenfylte masser vises det til konstruksjonsrapporter med tilhørende tegninger [9, 10].



Figur 8-1: En oversikt over byggegropene som er vurdert i denne rapporten. Til venstre: Utklipp fra Quadri-modellen mot nord-vest. Til høyre: Utklipp fra Quadri-modellen mot sør.

Bergmodell for tiltaksområdet er laget på grunnlag av registrert berg i dagen og dyp til bergoverflate fra geotekniske borehull.

Tabell 8-1: Oversikt over **gjennomsnittshøyde + (maksimal høyde) + [areal]** på de ulike skjæringsveggene for byggegropene for fundamentflatene. Arealene er hentet og målt i Quadrimodellen 02.06.2026.

	Tevla bru – byggegrop vest	Tela bru – byggegrop øst
Skjæringsvegg nord	2,0 m + (2,5 m) + [12 m <sup>2</sup> ]	1,7 m + (2,4 m) + [10 m <sup>2</sup> ]
Skjæringsvegg sør	2,7 m + (3,3 m) + [16 m <sup>2</sup> ]	2,4 m + (3,7 m) + [14 m <sup>2</sup> ]
Skjæringsvegg bakkant	2,6 m + (2,8 m) + [37 m <sup>2</sup> ]	3,1 m + (3,7 m) + [43 m <sup>2</sup> ]
	Interimsbru – byggegrop vest	Interimsbru – byggegrop øst
Skjæringsvegg nord	2,0 m + (2,8 m) + [5 m <sup>2</sup> ]	0,6 m + (0,7 m) + [2 m <sup>2</sup> ]
Skjæringsvegg sør	0,6 m + (0,8 m) + [1 m <sup>2</sup> ]	0,4 m + (0,7 m) + [2 m <sup>2</sup> ]
Skjæringsvegg bakkant	1,1 m + (2,8 m) + [7 m <sup>2</sup> ] *	0,7 m + (0,7 m) + [4 m <sup>2</sup> ]

\* Areal og gjennomsnittshøyde av skjæringsveggen i bakkant for vestre byggegrop interimsbru er svært usikker da det er en naturlig skjæring like i bakkant av den modellerte byggegropa.

Kombinasjoner av fundamentplassering, bergoverflatens helning og sprekkeorientering kan gi uheldige stabilitetsforhold. Dette gjelder for eksempel ved plassering av brufundament nær kanten av en bratt bergskrent, med sprekker som underkutter fundamentet og har utgående i bergskrenten. I en slik situasjon er det den strukturelt betingede stabiliteten, og ikke bergmassens bæreevne, som gir føringer for sikker fundamentering.

Det er oppgitt fra bruingeniører at dimensjonerende grunntrykk for interimsbru er 317 kPa og 140 kPa for henholdsvis vestre og østre fundament. For Tevla bru er dimensjonerende grunntrykk 357 kPa og 461 kPa for henholdsvis vestre og østre fundament.

## 8.1 Bæreevne

Det er benyttet analyse etter Hoek & Browns bruddkriterium for oppsprukket berg [26] for å beregne bergmassens bæreevne og tillatt såletrykk for brufundamentene som skal fundamenteres på berg. Denne metoden gir karakteristisk bæreevne og må divideres med en partialfaktor for å gi dimensjonerende bæreevne. Det er benyttet partialfaktor for bæreevne på 2,0.

Beregnet bæreevne vil være gjeldende for østre og vestre fundamentflate for både interimbru og ny Tevla bru.

### 8.1.1 Bæreevne etter Hoek & Browns bruddkriterium

Global trykkfasthet for bergmassen beregnes ved hjelp av Hoek-Browns bruddkriterium for bergmasser [26]:

$\sigma_c$ , *bergmassens* enaksete trykkfasthet/kompresjonsstyrke er gitt ved forholdet:

$$\sigma_c = \sigma_{ci} \cdot s^a \text{ (formel 1)}$$

$\sigma_{cm}$ , bæreevne eller *bergmassens* globale trykkfasthet/kompresjonsstyrke er gitt ved forholdet:

$$\sigma'_{cm} = \sigma_{ci} \cdot \frac{(m_b + 4s - a(m_b - 8s)) \cdot \left(\frac{m_b}{4 + s}\right)^{a-1}}{2(1 + a)(2 + a)} \text{ (formel 2),}$$

der:

- ›  $\sigma_{ci}$  er enaksial trykkfasthet for *intakt berg* (UCS)
- ›  $m_b$  er materialkonstant gitt som funksjon av GSI, Hoek-Brown styrkeparameter  $m_i$  [27] og faktor for sprengningsforstyrrelse D
- › s er bergmassekonstant gitt som funksjon av GSI og faktor for sprengningsforstyrrelse D
- › a er bergmassekonstant gitt som funksjon av GSI

#### 8.1.1.1 Estimering av enaksial trykkfasthet for intakt berg - $\sigma_{ci}$

I de tilfeller hvor det ikke er mulig eller hensiktsmessig å teste den enaksiale trykkfastheten (UCS) til intakt berg i laboratorie, kan denne estimeres på ulike måter, enten ved bruk av Schmidt-hammer, geologisk hammer eller ved bruk av Sintefs erfaringsdatabase. Bruk av schmidt-hammer vil gi det beste estimatet i felt, men bruk av geologisk hammer i kombinasjon med Sintefs erfaringsdatabase vil kunne gi tilstrekkelig informasjon til å estimere UCS. UCS tilsvarer  $\sigma_{ci}$  i Hoek & Browns bruddkriterium.

Tabell 8-2: Feltestimat av enaksial trykkfasthet (uniaxial compressive strength, UCS).  
Fritt oversatt fra table 1 i Hoek and Browns *Practical estimates of rock mass strength* [27].

Grad	Styrke	UCS [MPa]	Feltestimering av styrke	Eksempler
<b>R6</b>	Ekstremt sterk	> 250	Kun små bergartsfragmenter av bergprøven kan kun brytes av med geologisk hammer.	Fersk basalt, flint, diabas, gneis, granitt, kvartsitt.
<b>R5</b>	Veldig sterk	100-250	Det kreves mange slag med geologisk hammer før bergartsprøven sprekker.	Amfibolitt, sandstein, basalt, gabbro, gneis, granodioritt, kalkstein, marmor, ryolitt, tuff.
<b>R4</b>	Sterk	50-100	Det kreves mer enn ett slag med geologisk hammer før bergartsprøven sprekker.	Kalkstein, marmor, fyllitt, sandstein, skifer.
<b>R3</b>	Middels sterk	25-50	Bergartsprøven kan ikke skrapes eller risses med kniv. Bergartsprøven kan sprekke med kun ett slag med geologisk hammer.	Leirstein, kull, sement skifer, siltstein.
<b>R2</b>	Svak	5-25	Bergartsprøven kan med vanskelighet skrelles med kniv. Et grunt merke/inntrykk dannes ved et fast slag med spissen av geologisk hammer.	Kal, saltstein, pottaske.
<b>R1</b>	Veldig svak	1-5	Bergartsprøven smuldrer ved faste slag med spissn av geologisk hammer. Bergartsprøven kan sprelles med kniv.	Svært forvitret berg
<b>R0</b>	Ekstremt svak	0.25-1	Bergartsprøven kan få merke ved trykk med fingernegl.	Konsolidert forkastningsleire

Under befaringen ble berget undersøkt med geologisk hammer. På nordsiden av brua krevdes mange hammerslag for å bryte av en forholdsvis liten bit. På sørsiden av elva krevdes noe færre hammerslag. I henhold til Tabell 8-2 tilsvarer dette en enaksial trykkfasthet på 100-250 MPa og 50-100 MPa for henholdsvis nord- og sørsiden. Det påpekes imidlertid at bergarten er svært anisotrop, og metoden vil gi ulike resultater avhengig av hvilken retning hammeren treffer berget. Berget synes å være svakest vinkelrett på foliasjonen, og det settes derfor en midlere, konservativ verdi på 80 MPa på UCS ( $\sigma_{ci}$ ) for metagråvakken.

#### 8.1.1.2 Andre parameter i Hoek-Browns bruddkriterium $m_b$ (fra $m_i$ , GSI og D), s (fra GSI og D), a (fra GSI)

I Hoek & Browns bruddkriterium for bergmasser inngår parameterne  $m_b$ , s og a. Dette er mellomregningsparametere som baseres på  $m_i$ , GSI og D.

Parameteren  $m_i$  er en styrkeparameter som avhenger av bergartstype, kornstørrelse og metamorfosegrad. Parameteren velges ut fra kartlagt bergartart og tabell 2 i Hoek & Brown (1997) – *Practical estimates of rock strength* [27] eller modifisert diagram i Hoek and Karzulovic (2000) - *Rock mass properties for surfaces mines* [28].

Tabell 8-3 gir en estimert verdi på  $m_i$  på  $7 \pm 4$  på skifer (slate). Tabellen angir også verdi for gråvake (greywacke), men siden bergarten er såpass skifrig anses det mest riktig å benytte verdi for skifer. På grunn av bergartens fremtreden velges midlere verdi på 7 for  $m_i$ .

Tabell 8-3: Verdier av  $m_i$ , fra Table 1.2 i [28]. Verdier i parantes er estimater.

Rock type	Class	Group	Texture			
			Coarse	Medium	Fine	Very fine
SEDIMENTARY	Clastic		Conglomerates (21 ± 3)	Sandstones 17 ± 4	Siltstone 7 ± 2	Claystones 4 ± 2
			Breccias (19 ± 5)		Greywackes (18 ± 3)	Shales (6 ± 2) Marls (7 ± 2)
	Non-Clastic	Carbonates	Crystalline Limestone (12 ± 3)	Sparitic Limestone (10 ± 2)	Micritic Limestones (9 ± 2)	Dolomites (9 ± 3)
		Evaporites		Gypsum 8 ± 2	Anhydrite 12 ± 2	
	Organic				Chalk 7 ± 2	
METAMORPHIC	Non foliated		Marble 9 ± 3	Hornfels (19 ± 4) Metasandstone (19 ± 3)	Quartzites 20 ± 3	
	Slightly foliated		Migmatite (29 ± 3)	Amphibolites 26 ± 6		
	Foliated*		Gneiss 28 ± 5	Schists 12 ± 3	Phyllites (7 ± 3)	<b>Slates 7 ± 4</b>
IGNEOUS	Plutonic	Light	Granite 32 ± 3 Granodiorite (29 ± 3)	Diorite 25 ± 5		
		Dark	Gabbro 27 ± 3 Norite 20 ± 5	Dolerite (16 ± 5)		
	Hypabyssal		Porphyries (20 ± 5)		Diabase (15 ± 5)	Peridotite (25 ± 5)
	Volcanic	Lava		Rhyolite (25 ± 5) Andesite 25 ± 5	Dacite (25 ± 3) Basalt (25 ± 5)	Obsidian (19 ± 3)
		Pyroclastic	Agglomerate (19 ± 3)	Breccia (19 ± 5)	Tuff (13 ± 5)	

\* These values are for intact rock specimen tested normal to bedding or foliation. The value  $m_i$  will be significantly different if failure occurs along a weakness plane.

Parameteren GSI tar hensyn til bergartens oppsprekingsgrad og sprekkeoverflatenes kvalitet, og estimeres ut fra Tabell 8-4. Det gjøres oppmerksom på at Tabell 8-4 gir et konservativt anslag basert på ulike GSI-tabeller. Estimering av GSI er en skjønnsmessig vurdering som aldri kan bestemmes eksakt (f.eks. på laboratorie). Dette er noe av grunnen til at det i litteraturen finnes mange ulike tabeller.

Befaringsobservasjoner viser at sprekkeoverflatene stort sett er uomvandlede (*very good* i tabellen). Det ble observert 4 sprekkesett som danner skifrigte blokker (*very blocky* i tabellen). Dette medfører en GSI på omtrent 60 for metagråvakken (se markert område i Tabell 8-4).

Tabell 8-4: Geological Strength Index (GSI) for bergarter basert på bergets struktur/ oppsprekingsgrad og sprekkeflatenes kvalitet. Tabellen er modifisert, og anses som et konservativt anslag på GSI basert på tabeller i [29] og [30].

<b>GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI) for jointed rocks</b>  Modifisert av COWI etter Hoek et.al. 1998 [29] og Hoek & Marinos 2000 [30].	SURFACE CONDITIONS									
	<b>VERY GOOD</b> Very rough, fresh unweathered surfaces		<b>GOOD</b> Rough, slightly weathered, iron-stained surfaces		<b>FAIR</b> Smooth, moderately weathered and altered surfaces		<b>POOR</b> Slickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings of angular fragments		<b>VERY POOR</b> Slickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or infillings	
STRUCTURE	← DECREASING INTERLOCKING									
<b>INTACT OR MASSIVE</b> – intact rock specimen or massive in situ rock with very few widely spaced discontinuities	DECREASING SURFACE QUALITY →									
	90		80		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
				70	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
<b>BLOCKY</b> – well interlocked, undisturbed rock mass made up of cubical blocks formed by three sets of intersecting joints	80				60		50		40	
										30
<b>VERY BLOCKY</b> – interlocked, partially disturbed rock mass, multifaceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	70									20
										10
<b>BLOCKY, DISTURBED/SEAMY</b> – folded with angular blocks formed by many intersecting joint sets. Persistence of bedding planes or schistosity	60									5
<b>DISINTEGRATED</b> – poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	50									
		40		30						
<b>FOLIATED/ LAMINATED</b> – folded and tectonically sheared. Lack of blockiness due to schistosity prevailing over other discontinuities	N/A	N/A	N/A	N/A	20					
	N/A	N/A	N/A	N/A		10		5		

Parameteren D tar hensyn til sprengningsforstyrrelse og estimeres etter tabell 2 i Hoek & Brown (2019) [26]. «Noe rissdannelse etter sprengning», som angitt for Tevla bru, gir typisk  $D = 0,5$ :

Tabell 8-5: Oppsummering av estimater for parameteren D etter [26]. Parameteren D skal ikke brukes for hele bergmassen rundt utgravingsstedet.

Beskrivelse av bergmasse	Foreslått verdi av D
Meget godt kontrollert fjellsprengning der den omkringliggende bergmassen forblir tilnærmet upåvirket.	$D = 0$
Mekanisk eller manuell fjellutgraving i bergmasse med dårlig kvalitet som gir minimalt med forstyrrelser til den omkringliggende bergmassen.	$D = 0$
Kontrollert sprengning i bergskjæringer som medfører moderat skade på bergmassen. Ukontrollert sprengning kan medføre betydelig skade på bergmassen.	$D = 0,5$ for kontrollert presplitt eller forsiktig sprengning. $D = 1,0$ for salvesprengning for masseuttak
For tunnel: Boreavvik, uheldig sprengningsplan og detonasjon kan medføre betydelige sprengningsforstyrrelser	$D = 1,0$ ved tunneloverflaten og lineær reduksjon til $D = 0$ ved omtrent 2 m inn i de omkringliggende bergmassene.
For tunnel: Meget godt kontrollert fjellsprengning eller boring med tunnelboremaskin som har medført lite forstyrrelser for den omkringliggende bergmassen.	$D = 0,5$
For tunnel: Bergmasse med skviseberg der tunnelprofil ikke lukkes ( <i>eng. invert</i> )	
Særlig svake bergmasser der bergmasser kan graves ut. Bergmassene kan skades ved stressavlastning.	$D = 0,7$

Parameterne  $m_b$ ,  $s$  og  $a$  beregnes deretter etter følgende formler:

$$m_b = m_i \cdot e^{\left(\frac{GSI-100}{28-14D}\right)} \text{ formel 3}$$

$$s = e^{\left(\frac{GSI-100}{9-3D}\right)} \text{ formel 4}$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \cdot \left( e^{-\frac{GSI}{15}} - e^{-\frac{20}{3}} \right) \text{ formel 5}$$

### 8.1.1.3 Karakteristisk og dimensjonerende bæreevne Hoek & Brown

Ved å benytte parameterne i kapittel 8.1.1.1 og kapittel 8.1.1.2 kan vi beregne den enaksiale og globale karakteristiske trykkfastheten, slik som vist i Tabell 8-6.

Tabell 8-6: Trykkfasthet for bergmassene ved lokalitet C02 beregnet ved hjelp av Hoek-Browns bruddkriterium for bergmasser [26].

Parameter	Verdi	Kommentar
<i>Inndata</i>		
Enakset trykkfasthet av intakt berg [MPa], fra vurderinger av styrke relatert til antall hammerslag for å brette av større bergfragmenter, $\sigma_{ci}$ .	100	Vurdert som «sterk» til «veldig sterk»
Hoek & Brown styrkeparameter, $m_i$	7	Estimat fra Hoek & Brown (1997) [27].
GSI (Geological Strength Index)	60	Estimert i felt som «Very blocky» og «Very good surface conditions» etter Hoek & Marinos [30] og [31].
Faktor for sprengningsforstyrrelse, D	0,5	Det forventes noe rissdannelser i forbindelse med sprengning.
<i>Mellomregninger</i>		
Bergmassens styrkeparameter, $m_b$	1,0	Følger av formel 3
Strukturparameteren, s	0,005	Følger av formel 4
Formparameteren, a	0,5	Følger av formel 5
<i>Utdata</i>		
Bergmassens enaksiale trykkfasthet [MPa]	6,9	Følger av formel 1
Bergmassenes globale trykkfasthet [MPa]	14,3	Følger av formel 2

I henhold til N400 skal det benyttes partialfaktor 2,0 for å beregne dimensjonerende bæreevne etter følgende formel [6]:

$$\text{Dimensjonerende verdi for bæreevne} = \frac{\text{Karakteristisk verdi for bæreevne}}{\text{Partialfaktor}}$$

Dette gir dimensjonerende bæreevne på 7,2 MPa. Ifølge NBGs veileder til Eurokode 7 er det vanlig praksis at tillatt bæreevne for fundamentering på berg ikke overstiger 10 MPa [3].

Største dimensjonerende grunntrykk for fundamentene er i underkant av 0,5 MPa. Bæreevnen til berget ved Tevla er derfor god nok.

## 8.2 Strukturelt betinget stabilitet

Strukturelt betinget stabilitet innebærer strukturer i berget (sprekker, slemper, sprekkefyll i sprekker, svakhetssoner mm.) som kan ha betydning for stabiliteten til konstruksjonen. Det er utført kartlegging i felt og skrivebordsstudier (kartstudier) for å identifisere mulige stabilitetsutfordringer. Sikring av fundamentgrop er beskrevet i kapittel **Error! Reference source not found.**

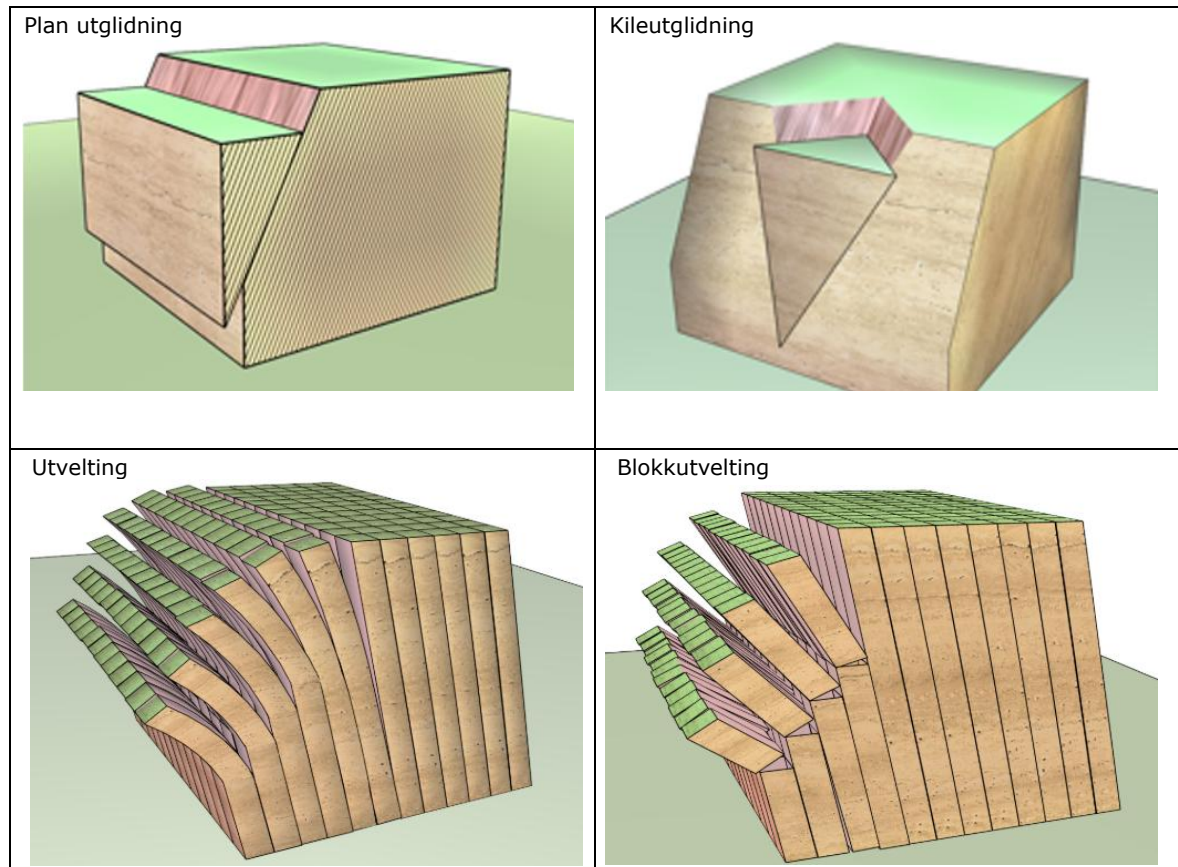
Det er ikke indikert svakhetssoner i eller nær prosjektområdet i geologiske kart. Flybårne lidardata gir ingen indikasjoner på lineamenter i berg som er relevant for prosjektområdet [32].

For å vurdere stabiliteten i bergskjæringene i fundamentgropene er det utført kinematiske analyser basert på felldata fra B03 og B04. Aktuelle felldata for de ulike skjæringene er presentert i kapittel 5.

Det er utført kinematiske analyser med dataprogrammet DIPS v8.0. Detaljerte resultater fra de kinematiske analysene er gitt i Vedlegg 1. DIPS gir resultater for plan utglidning (*planar sliding*), ubegrenset plan utglidning (*planar sliding (no limits)*), kileutglidning (*wedge sliding*), utvelting

(*flexural toppling*) og blokkutvelting (*direct toppling*), se Tabell 8-7. Det brukes norske begreper i denne rapporten, mens resultatene i Vedlegg 1 står på engelsk.

Tabell 8-7: Løsnemekanismer fra bergskjæring som vurdert i DIPS. Illustrasjon fra [33].



DIPS angir ikke sannsynligheten for utløsningsmekanismene, men angir i prosent hvor mange av de registrerte sprekkeene som kan forårsake en gitt løsnemekanisme, basert på de forutsetningene som angis i programmet (skjæringsorientering, skjæringshelning, sideavgrensning og sprekkefriksjon). 1 til 15 % beskrives som lite fremtredende, fra 15 til 40 % beskrives som middels fremtredende og 40 til 100 % beskrives som sterkt fremtredende. Det er i tillegg gjort en vurdering av stabiliteten basert på feltobservasjoner og skjønnsmessig tolkning av stereoplott.

De kinematiske analysene er utført med representative skjæringsorienteringer og med skjæringshelning på 84° (10:1). Direkte tilt-testing er ikke utført på bergstykker. Dermed er det benyttet en friksjonsvinkel på 30°. Sideavgrensning er satt til 20°. For plan utglidning er det oppgitt mulighet for begrenset (20° sideavgrensning) plan utglidning. Ubegrenset utglidning er utelatt fra resultatene, da det av geometriske årsaker ikke vil være mulig med ubegrenset plan utglidning.

Sprekkesett som vises i polplott, og som er brukt i de kinematiske analysene, er definert ut fra feltobservasjoner. Sprekkesettene angis med fall og fallretning. Alle innmålte sprekker er tatt med i den kinematiske analysen. Det bemerkes at usikkerhet er knyttet til observerte strukturers forløp mot dypet. Denne usikkerheten er også til stede i analyseresultatene.

Tabell 8-8 - Tabell 8-11 viser resultater fra den kinematiske analysen. For de nordlige skjæringene (med fall mot sør) er kileutglidninger og blokkutveltinger ved kombinasjoner fra flere sett sterkt fremtredende, samt plan utglidning fra S2 og/ eller S3. For de sørlige skjæringene (med fall mot nord) er det særlig utvelting (fra S3) og blokkutvelting (mellom S2-S3 og S1 som baseplan) som er fremtredende. For skjæringen i bakkant synes alle løsnemekanismer (bortsett fra utvelting) å være sterkt fremtredende for de vestlige byggegropene, mens særlig utvelting synes sterk fremtredende i bakkant for de østlige byggegropene.

Ut fra befaringsbilder vist i kapittel 5 kan det synes som plan utglidning fra foliasjonen kan bli et problem, men kinematiske analyser viser ikke dette som en mulighet. Årsaken til dette er at

planene har fallvinkel under 30°, som er satt som friksjonsvinkel i analysen. Det er ikke observert forhold som tilsier at friksjonsvinkel skal være mye lavere, da det ikke er observert glimmer eller glidespeil av andre mineraler mellom foliasjonslagene. Siden foliasjonsplanet er noe undulerende i stor skala kan det ikke utelukkes at det finnes enkelte områder der fallvinkelen til foliasjonsplanet er nærmere 30°, og dermed kan forårsake plan utglidning. Det er imidlertid ikke målt noen sprekker med så høyt fall.

Det påpekes at ved 4 sprekkesett vil man forvente flere potensielle løsnemekanismer enn ved f.eks. 3 sprekkesett som er mer vanlig. Dette kan forklare hvorfor den kinematiske analysen viser mange mulige kombinasjoner av f.eks. kileutglidninger.

Tabell 8-8: Fremtredende løsnemekanismer i vestre byggegrop for Tevla bru med grad av fremtreden og hvilke dominerende sprekkesett det gjelder.

Vestre byggegrop Tevla bru	Plan utglidning	Kileutglidning	Utvelting	Blokkutvelting
Skjæring nord (fall mot 188°)	Lite (S2) Sterkt (S3)	Middels (S1-S3) Sterkt (S2-S3) Sterkt (S2-S4) Sterkt (S3-S4)		Middels (S3 + S1-S4)
Skjæring sør (fall mot 008°)		Lite (S3-S4)	Lite (S2) Sterkt (S3)	Sterkt (S1 + S2-S3)
Skjæring bakkant og fundamentflate mot elva (fall mot 086°)	Sterkt (S4)	Middels (S1-S4) Middels (S2-S3) Sterkt (S2-S4) Sterkt (S3-S4)		Sterkt (S4 + S1-S3)
Blank celle = løsnemekanisme indikeres ikke Lite = lite fremtredende; 1-15.0 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme Middels = middels fremtredende; 15.1-40.0 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme Sterkt = Sterkt fremtredende; 40.1-100 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme S = sprekkesett (for blokkutvelting oppgis baseplan-sprekkesett + to sprekkesett som skjærer hverandre)				

Tabell 8-9: Fremtredende løsnemekanismer i østre byggegrop for Tevla bru med grad av fremtreden og hvilke dominerende sprekkesett det gjelder.

Østre byggegrop Tevla bru	Plan utglidning	Kileutglidning	Utvelting	Blokkutvelting
Skjæring nord (fall mot 190°)	Lite (S2) Sterkt (S3)	Middels (S1-S3) Sterkt (S2-S3) Sterkt (S2-S4) Sterkt (S3-S4)		Middels (S3 + S1-S4)
Skjæring sør (fall mot 010°)		Lite (S3-S4)	Lite (S2) Sterkt (S3)	Sterkt (S1 + S2-S3)
Skjæring bakkant og fundamentflate mot elva (fall mot 272°)		Middels (S2-S3)	Sterkt (S4)	Middels (S1 + S3-S4)
Blank celle = løsnemekanisme indikeres ikke Lite = lite fremtredende; 1-15.0 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme Middels = middels fremtredende; 15.1-40.0 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme Sterkt = Sterkt fremtredende; 40.1-100 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme S = sprekkesett (for blokkutvelting oppgis baseplan-sprekkesett + to sprekkesett som skjærer hverandre)				

Tabell 8-10: Fremtredende løsnemekanismer i vestre byggegrop for interimbru med grad av fremtreden og hvilke dominerende sprekkesett det gjelder.

Vestre byggegrop interimbru	Plan utglidning	Kileutglidning	Utvelting	Blokkutvelting
Skjæring nord (fall mot 176°)	Sterkt (S3)	Sterkt (S1-S3) Sterkt (S2-S3) Sterkt (S2-S4) Sterkt (S3-S4)		Sterkt (S3 + S1-S4)
Skjæring sør (fall mot 356°)			Sterkt (S3)	Sterkt (S1 + S2-S3)
Skjæring bakkant og fundamentflate mot elva (fall mot 086°)	Sterkt (S4)	Middels (S1-S4) Sterkt (S2-S3) Sterkt (S2-S4) Sterkt (S3-S4)		Sterkt (S4 + S1-S3)
Blank celle = løsnemekanisme indikeres ikke Lite = lite fremtredende; 1-15.0 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme Middels = middels fremtredende; 15.1-40.0 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme Sterkt = Sterkt fremtredende; 40.1-100 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme S = sprekkesett (for blokkutvelting oppgis baseplan-sprekkesett + to sprekkesett som skjærer hverandre)				

Tabell 8-11: Fremtredende løsnemekanismer i østre byggegrop for interimbru med grad av fremtreden og hvilke dominerende sprekkesett det gjelder.

Østre byggegrop interimbru	Plan utglidning	Kileutglidning	Utvelting	Blokkutvelting
Skjæring nord (fall mot 176°)	Sterkt (S3)	Sterkt (S1-S3) Sterkt (S2-S3) Sterkt (S2-S4) Sterkt (S3-S4)		Sterkt (S3 + S1-S4)
Skjæring sør (fall mot 356°)			Sterkt (S3)	Sterkt (S1 + S2-S3)
Skjæring bakkant og fundamentflate mot elva (fall mot 266°)		Middels (S2-S3)	Sterkt (S4)	Middels (S1 + S3-S4) Middels (S1 + S2-S3)
Blank celle = løsnemekanisme indikeres ikke Lite = lite fremtredende; 1-15.0 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme Middels = middels fremtredende; 15.1-40.0 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme Sterkt = Sterkt fremtredende; 40.1-100 % av målte sprekker i sprekkesett kan gi løsnemekanisme S = sprekkesett (for blokkutvelting oppgis baseplan-sprekkesett + to sprekkesett som skjærer hverandre)				

Foliasjonsplanet (S1) er involvert i alle fremtredene kileutglidninger og blokkutveltinger, altså løsnemekanismer som er en kombinasjon av flere sprekkesett. Sprekkesettet er dominerende og forventes å ha betydning for stabiliteten til skjæringene.

Det er angitt sterk fremtreden av plan utglidning og utvelting fra S3 for enkelte av skjæringene. Det påpekes at dette sprekkesettet ikke er særlig fremtredende i felt, og det er derfor usikkert hvorvidt løsnemekanismer fra S3 eller i kombinasjon med S3 vil være relevant. S2 og S4 var mer fremtredende i felt, men samtidig med stedvis store avstander mellom sprekke. I Vedlegg 1 er det inkludert tabeller som hensyntar en skjønnsmessig vurdering av sprekkenes dominans i felt. Den viktigste kartleggingen vil i alle tilfeller skje etter at byggegrop er sprengt og lastet ut. Da vil de reelle løsnemekanismene tydeligere kunne observeres.

# 9 Utførelse

Det er forventet at fundamentflatene kan sprenges eller pigges ut. Det kan bli behov for å sikre fundamentflaten for å sikre mot utglidninger. Dette vurderes av ingeniørgeolog etter at berget er tatt ut og rensket.

## 9.1 Vibrasjoner

Veiledende grenseverdier for vibrasjoner fra bygge- og anleggsvirksomhet, bergverk og trafikk er beskrevet i NS 8141. Følgende versjoner gjelder:

- › NS8141-1:2022 – Virkning av vibrasjoner og lufttrykkstøt på byggverk, inkludert tunneler og bergrom [34]

Det er ingen bygninger i rimelig nærhet til Tevla bru, og det anses ikke som hensiktsmessig å utføre bygningsbesiktigelse ifm. arbeidet med Tevla bru. Nærmeste konstruksjon er hvelvet (brua) Storbekken, som ligger omtrent 130 m vest for Tevla bru. Det er planlagt utskifting/ utbedringer også ved Storbekken. Det må forventes forsiktig sprengning for å ivareta funksjon og sikkerhet til eksisterende Tevla bru ved sprengning/ pigging av byggegroper for interimbru og forsiktig sprengning av byggegroper for ny Tevla bru for å ivareta funksjon og sikkerhet til interimbru. Interimbrua er en midlertidig konstruksjon, og mindre riss og setninger antas å ha lite betydning for funksjonen.

## 9.2 Berguttak

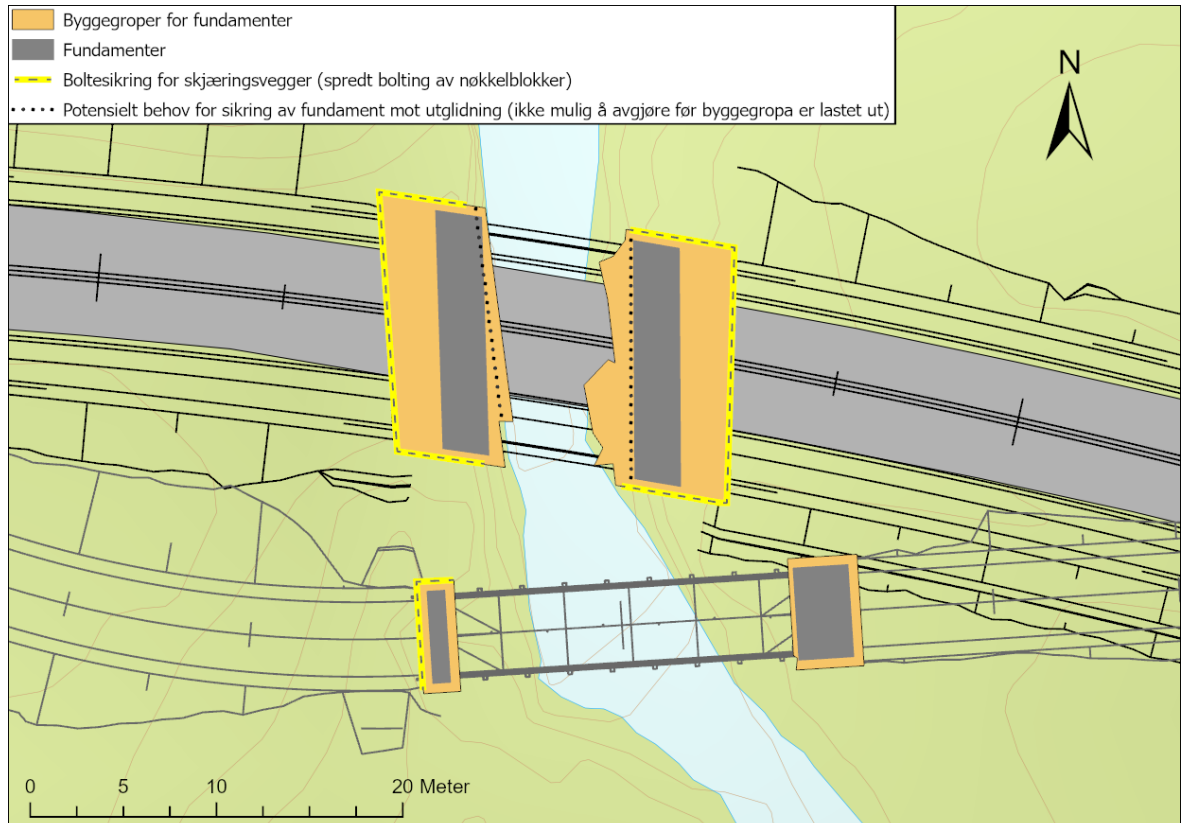
Det er forventet at byggegropene kan sprenges eller til dels pigges ut. Den østlige byggegropa for interimbrua kan trolig graves ut med etterfølgende pigging, da det er observert en del løse blokker i dette området.

For å sikre nøyaktig kontur anbefales det sømboring med c-c 20 cm, med pigging mot kontur. Sømboring anbefales utført i samme område som boltesikring for skjæringsvegger, se Figur 9-1. Sprengning mot såle må utføres med forsiktighet, og det må påregnes pigges mot endelig fundamentflate.

## 9.3 Sikring av berg

Det forventes et behov for sikring av fundamentflater og byggegroper for både interimbru og permanent bru. Bergboltene som brukes til sikring av fundamentflaten for Tevla bru skal iht. N400 være dobbelt korrosjonsbeskyttede (varmforsinket og pulverlakkert) eller rustfrie. Skjæringer og ev. fundamentflate for interimbrua er kun virksom i byggefasen, og kravet om korrosjonsbeskyttelse kan utelates [6]. Det er imidlertid usikkert hvor lenge interimbrua skal stå. COWI anbefaler derfor dobbel korrosjonsbeskyttelse på også disse boltene, selv om kravet utgår.

Figur 9-1 gir en visuell oversikt over forventet sikring for skjæringene og fundamentflatene. Tabell 9-1 gir en oversikt over sikringsproblematikk (hva det må sikres mot) og et estimert sikringsbehov basert på skjæringsareal for kombinasjonsboltene og lengde av byggegroper for kamstålboltene. For estimering av sikring er det for skjæringene er det tatt utgangspunkt i underkant av 150 m<sup>2</sup> skjæring og 9 m<sup>2</sup> per bolt. For de vertikale kamstålboltene er det tatt utgangspunkt i c-c 30 cm mellom boltene. Det er usikkert hvovidt det blir behov for å sikre hele lengden mot elva, eller kun deler. Endelig sikringsomfang bestemmes etter at berget er sprengt, lastet ut og rensket.



Figur 9-1: Oversikt over forventet sikring av de ulike skjæringene og fundamentflatene. Sømboring anbefales i samme område som boltesikring for skjæringsvegger.

Tabell 9-1: En oversikt over forventet sikringsbehov basert på kinematiske analyser og skjæringenes geometri.

	Tevla bru – byggegrop vest	Tela bru – byggegrop øst
Skjæringsvegg nord	Sikre mot plan utglidning fra S3 kileutglidning og blokkutvelting.	Sikre mot plan utglidning fra S3, kileutglidning og blokkutvelting.
Skjæringsvegg sør	Sikre mot utvelting og blokkutvelting.	Sikre mot utvelting og blokkutvelting.
Skjæringsvegg bakkant	Alle løsnemekanismer er sterkt fremtredende, og det må sikres mot alle.	Sikre mot utvelting fra S4 og blokkutvelting.
Forkant av fundament, mot elv	Mulig vertikale bolter i forkant av fundament. Mer sannsynlig i vest enn i øst basert på forventede løsnemekanismer.	Mulig vertikale bolter i forkant av fundament
	Interimsbru – byggegrop vest	Interimsbru – byggegrop øst
Skjæringsvegg nord	Sikre mot plan utglidning fra S3 kileutglidning og blokkutvelting.	Ingen behov for sikring på grunn av lav skjærings høyde.
Skjæringsvegg sør	Ingen behov for sikring på grunn av lav skjærings høyde.	Ingen behov for sikring på grunn av lav skjærings høyde.
Skjæringsvegg bakkant	Sikre mot plan utglidning fra S4, kileutglidning og blokkutvelting.	Ingen behov for sikring på grunn av lav skjærings høyde.
Forkant av fundament, mot elv	Ikke forventet behov for sikring av forkant på grunn av avstand til elva.	Ingen behov for sikring av forkant på grunn av avstand til elva.
<b>Forventet sikringsbehov</b>		
15-20 stk. kombinasjonsbolter med 3 m lengde for sikring av byggegroper. For sikring av byggegroper for Tevla bru skal det benyttes dobbel korrosjonsbeskyttelse. For sikring av byggegroper for interimsbru kan det vurderes å benytte vanlig svartstålbolt, da dette er å anse som en midlertidig konstruksjon.		
50-100 stk. kamstålbolter med 3 m lengde for vertikal montering i forkant av byggegrop mot elva. Det skal benyttes bolter med dobbel korrosjonsbeskyttelse.		

# 10 Usikkerheter

Det er utført sprekkemålinger på fire sprekkesett ved Tevla bru. Hovedandelen av sprekkemålingene er tatt på foliasjonen (S1). De tre andre sprekkesettene var det ikke like enkelt å ta målinger av grunnet større sprekkeavstand og vanskelig tilkomst i elva. Det vil derfor være noe usikkerhet knyttet til nøyaktigheten av disse målingene. Det er ellers valgt å benytte alle sprekkemålingene (fra B03 og B04) i den samme kinematiske analysen for alle byggegropene. Dette forutsetter at sprekke opptrer likt (med samme fall og orientering) for alle landkarene. Dette er en naturlig antakelse å gjøre, siden de ligger såpass nært, men det påpekes likevel at det er en usikkerhet med dette, siden noen av sprekke synes å ha noe ulik orientering og fall på forskjellige steder. Forskjellen er antatt å være såpass liten at det ikke har betydning for tolkningen av den kinematiske analysen.

For bæreevnevurderingen er det forsøkt å benytte konservative verdier da alle parametere er estimert i felt eller ut fra tabellverdier på lignende bergarter. Faktisk bæreevne må derfor forventes å avvike fra beregnet bæreevne.

Estimering av bergsikring er usikker da det ikke er mulig å si noe om bergets og sprekkenes fremtreden før berget er sprengt og lastet ut. Endelig utforming og areal av byggegropene vil også ha betydning for sikringsomgangen. Særlig er det stor usikkerhet knyttet til behovet for vertikale kamstålbolter i forkant av elva.

# 11 Oppfølging i byggefasen

Det vil være nødvendig at bergflatene ved fundamentene undersøkes av ingeniørgeolog etter rensk av vegetasjon og løsmasser og etter at fundamenteringsflaten er sprengt/ pigget ut [6]. Dette gjelder både fundamentflaten og skjæringsvegger for fundamentgropa. Undersøkelsen har til hensikt å kontrollere om bergkvaliteten og antakelser om sprekkekarakteristika som er beskrevet i denne rapporten er gyldige, samt å kunne angi en mer sikker bestemmelse av nødvendig sikringsomfang og -utførelse.

## 12 SHA og YM

Det er ikke påvist forhold knyttet til sikkerhet, helse og arbeidsmiljø (SHA) som vil kunne hindre anleggsgjennomføring. Det vil være behov for aktsomhet under utførelse, særlig mtp. eventuell sprengning og at arbeidet vil foregå nært vann og dermed kreve tiltak for å oppnå tilfredsstillende sikkerhet. Sprengningsarbeid innebærer en mulighet for at udetonert sprengstoff blir liggende igjen. Det bør søkes etter udetonert sprengstoff fra fundamenteringsarbeid på nåværende bru når fundamentflatene for ny bru skal sprenges ut.

Det vil bli utført støyende arbeid i anleggsfasen. Luftkvaliteten kan også påvirkes midlertidig av for eksempel sprengningsarbeid, anleggstrafikk og masseflytting, særlig gjelder dette respirabelt krystallinsk silka (kvarstøv). Det er forventet noe tiltak under anleggsfasen for å overvåke eksponeringsnivået og begrense helsemessige påvirkninger.

Grave- og sprengningsarbeid, og håndtering av masser nær elva vil kunne øke tilførselen av partikler til elva og dermed påvirke vannkvaliteten, særlig gjelder dette dersom det påvises syredannende berg.

# 13 Oppsummering

Bergets dimensjonerende bæreevne er vurdert til 7,2 MPa. Bæreevnen er beregnet ut fra Hoek & Browns bruddkriterium [26] med partialfaktor 2 slik N400 krever [6]. Største dimensjonerende grunntrykk på fundamentene er i underkant av 0,5 MPa. Dimensjonerende bæreevne er større enn dimensjoenerende grunntrykk, og bergets bæreevne er derfor tilstrekkelig.

Det er observert fire sprekkesett på befaring. Det dominerende sprekkesettet er foliasjonen (S1) som har et slakt fall på omtrent 20° mot vestlig retning. De øvrige sprekkesettene er steile med typisk fall på omtrent 60-70° i ulike retninger. Avstanden mellom disse sprekkeene er som regel større enn foliasjonen, men de finnes stedvis også med mindre avstand. Ut fra en skjønnsmessig vurdering av kinematiske analyser og feltobservasjoner vurderes det til at kileutglidninger og blokkutveltinger synes å være de mest fremtredene løsnemekanismene. For de nordlige skjæringene synes kileutglidning å være mest fremtredende, mens blokkutveltinger synes å være mest fremtredende i de sørlige skjæringene. For skjæringene i bakkant av byggegropene (lengst fra elva) kan det forventes størst sikringsbehov i de vestre byggegropene på grunn av sterk fremtreden av flere løsnemekanismer.

Det er forventet behov for sikring av skjæring i byggegrop og mulig sikring i forkant av byggegrop, mot elva. Sistnevnte bergsikring har til hensikt å hindre at berget går i brudd i forkant av fundament. Det er ikke forventet behov for sikring av den østlige byggegropa for interimbru pga. lave skjæringshøyder og god avstand til elva. Endelig sikringsomfang bestemmes av ingeniørgeolog etter at berget er sprengt, lastet ut og rensket.

# 14 Referanseliste

- [1] Statens Vegvesen, «N100 Veg- og gateutforming,» Vegdirektoratet, 2023.
- [2] Standard Norge, «NS-EN 1997-1:2004+A1:2013+NA:2020, Eurokode 7, Geoteknisk prosjektering, Del 1: Allmenne regler,» Standard Norge, 2020.
- [3] Norsk Bergmekanikkgruppe, Veileder for bruk av Eurokode 7, versjon 1, 2011.
- [4] Standard Norge, NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016 Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner, 2016.
- [5] Statens Vegvesen, «N200 Vegbygging,» Vegdirektoratet, 2024.
- [6] Statens vegvesen, «N400 Bruprosjektering,» Vegdirektoratet, 2026.
- [7] COWI, «E14 Tevla bru Vurdering av grunnundersøkelser,» Trondheim, 2026.
- [8] COWI, «A302288 RAP-RIG-001 Datarrapport Tevla bru GU,» 2026.
- [9] COWI, «A302288-RAP-KON-001 Tevla bru - Beregningsrapport,» 2026.
- [10] COWI, «A302288-RAP-KON-002 Tevla bru - Interimsbru byggefase,» 2026.
- [11] COWI, «A302288-RAP-HYD-001 Tevla bru - Fagrapport hydrologi,» 2026.
- [12] COWI, «A302288-RAP-NAT-001 Tevla bru - Fagrapport natu- og vannmiljø,» 2026.
- [13] Norges Geologiske Undersøkelse, «Løsmasser - Nasjonal løsmassedatabase,» NGU, [Internett]. Available: [https://geo.ngu.no/kart/losmasse\\_mobil/](https://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/). [Funnet 2026].
- [14] Norges Geologiske Undersøkelse, «Berggrunn - Nasjonal berggrunnsdataase,» NGU, [Internett]. Available: [https://geo.ngu.no/kart/berggrunn\\_mobil/](https://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/). [Funnet 2026].
- [15] NVE, «Aktsomhetskart for Jord- og Flomskred,» NVE, [Internett]. Available: <https://temakart.nve.no/tema/jordflomskredaktsomhet>. [Funnet 2026].
- [16] NVE, «NVE Aktsomhetskart snøskred,» NVE, [Internett]. Available: <https://temakart.nve.no/tema/snoskredaktsomhet>. [Funnet 2026].
- [17] NVE, «NVE Aktsomhetskart for Steinsprang,» NVE, [Internett]. Available: <https://temakart.nve.no/tema/steinsprangaktsomhet>. [Funnet 2026].
- [18] NVE, «Kvikkleiresoner,» NVE, [Internett]. Available: <https://temakart.nve.no/tema/kvikkleire>. [Funnet 2026].
- [19] NVE, «Aktsomhetskart for flom,» [Internett]. Available: <https://temakart.nve.no/tema/flomaktsomhet>. [Funnet 2026].
- [20] NGU, «Radon aktsomhet,» NGU, [Internett]. Available: [https://geo.ngu.no/kart/radon\\_mobil/](https://geo.ngu.no/kart/radon_mobil/). [Funnet 2026].
- [21] Airthings, «Radonnivåer: Hva betyr de?,» [Internett]. Available: <https://www.airthings.com/no/resources/radonniv%C3%A5er>. [Funnet 2026].
- [22] NGI, «Identifisering og karakterisering av syredannende bergarter. Veileder for miljødirektoratet,» NGI, 2015.
- [23] NGU, «Berggrunnskart,» [Internett]. Available: [https://geo.ngu.no/kart/berggrunn\\_mobil/](https://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/). [Funnet 2026].
- [24] NGI, «Identifisering og karakterisering av syredannende bergarter Veileder for Miljødirektoratet,» 2015.

- [25] Stami Statens arbeidsmiljøinstitutt, «Det finnes ikke et trygt nivå av kvartsstøv i arbeid,» [Internett]. Available: <https://stami.no/det-finnes-ikke-et-trygt-niva-av-kvartsstov-i-arbeid/>. [Funnet 2026].
- [26] E. Hoek og E. T. Brown, «The Hoek - Brown Failure criterion and GSI - 2018 edition,» *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, vol. 11, nr. 3, pp. 445-463, 2019.
- [27] E. Hoek og E. T. Brown, «Practical estimates of rock mass strength,» *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, vol. 34, nr. 8, pp. 1165-1186, 1997.
- [28] E. Hoek og A. Karzulovic, «Rock mass properties for surfaces mines,» *Slope Stability in Surface Mining*, Colorado, 2000.
- [29] E. Hoek, P. Marinos og M. Benissi, «Applicability of the Geological Strength Index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses. The case of the Athens Schist Formation,» *Bull. Engg. Geol. Env.* 57(2), 151-160, 1998.
- [30] E. Hoek og P. Marinos, «Predicting Tunnel Squeezing,» *Tunnels and Tunneling International*, 2000.
- [31] E. Hoek og P. Marinos, «Predicting tunnel squeezing problems in weak heterogeneous rock masses,» i *Tunnels and Tunnelling International*, 2000.
- [32] Kartverket, «Høydedata,» Kartverket, [Internett]. Available: <https://hoydedata.no/LaserInnsyn2/>. [Funnet 2026].
- [33] Maptek, «Kinematic Analysis,» [Internett]. Available: <https://help.maptek.com/pointstudio/2024/topics/online-help/key-concepts/kinematic-analysis.htm>.
- [34] Standard Norge, «Vibrasjoner og støt. Veiledende grenseverdier for bygge- og anleggsvirksomhet, bergverk og trafikk. Del 1: Virkning av vibrasjoner og lufttrykkstøt på byggverk, inkludert tunneler og bergrom,» Standard Norge, 2022.

# 15 Vedlegg

Vedlegg 1 Kinematisk analyse Tevla bru og interimbru byggegroper