

Steinsprangsimulering og vurdering av sikringstiltak Kverve

Supplerende notat til Skredfarevurdering Kverve industriområde og veglinjer

Revisjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent
J02	2025-08-13	Oppdaterte figurer med oppdatert veglinje (per 2025-06-30)	ErlAlv	OleBar	OleBar
J01	2025-07-08	For bruk	ErlAlv	OleBar	OleBar

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

2 Modellering

I tillegg til befaringsobservasjoner og som støtte til å vurdere utløpslengden av steinsprang er det utført modellering i programvaren RocFall fra leverandøren Rocscience. RocFall er et todimensjonalt statistisk analyseprogram fra Rocscience som simulerer steinsprang i fjellsider langs bestemte tverrprofil. Programvaren kan gi støtte til å vurdere blant annet på energi, hastighet, spranghøyde og utløpslengde av enkeltblokker som slippes fra et bestemt punkt i terrenget. Ved hjelp av statistiske variasjoner kan et antall steinblokker simuleres innenfor en variasjonsbredde, som gir en fordeling av ulike steinsprang [2].

Analysemetoden «Rigid Body» simulerer steinblokker med en bestemt form, volum og masse. Analysemetoden «Lump Mass» simulerer steinblokker som et punkt med en bestemt masse, uten å ta hensyn til form og volum.

2.1 Simulering av steinsprang

Det er utført simuleringer av steinsprang langs fire tverrprofiler, vist i Figur 2 og Figur 3. I hvert tilfelle er det simulert 1000 steinblokker langs en terrengprofil, og det er utført simuleringer både med eksisterende terreng og med veg langs fjellfoten. Med veg langs fjellfoten er terrenget vesentlig senket (lavere kotehøyde) i forhold til eksisterende terreng, med bergskjæringer med høyde på ca. 10-15 m. Planlagt industriområde nord for vegen ligger også lavere enn eksisterende terreng. Det er simulert med analysemetoden «Rigid Body», hvor blokkvolum og blokkform er valgt ut fra blant annet observerte sprekkeorienteringer og oppsprekingsgraden av bergmassen og observerte steinsprangblokker i terrenget. Generelt er det en del kantete blokker i området, som er noe avlange/rektangulære. Det er tatt ut tverrprofiler basert på en terrengmodell med 1 m oppløsning og prosjektert vegtrase og terrenginngrep. Tverrprofilene er forenklet med 90 %, det vil si at 90 % av punktene er tatt bort.

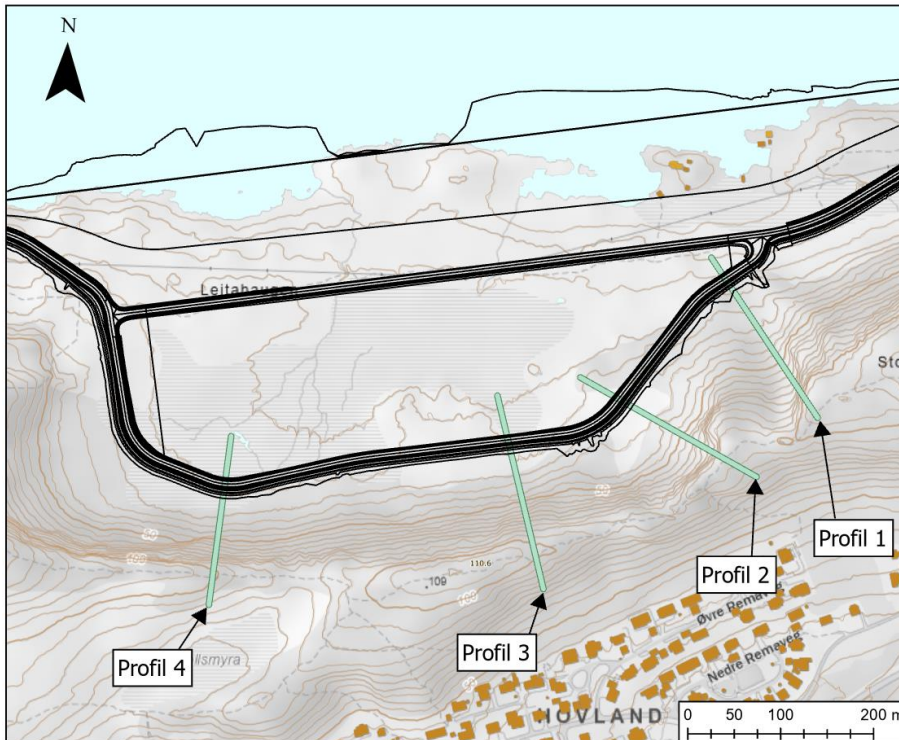
Tabell 1 og Tabell 2 oppsummerer valgte input-parametere for steinsprangsimuleringene som er utført. Figur 4, Figur 5, Figur 6 og Figur 7 viser dronebilder for de fire profilene hvor det er utført simuleringer. Tabell 1 Valgte input-parametere i RocFall.

Tabell 1 Valgte input-parametere i RocFall.

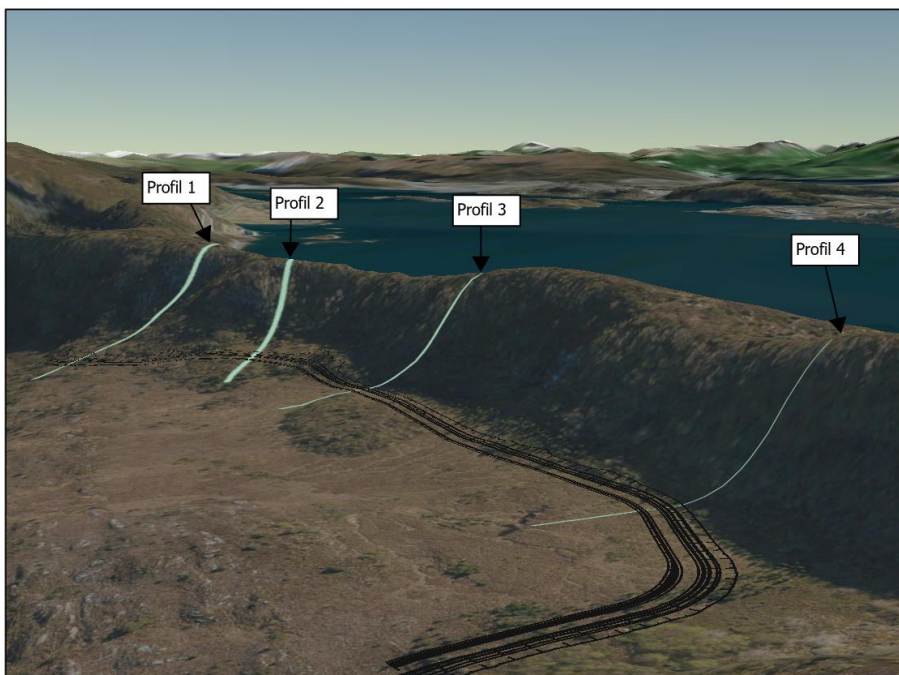
Inputdata:	Verdi:	Merknad:
Terrengmodell	1 m	Digital terrengmodell (DTM) fra nasjonal høydemodell [3].
Prosjektinnstilling	Rigid Body	Med «Tangential CRSP Damping».
Sampling Method	Monte-Carlo	Uten skalering.
Volum/masse	1 m ³ / 2700 kg	
Blokkform	Rektangel (5:6)	Kantete, stedvis noe avlange/rektangulære.
Antall simulerte steinblokker	1000 stk.	
Terreng-parametere	Se Tabell 2	
Skogeffekt	Nei	Lite eller ingen skog i området.

Tabell 2 Materialparameter i fjellsiden.

Parameter:	Farge:	Normal restitusjon:	Tangential restitusjon:	Dynamisk friksjon:	Rullefriksjon:
Berg/torv		0,50 (0,04)	0,85 (0,04)	0,50 (0,04)	0,15 (0,02)
Blokk/ur		0,32 (0,04)	0,82 (0,04)	0,50 (0,04)	0,30 (0,04)
Asfalt		0,40 (0,04)	0,90 (0,04)	0,50 (0,04)	0,10 (0,01)



Figur 2 De fire profilene hvor det er utført steinsprangsimulering i programvaren RocFall.



Figur 3 De fire profilene (grønne linjer) hvor det er utført steinsprangsimulering i programvaren RocFall, i tredimensjonalt flyfoto. Foreslått vegtrase langs fjellfoten i svart. Sett mot sørøst.



Figur 4 Dronebilde av profil 1 (grønn linje), sett mot øst/sørøst. Svart linje viser omtrentlig planlagt veglinje.



Figur 5 Dronebilde av profil 2 (grønn linje), sett mot øst/sørøst. Svart linje viser omtrentlig planlagt veglinje.



Figur 6 Dronebilde av profil 3 (grønn linje), sett mot øst/sørøst. Svart linje viser omtrentlig planlagt veglinje.



Figur 7 Dronebilde av profil 4 (grønn linje), sett mot sør/sørvest. Svart linje viser omtrentlig planlagt veglinje.

2.2 Resultater fra simuleringene

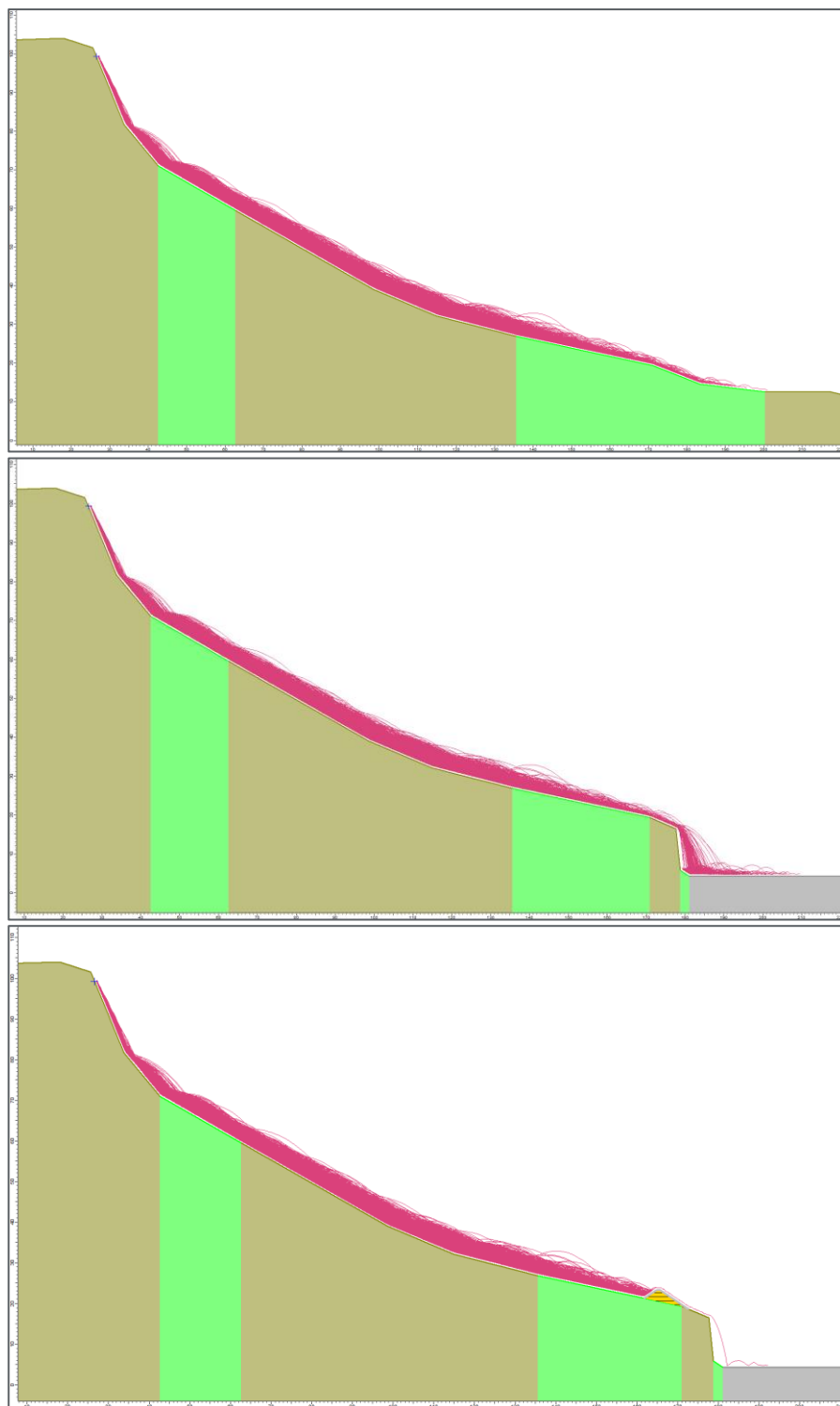
Figur 8, Figur 9, Figur 10 og Figur 11 viser resultatene fra simuleringene langs henholdsvis profil 1, 2, 3 og 4. Resultatene vises med eksisterende terreng og senket terreng med foreslått veg langs fjellfoten og bergskjæring. For profil 1 og 4 er det utført simuleringer med skredvoll. For profil 2 og 3 er det ingen eller så få steinblokker som treffer vegen og går forbi vegen, at det ikke vil være nødvendig med skredvoll.

Resultatene fra simuleringene antyder følgende:

- Profil 1 (Figur 8): Faren for steinsprang øker noe med senket terreng og vegen langs fjellfoten sammenlignet med eksisterende terreng, da utløp for steinsprangene inn mot industriområdet er ca. 10-15 m lenger. Ca. 28 % av steinsprangene vil treffe vegen, og ca. 6-7 % vil gå forbi vegen. Med en voll med høyde på 2 m (med skråninger med helning på 1:1,5 og vollkrone på 1 m) vil kun 1 simulering gå over vollen og treffe vegen, og ingen gå forbi vegen.
- Profil 2 (Figur 9): Faren for steinsprang er uendret med senket terreng og vegen langs fjellfoten sammenlignet med eksisterende terreng, da ingen av de simulerte steinsprangene vil treffe eller gå forbi vegen.
- Profil 3 (Figur 10): Faren for steinsprang øker noe med senket terreng og vegen langs fjellfoten sammenlignet med eksisterende terreng, da utløp for steinsprangene inn mot industriområdet er ca. 5-10 m lenger. Ca. 1-2 % av steinsprangene vil treffe og ca. 0,3 % vil gå forbi vegen.
- Profil 4 (Figur 11): Faren for steinsprang øker noe med senket terreng og vegen langs fjellfoten sammenlignet med eksisterende terreng, da utløp for steinsprangene inn mot industriområdet er ca. 10-15 m lenger. Ca. 21-22 % av steinsprangene vil treffe vegen og ca. 15-16 % vil gå forbi vegen. Med en voll med høyde på 3 m (med skråninger med helning på 1:1,5 og vollkrone på 1 m) vil ca. 3 % av steinsprangene treffe vegen og ca. 2 % gå forbi vegen.

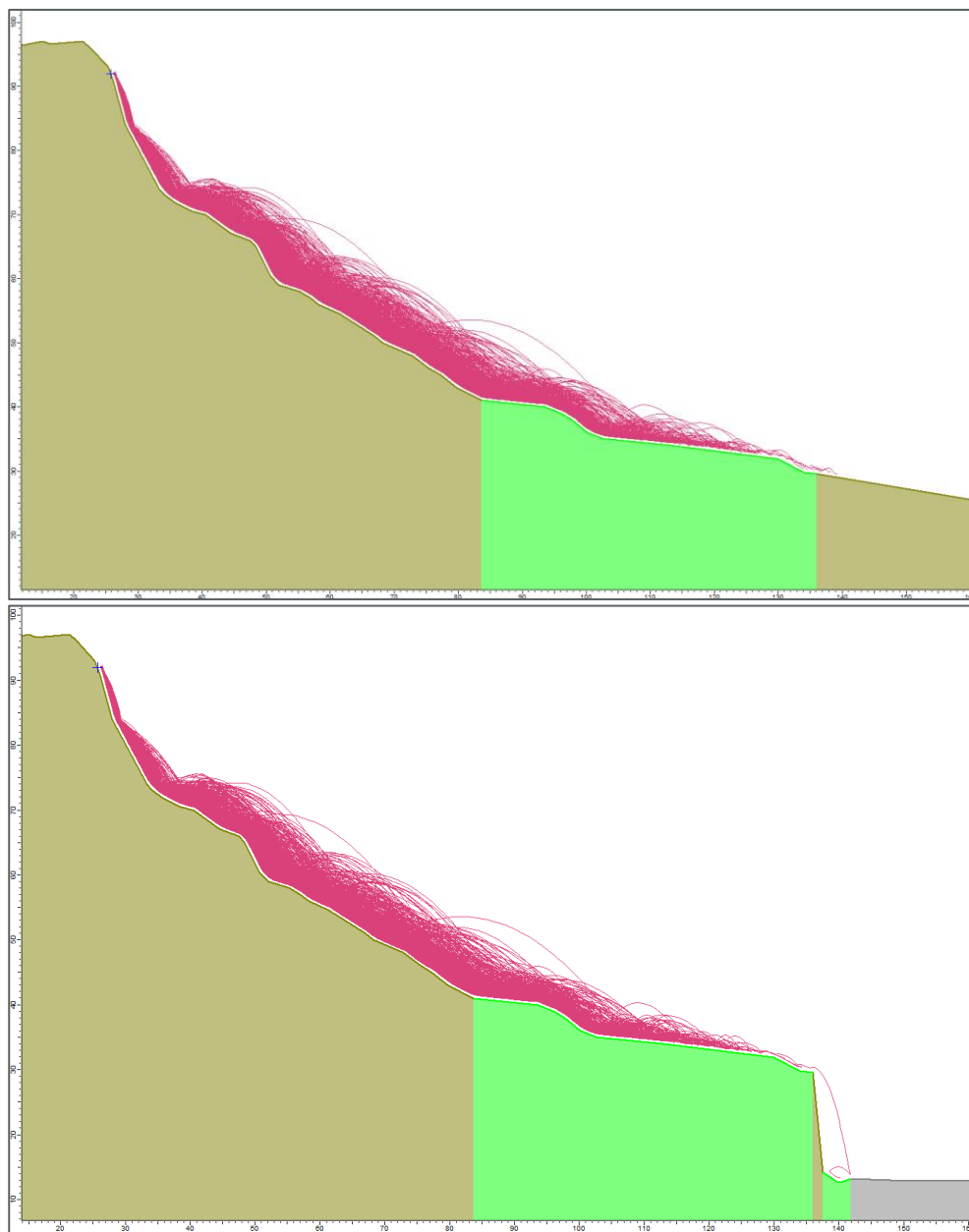
Resultatene antyder at flest steinsprang vil treffe og gå forbi vegen ved profil 1 og 4, og at få eller ingen steinsprang vil treffe eller gå forbi vegen ved profil 2 og 3. Resultatene antyder at en voll med høyde på 2 m vil stoppe de aller fleste steinsprangene ved profil 1 og en voll med høyde på 3 m vil stoppe de fleste ved profil 4.

2.2.1 Simuleringer langs profil 1



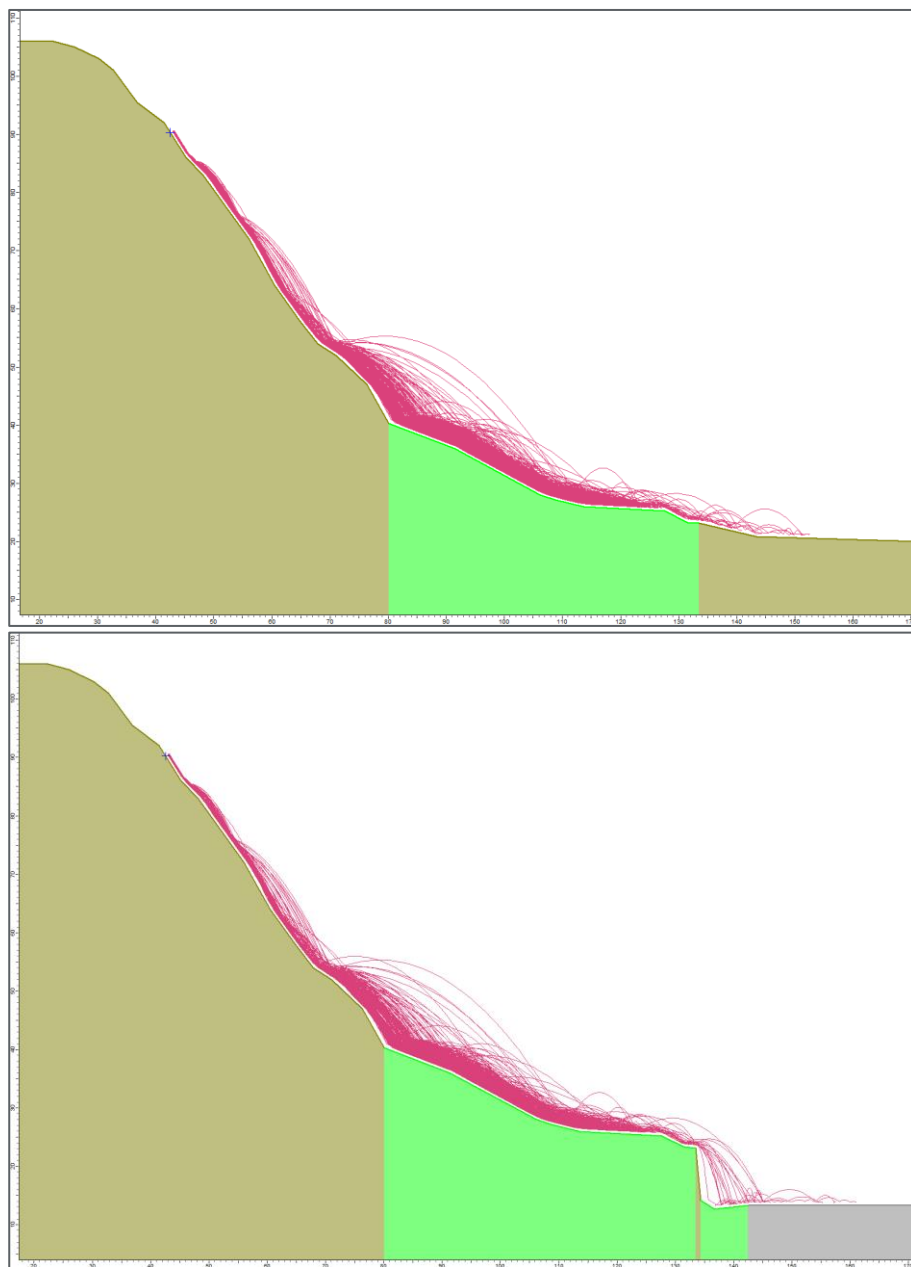
Figur 8 Resultat fra simuleringer langs profil 1 med henholdsvis eksisterende terreng, med senket terreng og veg langs fjellfoten og med en 2 m høy skredvoll (skråninger med helninger på 1:1,5 og vollkrone på 1 m).

2.2.2 Simuleringer langs profil 2



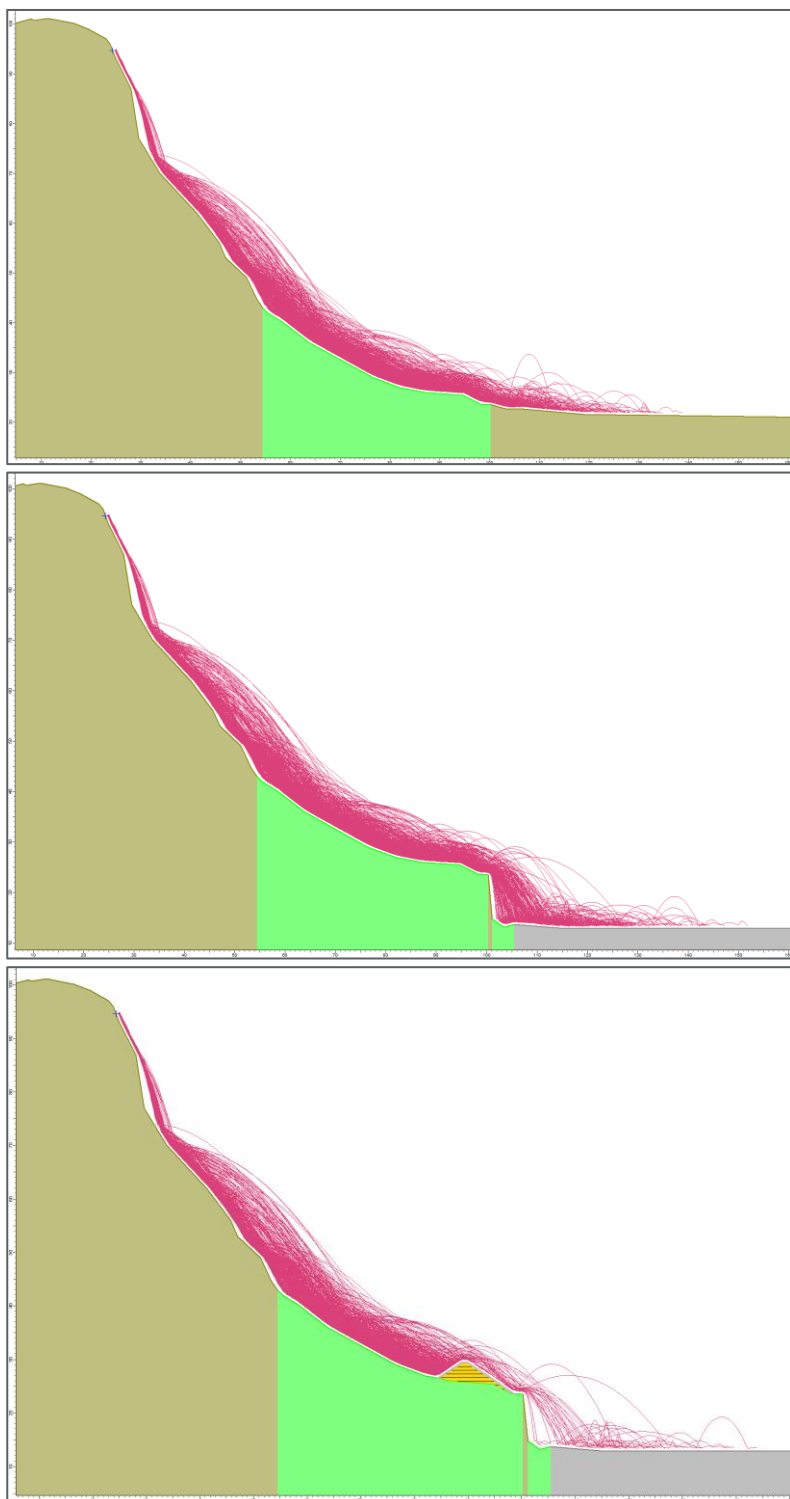
Figur 9 Resultat fra simuleringer langs profil 2 med henholdsvis eksisterende terreng og med senket terreng og veg langs fjellfoten.

2.2.3 Simuleringer langs profil 3



Figur 10 Resultat fra simuleringer langs profil 3 med henholdsvis eksisterende terreng og med senket terreng og veg langs fjellfoten.

2.2.4 Simuleringer langs profil 4



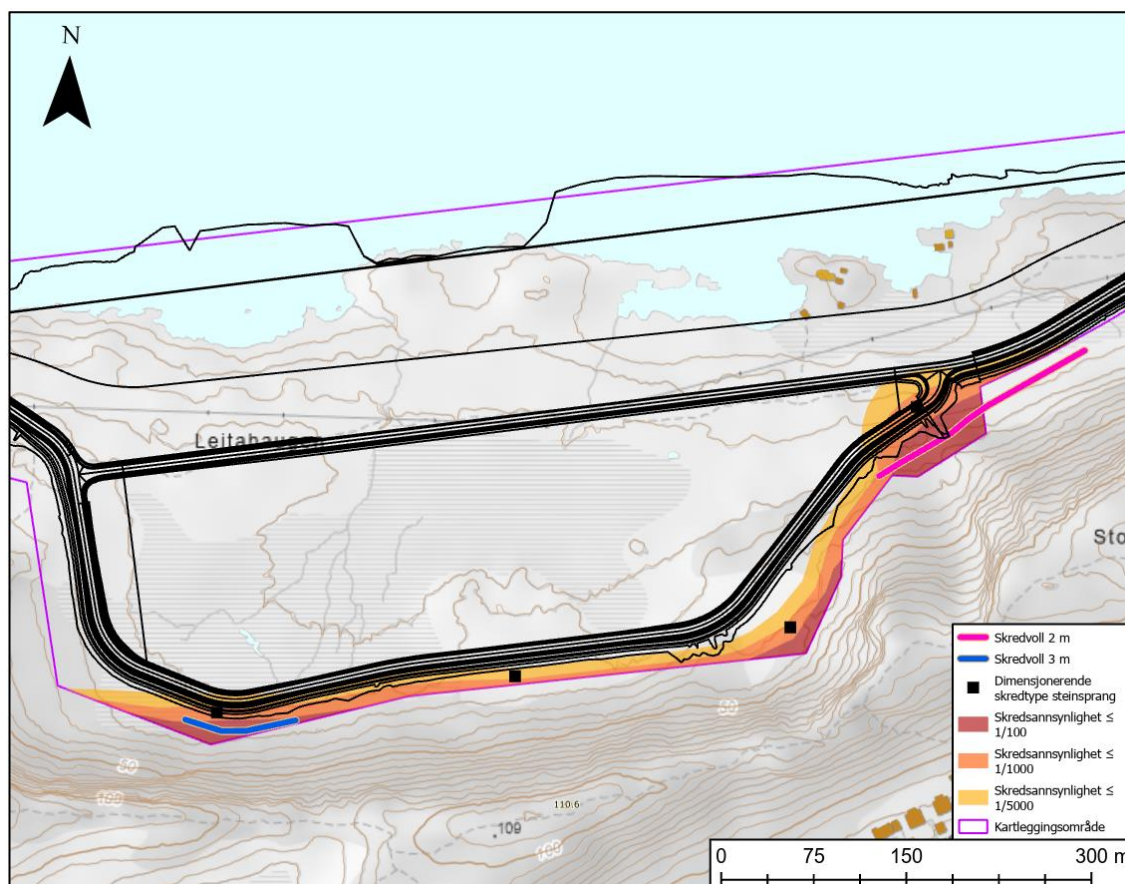
Figur 11 Resultat fra simuleringer langs profil 4 med henholdsvis eksisterende terreng, med senket terreng og veg langs fjellfoten og med en 3 m høy skredvoll (skråninger med helninger på 1:1,5 og vollkrone på 1 m).

3 Vurdering og anbefalinger

De aller fleste steinsprangene stopper før de treffer vegen ved profil 2 og 3, noe som gjør at sannsynligheten for at steinsprang skal treffe vegen og industriområdet ved disse områdene er svært lav. Omtrent $\frac{1}{4}$ av de simulerte steinsprangene vil treffe vegen ved profil 1 og 4, hvor en noe lavere andel vil gå forbi vegen og inn i industriområdet. Sannsynligheten er dermed vesentlig høyere for at steinsprang skal treffe vegen og industriområdet i disse områdene. Steinsprang vil ha ca. 10-15 m lengre utløp ved senket terreng og etablering av veg og bergskjæring sammenlignet med eksisterende terreng, noe som betyr at utarbeidet faresoner vil kunne forskyves inn mot industriområdet tilsvarende. Faresonene omtalt i rapport [1] er utarbeidet med utgangspunkt i eksisterende terreng.

Steinsprangsimuleringene antyder relativt begrenset energi like over foreslått vegtrase (maksimal energi på 217 kN ved profil 1 og 641 kN ved profil 4) og relativt begrensede spretthøyder. Skredvoller, med 2 m høyde ved profil 1 og 3 m høyde ved profil 4, vil redusere sannsynligheten betydelig for at steinsprang treffer vegen og går forbi vegen da de aller fleste steinsprangene vil stoppe i vollene med denne dimensjonen.

Figur 12 viser anbefalt omtrentlig plassering av skredvoller med 3 m høyde i vestlig del og 2 m høyde i østlig del. Skredvollen i østlig del er forlenget østover for å følge faresonene. Anbefalte skråninger på vollen er 1:1,5 med en vollkrone på 1 m, men brattere støtside vil øke kapasiteten til vollen. Vollen kan også ha slakere leside, uten at dette påvirker kapasiteten.



Figur 12 Vegtraseen med anbefalt plassering av skredvoll, som vil redusere sannsynligheten for steinsprang på vegen og inn mot industriområdet betydelig. Faresoner for skred og kartleggingsområdet er også tatt med i kartet.

3.1 Restrisiko

Simuleringene gir ikke et eksakt bilde av virkeligheten, men gir et inntrykk av sannsynligheten for skred. Tolkningen av resultatene vil være et resultat av både modellering og observasjoner i felt. Parametere benyttet i modelleringen gjenspeiler trolig ikke virkeligheten og resultatet blir derfor ikke helt reelt. Nøyaktig utløpslengde kan dermed bli både noe kortere eller lenger enn modellert.

4 Detaljprosjektering

Foreliggende notat er ikke detaljprosjektering av sikringstiltak, men heller forslag til sikring, på nivå med mulighetsstudie/forprosjekt. Fanggjerd er også en mulig sikringsmetode, men vil utgjøre en større kostnad. En skredvoll må detaljprosjekteres i henhold til regler og krav gitt av blant annet SAK10 og TEK17 [4]. Endelig plassering, lengde og høyde på en voll (og eventuelt alternative tiltak) må fastsettes og dimensjoneres når endelig plassering av reguleringsplanområde, vegtrase og tiltak er fastsatt. Det samme gjelder vollens oppbygging. Tiltak i sikkerhetsklasse S3 i henhold til TEK17, hvor nominell årlig sannsynlighet ikke skal være større enn 1/5000, kan enkelte steder medføre større og mer omfattende sikringstiltak da det må tas høyde for svært sjeldne og store steinsprang med lange utløpslengder. Flytting av vegen lenger bort fra bergskjæringen og fjellfoten med etablering av bred grøft vil være et avbøtende tiltak og redusere sannsynligheten for steinsprang noe.

Nødvendig vollhøyde avhenger også av vollens utforming, hvor en bratt støtside gir økt fangeeffekt. Skredvoller er store og tunge konstruksjoner, og krever normalt geoteknisk prosjektering der det må vurderes stabilitet av selve vollen, bakken under og området rundt. En skredvoll vil kunne endre dreneringsforholdene i området, og det er derfor viktig at det prosjekteres gode løsninger for håndtering av overvann. Nødvendig areal for vedlikehold av vollen er også viktig.

5 Referanser

- [1] Norconsult Norge AS, «Skredfarevurdering Kverve industriområde og veglinjer,» Norconsult Norge AS, 2025.
- [2] «RocFall2,» Rocscience, [Internett]. Available: <https://www.rocscience.com/software/rocfall>.
- [3] Kartverket, «Høydedata,» [Internett]. Available: <https://hoydedata.no/LaserInnsyn2/>.
- [4] Staten vegvesen, «Håndbok N200 Vegbygging,» 2024. [Internett]. Available: <https://store.vegnorm.vegvesen.no/n200>.
- [5] «NVE digital veileder - Sikringshåndboka,» NVE, 2024. [Internett]. Available: <https://veiledere.nve.no/sikringshandboka/>.