

Igaur 8Oppdragsgiver	Navn Vestland Fylkeskommune	Kontaktperson Magne Bonsaksen
Oppdrag	Nummer og navn 24430 Sunnfjord, Heilevang – skredfare og ingeniørgeologiske vurderinger for deler av Fv. 609	Oppdragsleder Birgit K. Buck-Persson
Dokument	Nummer 24430-01-2 Utført av Birgit K. Buck-Persson	Dato 2024-10-29 Kontrollert av Henrik Langeland

Versjon	Dato	Utført	Kontroll	Beskrivelse
2	29.10.2024	BKBP	HL	Endringer etter kommentarer fra VLFK 14.10.24 og 28.10.24, vurdering uten skog og endret plassering av foreslåtte sikringstiltak
1	30.08.2024	BKBP	HL	Original

Skredfarevurdering og forslag sikringstiltak mot skred i bratt terreng for deler av Fv. 609, Heilevang

Sammendrag

Skred AS har gjennom ERA Geo blitt invitert til å bidra inn i avklaringer til konkurransegrunnlaget for Fv. 609 Heilevang tunnelprosjekt i Sunnfjord kommune. Tidligere foreslått vegtrasé er endret, og det er behov for ny utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng og videre nye forslag til sikringstiltak mot skred.

Utredningen følger kravene om sikkerhet mot skred iht. TEK17 §7-3 og N200:2024, der nominell årlig sannsynlighet for skred i bratt terreng skal være lavere enn 1/100 for midlertidig anleggsområde for tunnelpåhogg og -portal (TEK17 §7-3 annet ledd), og for vegstrekningen skal nominell årlig sannsynlighet for skred i bratt terreng være lavere enn 1/50 (N200:2024). Skred AS har utført en vurdering av faren for skred i bratt terreng av ny vegtrasé fra profilnummer 2930 til profilnummer 3490 opp mot gjeldende sikkerhetskrav iht. TEK17 § 7-3 andre ledd og N200:2024. Effekt av skog er sett vekk fra.

Utredningen viser at vegtrasé ikke tilfredsstillende kravene om sikkerhet mot skred i bratt terreng. På bakgrunn av dette har vi gitt forslag til sikringstiltak mot skred slik at tilfredsstillende sikkerhet blir oppnådd. Arbeidet for å avklare sikringsløsninger er utført i samarbeid med Vestland fylkeskommune og ERA Geo. Sikring ved tunnelpåhogg og -portal er midlertidige tiltak i byggefase, mens for selve vegstrekningen er tiltak permanent.

Skred AS vurderer at følgende tiltak er nødvendig for å oppnå tilfredsstillende sikkerhet mot skred i bratt terreng for endret vegtrasé:

For profilnummer til 2930 til 3230, sikring av påhogg, portalområde og deler av vegstrekning langs forskjæring:

- Midlertidig tiltak for profilnummer 2930 til 3230. For profilnummer 3050-3150 skal fanggjerde være permanent sikring slik at en oppnår noe overlapp mot vest fra påhuggsflate profilnummer 3020.
- Barriere som både kan håndtere steinsprang og jordskred.
- Foreslått tiltak er fanggjerde både for midlertidig og permanent tiltak, dette fordi bratt terreng gjør etablering av voll utfordrende.
- Lengde: total lengde ca. 300 m. Permanent del av fanggjerde 100 m.
- Høyde: For steinsprang minimum 3,5 m, for jordskred minimum 2,6 m.
- Skredlaster: minimum energikapasitet lik 550 kJ fra steinsprang, og minimum støttrykk på 173 kPa fra jordskredmasser.
- Avlagringskapasitet som kan fange opp minimum 450 m³ jordskredmasser. For steinsprangavsetninger forutsetter vi at fanggjerde renskes jevnlig.
- Grøft på nedstrøm side av fanggjerde som kan fange og til dels lede vekk vannrike skredmasser etter jordskredhendelser, og som kan håndtere normal avrenningssituasjon.

Profilnummer 3145 til 3315, permanent sikring:

- Barriere som kan håndtere både steinsprang og jordskred.
- Foreslått tiltak er fangvoll som overlapper med fanggjerde til profil 3150.
- Lengde 160 m.
- Høyde: For steinsprang minimum 3 m, for jordskred minimum 1,2 m.
- Skredlaster: minimum energikapasitet lik 100 kJ og punktlast lik 172 kN fra steinsprang, minimum støttrykk lik 79 kPa fra jordskredmasser.
- Avlagringskapasitet som kan fange opp minimum 470 m³.
- Overvannshåndtering rundt barriere.

Profilnummer 3305 til 3490, permanent sikring:

- Barriere som kan håndtere steinsprang

- Foreslått tiltak er mur på grunn av bratt terreng og bevaring av kulturlandskap som gjør etablering av voll utfordrende. Mur skal kunne tåle relativt store laster fra skred i bratt terreng, det vil derfor være krav til utforming av mur slik at den tåler dimensjonerende skredlaster.
- Lengde 185 m.
- Høyde: minimum 2,5 m for steinsprang.
- Skredlaster: minimum energikapasitet lik 30 kJ og punktlast på 120 kN fra steinsprang.
- Overvannshåndtering rundt barriere.

Disse sikringsløsningene vil gi tilfredsstillende sikkerhet mot skred i bratt terreng for sikkerhetskrav etter N200:2024 og S1 etter TEK17 §7-3.

I tillegg må løsninger for vannhåndtering for tiltakene avklares, samt geotekniske vurderinger må dokumentere gjennomførbarhet.

Det er også gitt et rekkefølgekrav at sikring skal etableres før buk av riggområder, og at den generelle anleggsdriften må stoppe ved gitte terskelverdier for nedbør og vannmetting.

Innhold

1	Innledning	6
1.1	Bakgrunn	6
1.2	Formål	6
1.3	Forbehold	6
2	Grunnlag	7
2.1	Tidligere vurderinger	7
2.2	Befaring	8
2.3	Annet grunnlag	8
3	Premisser for planlegging av sikring mot skred i bratt terreng	9
3.1	Regelverk	9
3.1.1	Vegnormal N200	9
3.1.2	Plan og bygningsloven	10
3.1.3	Valg av sikkerhetsnivå	11
3.1.4	Vannressursloven, inngrep i vannveier	12
3.1.5	Grannelova, fare for økt ulempe på omliggende områder	13
3.2	Benyttede håndbøker, veiledere og retningslinjer	13
3.3	Føringer fra oppdragsgiver (ERA Geo) og prosjekteier (Vestland fylkeskommune)	13
3.4	Andre relevante premisser	13
3.5	Begrensninger og forbehold	14
4	Områdebeskrivelse	15
4.1	Topografi	15
4.2	Grunnforhold	15
4.3	Hydrologiske forhold	15
4.4	Klima	15
4.5	Skog	16
4.6	Befaringsobservasjoner	16
5	Skredhistorikk	21
5.1	Vurdering av nominell årlig sannsynlighet basert på tidligere hendelser	22
6	Plassering av sikringstiltak	23
7	Skredscenario	24
7.1	Metodikk	24
7.2	Skredfarevurdering	24
7.2.1	Jordskred	24
7.2.2	Steinsprang	32
7.2.3	Steinskred	36

8	Anbefalte sikringstiltak.....	38
8.1	Overordnet vurdering av sikring	38
8.2	Sikring av profilnummer 2930 til 3230, fanggjerdje	39
8.2.1	Plassering, lengde, høyde og styrke	39
8.3	Sikring av profilnummer 3145-3315, fangvoll.....	43
8.3.1	Plassering, lengde, høyde og styrke	44
8.4	Sikring av profilnummer 3305-3490, barriere i form av mur.....	48
8.4.1	Plassering, lengde, høyde og styrke	48
8.5	Utførelse tiltak.....	49
8.6	Skog	49
8.7	Vannhåndtering.....	49
8.8	Drift og vedlikehold	49
9	Anbefaling og konklusjon	51
10	Videre arbeid.....	53
11	Referanser.....	55

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Skred AS har gjennom ERA Geo blitt invitert til å bidra inn i avklaringer til konkurransegrunnlaget for Fv. 609 Heilevang tunnelprosjekt i Sunnfjord kommune. Tidligere foreslått vegtrasé er endret ved østre påhugg, og det er behov for ny utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng og videre nye forslag til sikringstiltak mot skred.

Asplan Viak har utarbeidet skredfarevurdering og forslag til sikringstiltak mot tidligere foreslåtte tunnelpåhogg og vegtrase som konkluderte med at vegstrekningen ikke har tilstrekkelig sikkerhet mot skred og at sikringstiltak er nødvendig (Asplan Viak, 2021).

I denne rapporten har Skred AS utredet sikkerhet mot skred i bratt terreng for endring av vegtrasé ved østre tunnelpåhogg og langs ny veglinje mot øst, fra vegprofil 2090 til 3490 etter sikkerhetskrav for skred gitt i håndbok N200 (Statens vegvesen, 2024) og TEK17 §7-3 (Direktoratet for byggkvalitet, 2024).

Ettersom vegtrasé ikke har tilfredsstillende sikkerhet mot skred i bratt terreng har vi vurdert forslag til sikringstiltak mot skred slik at tilfredsstillende sikkerhet blir oppnådd. Utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng og vurdering av sikring mot skred er utført uten hensyn til effekten av skog.

1.2 Formål

Denne rapporten er et forprosjekt for sikring mot skred i bratt terreng for foreslått ny vegtrasé. Rapporten skal avklare skredtekniske premisser for sikring, vurdering av gjennomførbarhet og kostnadsestimat for sikring etter sikkerhetskrav gitt i vegnormal N:200 og sikkerhetsklasse S1 etter TEK17. Arbeidet baseres på tilgjengelig grunnlag og nye analyser for ny veglinje.

1.3 Forbehold

Denne vurderingen er kun for skredtekniske forhold og det kan være andre tverrfaglige forhold som er relevante for gjennomføring av sikringstiltak som ikke er hensyntatt. Skred AS har hatt dialog med ERA Geo om grunnforhold i området og våre sikringsforslag søker mot å sammenfalle i best mulig grad med foreslåtte geotekniske løsninger.

Denne vurderingen er heller ikke å anse som detaljprosjektering, men som et grunnlagsdokument for totalentreprenør. Arbeid i senere fase må utføres og dokumenteres etter gjeldende regelverk (forskrifter, vegledere og standarder) etter krav til sikkerhet mot skred gitt i N200 og TEK §7-3.

2 Grunnlag

2.1 Tidligere vurderinger

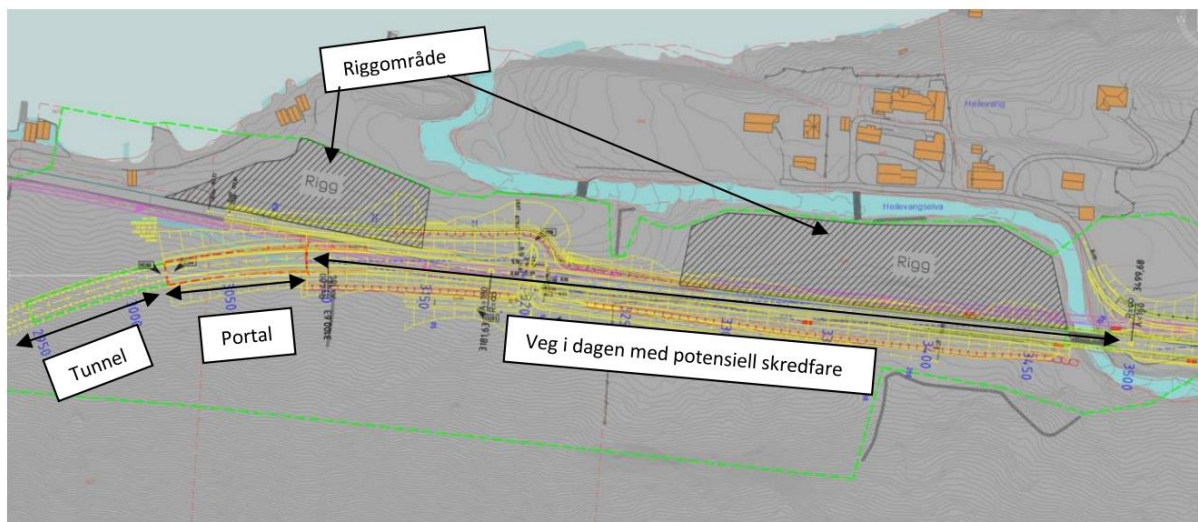
Vi er kjent med følgende tidligere vurderinger:

- Asplan Viak, Reguleringsplan Fv 609 Heilevang -Skredfarevurdering i bratt terreng, 2021-03-26 (Asplan Viak, 2021).
- Asplan Viak, Reguleringsplan Fv 609 Heilevang -Skredfarevurdering for objekt omfatta av TEK17, versjon 2, 2022-05-06 (Asplan Viak, 2022).
- Asplan Viak, Ingeniørgeologisk rapport til byggeplan -Fv609 skredsikring Heilevang, versjon 3, 2023-06-30 (Asplan Viak, 2023).

Vi har lagt mest vekt på vurderingene utført i Asplan Viak sin rapport «Skredfarevurdering i bratt terreng» (Asplan Viak, 2021) da denne omhandler skredvurdering for permanent veglinje og midlertidig anleggsgjennomføring som vist i Figur 1.

Vegstrekningen vurdert i Asplan Viak sin rapport og ny vegtrasé vurdert i denne rapporten er tilnærmet lik i østlig del av strekningen, omtrent fra vegprofil 3230 til 3490, men vegskjæring sør for veglinje er noe endret. Asplan Viak konkluderte med at det er større nominell årlig sannsynlighet enn 1/50 for skred i bratt terreng mot vegstrekningen, der aktuelle skredtyper er steinsprang og jord- og flomskred, med steinsprang som dimensjonerende skredtype. En permanent skredvoll med høyde 3 meter ble videre dimensjonert og prosjektert langs sørside av denne strekningen av Asplan Viak (Asplan Viak, 2021).

For område for anleggsgjennomføring tunnelpåhogg konkluderte Asplan Viak med at nominell årlig sannsynlighet for skred i bratt terreng er større enn 1/100, der aktuelle skredtyper var steinsprang og jordskred, med steinsprang som dimensjonerende skredtype. Her ble det foreslått et 5 m høyt midlertidig fanggjerde med 1 m dyp sikringsgrøft sør for veglinjen. Etter anleggsperioden kunne fanggjerde fjernes ettersom tunnelportalen ga tilfredstillende sikkerhet for permanent veglinje. Asplan Viak ga også et rekkefølgekrav at sikring skal etableres før buk av riggområdene, og at den generelle anleggsdriften må stoppe ved gitte terskelverdier for nedbør og vannmetting av løsmasser.



Figur 1: Kart som viser tidligere vurdert veglinje, med tilhørende oppholdsområder (riggområder). Figur er hentet fra Asplan Viak sin vurdering (Asplan Viak, 2021).

2.2 Befaring

Befaring av Skred AS ble foretatt 5. august 2024 av geolog Birgit K. Buck-Persson. Befaringen ble gjort til fots og med drone. Se kapittel 4.6.

2.3 Annet grunnlag

Det er også utført geotekniske vurderinger for veganlegget. Dette er rapportert i eget notat fra ERA Geo AS (ERA Geo, 2024a), og denne rapporten må leses sammen med den geotekniske vurderingen ettersom det bare henvises kort til notatet.

3 Premisser for planlegging av sikring mot skred i bratt terreng

Vurderingene og modellberegningene er tilpasset forprosjekt for avklaring av skredtekniske premisser. Det kan derfor forventes at plassering av tiltakene, og dertil dimensjoner, vil kunne endres på senere stadium, for eksempel som resultat av tverrfaglige avklaringer i detaljprosjekteringsfasen.

Det vil også være et rekkefølgekrav for utførelse av sikring i forhold til annen aktivitet på veganlegget.

3.1 Regelverk

3.1.1 Vegnormal N200

Vegnormal N200:2024 kapittel 1.7 (Statens vegvesen, 2024) definerer krav til sikkerhet mot skred gitt i krav 1.7-1 til 1.7-3:

Krav 1.7-1:

«Fare for skred ned på veg fra naturlig sideterreng skal kartlegges for alle typer skred.»

Krav 1.7-2:

«Sannsynlighet for skred ned på veg fra naturlig sideterreng skal i det enkelte skredløp ikke være større enn det som er gitt i [Tabell 1.7–1](#). Dersom sannsynligheten er større etableres sikringstiltak slik at kriteriene oppnås.»

Sikkerhetskrav for skredsannsynlighet på veg.

Dimensjonerende trafikkmengde <u>a</u>	Samlet skredsannsynlighet per år <u>b</u>
< 500	1/20
500 – 3999	1/50
4000 – 5999	1/100
6000-11 999	1/300
≥ 12 000	1/1000

Krav 1.7-3:

«Utredet skredfare skal dokumenteres som del av geologisk rapport, se kapittel [1.6](#), eller i egen rapport. Forslag til sikringstiltak og tilhørende restrisiko beskrives.»

3.1.2 Plan og bygningsloven

Plan og bygningslovens §28, *krav til sikker byggegrunn*, sier at:

«Grunn kan bare bebygges, eller eiendom opprettes eller endres, dersom det er tilstrekkelig sikkerhet mot fare eller vesentlig ulempe som følge av natur- eller miljøforhold. Det samme gjelder for grunn som utsettes for fare eller vesentlig ulempe som følge av tiltak.»

Plan og bygningslovens §29, *Tekniske krav*, sier at:

«Ethvert tiltak skal prosjekteres og utføres slik at det ferdige tiltaket oppfyller krav til sikkerhet, helse, miljø og energi, og slik at vern av liv og materielle verdier ivaretas.»

3.1.2.1 Byggteknisk forskrift (TEK17)

Byggteknisk forskrift (TEK17) beskriver det minimum av egenskaper et byggverk skal ha for å kunne oppføres lovlig i Norge. Krav til sikkerhet mot naturpåkjenninger er omtalt i kap. 7 i TEK17 (Direktoratet for byggkvalitet, 2024). Bestemmelsen er hjemlet i plan- og bygningsloven §28-1 og §29-5. Iht. til §7 i TEK17 skal byggverk plasseres, prosjekteres og utføres slik at det oppnås tilfredsstillende sikkerhet mot skade eller vesentlig ulempe fra naturpåkjenninger (flom, stormflo og skred).

TEK17 §7-3 angir sikkerhetskrav mot skred og annet ledd angir preaksepterte ytelser for plassering av byggverk i sikkerhetsklasser. Sikkerhetsklasse S1 defineres for eksempelvis for byggverk der det normalt ikke oppholder seg personer og der det er små eller andre samfunnsmessige konsekvenser.

3.1.2.2 TEK17 §10 Konstruksjonssikkerhet

I henhold til TEK17 §10-1 så vil forskriftens minstekrav til personlig og materiell sikkerhet være oppfylt dersom det benyttes metoder og utførelse etter Norsk Standard (Eurokoder).

TEK17 § 10-2 angir følgende:

«Grunnleggende krav til byggverkets mekaniske motstandsevne og stabilitet, herunder grunnforhold og sikringstiltak under utførelse og i endelig tilstand, kan oppfylles ved prosjektering av konstruksjoner etter Norsk Standard NS-EN 1990 Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner og underliggende standarder i serien NS-EN 1991 til NS-EN 1999, med tilhørende nasjonale tillegg.»

I veiledningen til TEK17 står det:

Forskriftens krav er oppfylt dersom det benyttes metoder og utførelse etter Norsk Standard. Korrekt bruk av prosjekteringsstandardene gir samlet det nivået som tilsvarer det sikkerhetsnivået som er akseptert av myndighetene.

Ved å benytte Eurokoder som angitt i pkt. 5.1 i prosjekteringen, vil TEK17 §10 dermed være ivaretatt. Dette må ivaretas i prosjekteringsfasen for sikringstiltak.

3.1.2.3 Byggesaksforskriften SAK10

De foreslåtte sikringstiltakene vil i utgangspunktet være søknadspliktige etter Plan og bygningsloven §20. I senere fase må tiltakene derfor omsøkes og behandles etter SAK10.

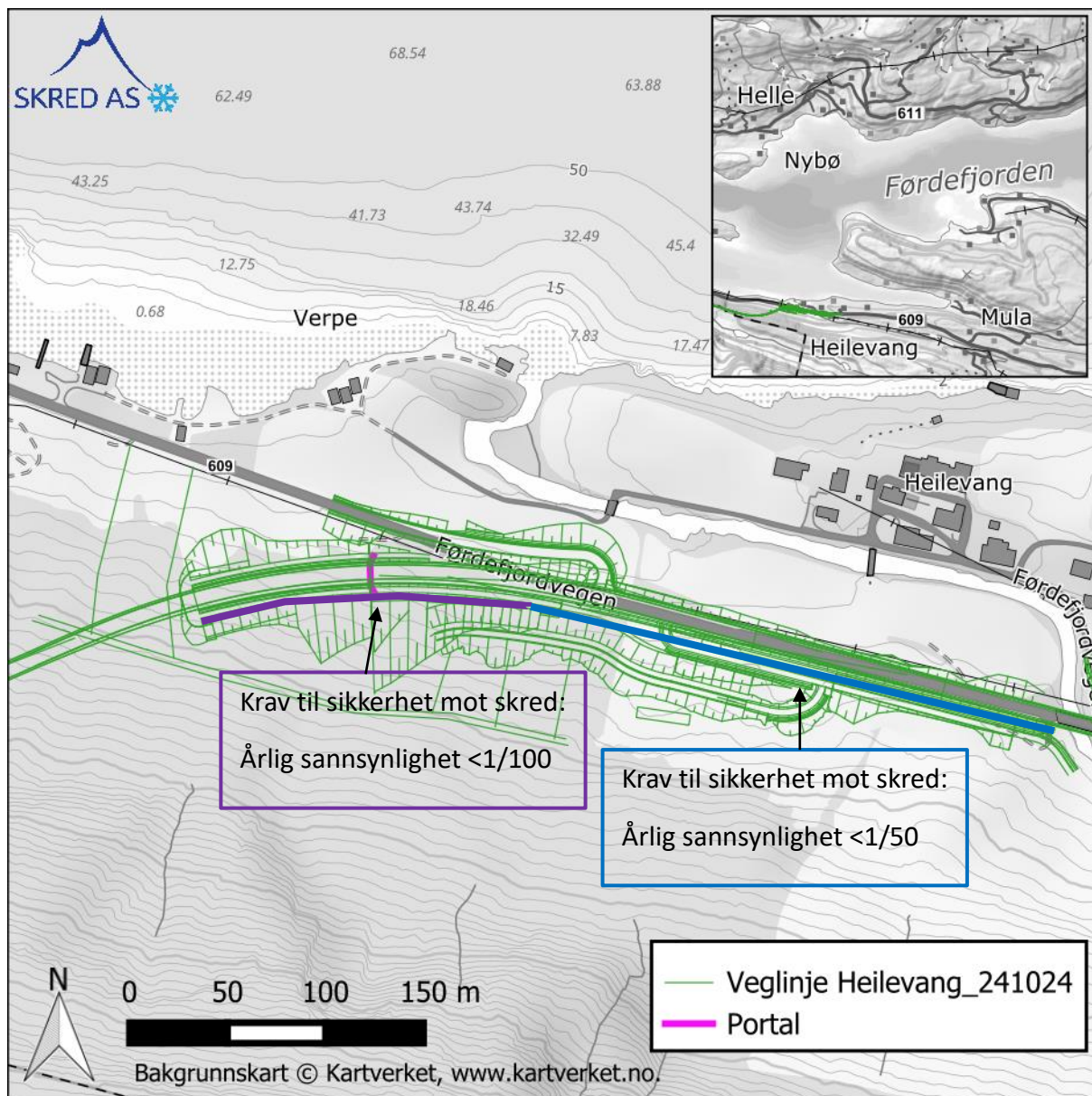
3.1.3 Valg av sikkerhetsnivå

I valg av sikkerhetsnivå for skred mot veg blir det etter N200 vurdert dimensjonerende trafikkmengde. Forventet framtidig ÅDT for strekningen er mellom 500 og 1499. Asplan Viak tok utgangspunkt i Håndbok Vegbygging publisert i 2018 (Statens vegvesen, 2018).

Skred AS har vurdert strekningen etter ny vegnormal N200:2024 (Statens vegvesen, 2024) etter avklaring med Vestland fylkeskommune. Til forskjell fra N200 publisert i 2018 er det i ny vegnormal sannsynlighet for skred *per skredløp* som nå skal vurderes, *ikke per km*. Men for skred som ikke følger markerte skredløp, som f.eks. steinsprang, gjøres det en skjønnsmessig vurdering av skredets utstrekning. Sikkerhetskravet for ferdig veg med ÅDT mellom 500-1499 etter N200:2024 er at samlet skredsannsynlighet pr år skal være mindre enn 1/50 (kapittel 3.1.1).

For deler av veganleggets anleggsområde legges det opp til at arbeidere er eksponerte mot skred i bratt terreng over lengre tid, som eksempelvis tunnelpåhogg, etterfølgende portal område (profilnummer 3020-3110) og større vegskjæring øst for portal (profilnummer 3110-3230). Påhogg og portal område, referert til som midlertidig anleggsområde, ble av Asplan Viak (Asplan Viak, 2021) vurdert i sikkerhetsklasse S1 iht. TEK 17 §7-3 (Direktoratet for byggkvalitet, 2024), noe som betyr at gjeldene sikkerhetskrav er nominell årlig sannsynlighet for skred mindre enn 1/100. I forbindelse med omlegging av veglinje ønsker Vestland Fylkeskommune at det sikres under anleggsfase til sikkerhetskrav S1 også for vegskjæring øst for portal, det vil si at nominell årlig sannsynlighet for skred skal være lavere enn 1/100 for dette området også.

Figur 2 gir en oversikt over vegstrekningen og hvilke sikkerhetskrav som er gjeldende. Figur 1 viser riggområde som gitt i tidligere reguleringsplan og som ble vurdert av Asplan Viak (Asplan Viak, 2021). Skred AS antar at areal avsatt til riggområde og sikkerhetskrav for dette området fortsatt er gjeldende da vi ikke har fått opplyst annet.



Figur 2: Lilla (foreslått portalområde og veg langs forskjæring, profilnr. 3020-3230) og blå (vegstrekning profilnr. 3230-3490) linje med ulike sikkerhetskrav mot skred.

3.1.4 Vannressursloven, inngrep i vannveier

Vannressursloven stiller blant annet krav til konsesjon ved større inngrep i vannveier. De foreslåtte tiltakene kan være konsesjonspliktige iht. vannressursloven og dette er noe som bør avklares i prosjekteringsfasen. *NVE veileder 1/2021 Veileder til vannressursloven og NVEs behandling av vassdrags- og grunnvannstiltak* (NVE, 2021a) kan brukes for å vurdere om det er behov for konsesjonssøknad. Det er også et krav om å beholde kantvegetasjon i vassdrag.

3.1.5 Grannelova, fare for økt ulempe på omliggende områder

Grannelova §2 fastsetter at:

«Ingen må ha, gjera eller setja i verk noko som urimeleg eller uturvande er til skade eller ulempe på granneeigedom. Inn under ulempe går òg at noko må reknast for farleg»

I denne vurderingen er det spesielt viktig fordi det er mye bebyggelse og infrastruktur nært og nedstrøms sikringsobjektene. Det er tatt med i betraktningene for de vurderte sikringstiltakene.

3.2 Benyttede håndbøker, veiledere og retningslinjer

Foruten kravene i lover, forskrifter og veiledere har vi støttet oss på:

- De delene av NVEs sikringshåndboka som er publisert og relevante (NVE, 2023)
- NVE veileder for utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng (NVE, 2024a)
- Statens vegvesen normal V139 Flom- og sørpeskred (Statens vegvesen, 2023)

For vurderinger og ved dimensjonering av sikringstiltakene har vi også benyttet en del internasjonale retningslinjer som støtte i mangel på relevant utfyllende retningslinjer og regelverk i Norge. Disse retningslinjene blir referert ved anvendelse.

3.3 Føringer fra oppdragsgiver (ERA Geo) og prosjekteier (Vestland fylkeskommune)

Tidligere foreslått vegtrasé er endret. Fylkeskommunen har foreslått veglinje og portal som vist i Figur 2. Forskjellen fra tidligere foreslått veglinje er at deler av veglinje inn mot østre tunnelpåhogg og østre tunnelpåhogg nå har blitt lagt mer mot sør, nærmere fjellsiden. Det er ønske fra fylkeskommunen at nødvendig lengde på portal vurderes nærmere, og at foreslåtte sikringstiltak mot skred sammenfaller med geotekniske sikringsløsninger gitt av ERA Geo. Det er også lagt føringer på at skredfarevurderingen skal gjøres uten å ta hensyn til skog.

3.4 Andre relevante premisser

Ved bygging av sikringstiltak er det normalt rammer og forutsetninger som bør være grundig diskutert og avklart. I denne fasen av prosjektet er det noen momenter som er usikre, og vil kunne påvirke utforming av sikringsløsningen.

Blant disse momentene er blant annet (listen er ikke uttømmende):

- Eierforhold og bruksrett for aktuelle areal til sikring, evt. koordinering mot annen infrastruktur
- Bestemmelser i reguleringsplan og kommunedelplan
- Overvannshåndtering
- Fundamenteringsforhold og konstruksjonssikkerhet
- Geotekniske forhold
- Forvaltning, drift og vedlikehold (FDV)

- Sikkerhet, helse og arbeidsmiljø (SHA)

Disse punktene, og eventuelt andre uavklarte momenter, må følges opp videre i prosjektet gjennom detaljprosjektering.

3.5 Begrensninger og forbehold

Rapporten tar utgangspunkt i utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng (Asplan Viak, 2022, 2021) og utredninger gjort i denne rapporten. Dimensjonerende skredtype er steinsprang med jordskred som også aktuell skredtype gitt dagens forhold. Dette innebærer at vi kun vurderer sikring mot steinsprang og jord- og flomskred for sikkerhetskrav gitt i kapittel 3.1.3. Vurderingen er utført der en ser vekk fra effekten av skog.

Det er også gjennomført innledende geotekniske vurderinger av gjennomførbarhet av sikringstiltak fra ERA Geo (ERA Geo, 2024b). Vurderingene konkluderer med at anbefalte sikringstiltak anses å være gjennomførbare, men det er noen usikkerheter, eksempelvis rundt jordparametere til masser i mur- og vollkonstruksjoner. Videre arbeid må omfatte geotekniske undersøkelser for å redusere usikkerhet.

Ettersom dette ikke er prosjektering har vi ikke inkludert nødvendig prosjekteringsdokumentasjon og omtale av regelverk, og videre arbeid med mulige sikringsløsninger må utføres etter gjeldende regelverk (forskrifter, veiledere og standarder). Dette for å ivareta eksempelvis krav i byggesøknad, konstruksjoners sikkerhet, brukbarhet og bestandighet, samt behov for kontroll av prosjektering og utførelse (listen er ikke uttømmende). Sikringstiltak må også vedlikeholdes for å opprettholde planlagt sikringseffekt slik at planområdet innehar tilfredsstillende sikkerhet mot skred i bratt terreng for gitt sikkerhetsnivå.

4 Områdebeskrivelse

For generell beskrivelse av området, topografi, avrenning, mv. viser vi til tidligere utført skredfarevurdering (Asplan Viak, 2022a, 2021b). Videre følger supplerende beskrivelse av området av betydning for foreslått endring av vegtrasé ved østre tunnelpåhogg. Vegtrasé er vist i Figur 2.

4.1 Topografi

Foreslått endret vegtrasé ved østre påhogg er lagt mer mot sør og veganleggets byggegrense påvirker derfor høyere opp i fjellsiden, en endring fra kote 18 til nå kote 34. Veglinjen følger kote 18 ved påhoggsveggen. Foreslått nytt østre påhogg er lagt i terreng rundt 30 grader. For foreslått veglinje er senterlinjeprofil 3020 til 3070 i terreng brattere enn 30 grader.

4.2 Grunnforhold

De geotekniske forholdene vurderes av ERA Geo (ERA Geo, 2024b). I dette inngår følgende i forbindelse med etablering av sikringstiltak:

- hvordan sikringstiltak mot skred i bratt terreng kan sammenfalle med de geotekniske løsningsene for skjæringer i bratt terreng (plassmuligheter mm).
- Grunnforhold/løsmassemekthet med betydning for fundamentering (dybde til berg).
- Konstruksjoners stabilitet ved etablering på løsmasser
- Ved voller må eksempelvis vollens egenstabilitet og motstand mot skredpåkjenning vurderes

4.3 Hydrologiske forhold

Foreslåtte skredsikringsløsninger må ta hensyn til den dimensjonerende avrenningssituasjonen, samt mulig økning i avrenning under mulige skredhendelser, som å lede vekk vannrike skredmasser etter jordskredhendelser.

4.4 Klima

Asplan Viak så en sterk sammenheng mellom skredhendelser og nedbør for området (Asplan Viak, 2021), og anbefalte derfor at drifta ved påhogget må stoppe ved gitte terskelverdier for nedbør og vannmetting (gitt i Asplan Viak, 2021). Asplan Viak utarbeidet et notat «Væranalyse for skredfare». Dette notatet har ikke blitt oversendt Skred AS, og vi har ikke gjort noen videre vurderinger for klima og terskelverdier da Asplan Viak har gjort et arbeid på dette.

Dimensjonerende skredtype er steinsprang. For steinsprang vurderes klimadata å ikke ha en avgjørende betydning for utløsning av skred (NVE, 2024a). Jordskred er også en aktuell skredtype. For jordskred og flomskred har klimatiske faktorer knyttet til nedbør stor betydning for utløsning av skred. Likevel kan ikke slike faktorer benyttes konkret til å fastslå

hvorvidt det er fare for disse skredtypene på et konkret sted (NGI, 2021). En detaljert klimaanalyse har derfor begrenset nytteverdi for vurderingen av fare for jordskred og flomskred.

4.5 Skog

Vurderingen er utført der en ser vekk fra effekten av skog.

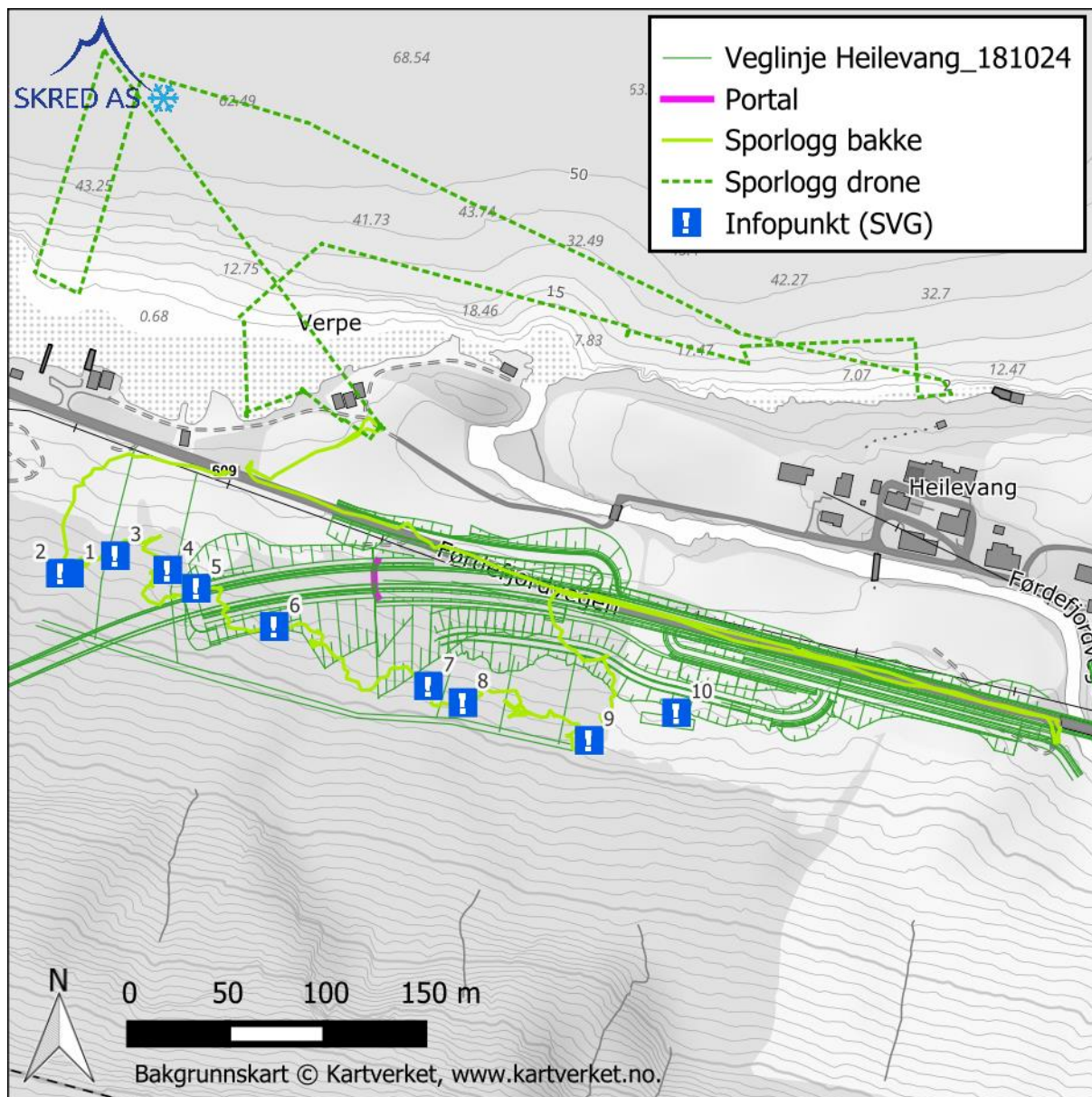
4.6 Befaringsobservasjoner

Birgit K. Buck-Persson gjennomførte befaringsobservasjon av aktuell vegstrekning 02.08.2024.

Befaringsspor og GPS punkt er vist i Figur 3 og Tabell 1.

Observasjoner fra befaringsobservasjonen som er relevante for skredscenario:

- Løsmassetykkelsen er tydelig større ved påhogg- og portalområde. Mot øst, fra ca. vegprofil 3170 observeres det flere steder det som er antatt å være bergoverflate. Skredavsetningsformer som vifter og loper observeres tydelig i terrenget fra vest for tenkt tunnelpåhogg til ca. vegprofil 3350. Snitt av løsmassedekket ses i Figur 4.
- Urmasser fra steinsprang er i størrelsesorden $0,5 \text{ m}^3$, med enkeltblokker opp mot 1 m^3 , se Figur 5.
- Steinskredavsetninger består av enkeltblokker $>10 \text{ m}^3$. Se Figur 6.



Figur 3: Befaringsspor og GPS punkt.

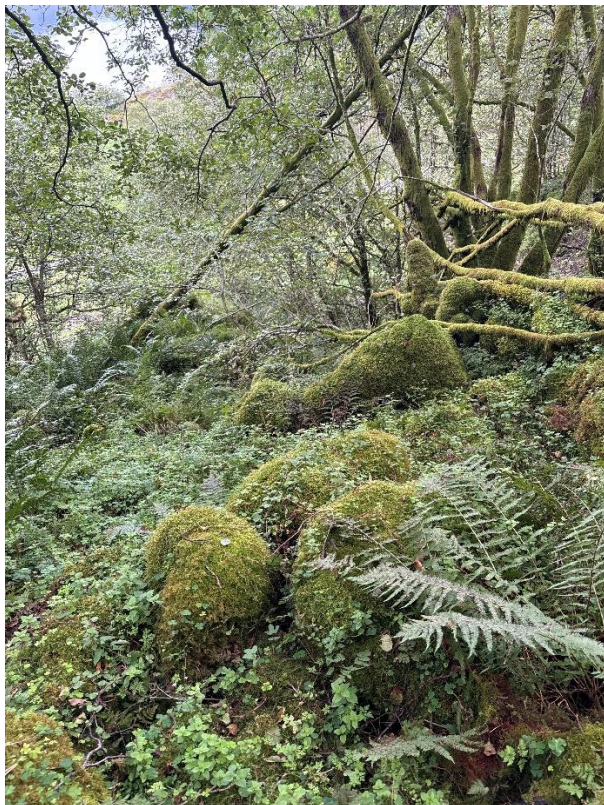
Tabell 1: Utvalgte GPS punkter fra befaring.

Beskrivelse	NR
Gravepunkt løsmasser på vifteform. Utført av ERA.	1
Løsmassetykkelse 60-80 cm.	2
Kant etter mindre utglidning	3
Urmasser	4
Gravepunkt løsmasser. Ca. 2 m ned til antatt bergoverflate fjell. Utført av ERA.	5
Urmasser, mosedekt og avrundet. Enkeltblokker 1m ³ .	6

Urmasser, blokker i størrelsesorden $<0,5\text{m}^3$	7
Antatt bergoverflate	8
Antatt bergoverflate	9
Steinskredavsetninger	10



Figur 4: Gravepunkt ved infopunkt 1 og 2. Løsmassetykkelsen er mellom 60-80 cm.



Figur 5: Urmasser ved infopunkt 6, ca. 40 moh.



Figur 6: Steinskredavsetninger, infopunkt 10.

5 Skredhistorikk

Det er ingen registrerte skredhendelser i NVE Atlas (NVE, 2024b) langs ny planlagt vegstrekning. Asplan Viak viser til flere steinsprang som har nådd vegen eller vært tett på (Asplan Viak, 2021). Rett vest for påhogget er det registrert ett flomskred og et steinsprang som nådde vegen. Under befaringen utført av Skred AS ble det registrert sår i fjellsiden som følge av utglidninger av løsmasser, og løbe -og vifteformer som vitner om tidligere jordskredaktivitet. Det ble også kartlagt urmasser som vitner om tidligere steinsprangaktivitet.

Registrert skredaktivitet listet opp under er hentet direkte fra Asplan Viak sin rapport (Asplan Viak, 2021), og vist i Figur 7:

1. Registrert steinsprang på traktorveg (0,3 m³)
2. Steinskred på 60-talet. Store blokker ligg nær vegen. Etter Asplan Viak ((Asplan Viak, 2021)); «I samtale med bonden på Heilevang er det kome fram at blokker har gått heilt til elva og at blokker har blitt sprengt på jordet.»
3. Steinsprang har råka brua på Heilevang.
4. Flomskred 2014, vest for påhogg. Grunt, men tydelig erosjonsspor.



Figur 7: Figur hentet fra Asplan Viak sin rapport med retning mot sør (Asplan Viak, 2021) og plassering av skredhendelser lang vegstrekning vurdert av Asplan Viak (markert med svart strek). Ny planlagt veglinje går mer mot sør enn svart veglinje i figur.

5.1 Vurdering av nominell årlig sannsynlighet basert på tidligere hendelser.

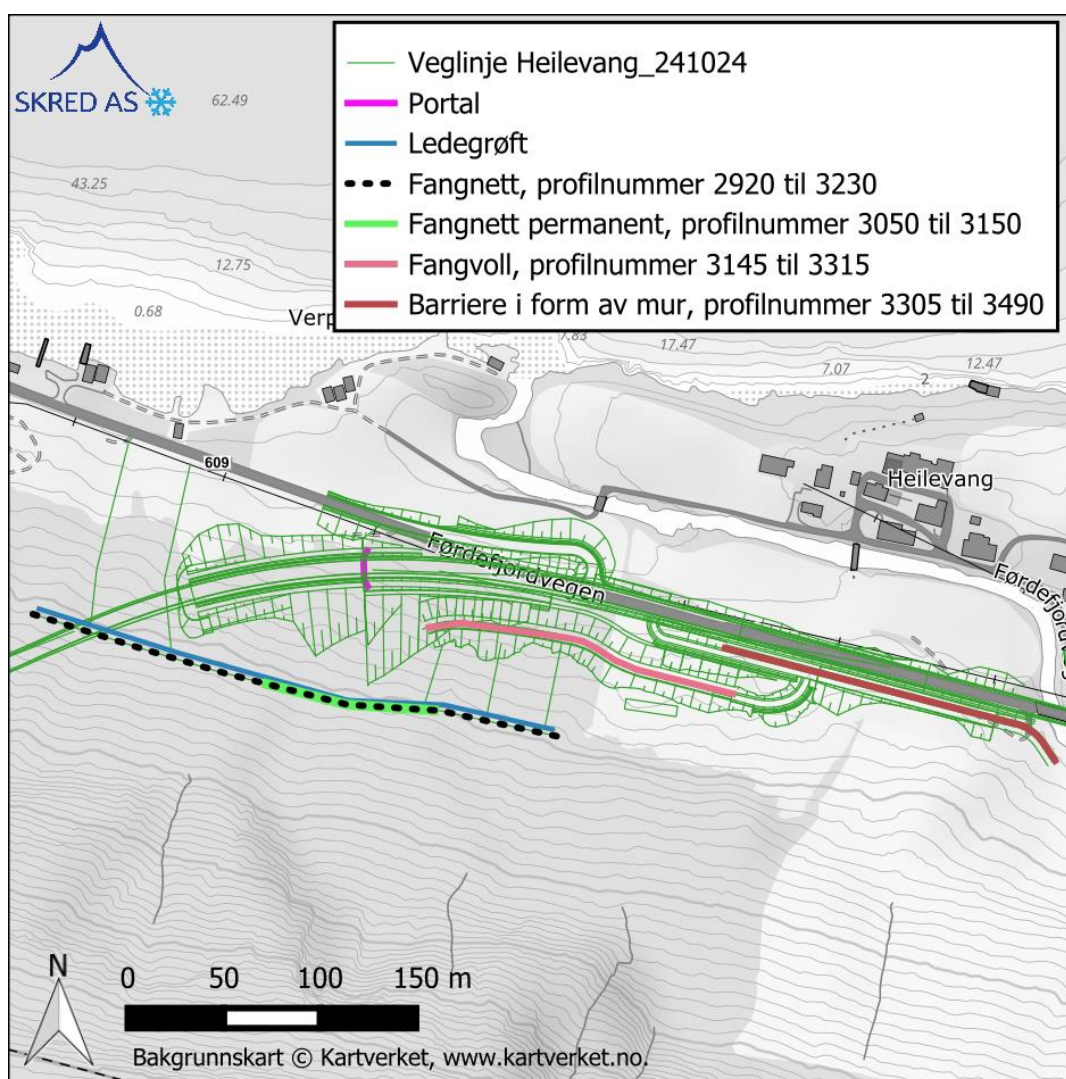
Som hjelp til å fastsette dimensjonerende skredscenario for sikring er det svært hensiktsmessig å se nærmere på tidligere skredhendelser. Hendelsene vi kjenner til vil gi oss informasjon som kan brukes i vurdering av skredscenario. Dessverre vet vi ikke mye om dimensjon av skredmasser som har nådd veg, men antall hendelser vitner om at steinsprang forekommer trolig oftere enn hvert 50 år. Steinskredet fant sted for over 60 år siden og vurderes derfor til å ha et lavere gjentaksintervall enn 1/50 år.

Veglinje eller påhugg tilfredsstillende dermed ikke bestemte sikkerhetskrav gitt en frekventistisk vurdering av skred i bratt terreng.

6 Plassering av sikringstiltak

Basert på ny ønsket veglinje og tverrfaglige avklaringer mellom ulike fag, eks. areal avsatt til skjæringer og skråningsutslag, ønsket tilkomst til støttside sikringstiltak, foreslås det at sikringstiltak plasseres omtrent som gitt i Figur 8. I fastsetting av de skredtekniske premissene for sikringstiltak (kapittel 7) har vi derfor sett nærmere på dimensjoner og skredlaster for aktuelle skredtyper langs gitte sikringslinjer vist i Figur 8.

Ved skissert plassering for tiltak ved profilnummer 2930-3280 er terrenghelling på støttside av tiltak omtrent 30 grader, mens for tiltak ved profilnummer 3280-3490, er terrenghelling på støttside av tiltak omtrent 20 grader.



Figur 8: Skisse av plassering av anbefalte sikringstiltak.

7 Skredscenario

7.1 Metodikk

Fastsettelse av dimensjonerende scenario baserer seg på mange faktorer med tilhørende usikkerheter. Som grunnlag for skredscenario tar vi utgangspunkt i vurderingene gjort av Asplan Viak (Asplan Viak, 2022, 2021), informasjon om tidligere hendelser og nye analyser og modellering av aktuelle skredtyper. Vi tilstreber i denne fasen å definere skredscenarioet med et detaljnivå som er godt nok til at forutsetningene for å oppnå tilfredsstillende sikkerhet mot skred ikke endres vesentlig i senere fase.

Et viktig moment i vurdering av dimensjonerende skredscenario og senere skredfaglig dimensjonering av tiltak (størrelse, laster, mv.) er derfor vurdering av usikkerhet og restrisiko. Usikkerhet og restrisiko har sammenheng med grunnlag og skredprosess, og omtales for hvert av de foreslåtte sikringstiltakene.

7.2 Skredfarevurdering

For å vurdere sikringstiltak definerer vi et skredscenario som er dimensjonerende for det valgte sikkerhetskravet, i dette tilfelle skred med nominell årlig sannsynlighet lik 1/100 for midlertidig anleggsområde (sikkerhetsklasse S1 iht. TEK 17) fra profilnummer 2930 til 3230, og nominell årlig sannsynlighet lik 1/50 for vegstrekningen iht. N:200 for profilnummer 3110 til 3490, se Figur 2.

Steinsprang og jordskred er aktuelle skredprosesser for strekningen.

7.2.1 Jordskred

Basert på observasjoner i kart og i felt er jordskred mer aktuell prosess vest i området. I skyggerelieffkartet er det i vest tydelige vifte- og lobefformasjoner, samt at det er vel definerte erosjonsspor i løsmasser i nedre del av fjellsiden, se Figur 9, Figur 10 og skyggerelieffkart i Figur 11. Langs med eksisterende vegprofil er det flere skjæringer i løsmasser sikret med tørrmur. Disse skjæringene tolkes å være kutt gjennom avsetninger av jordskred. Arr av tidligere utglidninger i vegetasjonsdekket ses også på dronebilder (Figur 9).

Langs dagens veg, fra brua i øst og ca. 100 mot vest, ble det observert berg i dagen i skjæring (Figur 10). Tynt løsmassedekke kan antyde at det har vært ingen/lav frekvens av utløp av jordskred i denne delen av strekningen ned til dagens veg.

Løsneområder for jordskred har blitt inntegnet i øvre del av fjellsiden i forsenkninger der lavereliggende terreng har tydelige erosjonsspor og vifteavsetninger, samt der avrenning kan konsentreres (Figur 11).

Vi vurderer at nominell årlig sannsynlighet for jordskred er høyere enn 1/100 og 1/50 for alle potensielle jordskredløp langs ny veglinje i vest (profilnummer 2930 til 3230). For veglinje i

øst (profilnummer 3230 til 3490) vurderes nominell årlig sannsynlighet som lavere enn 1/50 for potensielle jordskredløp.



Figur 9: I fjellsiden ses bart fjell som kan tolkes til å være tidligere utglidninger av vegetasjonsdekke/løsmasser, og langs vegen er det etablert tørrmur der det har blitt lagt veg gjennom løsmasser som mulig kan være jordskredavsetninger. Bildet viser området like vest for nytt påhugg.



Figur 10: Langs med vegen fra bru og ca. 100 m mot vest ses berg i dagen i skjæring langs eksisterende veg.

7.2.1.1 Scenario jordskred 1/50 og 1/100

For å fastsette dimensjonerende scenario med nominell årlig sannsynlighet 1/100 og 1/50 har vi tatt utgangspunkt i valgte løsneområder og sett på modelleringsresultat. Både i scenario med nominell årlig sannsynlighet 1/100 og 1/50 vurderer vi at det vil være ett løsneområde som blir utløst, ikke flere på samme tidspunkt.

7.2.1.2 Modellering

Til modellering av utløpslengde jordskred har vi benyttet den dynamiske modellen RAMMS::Debris Flow, versjon 1.8.1 (SLF WSL, 2022) med følgende inndata:

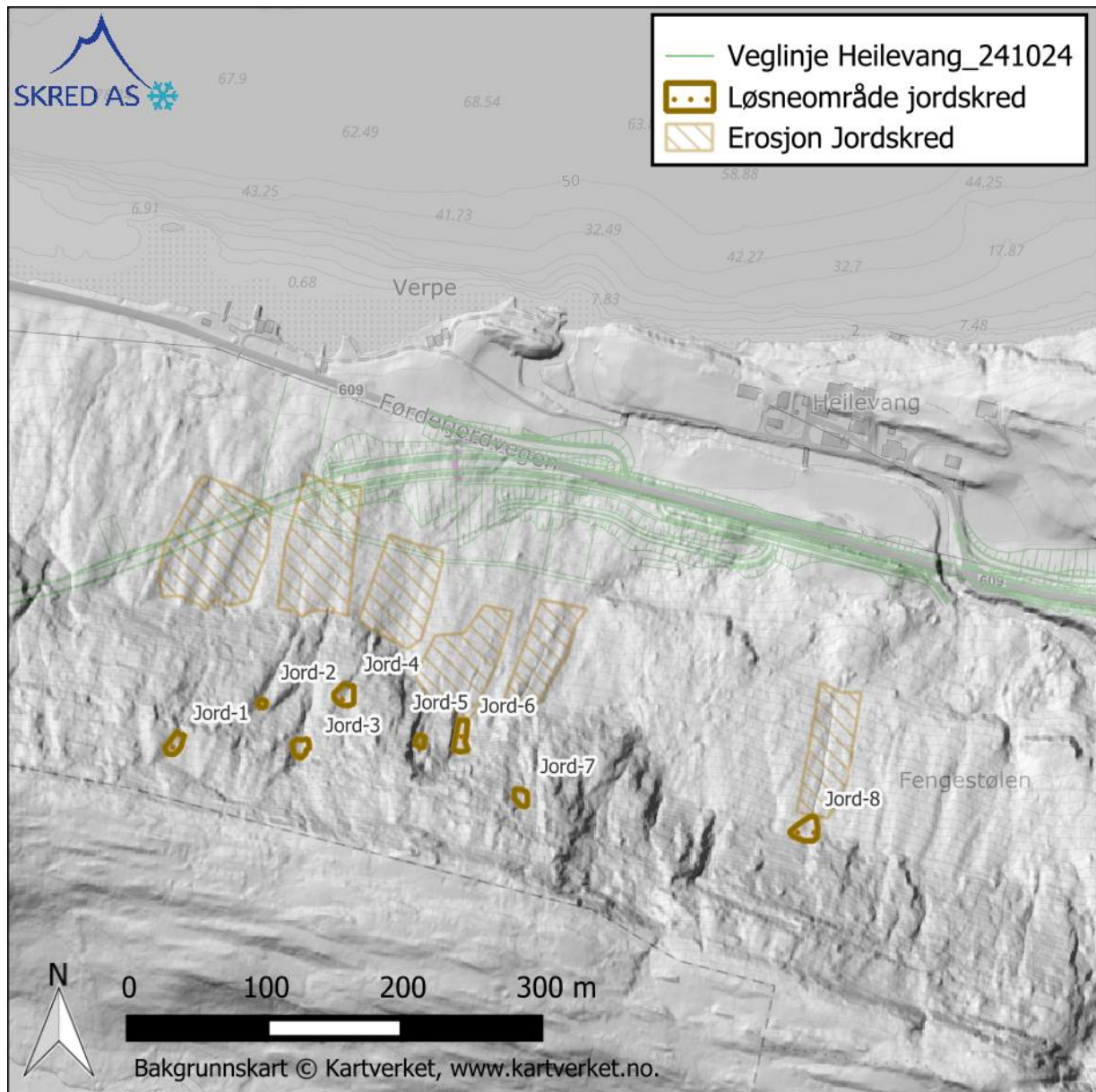
- **Terrengmodellen** som er benyttet har oppløsning på 2 m.
- **Tetthet** er satt til 2000 kg/m³
- **Løsneområder** er tegnet i øvre deler av fjellsiden i områder hvor vi ser at det er arr i vegetasjonsdekket og spor etter tidligere jordskredavsetninger som lobe -og vifteformer i fjellsiden under. Vi vurderer at det er først og fremst vegetasjonsdekket som løsner på fast fjell/berg, og at masser eroderes med nedover i fjellsiden/skredløpet. Løsneområder er navngitt Jord-1 osv. og vises i Figur 11.
- **Blokk-simulering** er benyttet fremfor hydrograf, da vi har lite eller ikke noe datagrunnlag om avrenning for de ulike flomskredløpene.
- **Xi** er satt til standardverdien 200 m/s².

- **My** er satt til standardverdien 0,2.
- **Stopp-momentum** er satt til standardverdien 5 %.
- **Erosjonsmodulen** er benyttet. Erosjonspolygoner er tegnet for de delene av fjellsiden hvor det reelt sett er eroderbare masser, og hvor skred forventes å erodere, fremfor å avsette. Vi har tegnet inn erosjonspolygon i deler av fjellsiden hvor erosjonsspor er tydelige. Erosjonsparametere er satt som angitt i tidligere FoU (NVE, 2021b) og er gitt i Tabell 2. I et skredscenario med nominell årlig sannsynlighet 1/100 har vi økt erosjonsraten slik at løsmasser eroderes raskere i modellen.

Tabell 2: Erosjonsparameter brukt for modellering av jordskred.

Skredscenario	Erosjons-rate (m/s)	Potensial erosjonsdybde (per kPa)	Critical shear stress (kPa)	Maks erosjons-dybde (m)
1/50	0,025	0,1	1	0
1/100	0,050	0,1	1	0

- **Bruddkanthøyde** er satt til 0,3 m og løsnevolum er gitt i Tabell 3. Denne verdien ble også brukt av Asplan Viak (Asplan Viak, 2021), og vi mener at dette vil være et riktig utgangspunkt da det er lite løsmasser tilgjengelig for utløsning i løsneområdene.



Figur 11: Vurderte løsneområder med erosjonspolygon benyttet i modellering og avrenningsanalyse.

7.2.1.3 Resultater

Modelleringsresultat presenteres i Figur 12 og Figur 13. Jord-1 til Jord-4 har strømningsretning ned mot påhogg- og portalområdet, mens løsneområde Jord-5 til Jord-7 har strømningsretning ned mot vegprofilnummer ca. 3100 til 3200. Jord-8 har utløp ned mot østlig del av strekningen. Løsneområde Jord-7 strømmer ikke over ny vegstrekningen i skredscenario med årlig nominell sannsynlighet større enn 1/50. Løsneområde Jord-8 er ikke

aktuell da den er vurdert til å ha et lavere gjentaksintervall enn sikkerhetskravet for strekningen.

Tabell 3 viser skredvolum fra de definerte løснеområdene (Figur 11) for dimensjonerende scenario med nominell årlig sannsynlighet 1/50 og 1/100. Modellering C06 representerer et scenario med nominell årlig sannsynlighet 1/50, mens C07 et scenario med nominell årlig sannsynlighet 1/100.

For simulering C6 har vi et totalt blokkvolum for alle løснеområdene på ca. 440 m³. Erovert totalt volum utgjør 1150 m³. Dette tilsvarer en økning i masser på ca. 260%.

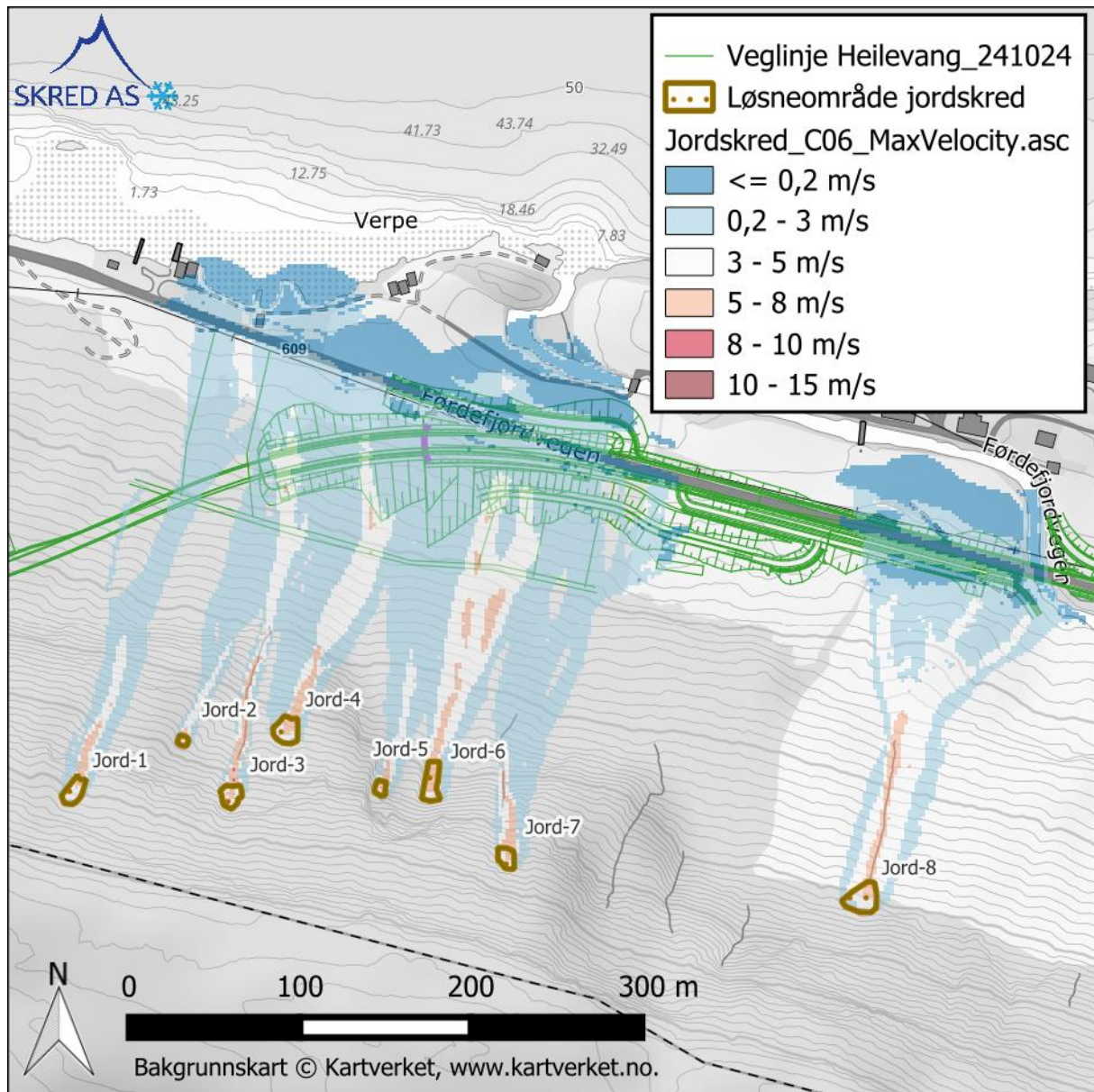
For simulering C7 har vi et totalt blokkvolum for alle løśnieområdene også på 440 m³. Erovert totalt volum utgjør ca. 2000 m³. Dette tilsvarer en økning i masser på ca. 454%.

Volum må tas i betraktning med tanke på mulig avlagringskapasitet for sikringstiltak. I modelleringene har vi simulert alle løśnieområdene samtidig. I resultatene får vi da et totalt erodert volum, og et totalt flytevolum. Vi har da i denne fasen forenklet vurderingen av erodert og flytevolum for hvert løøgneområde for å kunne estimere et grovt nødvendig avlagringsvolum i sikringstiltak. I forenklingen har vi lagt til prosentvis økning av erodert volum skredmasser (f. eks Jord-1 med 55 m³ x 434 % = 250 m³), og lagt dette til løøgnevolum (Jord-1 = 55 m³) og summen av disse er gitt som flytevolum (250 m³ + 55 m³=305 m³). Løgnevolum, erodert volum og flytevolum er gitt i Tabell 3.

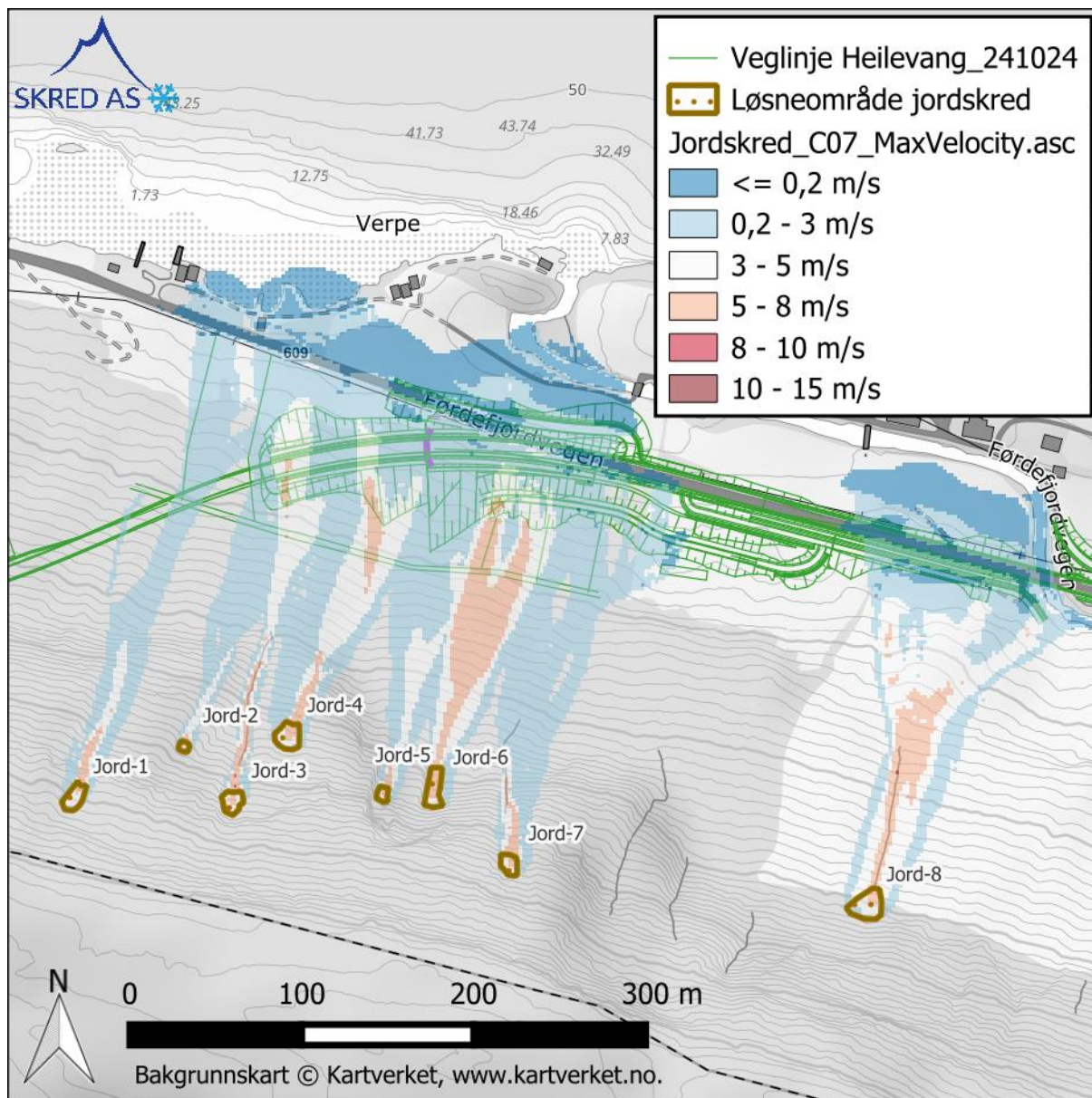
Tabell 3: Oversikt løøgneområder og skredvolum i modellering for skredscenario med nominell årlig sannsynlighet 1/50 og 1/100. I radene det ikke er oppgitt noen tall er ikke skredtypen aktuell for det gjeldende sikkerhetskravet.

Løgneområde	Løgnevolum (m ³)	Erovert volum (m ³) C06	Erovert volum (m ³) C07	Flytevolum (m ³) C06/C07
Jord-1	55	-	250	- / 305
Jord-2	14	-	64	- / 78
Jord-3	59	-	268	- / 327
Jord-4	81	-	368	- / 449
Jord-5	23	-	104	- / 127
Jord-6	85	-	386	- / 471
Jord-7	49	-	223	- / 272
Jord-8	97	-	-	- / -

Figur 12 og Figur 13 viser modelleringsresultat hastighet for de ulike scenarioene.



Figur 12: Resultat fra modellering dimensjonerende scenario jordskred med nominell årlig sannsynlighet 1/50. Figuren viser hastighet i modellerte skred.



Figur 13: Resultat fra modellering dimensjonerende scenario jordskred med nominell årlig sannsynlighet 1/100. Figuren viser hastighet i modellerte skred.

På bakgrunn av modellering vil skredmasser kunne nå veglinje og det er nødvendig med sikringstiltak for å oppnå tilfredsstillende sikkerhet. Simuleringsresultat for hastighet og flytehyde for 1/50 og 1/100 skredscenario har blitt vurdert fra modellering og analyse langs med foreslåtte sikringstiltak, gitt i Figur 8.

Tabell 4: Vurderte verdier for flyte høyde (m) og hastighet (m/s) for skredscenario jordskred med nominell årlig sannsynlighet lik 1/50 og 1/100. Der det ikke er oppgitt en verdi, er ikke skredtypen aktuell for det gjeldende sikkerhetskravet.

Sikringstiltak	Skred-scenario 1/50 Flyte høyde (m)	Skred-scenario 1/50 hastighet (m/s)	Skred-scenario 1/100 Flyte høyde (m)	Skred-scenario 1/100 hastighet (m/s)
Profilnummer 2930 til 3230. Fanggjerde.	-	-	0,8	6
Profilnummer 3145-3315. Fangvoll.	0,4	4	-	-
Profilnummer 3305-3490. Barriere i form av mur.	-	-	-	-

7.2.2 Steinsprang

Tilstedeværelse av urmasser og historikk for utløp av blokker ned til eksisterende veglinje gjør at løsnestannsynligheten vurderes til å være større enn 1/50 for hele den nye foreslåtte veglinja. De fleste blokker i ura er rundt 0,5 m³, men det er registrert enkelte større blokker, om lag 1 m³.

7.2.2.1 Scenario steinsprang 1/50 og 1/100

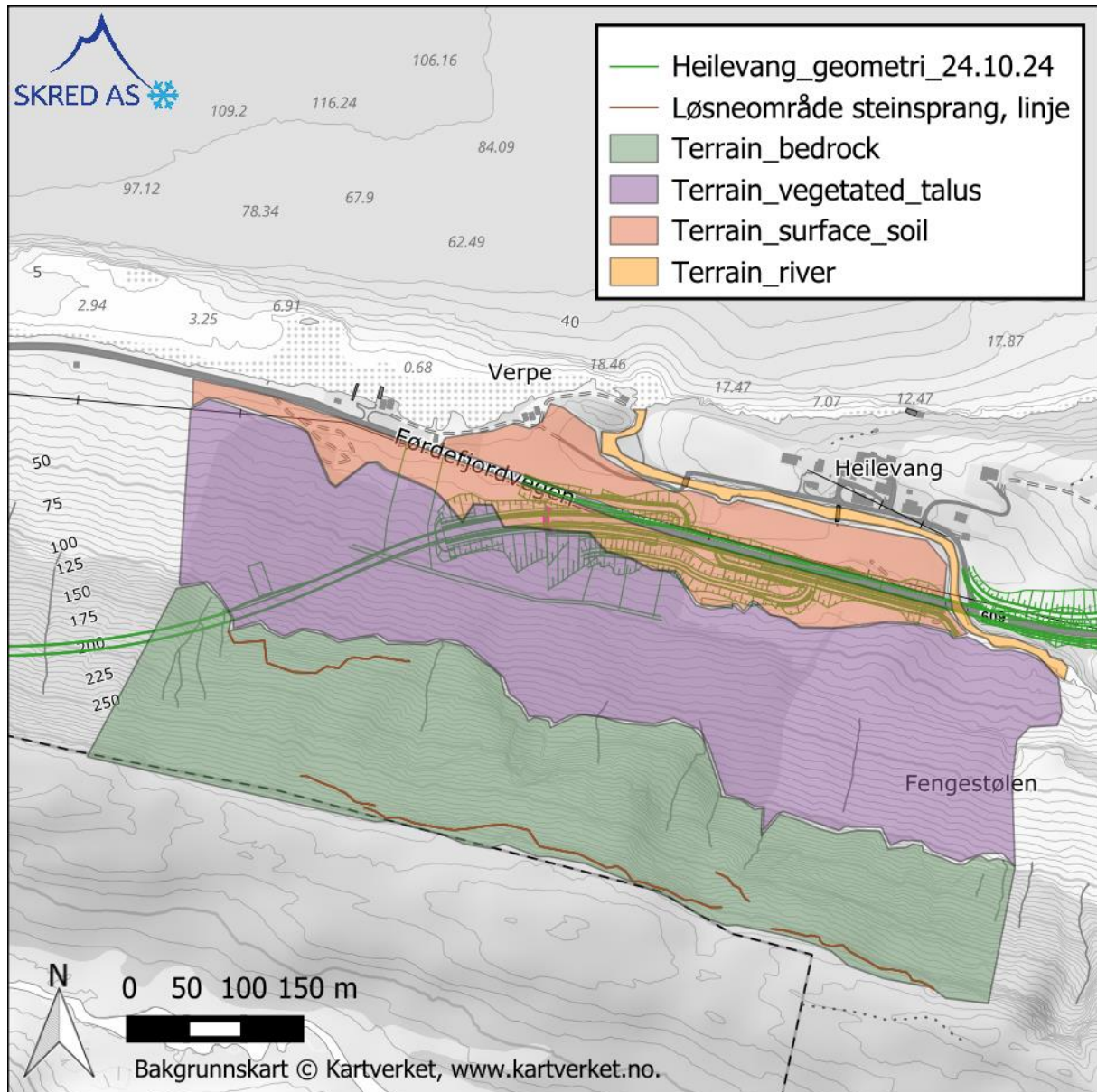
Vi vurderer at nominell årlig sannsynlighet for steinsprang er høyere enn 1/50 og 1/100 for det nye vegprofilet i sin helhet. Det er løsneområder for steinsprang langs hele vegprofilet og steinsprang har således utstrekning langs hele det nye vegprofilet.

7.2.2.2 Modellering

Til modellering av utløpslengde steinsprang har vi benyttet den dynamiske modellen RAMMS::Rockfall (RAMMS AG, 2024) med følgende inndata:

- **Terrengmodellen** som er benyttet har oppløsning på 2 m.
- **Tetthet blokker** er satt til 2700 kg/m³
- **Løsneområder** er inntegnet som linjer i øvre del av potensielle løsneområder for steinsprang, se Figur 14.
- **Blokkstørrelser:**
 - o Skredscenario med nominell årlig nominell sannsynlighet 1/50: 0,5 m³ (modellering D05). Dimensjoner blokk 1,1,21/1,02 meter.
 - o Skredscenario med nominell årlig nominell sannsynlighet 1/100: 1 m³ (modellering D04). Dimensjoner blokk 1,24/1,50/1,26 meter.
- **Blokkform:** Equant, det vil si relativt kubisk blokk.

- **Terrenghardhet** er gitt i Figur 14
- **Antall kjøring per simulering: 6592**
- **Skog i fjellsiden er ikke hensyntatt**



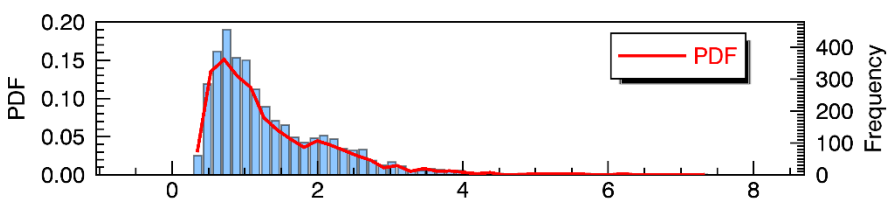
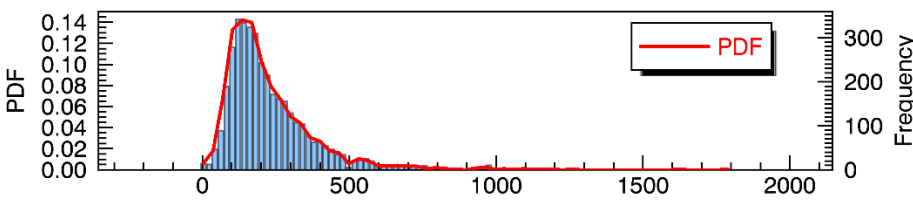
Figur 14: Anvendt terrenghardhet i simuleringene der de ulike terrengtypenes hardhet er gitt av RAMMS::Rockfall manual. Løsneområdene er angitt som linjer.

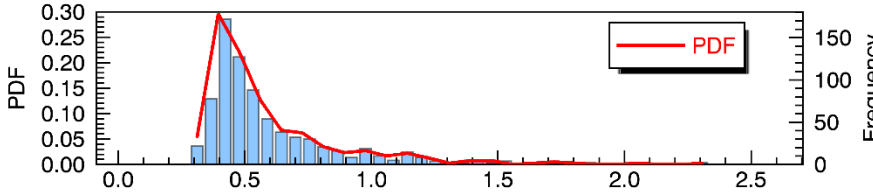
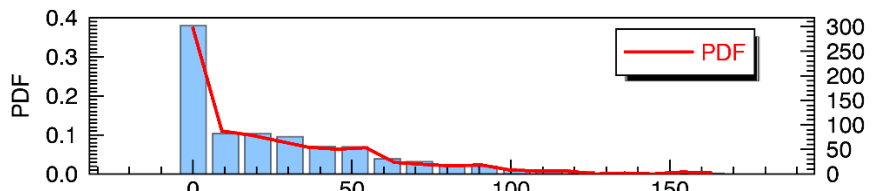
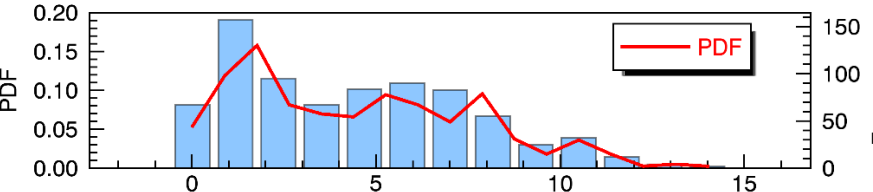
7.2.2.3 Resultater

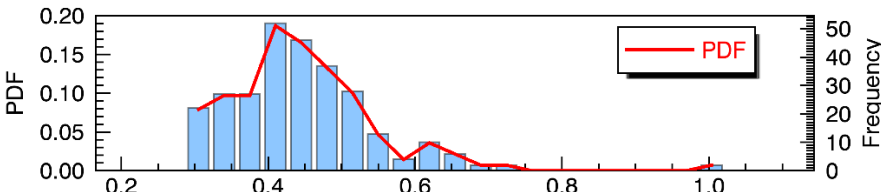
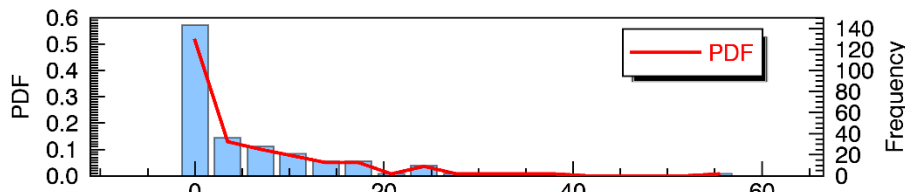
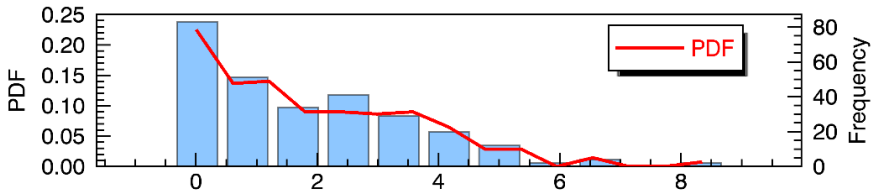
Simuleringsresultat for spretthøyde og kinetisk energi for ulike skredscenario steinsprang har blitt vurdert langs foreslåtte sikringstiltak gitt i Figur 8, og er vist i Tabell 5. Modellering D05

representerer et scenario med nominell årlig sannsynlighet 1/50, mens D04 et scenario med nominell årlig sannsynlighet 1/100. Vi legger til grunn 95 persentilen som inngangsdata til beregning og minimum krav til skredtekniske premisser for skredsikringstiltak. Dette fordi vi vurderer at de definerte skredscenarioene vi har lagt til grunn er noe konservative, særlig ut ifra antall registrerte hendelser ned på eksisterende vegstrekning.

Tabell 5: Statistikk på spretthøyde blokker, kinetisk energi og hastighet hentet ut fra RAMMS ved foreslåtte sikringstiltak for skredscenario med nominell årlig sannsynlighet 1/50 og 1/100, der effekt av skog er sett vekk fra. Der det ikke er oppgitt en verdi for et skredscenario steinsprang, er ikke scenario aktuell for det gjeldende sikkerhetskravet.

Profilnummer 2930 til 3230	
Skred-scenario 1/100 Spretthøyde (m)	<p>Barrier - Statistics Summary:</p> <p>Parameter: Jump Height (m) Min / Max: 0.35 / 7.31 Mean / Median: 1.44 / 1.15 Std Dev: 0.88 Q1 / Q3 / IQR: 0.82 / 1.85 / 1.03 Q90 / Q95 / Q99: 2.59 / 3.13 / 4.47</p> <p>Scenario: Heilevang_D06 Line Profile: Fangnett_til_3195_24.10.24.shp Traj./Stopped: 3133/0 Nr of data values: 3825 Histogram bin size: 0.13</p> 
Skred-scenario 1/100 Kinetisk energi (kJ)	<p>Barrier - Statistics Summary:</p> <p>Parameter: Kinetic Rock Energy (kJ) Min / Max: 3.02 / 1787.53 Mean / Median: 243.35 / 199.36 Std Dev: 162.44 Q1 / Q3 / IQR: 141.10 / 296.65 / 155.55 Q90 / Q95 / Q99: 422.24 / 541.89 / 942.19</p> <p>Scenario: Heilevang_D06 Line Profile: Fangnett_til_3195_24.10.24.shp Traj./Stopped: 3133/0 Nr of data values: 3825 Histogram bin size: 19.61</p> 

Profilnummer 3145-3315	
Skred-scenario 1/50 Spredthøyde (m)	<p>Barrier - Statistics Summary:</p> <p>Parameter: Jump Height (m) Min / Max: 0.31 / 2.31 Mean / Median: 0.63 / 0.52 Std Dev: 0.28 Q1 / Q3 / IQR: 0.45 / 0.70 / 0.25 Q90 / Q95 / Q99: 1.01 / 1.20 / 1.80</p> <p>Scenario: Heilevang_D07 Line Profile: fangvoll_3145-3315.shp Traj./Stopped: 584/20 Nr of data values: 773 Histogram bin size: 0.05</p> 
Skred-scenario 1/50 Kinetisk energi (kJ)	<p>Barrier - Statistics Summary:</p> <p>Parameter: Kinetic Rock Energy (kJ) Min / Max: 0.00 / 162.96 Mean / Median: 30.18 / 20.39 Std Dev: 31.72 Q1 / Q3 / IQR: 4.16 / 48.45 / 44.30 Q90 / Q95 / Q99: 76.81 / 97.37 / 138.24</p> <p>Scenario: Heilevang_D07 Line Profile: fangvoll_3145-3315.shp Traj./Stopped: 584/20 Nr of data values: 773 Histogram bin size: 9.59</p> 
Skred-scenario 1/50 Hastighet (m/s)	<p>Barrier - Statistics Summary:</p> <p>Parameter: Velocity (m s-1) Min / Max: 0.02 / 14.00 Mean / Median: 4.97 / 4.72 Std Dev: 3.17 Q1 / Q3 / IQR: 2.08 / 7.47 / 5.39 Q90 / Q95 / Q99: 9.31 / 10.89 / 12.30</p> <p>Scenario: Heilevang_D07 Line Profile: fangvoll_3145-3315.shp Traj./Stopped: 584/20 Nr of data values: 773 Histogram bin size: 1.08</p> 

Profilnummer 3305-3490	
Skred-scenario 1/50 Spredthøyde (m)	<p>Barrier - Statistics Summary:</p> <p>Parameter: Jump Height (m) Min / Max: 0.31 / 1.00 Mean / Median: 0.46 / 0.45 Std Dev: 0.10 Q1 / Q3 / IQR: 0.40 / 0.51 / 0.11 Q90 / Q95 / Q99: 0.58 / 0.64 / 1.00</p> <p>Scenario: Heilevang_D07 Line Profile: mur_3305_til_3490.shp Traj./Stopped: 180/48 Nr of data values: 278 Histogram bin size: 0.03</p> 
Skred-scenario 1/50 Kinetisk energi (kJ)	<p>Barrier - Statistics Summary:</p> <p>Parameter: Kinetic Rock Energy (kJ) Min / Max: 0.00 / 55.39 Mean / Median: 7.13 / 3.21 Std Dev: 9.38 Q1 / Q3 / IQR: 0.55 / 11.03 / 10.49 Q90 / Q95 / Q99: 19.69 / 27.40 / 55.39</p> <p>Scenario: Heilevang_D07 Line Profile: mur_3305_til_3490.shp Traj./Stopped: 180/48 Nr of data values: 278 Histogram bin size: 3.26</p> 
Skred-scenario 1/50 Hastighet (m/s)	<p>Barrier - Statistics Summary:</p> <p>Parameter: Velocity (m s-1) Min / Max: 0.02 / 8.32 Mean / Median: 2.16 / 1.80 Std Dev: 1.79 Q1 / Q3 / IQR: 0.72 / 3.35 / 2.64 Q90 / Q95 / Q99: 4.55 / 5.40 / 8.32</p> <p>Scenario: Heilevang_D07 Line Profile: mur_3305_til_3490.shp Traj./Stopped: 180/48 Nr of data values: 278 Histogram bin size: 0.75</p> 

7.2.3 Steinskred

Steinskredhendelsen som fant sted på 60-tallet nådde eksisterende veglinje (Figur 15). I skyggerelieffkartet (Figur 11) vises trolig det som er kildeområdet til steinskredet. Vi har ikke observert tegn til større strukturer som kan indikere eksempelvis baksprekker i fjellet over

vegstreking i vest med profilnummer 2930 til 3110. Her observeres en relativt glatt bergoverflate på dronebilder. For vegstreking i øst med profilnummer 3110 til 3490 antyder skyggerelieffkartet at det kan være reelt med utfall av større steinsprang opp mot steinskred. Det er derimot ingen bevegelse på InSAR-data(NGU, 2024) i området.

Basert på at det ikke har vært nye hendelser siden steinskredet på 60-tallet, for mer enn 60 år siden, vurderer vi nominell årlig sannsynlighet for steinskred som lavere enn 1/50 for vegstreking med profilnummer 3230 til 3490. I vest med profilnummer 2930 til 3230 vurderer vi at nominell årlig sannsynlighet for steinskred er lavere enn sikkerhetskravet, som er at nominell årlig sannsynlighet skal være mindre enn 1/100.



Figur 15: Steinskredavsetninger ses rett ovenfor vegen, midt i bildet.

8 Anbefalte sikringstiltak

8.1 Overordnet vurdering av sikring

Forprosjektet avklarer det som vurderes å være det beste tiltaket for å oppnå tilfredsstillende sikkerhet mot skred i bratt terreng basert på skredtekniske premisser. I prosjekteringsfase kan det være behov for at det skredtekniske detaljeres ytterligere, basert på den løsningen som faktisk prosjekteres, ved tverrfaglige avklaringer og i samråd med nødvendige andre prosjekteringsfag.

For påhogg og portal, fra ca. 2930 til profilnummer 3230, er det tenkt midlertidig sikring under anleggsperiode, og at portal gir tilfredsstillende sikkerhet for ferdig veg frem til profil 3100. For resterende vegprofil, ca. profilnummer 3050-3490, må det utføres permanent sikring.

Tiltak i løснеområdet anses for omfattende og utfordrende, for å oppnå sikkerhetsnivået, og er derfor vurdert å være urealistisk. Ettersom det er identifisert flere potensielle løснеområder for skred i fjellsiden over sikringsobjektene, bør barrierer plasseres så nærme som mulig sikringsobjektet for å sikre mest mulig målrettet (unngå å sikre «unødvendig» areal). Dette må imidlertid tilpasses andre planlagte forhold (vegskjæring, portal, tilkomst, grunnforhold osv.). Det har blitt utført tverrfaglige avklaringer i samband med vurderingen av anbefalte sikringstiltak.

For å unngå å øke ulempe på tilgrensende areal og infrastruktur jfr. Granelova kan det ikke benyttes barriere som medfører vesentlig endring i skredstrømmen i forhold til naturlig skredstrøm, eksempelvis ved ledevoll. Basert på våre vurderinger, og vurdering utført av Asplan Viak (Asplan Viak, 2021), er aktuelle sikringstiltak dermed:

- Profilnummer 2930 til 3230: Midlertidig fanggjerde for påhogg og portal som også har kapasitet for jordskred. Permanent tiltak med fanggjerde for profilnummer 3050-3150.
- Profilnummer 3145-3315: Fangvoll mot steinsprang for vegstrekning. Permanent tiltak.
- Profilnummer 3305-3490: Barriere i form av en murkonstruksjon mot steinsprang for vegstrekning. Permanent tiltak.

I tillegg må det utføres anbefalte tiltak for vannhåndtering for fanggjerde, fangvoll og mur, og det må etableres tilkomst til tiltak for å ivareta krav til forvaltning, drift og vedlikehold.

Ved evt. behov for endringer av plassering må det verifiseres at de skredtekniske premissene er ivaretatt

8.2 Sikring av profilnummer 2930 til 3230, fanggjerd

For sikring av anleggsområde for påhogg tunnel og portal må det etableres et midlertidig tiltak. Her foreslås det et fanggjerd. Det er også foreslått av Vestland Fylkeskommune å sette opp fanggjerdet et stykke videre mot øst, forbi portal til profil 3230, se Figur 8. Dette for å sikre i anleggsfase ved etablering av vegstrekning og fangvoll. Det er og foreslått at den delen av fanggjerdet som strekker seg fra profilnummer 3050, ved portal og østover til profilnummer 3150 står igjen som permanent sikring ettersom det er komplekst å føre fangvoll med overlapp til portal.

Steinsprang er dimensjonerende skredtype, men fanggjerdet må også kunne ta imot og stoppe jordskredmasser, samt det må etableres løsning for overvann og tyntflytende jordskredmasser som kan gå gjennom gjerdet. Et fanggjerd er krever normalt mer tilsyn og vedlikehold og har kortere levertid enn f.eks. en fangvoll. Basert på at store deler av dette gjerdet skal være et midlertidig sikringstiltak vil det være en god løsning. Bratt terreng i området gjør det vanskelig for etablering av fangvoll, og derfor foreslås permanent sikring i form av fanggjerd.

Den permanente delen av fanggjerdet som skal sikre anleggsfase og senere vegstrekning for profilnummer 3050 til 3150, er dimensjonert iht. sikkerhetskrav S1 i TEK17, selv om vegstrekning har et lavere sikkerhetskrav. Dette for å tilfredsstille sikkerhetskravet i anleggsperiode.

8.2.1 Plassering, lengde, høyde og styrke

8.2.1.1 Steinsprang

Fanggjerd er aktuelt for profilnummer til 3230, med skissert plassering i Figur 8. Plassering er i stor grad gitt ut ifra planlagt omfang av vegskjæring og lengde på portal og krav til permanent sikring.

Dersom gjerdet plasseres som angitt i Figur 8, like ovenfor vegskjæringen, er det behov for et gjerd med lengde på ca. 260 m, som må ha en energikapasitet på minst 550 kJ og en høyde på minst 3,5 m (Tabell 6). Anbefalt høyde er justert for endring fra vertikal høyde i modellen til helning normalt på terrenget og det er lagt til en høyde tilsvarende radius på blokken pga. modellen måler spretthøyde til massesentrum. Dersom gjerdet av ulike grunner må plasseres høyere i terrenget, må sannsynligvis fanggjerdets lengde, høyde og styrke økes. Tall gitt i Tabell 6 representerer minimumsverdier.

Tabell 6: Spretthøyde og energi lest av ved skissert plassering av sikringstiltak ved skissert plassering av fanggjerde.

Blokkstørrelse	Spretthøyde vertikalt	Fribord mtp. rotasjonsenergi	Energi	Forslag til høyde
1 m ³	3 m	Settes lik 0 da et fanggjerde har demping	550 kJ	3,5 m

8.2.1.2 Jordskred

Med tanke på jordskred må gjerdet gi kontrollert avsetning av skredmateriale og stoppe skredmasser. Gjerdet skal primært stoppe faste og grovere masser, og det er derfor også behov for å sikre mot slam og vann som renner gjennom gjerdekonstruksjonen. Dette kan gjøres ved å etablere en grøft på nedsida av fanggjerde, som skissert i Figur 8.

Men en viktig utfordring er at gjerdet må ha tilstrekkelig magasinkapasitet til at det vesentlige av skredvolumet kan avsettes mot gjerdet. For standard gjerdesystem er avlagringskapasitet begrenset (WSL, 2020), ettersom ved treff vil gjerdet kollapse over skredmassene og gjerdehøyden dertil reduseres (nominell høyde reduseres til residual høyde ved treff). Dette medfører at eventuelle påfølgende skredmasser flyter over gjerdet, og avlagringskapasiteten defineres derfor av residualhøyden.

Vi har gjort noen undersøkelser med leverandører og det kan mest sannsynlig ikke brukes standardiserte produkt. I detaljprosjektering må det utarbeides en løsning som kan håndtere energi for steinsprang og støttrykk fra jordskred og ivareta nødvendig avlagringskapasitet.

I Tabell 7 viser vi inngangsparameter for beregning av støttrykk og oppstuvning i gjerdet basert på dimensjonerende skredscenario for plassering av gjerde som gitt i Figur 8.

I Tabell 8 beregnes nødvendig høyde på tiltak basert på strømningsverdier gitt oppstuvning mot en solid vegg. Dette blir noe misvisende da skredmasser i noen grad kan strømme gjennom fanggjerde og beregningen gir derfor et konservativt estimat på oppstuvingshøyde mot gjerdet. Beregningen viser imidlertid behov for lavere høyde enn potensiell spretthøyde for steinsprang, så gjerdet må dimensjoneres for steinsprang.

Tabell 7: Oversikt inngangsparametere for forhold ved gjerdet og skredstrøm for beregning klatre- og influenshøyde.

	Parameter	Verdi	Kommentar
Forhold ved gjerdet	Terrenghelning ved tiltak terreng [°]	30	Bruk av 30 grader er en forenkling, for terrenget varierer noe mer, men det er generelt stor terrenghelling inn mot vollen.
	Angrepsvinkel skred skredstrøm og tiltak [°]	Ca. 90	Fanggjerde plassers relativt vinkelrett på strømningsretning til skredmasser
	Tidligere avsatt skredmasse på bakken (m)	0*	Det forutsettes at det bare strømmer en puls mot tiltaket og at en andre skredpuls dermed ikke vil kunne klatre på avsatte skredmasser i samme skredhendelse
	Flyte høyde (m)	0,8	Fra modellering ved foreslått lokalisering Figur 8.
	Hastighet (m/s)	6	Fra modellering ved foreslått lokalisering Figur 8.
Skredstrøm	Froudetall Fr [-]	2,3	
	λ	1	Tap av bevegelsesmengde og effekt av friksjon ved skredstrømmens treff mot barriere

* Dette forutsetter at sikringstiltaket vedlikeholdes ved at skredmasser som treffer vollen fjernes etter en skredhendelse.

Tabell 8: Beregning av klatre- og influenshøyde mot gjerdet.

Tiltak	Metode (m)		Klatrehøyde gjennomsnitt (m)	Vurdert nødvendig minste høyde(m)
	Tradisjonell (m)	Hydrodynamisk (m)		
Ved vegprofilnummer 2930-3230	2,6	2,5	2,55	2,6 m

Et gjerde er en fleksibel konstruksjon, men likevel har vi brukt prinsippet for utregning av trykkklaster jordskred utøver mot vertikale flater (støtside tiltak) som kan anslås ut fra prinsippene for stagnasjonstrykket for vann (Statens vegvesen, 2023).

Der en kontinuerlig væskestrøm renner mot en vertikal flate er stagnasjonstrykket (P_s) lik: $P_s=0,5k\rho_s(u_1)^2$ der k er en konstant, ρ_s er væskens/massens tetthet og u_1 er hastigheten oppstrøms tiltaket. Konstanten, k, representerer effekten av at skredmassene har en viss fasthet og at det kan være store partikler i skredene. Statens vegvesen V139 (Statens vegvesen, 2023) anbefaler k verdi lik 6 og tetthet lik 2000 kg/m³ for flomskred med maksimal

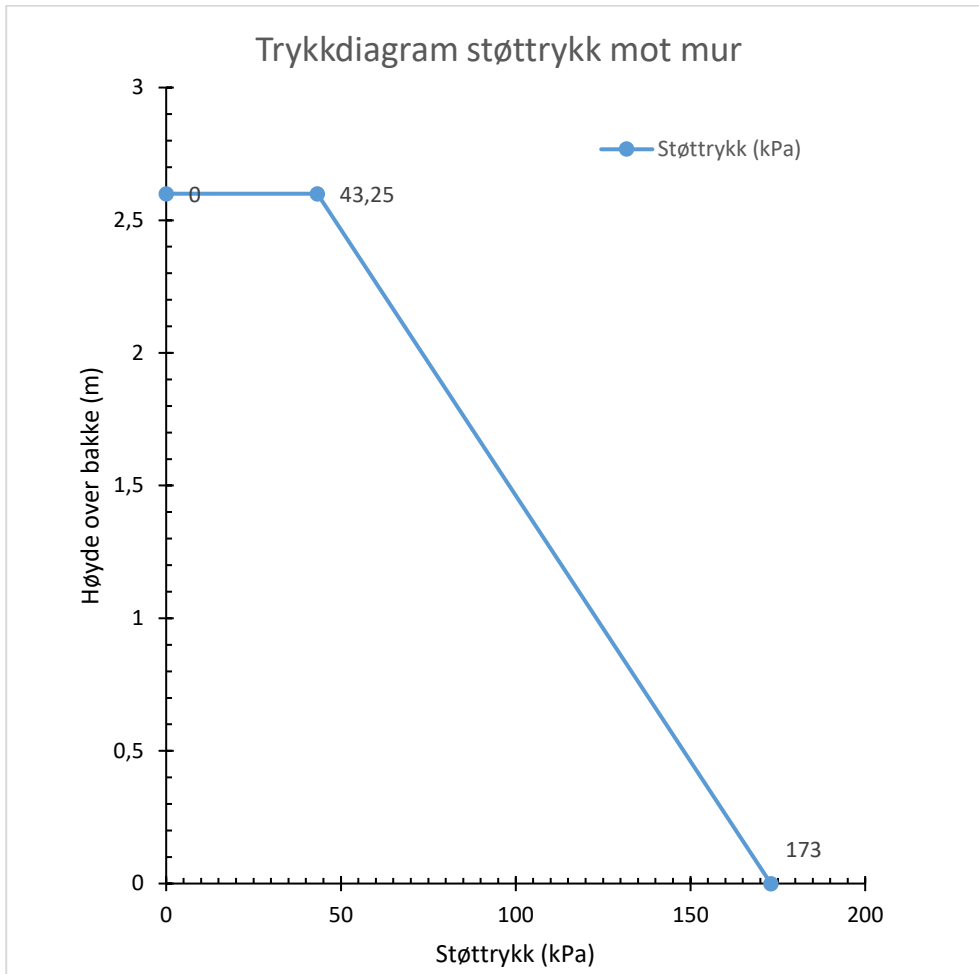
hastighet opp mot 15 m/s. Vi har også estimert støttrykk etter Østerisk metode (Suda et al., 2010)/ONR24801 som er samlet i standardverket ONR24801, for å sammenligne resultatene med Statens vegvesens metode.

Tabell 9 viser resultater for støttrykk. Fordi lastene er beregnet ut fra den mest konservative modellkjøringen av de som samlet sett utgjør skredscenarioet, vurderer vi at det veier opp for den relativt store forskjellen i beregnede verdier for de to metodene. I Figur 16 vises det hvordan trykket vil fordele seg i flyteøyden på skredmassene. Lastfordelingen er som anbefalt av Østerisk metode (Suda et al., 2010)/ONR24801 mot en vegg.

Tabell 9: Støttrykk fra jordskred i flyteøyden mot støttside barriere gitt plassering

Tiltak	Hastighet (m/s)	Flyteøyde (m)	Tetthet (kg/m ³)	K-verdi	Støttrykk (kN/m ²)		
					V139	Suda et al 2010	G.snitt
Hele lengde	6	0,8	2000	6	216	130	173

Skredscenario viser at skredvolum varierer i forhold til hvilke definerte løsnemråder (angi hvilke løsnemråder) som løser ut, og varierer mellom totalt ca. 78-449 m³ totalt flyteevolum (Tabell 3). Tiltaket må derfor kunne stoppe maks flyteevolum. Vi vurderer at avlagringskapasitet for barrieren må være minimum 450 m³.



Figur 16: Trykkdiagram for støttrykk jordskredmasser mot støtside barriere i det aktuelle scenarioet.

8.3 Sikring av profilnummer 3145-3315, fangvoll

Her må det etableres en permanent konstruksjon for å oppnå sikkerhetskravet mot skred for vegstrekningen. Steinsprang er dimensjonerende skredtype, men jordskred er også aktuell skredprosess.

Ettersom det blir masser tilgjengelig ifm. etablering av tunnel, terrenget er slakere her sammenlignet med terrenget i vest og øst, og det er fangvoll som har blitt foreslått tidligere av Asplan Viak (Asplan Viak, 2021), har vi sett videre på muligheten med sikring med fangvoll.

Ved evt. behov for endringer av plassering må det verifiseres at de skredtekniske premissene er ivaretatt.

8.3.1 Plassering, lengde, høyde og styrke

8.3.1.1 Steinsprang

Fangvoll mot steinsprang er aktuelt for profilnummer 3230-3315, som skissert i Figur 8. Plassering er i stor grad gitt ut ifra planlagt omfang av vegskjæring og plassering av ny veglinje, og barrieren plasseres så langt ned i skredløpet som mulig.

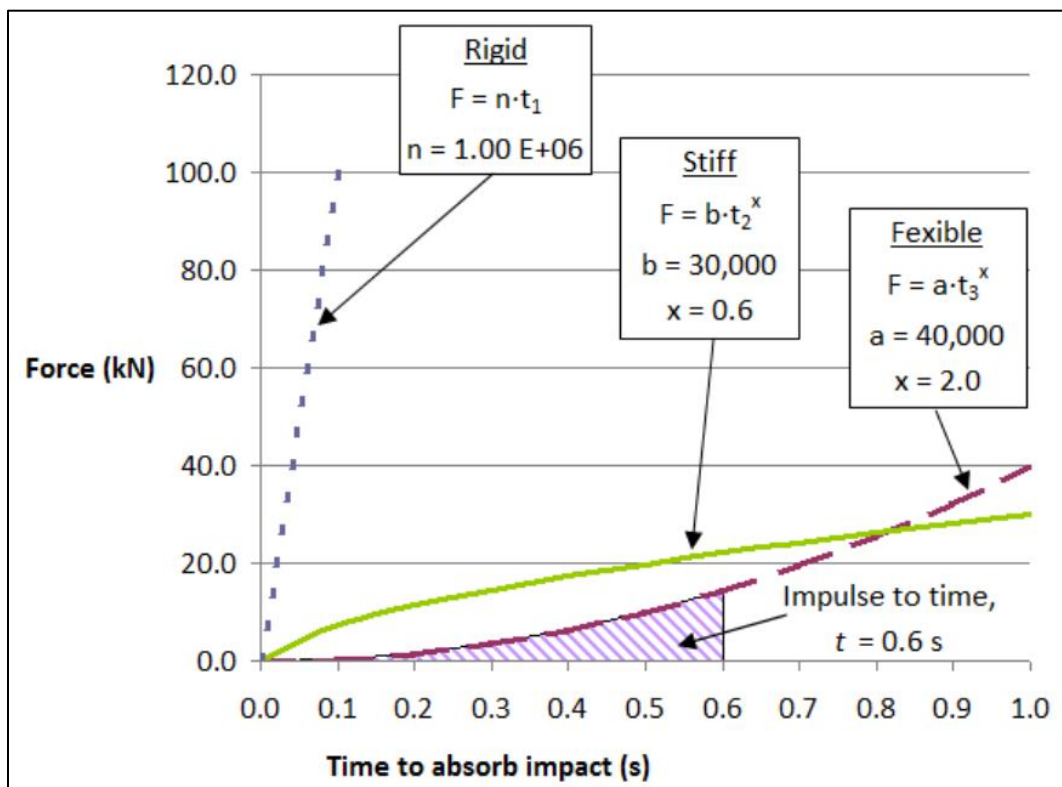
Dersom fangvoll plasseres som angitt i Figur 8, er det behov for voll med lengde på ca. 160 m, med energikapasitet mot steinsprang med minimum 100 kJ og en høyde på minst 3 m (Tabell 6). Anbefalt høyde er justert for endring fra vertikal høyde i modellen til helning normalt på terrenget og det er lagt til en høyde tilsvarende radius på blokken pga. modellen måler spretthøyde til massesentrum. Dersom fangvoll av ulike grunner må plasseres høyere i terrenget, må sannsynligvis lengde og høyde.

Tabell 10: Spretthøyde og energi lest av ved skissert plassering av sikringstiltak ved profilnummer 3280-3490.

Blokkstørrelse	Spretthøyde vertikalt	Fribord mtp. rotasjonsenergi	Energi	Forslag til høyde
0,5 m ³	1,2 m	1,2	100 kJ	3 m

For å kunne si noe om skredvollens motstand mot steinsprang har vi regnet dimensjonerende bevegelsesenergi (kinetisk energi [kJ]) om til punktlast i skredvollen [kN]. Punktlast avhenger av materialvalget i støtside voll, ettersom dempende materiale absorberer kreftene over lengre tidsperiode. Vi forutsetter at det blir benyttet tørrsteinsmur eller lignende hardt og stivt materiale som gir kort absorpsjonstid av kreftene.

Beregningene er gjort etter D.C. Wyllie (Wyllie, 2014). Punktlast kan utledes av funksjon $F=n \cdot t_1$ hvor t_1 er kontakttiden og n er gradient av linja analogt med stivheten til konstruksjonen. Vi har satt $n=10^6$ ettersom vi som en konservativ tilnærming anser støtsiden som hardt og stivt legeme (Figur 17). Dette må imidlertid vurderes i samråd med geoteknisk kompetanse med tanke på utforming av vollen.



Figur 17: Forholdet mellom absorpsjonstid og kraft generert i massiv (rigid), fleksibel (flexible) og stiv barriere (stiff) (Wyllie, 2014).

Videre kan impulsen (p), bevegelsesmengden, utledes som $p = m \cdot v_1$, hvor m er massen til blokka og v_1 er nedslagshastigheten. Vi forutsetter en blokk på $0,5 \text{ m}^3$, med tetthet lik 2700 kg/m^3 , og med hastighet lik 11 m/s når den treffer vollen. Impulsen absorbert av konstruksjonen over kontakttiden t_1 er definert som: $p = \int_0^{t_1} F dt = n \int_0^{t_1} t dt = \frac{1}{2} n \cdot t_1^2$

$$\text{Kontakttiden kan dermed skrives som } t_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot p}{n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot v_i}{n}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1350 \text{ kg} \cdot 11 \text{ m/s}}{10^6}} = 0,1723 \text{ sek}$$

Punktlast i vollen blir da omkring

$$F = 10^6 \cdot t_1 = 10^6 \cdot 0,1723 = 172,3 \text{ kN}$$

Massen i regnestykket tar utgangspunkt i en blokk på ca. $0,5 \text{ m}^3$. Angrepspunktet til blokken i dimensjonerende tilfelle vil være med massesentrum i høyde ca. $1,2 \text{ m}$, ref. Tabell 10. Punktlast i vollen blir da 172 kN .

8.3.1.2 Jordskred

Med tanke på jordskred må barriere gi kontrollert avsetning av skredmateriale og stoppe skredmasser. Drenering for den normale avrennings situasjonen for vann i fjellsiden og i skred situasjoner med økt avrenning må løses, eksempelvis ved å etablere grøft som

drenerer dette slik at det ikke strømmer ut i vegbane. Barriere må også ha tilstrekkelig magasinkapasitet til at skredvolumet kan avsettes. I Tabell 11 viser vi inngangsparametere for beregning av støttrykk mot konstruksjon basert på dimensjonerende skredscenario for plassering av barriere som gitt i Figur 8. I Tabell 12 beregnes nødvendig høyde på tiltak basert på strømningsverdier.

Tabell 11: Oversikt inngangsparametere for forhold ved barriere og skredstrøm for beregning klatre- og influenshøyde.

	Parameter	Verdi	Kommentar
Forhold ved gjerdet	Terrenghelning ved tiltak _{terreng} [°]	30	Bruk av 30 grader er en forenkling, for terrenget varierer noe mer, men det er generelt stor terrenghelling inn mot vollen.
	Angrepsvinkel _{skred} skredstrøm og tiltak [°]	Ca. 90	Dimensjoneres som fangvoll
	Tidligere avsatt skredmasse på bakken (m)	0*	Det forutsettes at det bare strømmer en puls mot tiltaket og at en andre skredpuls dermed ikke vil kunne klatre på avsatte skredmasser i samme skredhendelse
	Flyte høyde (m)	0,4	Fra modellering ved foreslått lokalisering
	Hastighet (m/s)	4	Fra modellering ved foreslått lokalisering
Skredstrøm	Froudetall Fr [-]	2,2	Ligger i grensetilfelle mellom sub- og superkritisk strømning.
	λ	1	Tap av bevegelsesmengde og effekt av friksjon ved skredstrømmens treff mot vollen

* Dette forutsetter at sikringstiltaket vedlikeholdes ved at skredmasser som treffer vollen fjernes etter en skredhendelse.

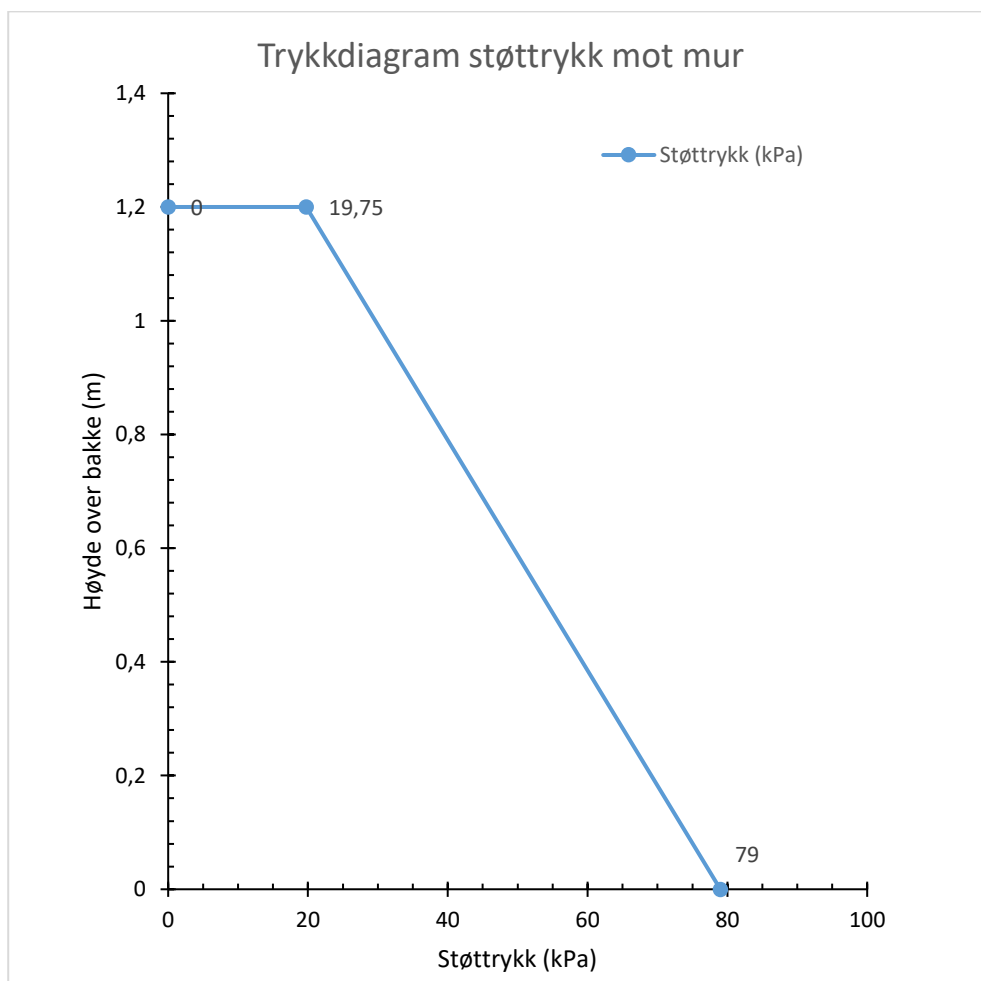
Tabell 12: Beregning av klatre- og influenshøyde mot barriere.

Tiltak	Metode (m)		Klatrehøyde gjennomsnitt (m)	Vurdert nødvendig minste høyde(m)
	Tradisjonell (m)	Hydrodynamisk (m)		
Ved vegprofilinje 3145-3315	1,2	1,2	1,2	1,2

Utregning av støttrykk mot fangvoll fra jordskredmasser har blitt regnet ut ifra samme prinsipp som i kapittel 8.2.1.2, se Tabell 13. I Figur 18 vises det hvordan trykket vil fordele seg i flyte høyden på skredmassene. Lastfordelingen er som anbefalt av Østerisk metode (Suda et al., 2010)/ONR24801.

Tabell 13: Støttrykk fra jordskred i flytehyden mot støttside voll gitt plassering i Figur 8.

Tiltak	Hastighet (m/s)	Flytehyde (m)	Tetthet (kg/m ³)	K-verdi	Støttrykk (kN/m ²)		
					V139	Suda et al 2010	G.snitt
Hele lengde	4	0,4	2000	6	96	62	79



Figur 18: Diagram for støttrykk jordskredmasser mot skredvoll støttside i det aktuelle scenarioet.

Skredscenario viser at skredvolum varierer i forhold til hvilke definerte løснеområder som blir utløst. For denne profilstrekningen er det løśnieområde Jord-5, Jord-6 og jord-7 som er aktuelle. Disse løøgneområdene varierer mellom totalt ca. 127-471 m³ i totalt flyteevolum (Tabell 3). Tiltaket må kunne stoppe maks flyteevolum og vi vurderer at avlagringskapasitet for tiltaket må være minimum 470 m³.

8.4 Sikring av profilnummer 3305-3490, barriere i form av mur

Her må det etableres en permanent konstruksjon for å oppnå sikkerhetskravet mot skred. Steinsprang er dimensjonerende skredtype. Vi har vurdert at faren for jordskred er lavere enn gjeldende sikkerhetskrav for denne strekningen. På grunn av bratt terreng og ønsket bevaring av kulturlandskap er det foreslått å etablere en barrierekonstruksjon i form av mur for denne strekningen.

8.4.1 Plassering, lengde, høyde og styrke

8.4.1.1 Steinsprang

Barriere i form av en murkonstruksjon mot steinsprang er aktuelt for profilnummer 3305-3490 som skissert i Figur 8. Plassering er i stor grad gitt ut ifra planlagt omfang av vegskjæring og plassering av ny veglinje, og barrieren plasseres så langt ned i skredløpet som mulig.

Dersom barriere plasseres som angitt i Figur 8 er det behov for mur med lengde på ca. 185 m, med energikapasitet mot steinsprang med minimum 30 kJ og en høyde på minst 2,5 m (Tabell 6). Anbefalt høyde er justert for endring fra vertikal høyde i modellen til helning normalt på terrenget og det er lagt til en høyde tilsvarende radius på blokken pga. modellen måler spretthøyde til massesentrum. Dersom mur av ulike grunner må plasseres høyere i terrenget, må sannsynligvis murens lengde, høyde og styrke økes.

Tabell 14: Spretthøyde og energi lest av ved skissert plassering av sikringstiltak ved profilnummer 3280-3490.

Blokkstørrelse	Spretthøyde vertikalt	Fribord mtp. rotasjonsenergi	Energi	Forslag til høyde
0,5 m ³	0,65 m	1,2	30 kJ	2,5 m

For å kunne si noe om murens motstand mot steinsprang har vi regnet dimensjonerende bevegelsesenergi (kinetisk energi [kJ]) om til punktlast i muren [kN] ut ifra samme prinsipp som vist i kapittel 8.3.1.1. Punktlast avhenger av materialvalget i støttside, ettersom dempende materiale absorberer kreftene over lengre tidsperiode. Vi forutsetter at det blir benyttet tørrsteinsmur eller lignende hardt og stivt materiale som gir kort absorpsjonstid av kreftene.

Vi forutsetter en blokk på 0,5 m³, med tetthet lik 2700 kg/m³, og med hastighet lik 5,4 m/s når den treffer vollen. Angrepspunktet til blokken i dimensjonerende tilfelle vil være med massesentrum i høyde 1,2 m ref. Tabell 14. Punktlast i vollen blir da omkring 120 kN.

8.5 Utførelse tiltak

For alle tiltak må de skredtekniske premissene dokumenteres slik at tiltaket utformes med effekt for å gi tilfredsstillende sikkerhet mot skred i bratt terreng. Dette må håndteres i detaljprosjektering. Alle tiltak er forutsatt å ha steil helling på støttside, min 3:1 eller brattere. Evt. sikringskonstruksjoner som ikke er standardiserte produkter, som eksempelvis mur eller voll må dokumenteres at de har tilfredsstillende motstand mot påkjenning fra skred slik at konstruksjonssikkerhet ivaretas.

8.6 Skog

Det er sett vekk fra eksisterende skog i de definerte skredscenarioene.

8.7 Vannhåndtering

Mulige sikringsløsninger er mur, skredvoll og fanggjerde på tvers av skredløpene, tilnærmet parallelt ny veglinje. Dette gjør at vannet i skredløpene og avrenning generelt må håndteres gjennom, eller rundt tiltakene. For fanggjerde vil det ved treff av jordskred være finere jordskredmasser, som slam og vann som passerer gjennom gjerdet. Det vil derfor være behov for å etablere en grøft på nedsida av tiltak som kan fange dette, se plassering i Figur 8. Det er utfordrende å si noe om nødvendig kapasitet til en slik grøft, men vi antar en grøft på 1 m dybde vil være tilstrekkelig. Antagelsen er basert på den relativt lave avsetningen per lengdemeter for tiltaket, gitt i kap.8.2.1.2. Grøft må også håndtere normal avrenningssituasjon.

I denne rapporten har det ikke blitt utført beregninger av dimensjonerende vannføring og løsning for vannhåndtering må avklares i detaljprosjekteringsfase.

8.8 Drift og vedlikehold

De anbefalte sikringstiltakene må vedlikeholdes for å opprettholde sin funksjon og dette er en forutsetning for tilfredsstillende sikkerhet. Vi viser til følgende regelverk med utgangspunkt i DiBKs veileder utbygging i fareområder (Direktoratet for byggkvalitet, 2022) og NVE sikringshåndbok (NVE, 2023) for forvaltning, drift og vedlikehold (FDV);

- Plan og bygningsloven (PBL08) §28-1: Før grunn kan bebygges skal det dokumenteres tilfredsstillende sikkerhet mot eksempelvis skred i bratt terreng. Dersom et sikringstiltak krever vedlikehold for at sikkerhetsnivået skal opprettholdes, må en løsning som sikrer framtidig vedlikehold være på plass for å kunne dokumentere tilfredsstillende sikkerhet mot skred i bratt terreng.
- Plan og bygningsloven (PBL08) §29-5: Tiltak skal prosjekteres og utføres slik at det blant annet sikres at ethvert tiltak får en forsvarlig og tilsiktet levetid. Tilrettelegging for drift og vedlikehold er nødvendig for å sikre at byggverket får forsvarlig og tilsiktet levetid.

- Plan- og bygningsloven (PBL08) §21-10: Dokumentasjon om byggverkets egenskaper som grunnlag for forvaltning, drift og vedlikehold skal foreligge før det kan gis ferdigattest og ansvarlig foretak har plikt til å utarbeide eller fremskaffe nødvendig dokumentasjon for driftsfasen. Dette følger også av Byggesaksforskriften (SAK10) §§ 8-2, 12-2, 12-3 og 12-4.
- Byggteknisk forskrift (TEK17) kapittel 4: Gir bestemmelser om FDV-dokumentasjon som gir tilstrekkelig informasjon for å kunne drifte byggverket med tekniske installasjoner optimalt.
- NS 3456 Dokumentasjon for forvaltning, drift, vedlikehold og utvikling for bygninger og tilhørende uteområder (FDVU-dokumentasjon): Gir anvisninger for hva som skal foreligge ved overtakelsestidspunktet. NS 3456 er tilpasset bygninger og bygd opp i samsvar med NS 3451 Bygningsdelstabell. NVE anbefaler at denne blir lagt til grunn så langt det passer for det aktuelle sikringstiltaket/byggverket.
- eventuelle krav definert i N200 eller andre relevante SVV håndbøker.

Vannhåndtering må dimensjoneres slik at det ikke er avhengig av hyppig drift og vedlikehold for å ha tilfredsstillende effekt som et sikringstiltak.

For fangvoll er det viktig at magasin for masseavlagring holdes fri for masser slik at full effektiv fangvollhøyde er tilgjengelig ved skredhendelse. Etter skredhendelser må avlagingsbassenget tømmes så snart som mulig og vollen må inspiseres for lokale skader.

Ved eventuell detaljprosjektering må krav til FDV fastsettes.

9 Anbefaling og konklusjon

Skred AS har utført en vurdering av faren for skred i bratt terreng av ny vegtrasé fra profilnummer 2930 til profilnummer 3490 opp mot gjeldende sikkerhetskrav iht. TEK17 § 7-3 andre ledd og N200:2024 der effekt av skog er sett vekk fra. For profilnummer 2930 til 3230 er det planlagt midlertidig sikring i byggefase, og for profilnummer 3050 til 3150 permanent sikring (utstrekning portal er fra profil 3020-3100). Strekning med profilnummer 2930-3230 har blitt vurdert opp mot sikkerhetsklasse S1 iht. TEK17, der nominell årlig sannsynlighet for skred ikke skal overskride 1/100. Strekning med profilnummer 3145 til 3490 har blitt vurdert opp mot krav i N200, der gitt ÅDT viser til at samlet nominell årlig sannsynlighet for skred ikke skal være større enn 1/50.

Våre vurderinger av skredfare i bratt terreng viser at vegtrasé har ikke tilfredsstillende sikkerhet mot skred i bratt terreng. Vi anbefaler følgende sikringskonsept slik at tilfredsstillende sikkerhet blir oppnådd:

For profilnummer til 2930 til 3230, sikring av påhogg, portalområde og deler av vegstrekning langs forskjæring:

- Midlertidig tiltak for profilnummer 2930 til 3230. For profilnummer 3050-3150 skal fanggjerde være permanent sikring slik at en oppnår noe overlapp mot vest fra påhuggsflate profilnummer 3020.
- Barriere som både kan håndtere steinsprang og jordskred.
- Foreslått tiltak er fanggjerde både for midlertidig og permanent tiltak, dette fordi bratt terreng gjør etablering av voll utfordrende.
- Lengde: total lengde ca. 300 m. Permanent del av fanggjerde 100 m.
- Høyde: For steinsprang minimum 3,5 m, for jordskred minimum 2,6 m.
- Skredlaster: minimum energikapasitet lik 550 kJ fra steinsprang, og minimum støttrykk på 173 kPa fra jordskredmasser.
- Avlagringskapasitet som kan fange opp minimum 450 m³ jordskredmasser. For steinsprangavsetninger forutsetter vi at fanggjerde renskes jevnlig.
- Grøft på nedstrøm side av fanggjerde som kan fange og til dels lede vekk vannrike skredmasser etter jordskredhendelser, og som kan håndtere normal avrenningssituasjon.

Profilnummer 3145 til 3315, permanent sikring:

- Barriere som kan håndtere både steinsprang og jordskred.
- Foreslått tiltak er fangvoll som overlapper med fanggjerde til profil 3150.
- Lengde 160 m.
- Høyde: For steinsprang minimum 3 m, for jordskred minimum 1,2 m.
- Skredlaster: minimum energikapasitet lik 100 kJ og punktlast lik 172 kN fra steinsprang, minimum støttrykk lik 79 kPa fra jordskredmasser.

- Avlagringskapasitet som kan fange opp minimum 470 m³.
- Overvannshåndtering rundt barriere.

Profilnummer 3305 til 3490, permanent sikring:

- Barriere som kan håndtere steinsprang
- Foreslått tiltak er mur på grunn av bratt terreng og bevaring av kulturlandskap som gjør etablering av voll utfordrende. Mur skal kunne tåle relativt store laster fra skred i bratt terreng, det vil derfor være krav til utforming av mur slik at den tåler dimensjonerende skredlaster.
- Lengde 185 m.
- Høyde: minimum 2,5 m for steinsprang.
- Skredlaster: minimum energikapasitet lik 30 kJ og punktlast på 120 kN fra steinsprang.
- Overvannshåndtering rundt barriere.

Disse sikringsløsningene vil gi tilfredsstillende sikkerhet mot skred i bratt terreng for sikkerhetskrav etter N200 og S1 etter TEK17 §7-3.

I tillegg må løsninger for vannhåndtering for tiltakene avklares, samt geotekniske vurderinger må dokumentere gjennomførbarhet.

Det er også gitt et rekkefølgekrav at sikring skal etableres før buk av riggområder, og at den generelle anleggsdriften må stoppe ved gitte terskelverdier for nedbør og vannmetting.

10 Videre arbeid

Det er behov for videre arbeid dersom man ønsker å gå videre med sikringstiltak for det vurderte området. Av skredfaglige vurderinger er det behov for å definere alle relevante skredtekniske premisser som må oppfylles for å ivareta sikkerhetskravet basert på tverrfaglige avklaringer og hensyn til andre fag. Det kan derfor være behov for å endre skredtekniske premisser ved senere tidspunkt.

Videre arbeid innebærer typisk:

Voller:

- Plassering og lengde må koordineres mot andre hensyn/tverrfaglige forhold.
- Fastsette skredtekniske premisser som høyde og lengde for endelig plassering og utforming samt skredlaster mot tiltak.
- Verifikasjon av at tiltaket ikke gir økt ulempe for omliggende områder
- Bestemme nødvendig FDV for å opprettholde sikkerhetsnivået.
- Dokumentere konstruksjonssikkerhet mot påkjenning fra skred og for konstruksjonen i seg selv gitt bratt støtside.

Fanggjerd mot steinsprang og jordskredgjerde:

- Plassering må koordineres mot andre hensyn og utførelse.
- Fastsette skredtekniske premisser som styrke, høyde og lengde for endelig plassering og utforming.
- Vurdere om flere lasttilfeller er aktuelle, for eksempel snøsig.
- Bestemme nødvendig FDV for å opprettholde sikkerhetsnivået.

For andre fag og tilstøtende arbeider, forventer vi innledningsvis behov for følgende videre arbeid:

- Eierforhold og bruksrett for aktuelle areal
- Koordinering mot annen infrastruktur
- Forhold til bestemmelser i reguleringsplan og kommunedelplan
- Påvirkning på naturmiljø og kulturminner
- Overvannshåndtering
- Fundamenteringsforhold og konstruksjonssikkerhet
- Geoteknisk stabilitet
- Materialvalg og massehåndtering
- Vurdering av anleggsteknisk gjennomføring
- Forvaltning, drift og vedlikehold
- Sikkerhet, helse og arbeidsmiljø (SHA) under utførelse

Disse punktene (listen er ikke uttømmende), og eventuelt andre uavklarte momenter, må følges opp videre i prosjektet gjennom detaljprosjektering.

11 Referanser

- Asplan Viak, 2023. INGENIØRGEOLOGISK RAPPORT TIL BYGGEPLAN FV 609, SKREDSIKRING HEILEVANG (versjon 3).
- Asplan Viak, 2022. REGULERINGSPLAN FV. 609 HEILEVANG SKREDVURDERING FOR OBJEKT OMFATTA AV TEK17 (versjon2).
- Asplan Viak, 2021. REGULERINGSPLAN FV.609 - HEILEVANG SKREDVURDERING I BRATT TERRENG. Skredvurdering for permanent veglinje og midlertidig anleggsgjennomføring.
- Direktoratet for byggkvalitet, 2024. Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning [WWW Document]. URL <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/7/7-3/>
- Direktoratet for byggkvalitet, 2022. Temaveileder: Utbygging i fareområder [WWW Document]. <https://dibk.no/saksbehandling-tilsyn-og-kontroll/temaveiledning-utbygging-i-fareomrader/>.
- ERA Geo, 2024a. 24035 RIG04 Vurderingsrapport Heilevang.
- ERA Geo, 2024b. 24035 RIG04 Vurderingsrapport.
- NGI, 2021. Jord- og flomskred. Klimaanalyse for bruk i skredfarekartlegging. NVE Ekstern rapport 11/2021.
- NGU, 2024. NGU InSAR [WWW Document]. URL <https://insar.ngu.no/>
- NVE, 2024a. Veileder for utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng [WWW Document]. URL <https://veileder-skredfareutredning-bratt-terreng.nve.no>
- NVE, 2024b. NVE Atlas [WWW Document]. URL <https://atlas.nve.no/>
- NVE, 2023. Sikringshåndboka- Skred i bratt terrenng.
- NVE, 2021a. Veileder 01/2021 - Veileder til vannressursloven og NVEs behandling av vassdrag- og grunnvannstiltak.
- NVE, 2021b. Rapport 9/2021 Bruk av RAMMS::DEBRISFLOW på kjente sørpeskredhendelser.
- RAMMS AG, 2024. RAMMS::ROCKFALL User Manual v1.8.0.
- SLF WSL, 2022. RAMMS::DEBRISFLOW User Manual v1.8.0.
- Statens vegvesen, 2024. N200 Vegbygging.
- Statens vegvesen, 2023. V139 Flom- og sørpeskred.

Statens vegvesen, 2018. N200 vegbygging (2018) [WWW Document]. URL <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/hb-n200-vegbygging-juli-2018.pdf> (accessed 8.9.24).

Suda, J., Hübl, J., Bergermeister, K., 2010. Design and construction of high stressed concrete structures as protection works for torrent control in the Austrian Alps, in: 3rd International Federation for Structural Concrete International Congress.

WSL, 2020. Practical guide for debris flow and hillslope debris flow protection nets.

Wyllie, D.C., 2014. ROCK FALL ENGINEERING: DEVELOPMENT AND CALIBRATION OF AN IMPROVED. Vancouver: THE UNIVERSITY OF BRITISH COLUMBIA.