

Oppdragsgiver	Navn Ål kommune	Kontaktperson Svein Furuhaug
Oppdrag	Nummer og navn 23458 Ål, Breie/Tune - (HP 22584) Gjennomgang av bekkeløp og skredfarevurdering med prosjektering av sikringstiltak for flom og skred	Oppdragsleder Henrik Langeland
Dokument	Nummer 23458-04-1 Utført av Henrik Langeland, Ingvild Brekke	Dato 2024-06-21 Kontrollert av Hallvard Skaare Nordbrøden, Ingrid Alne, Lars Staver Eid

Versjon	Dato	Utført	Kontroll	Beskrivelse
1	2024-06-21	HL, IB	HSN, IA, LSE	Original

Forprosjekt sikringstiltak mot skred for Tune, Ål kommune

Sammendrag

Skred AS har på oppdrag fra Ål kommune utredet sikkerhet mot skred i bratt terreng for Området Tangeviki til Skottebøl-Noss i Ål kommune i rapport 23458-01-2. Utredningen følger kravene om sikkerhet mot skred i bratt terreng iht. TEK17. Flere bolighus tilfredsstiller ikke sikkerhetskravene og Ål kommune ønsker at Skred AS vurderer sikringstiltak mot skred i bratt terreng.

Etter møte med Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) har Ål kommune avklart at det skal prioriteres skredsikring for Klyvsetvegen 9. I en innledende mulighetsstudie for skredsikring av Klyvsetvegen 9, vurderte Skred AS om det også kan være hensiktsmessig at flere bolighus sikres samlet ved ett større tiltak mot skred. Det ble imidlertid vurdert som mest hensiktsmessig å kun sikre med lokalbarriere for de objektene som ønskes sikret.

På bakgrunn av dette ønsker Ål kommune å gå videre med forprosjekt for sikring mot skred i bratt terreng for Klyvsetvegen 9. Boligen skal oppnå sikkerhet mot skred i bratt terreng etter sikkerhetsklasse S2 i TEK17, nominell årlig sannsynlighet for skred skal dermed være lavere

enn 1/1000. Utredningen skal brukes som grunnlag til søknad om midler til detaljprosjektering og utførelse av tiltaket fra NVE.

Det vurderes at følgende tiltak er nødvendig for å oppnå tilfredsstillende sikkerhet mot skred i bratt terreng:

- Vannhåndtering der Tunebekken krysser Klyvsetvegen (pkt. 2A og 2B)
- Fangvoll ved Klyvsetvegen 9 og overvannshåndtering rundt fangvoll
- At skog i påvirkningsområdet båndlegges for flatehogst, med forutsetning om at skogen skjøttes for å opprettholde dagens effekt.

Det er anslått at sikringskonseptet vil ha en entreprisekostnad på rundt 5,8 millioner kroner (eks. mva.). Vi har videre forutsatt en kostnad for planlegging, prosjektering og byggeledelse lik 8 % av entreprisekostnad. Total prosjektkostnad i 2024-pris vurderes å være rundt 6,4 millioner kroner (eks. mva.).

Innledende geotekniske vurderinger konkluderer med at anbefalt sikringstiltak anses å være gjennomførbart, men det er usikkerhet rundt jordparametere, og videre arbeid må omfatte grunnundersøkelser for å redusere usikkerhet.

Innhold

1	Innledning	5
1.1	Bakgrunn	5
1.2	Formål med rapporten	5
1.3	Sikringsobjekt	5
1.4	Mulighetsstudie	6
2	Grunnlag	8
2.1	Tidligere vurderinger	8
2.2	Eksisterende faresoner	8
2.3	Eksisterende sikringstiltak	8
2.4	Feltbefaring	8
2.5	Annet grunnlag	8
3	Premisser for planlegging av sikring mot skred i bratt terreng	10
3.1	Regelverk	10
3.1.1	Plan og bygningsloven	10
3.1.2	Vannressursloven, inngrep i vannveier	11
3.1.3	Granelova, fare for økt ulempe på omliggende områder	11
3.2	Benyttede håndbøker, veiledere og retningslinjer	12
3.3	Føringer fra oppdragsgiver	12
3.4	Målsetning for sikring	12
3.5	Andre relevante premisser	12
3.6	Begrensninger og forbehold	13
4	Områdebeskrivelse	14
4.1	Topografi og beskrivelse av området	14
4.2	Grunnforhold	15
4.3	Hydrologiske forhold	16
4.4	Klimaanalyse	16
4.4.1	Klimadata for skredhendelse i 1977	16
4.5	Skog	18
4.6	Eksisterende tiltak i området	19
4.6.1	Klyvsetvegen	19
4.6.2	Sikringstiltak	19
4.7	Befaringsobservasjoner	19
5	Tidligere skredhendelser	24
5.1	Skredhendelse mot Klyvsetvegen 9 og 15 i 1977	26
5.2	Skredhendelse mot Klyvsetvegen 9 og 15 i 2023	27
5.3	Tilbakeberegning av skredhendelser	34
5.3.1	Observasjoner	34
5.3.2	Terrengmodell	35
5.3.3	Modellering	38

5.4	Vurdering av nominell årlig sannsynlighet tidligere hendelser	42
6	Skredscenario.....	44
6.1	Metodikk	44
6.2	1/1000	44
6.2.1	Scenario	44
6.2.2	Modellering	44
6.2.3	Resultater	46
7	Aktuelle sikringstiltak	49
7.1	Overordnet vurdering av sikring	49
7.2	Objektsikring i eksisterende bygg	49
7.3	Jord- og flomskrednett	50
7.4	Skredvoll	50
7.4.1	Avklaring mulige volltype	51
7.4.2	Sikring ved fangvoll	51
7.4.3	Utførelse	56
7.5	Vannhåndtering og erosjonssikring	58
7.5.1	Innledning	58
7.5.2	Sikkerhetsnivå	58
7.5.3	Vannmengder	59
7.5.4	Stikkrenner ved 2A og 2B	60
7.5.5	Grøft for avrenning fra fangvoll	60
7.6	Skog	62
7.7	Oppsummering sikringskonsept og restrisiko	62
7.8	Drift og vedlikehold	63
8	Innledende kostnadsoverslag	65
9	Konklusjon	67
10	Referanser	68

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng for Tune viser at Klyvsetvegen 9 (bolighus) ikke har tilfredsstillende sikkerhet mot skred i bratt terreng (Skred AS, 2024a), og ligger i faresone med nominell årlig sannsynlighet $\geq 1/100$. Jord- og flomskred er dimensjonerende skredtype.

Ål kommune ønsker å få utredet et sikringskonsept som kan sikre Klyvsetvegen 9 mot skred i bratt terreng. Boligen skal oppnå sikkerhet mot skred i bratt terreng etter sikkerhetsklasse S2 i TEK17, nominell årlig sannsynlighet for skred skal dermed være lavere enn $1/1000$.

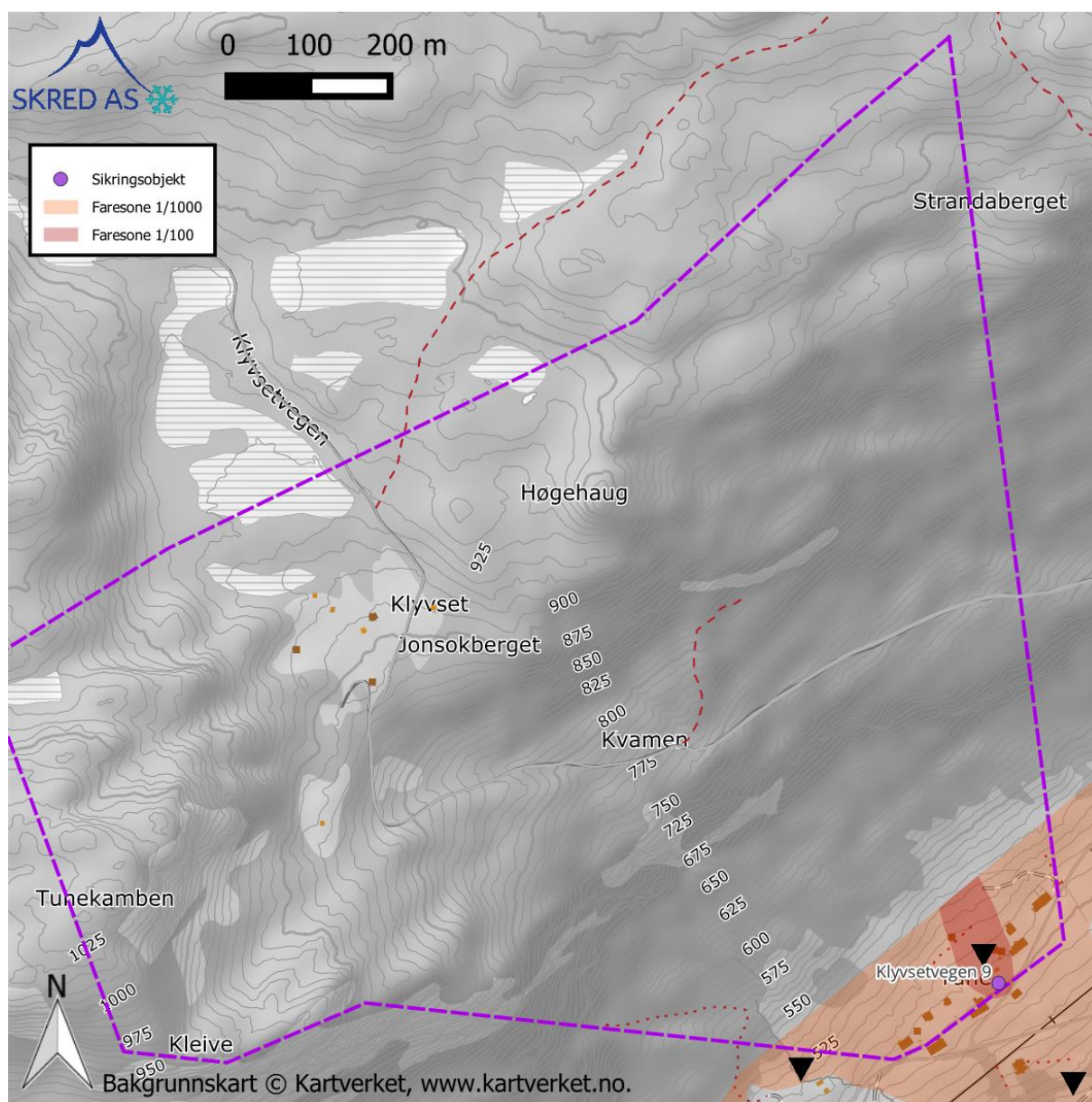
1.2 Formål med rapporten

Denne rapporten er et forprosjekt for sikring mot skred i bratt terreng for Klyvsetvegen 9. Rapporten skal avklare skredtekniske premisser for sikring, vurdering av gjennomførbarhet og kostnadsestimat for detaljprosjektering og utførelse av sikring til sikkerhetsnivå S2 etter TEK17.

1.3 Sikringsobjekt

Klyvsetvegen 9 er angitt som sikringsobjekt i Figur 1. Det er ikke angitt sikringsområde siden det kun er bolighuset som skal sikres mot skred i bratt terreng og ikke det resterende del av gårdstunet.

Påvirkningsområde er definert som det arealet som kan gi skred direkte mot sikringsobjektene (Figur 1). Det kan skje prosesser også i øvrige deler av nedbørfeltet som er relevant for skredvurderingen, f.eks. flom som kan utløse andre skred. For bedre lesbarhet på kart både i figurer og i vedlegg er imidlertid en del av påvirkningsområdet snevret inn i forhold til nedbørfeltet, slik at det bare er de områdene som gir skred direkte inn i kartleggingsområdet som er vist som påvirkningsområde.



Figur 1: Sikringsobjekt og påvirkningsområde med lilla stiplet linje.

1.4 Mulighetsstudie

Utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng for Tune viser at flere bolighus ikke har tilfredsstillende sikkerhet mot skred i bratt terreng (Skred AS, 2024a) utover Klyvsetvegen 9. Tunevegen 68, 70 og 72, samt Klyvsetvegen 15, 28, 30 og 36 ligger alle i faresone med nominell årlig sannsynlighet $\geq 1/1000$ (Skred AS, 2024a).

I en innledende mulighetsstudie for sikring mot skred i bratt terreng, vurderte Skred AS om det kan være hensiktsmessig at flere bolighus på Tune sikres samlet ved ett større sikringstiltak. Vurderingene ble gjennomgått med Ål kommune i møte 2024-05-06 og konkluderte at det er mest hensiktsmessig å sikre mot skred i bratt terreng ved lokalbarriere, det vil si sikring kun for de enkelte objektene (bolighusene) som ønskes sikret. Å bygge tiltak for vannhåndtering (Skred AS, 2024b), vil redusere utløsningssannsynlighet, men vurderes

ikke å være tilstrekkelig som eneste tiltak for ønsket oppnådd sikkerhetsnivå. Det anbefales likevel å være en del av den totale sikringsløsningen.

På bakgrunn av dette ønsket Ål kommune å gå videre med sikring mot skred i bratt terreng for Klyvsetvegen 9.

2 Grunnlag

2.1 Tidligere vurderinger

Etter ekstremværet «Hans» ble det igangsatt utredning av sikkerhet mot skred (Skred AS, 2024a) og kartlegging og vurdering av kritiske punkt med hensyn på flomfare og forslag til tiltak (Skred AS, 2024b). Følgende grunnlag er benyttet for vurdering av mulige sikringstiltak;

- Utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng for Breie, Tune og Skottebøl (Skred AS, 2024a). Denne rapporten viser også til to utredninger av sikkerhet mot skred i bratt terreng like øst og vest for bolighusene som vurderes.
- Tiltaksvurdering for bekker og flomveier for Breie, Tune, Skottebøl-Noss (Skred AS, 2024b).

2.2 Eksisterende faresoner

Utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng fra Skred AS (Skred AS, 2024a) ligger til grunn og viser at bolighus Klyvsetvegen 9 ligger i faresone med nominell årlig sannsynlighet $\geq 1/100$, mens Tunevegen 68, 70 og 72, samt Klyvsetvegen 15, 28, 30 og 36 ligger i faresone med nominell årlig sannsynlighet $\geq 1/1000$ (Figur 1).

I den overliggende fjellsiden for sikringsobjektene er det også gjennomført en kartlegging og vurdering av kritiske punkter med hensyn på flomfare (Skred AS, 2024b). Vurderingen har også foreslått tiltak, som skal dimensjoneres for en fremtidig 200-årsflom.

2.3 Eksisterende sikringstiltak

Det er ikke registrert tiltak for sikring mot skred i bratt terreng mot sikringsobjektene i NVE Atlas (Skred AS, 2024a).

Grunneiere for Klyvsetvegen 9 og 15 har imidlertid bygget to mindre voller rett over bolighusene, etter jordskredet som gikk mot, og delvis over gårdstunene under «Hans». Disse er tegnet inn i registreringskart i rapport fra Skred AS (Skred AS, 2024a). Vollene er så vidt oss bekjent bygget av stedegne masser (skredmateriale og morenemateriale) av grunneier selv, for å lede skredmasser fra ev. nye skred vekk fra bebyggelse på gårdstunet. Vollene er ca. 3 meter høye, og hhv. 25 m og 50 m lange.

2.4 Feltbefaring

Befaring i området er gjennomført i flere omganger. Av Henrik Langeland og Kalle Kronholm, med flere fra Skred AS, 13 september 2023.

Henrik Langeland og Kalle Kronholm gjennomførte også befaring for Klyvsetvegen 9 den 02.05.2024.

2.5 Annet grunnlag

Vi viser til Skred AS utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng for annet relevant grunnlag som er benyttet, geologiske kart, flyfoto og data om skog (Skred AS, 2024a). Etter Hans i august 2023 er terrenget i området skannet på ny mellom 13.09.2023 og 09.10.2023. Den nye digitale terrengmodellen ble publisert 04.01.2024 og har oppløsning på 0,25 m.

Det er også utført innledende geotekniske vurderinger for anbefalt sikringstiltak. Dette er rapportert i eget notat fra Romerike Geoteknikk AS (Romerike Geoteknikk AS, 2024), 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.

3.1 Regelverk

3.1.1 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.»

3.1.1.1 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 S2 defineres for eksempelvis for bolighus og fritidsboliger, med maksimum 10 boenheter og personopphold inntil 25 personer.

Etter TEK17 §7-3 annet ledd: «Sikkerhetskravene i annet ledd kan oppnås enten ved å plassere byggverket utenfor området, slik at sannsynligheten for skred er mindre enn minstekravet i forskriften, eller ved sikringstiltak som reduserer sannsynligheten for skred mot byggverket og tilhørende uteareal, eller ved å dimensjonere og konstruere byggverket slik at det tåler belastningene et skred kan medføre.» og «For bygninger som inngår i sikkerhetsklasse S2 kan kravet til sikkerhet for tilhørende uteareal reduseres til sikkerhetsnivået som er angitt for sikkerhetsklasse S1 (1/100). Dette fordi eksponeringstiden for personer, og dermed faren for liv og helse, normalt vil være vesentlig lavere utenfor bygningene.»

Foruten kravene gitt i TEK17 §7-2 og §7-3 har vi lagt til grunn DiBK temaveileder *Utbygging i fareområder* (Direktoratet for byggkvalitet, 2022) for arbeidene.

3.1.1.2 Valg av sikkerhetskrav etter TEK17 §7-3

Sikringsobjektene er bolighus, og skal tilfredsstillе sikkerhet mot skred i bratt terreng for sikkerhetsklasse S2. Det vil si at største tillatte nominelle årlige sannsynlighet for skredskader av betydning er 1/1000.

3.1.1.3 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 prosjekteringsfase.

3.1.1.4 Byggesaksforskriften SAK10

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

3.1.2 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 hvis tiltak i vannveier blir aktuelt. *NVE veileder 1/2021 Veileder til vannressursloven og NVEs behandling av vassdrags- og grunnvannstiltak* (NVE, 2021) kan brukes for å vurdere om det er behov for konsesjonssøknad. Det er også et krav om å beholde kantvegetasjon i vassdrag.

3.1.3 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 omkring 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, 2023a)
- NVE veileder for utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng (NVE, 2024a)
- Statens vegvesen normal V139 (Statens vegvesen, 2023)

For vurderinger og ved dimensjonering av sikringstiltakene har vi 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

I en innledende studie for sikring mot skred i bratt terreng for Klyvsetvegen 9, ønsket Ål kommune at det ble vurdert om det kan være hensiktsmessig at flere bolighus ble sikret samlet ved ett større tiltak mot skred. Det ble derfor gjort innledende vurderinger om Tunevegen 68, 70 og 72, samt Klyvsetvegen 9, 15, 28, 30 og 36 kan inngå i en samlet sikringsløsning.

Det ble imidlertid vurdert som mest kostnadseffektivt å sikre med barriere mot skred i bratt terreng kun for de enkelte objektene (bolighusene) som ønskes sikret. Ål kommune ønsker derfor at Klyvsetvegen 9 skal prioriteres for skredsikring, ved en barriere mot skred i bratt terreng som sikringstiltak.

3.4 Målsetning for sikring

NVE sikringshåndboka definerer følgende for fremtidig sikkerhetsnivå (NVE, 2023a):

For eksisterende bebyggelse kan målet være å forbedre sikkerheten for et definert område. Dette betyr at det kan velges et annet sikkerhetsnivå enn i kravene i TEK17 §7-3, som for eksempel 1/333. Det er viktig å være klar over at dette vil legge begrensinger på fremtidig utbygging. Derfor velges det ofte å forholde seg til kravene i TEK17 §7-3.

Vi har avklart med Ål kommune at sikringstiltak skal føre til at sikringsobjekt oppnår sikkerhetsnivå S2 etter TEK17 gitt dagens skogsforhold.

3.5 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.

3.6 Begrensninger og forbehold

Rapporten tar utgangspunkt i utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng (Skred AS, 2024a), der dimensjonerende skredtype for Klyvsetvegen 9 er jord- og flomskred gitt dagens forhold. Dette innebærer at vi kun vurderer sikring mot jord- og flomskred for sikkerhetskrav S2 etter TEK17 og forutsetter at dagens situasjon opprettholdes, eksempelvis at den skogen som er i fjellsiden i dag blir værende. Dersom forholdene endres fra dagens situasjon, vil vurdering av skredsikring måtte endres.

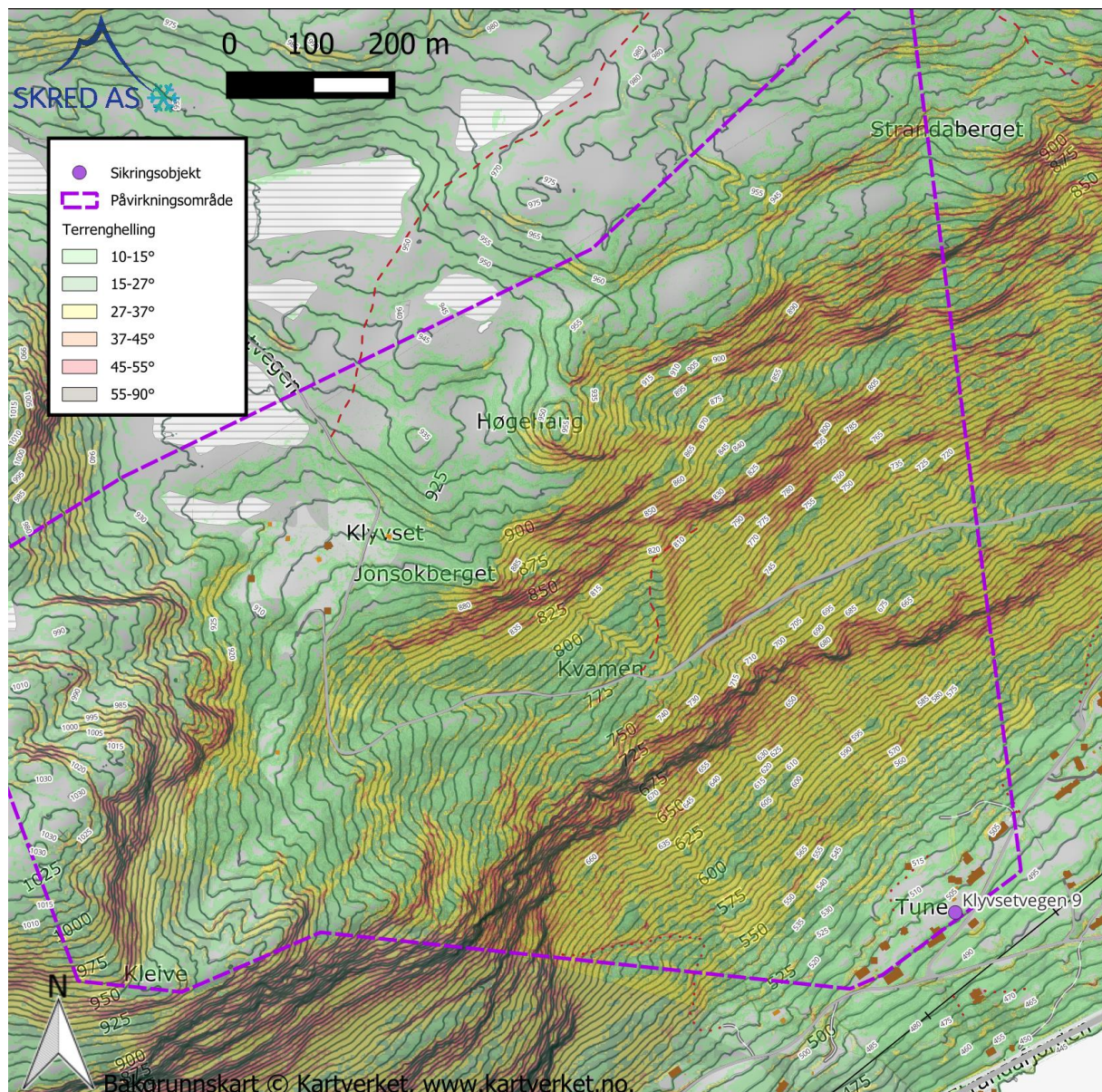
Vurderingen omhandler skredtekniske forhold for sikringsløsningene. Det kan imidlertid være tverrfaglige forhold, eksempelvis relevante for gjennomførbarhet av sikringstiltak, som ikke Skred AS har hensyntatt. Dersom slike forhold blir gjort kjent kan det være behov for å revidere vurdering av mulige sikringstiltak. Det er også gjennomført innledende geotekniske vurderinger for vurdering av gjennomførbarhet av Romerike Geoteknikk AS (Romerike Geoteknikk AS, 2024). Vurderingene konkluderer med at anbefalte sikringstiltak anses å være gjennomførbare, men det er usikkerhet rundt jordparametere, og videre arbeid må omfatte grunnundersøkelser for å redusere usikkerhet.

Rapporten er ikke å anse som en prosjektering av skredsikring, men er et forprosjekt for sikring basert på skredtekniske premisser. I prosjekteringsfasen må løsningene detaljeres ytterligere. 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

4.1 Topografi og beskrivelse av området

Sikringsobjektet Klyvsetvegen 9 ligger på omtrent 501 moh. i den sørøstvendte fjellsiden langs Strandafjorden, 4,5 km i luftlinje fra Ål sentrum. Den sørøstvendte fjellsiden løper fra Strandafjorden på 444-445 moh. og opp til Tune kamben/Høgehaug/Strandaberget rundt 950-1025 moh. (Figur 2 og Figur 3).



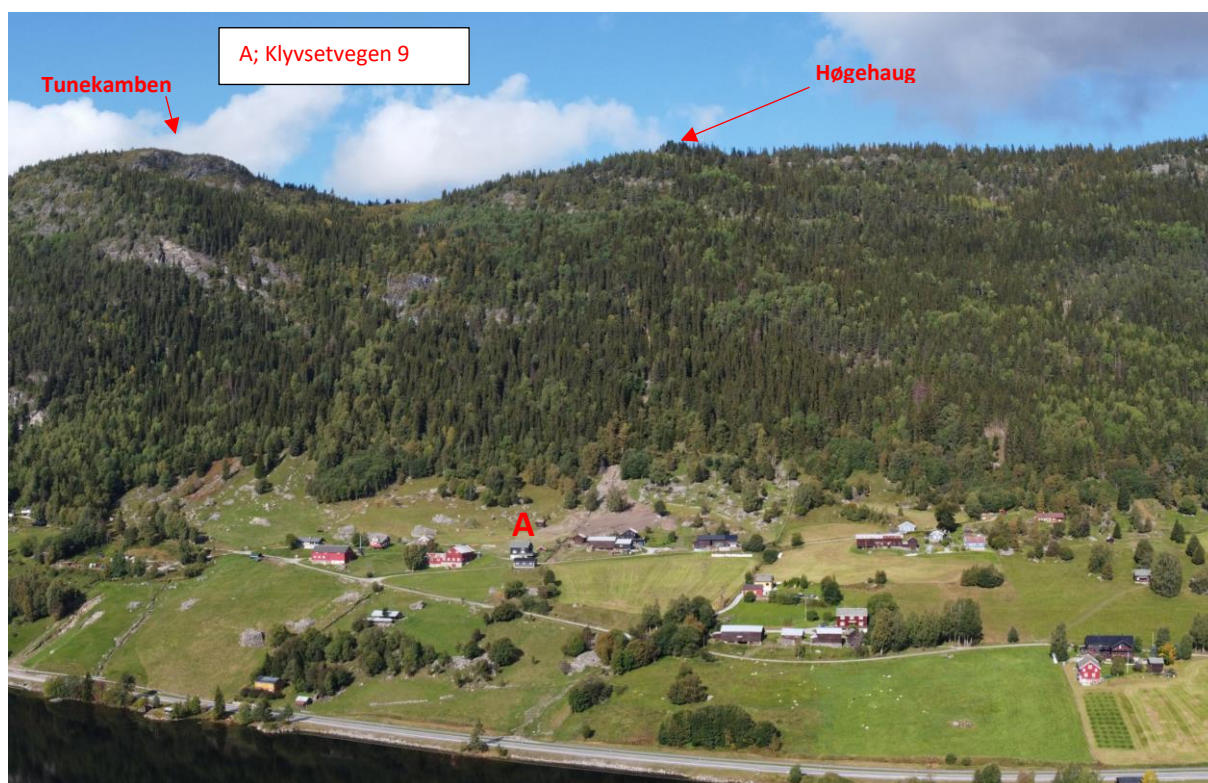
Figur 2: Terrenghelling i fjellside over sikringsobjektet.

Ved sikringsobjektet er terrenget slakt, mindre enn 20 grader terrenghelling, men fra ca. 550 moh. og opp mot Klyvsetvegen ved 750 moh. er terrenget bratt, med et dominerende klippeparti mellom 650-750 moh. Mellom sikringsobjektet og klippepartiet er det noen mindre topografiske elementer i løsmassedekket som forsenkninger og rygger, men

terrenget er hovedsakelig jevnt og følger retningen til dalsiden. Det er ikke utpreget ravinert terreng, som kunne ha indikert hyppig erosjon eller skred i løsmassedekket.

Klyvsetvegen går i retning sørvest-nordøst gjennom fjellsiden (ca. 600-850 moh.), med fall mot nordøst. I nordøstlig del av fjellsiden skjærer veien gjennom bratt terreng med fall mot sørøst, mens i sørvestlig del av fjellsiden går veien i slakere terreng og følger rygg og forsenkning. Veien svinger mot nord fra ca. 850 moh. og går opp mot Klyvset. Mellom klippepartiet ved 650-750 moh. og Klyvsetvegen er det renneformasjoner i løsmassedekket.

Over Klyvsetvegen fortsetter terrenget bratt opp til terrenget slaker ut ved Høgehaug ca. 925 moh. Rett over Klyvsetvegen er det noen topografiske elementer i løsmassedekket, som forsenkninger og rygger, og fra 800-825 moh. følger noen bratte klippeparti med flatere hyller mellom.



Figur 3: Oversiktsbilde sikringsobjekt og overliggende fjellside. Klyvsetvegen går i tett skog og er vanskelig å se, men skredløpet fra Hans er tydelig over Klyvsetvegen 9.

4.2 Grunnforhold

Det vises til utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng kapittel 2 og kapittel 6 for overordnet beskrivelse (Skred AS, 2024a) basert på NGU kartlegging i 1:250 000.

Fra befaring for utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng er det gjort følgende observasjoner (Skred AS, 2024a) av løsmassedekket over sikringsobjektene;

«Mye blokk i overflaten. Vi er usikre på om det er blokkrik morene eller skredmasser, men tolker det som at begge prosesser har bidratt til løsmassene i området. Mye blokk er ryddet på grunn

av beite, og det er store rydningsrøyser. Om røysene er tilfeldig plassert, eller om det er skretunger som senere har blitt fylt på av ryddede blokker er vi usikre på.»

Videre observasjoner av løsmasser er gitt i kapittel 4.7.

4.3 Hydrologiske forhold

Det vises til utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng kapittel 2, avrenningsanalyse, og kapittel 6, drenering, for beskrivelse (Skred AS, 2024a), samt tiltaksvurdering for bekker og flomveier kapittel 8 (Skred AS, 2024b).

Nedbørfeltet strekker seg mot nordvest fra påvirkningsområdet og er vist i tidligere Skred AS vurdering (Skred AS, 2024b). Klyvsetvegen skjærer gjennom fjellsiden over 600 moh. med fall mot nordøst, og veggrøften på oppsiden av veien samler mye vann fra nedbørsfeltet. Skredhendelsen mot Klyvsetvegen 9 og 15 i 2023 ble forårsaket av vann på avveie fra veggrøften på oversiden av Klyvsetvegen. Skredhendelsen i 1977 skal ha løsnet samme sted og gått i samme skredløp.

Det er utført en avrenningsanalyse basert på ny terrengmodell scannet etter ekstremværet Hans med 1 meter oppløsning som viser overflateavrenningen (Multi-Flow Direction) for områdene (Figur 26). Analysen gir antall celler som drenerer til et gitt punkt og figuren viser antall m² (antall celler) som drenerer inn til en celle. Avrenningsanalysen påvirkes av veier og andre menneskeskapte terrenginngrep, men tar ikke hensyn til stikkrenner, broer, løsmasser etc.

4.4 Klimaanalyse

Det vises til utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng kapittel 2.6 for klimaanalyse (Skred AS, 2024a). Analysen har hentet data fra det interpolerte datasettet SeNorge2018 gjennom et script fra NVEs API (NVE, 2024b) og dette omfatter de siste oppdaterte klimadata fra NVE, sist oppdatert høsten 2023. Analysen har også benyttet stasjonsdata fra utvalgte værstasjoner i nærheten av Breie og Ål med lange tidsserier fra en representativ høyde.

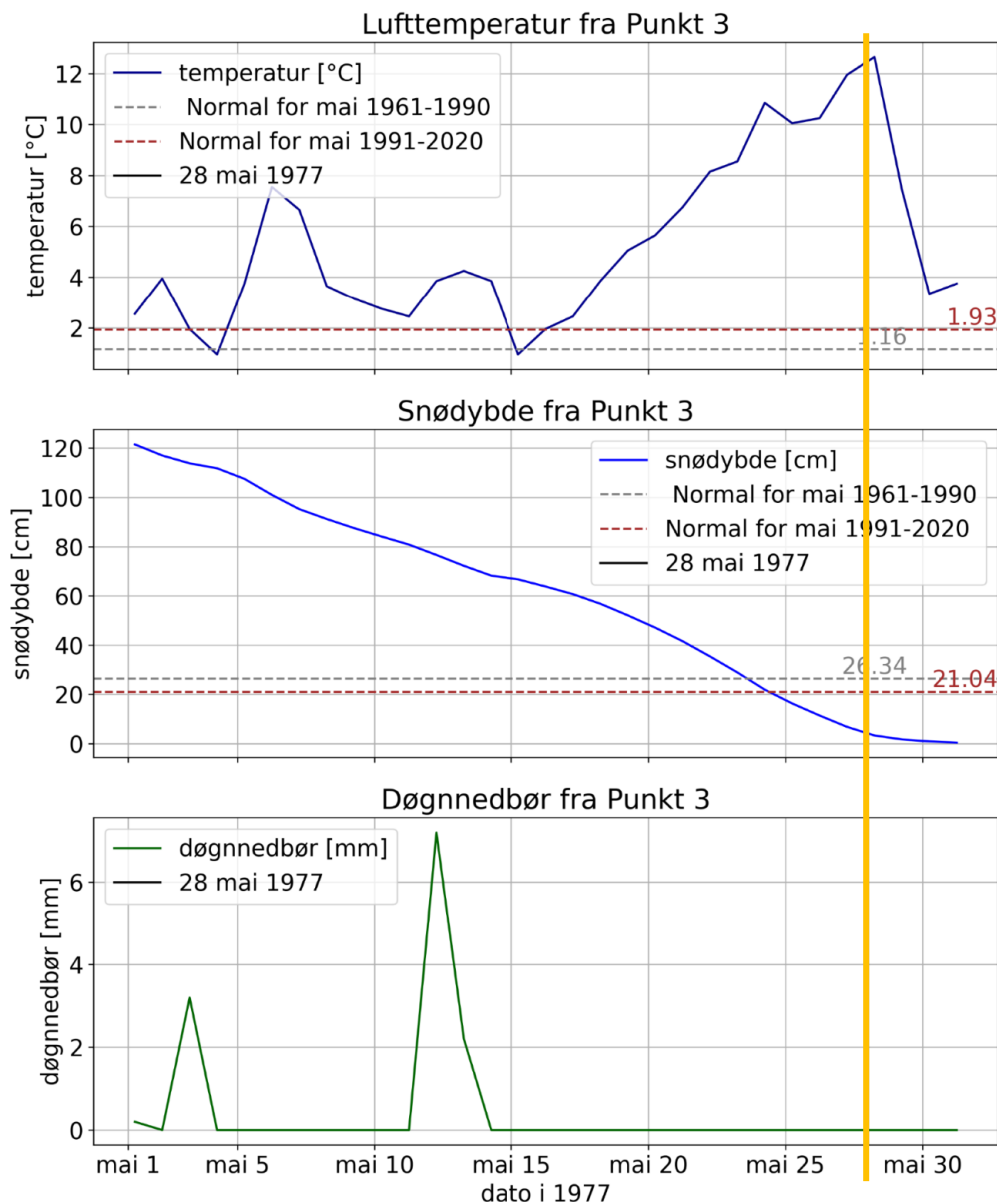
Analysen (Skred AS, 2024a) viser at for punkt 3 (som ligger ved Tune (UTM 33 6737123N, 1442670 573,3 moh.)) som benytter de interpolerte klimadata fra SeNorge2018 er ekstremverdier for nedbør 24 timer lik 60 mm for returperiode 100 år og 78 mm for returperiode 1000 år. For værstasjon SN25320 Ål III (lokalisert like over Ål sentrum på 720 moh.) var nedbørsmengdene under ekstremværet Hans i 2023 betydelige, og har returperiode lik 114-154 år for 24 timer nedbør (59,1 mm) og 170 år for 72 timer nedbør (125 mm) (Skred AS, 2024a).

4.4.1 Klimadata for skredhendelse i 1977

Det er også en kjent jordskredhendelse mot Tunevegen 9 og 15 den 28 mai 1977, og vi har sett litt nærmere på klimadata for denne hendelsen. Vi har hentet data fra det interpolerte datasettet SeNorge2018 gjennom et script fra NVEs API (NVE, 2024b) for punkt 3 som også er benyttet i utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng (Skred AS, 2024a). Analysen

vises i Figur 4, og det er tydelig at snøsmelting har vært mer påvirkende enn ekstremnedbør som en faktor for avrenning i terrenget.

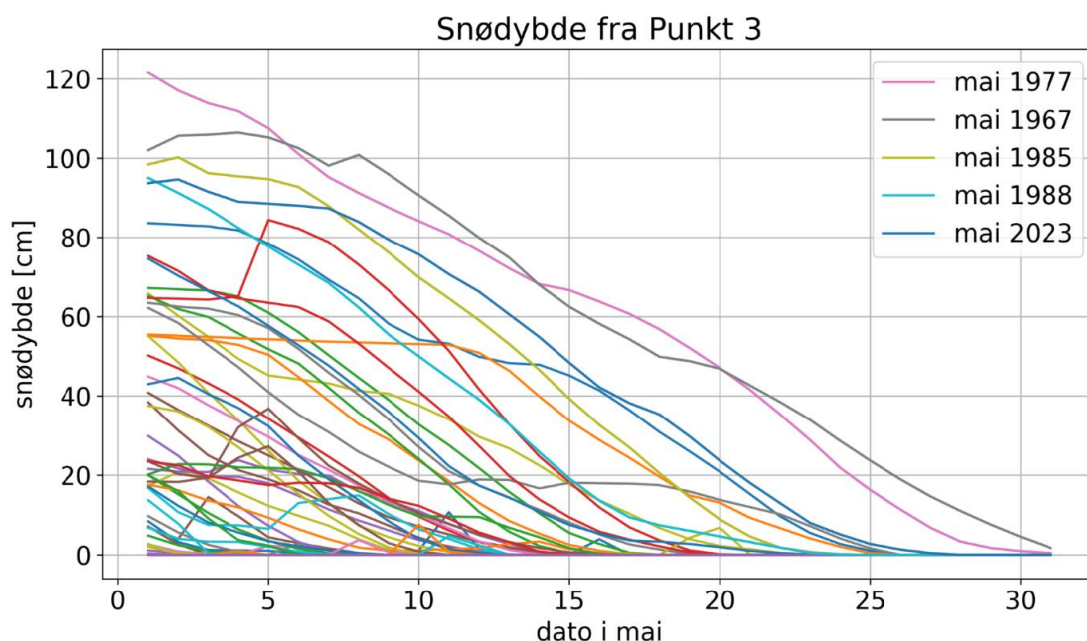
Det er knapt 12 mm nedbør totalt i mai måned 1977, og ikke nedbør i det hele rundt skredhendelsesdato 28 mai. Derimot viser måneden betydelig snøsmelting i form av redusert snøhøyde, og spesielt en økning i snøsmelting fra 20 mai når temperaturen stiger betydelig opp til 28 mai.



Figur 4: Analyse av lufttemperatur, snødybde og nedbør for mai måned i 1977 for punkt 3 (UTM 33 6737123N, 144267Ø 573,3 moh.). 28 mai er markert med oransje linje.

Videre analyser av snødybde ved punkt 3 (Skred AS, 2024a) viser at vinteren 1977 er den mest snørike i perioden 1958-2023, og at snødybde i mai 1977 er den høyeste i den samme

tidsperioden (Figur 5). Returperiode for tilsvarende maksimal snømengde gjennom vinteren er 250 år og returperiode for tilsvarende maksimal snømengde som i mai 1977 er 117 år.



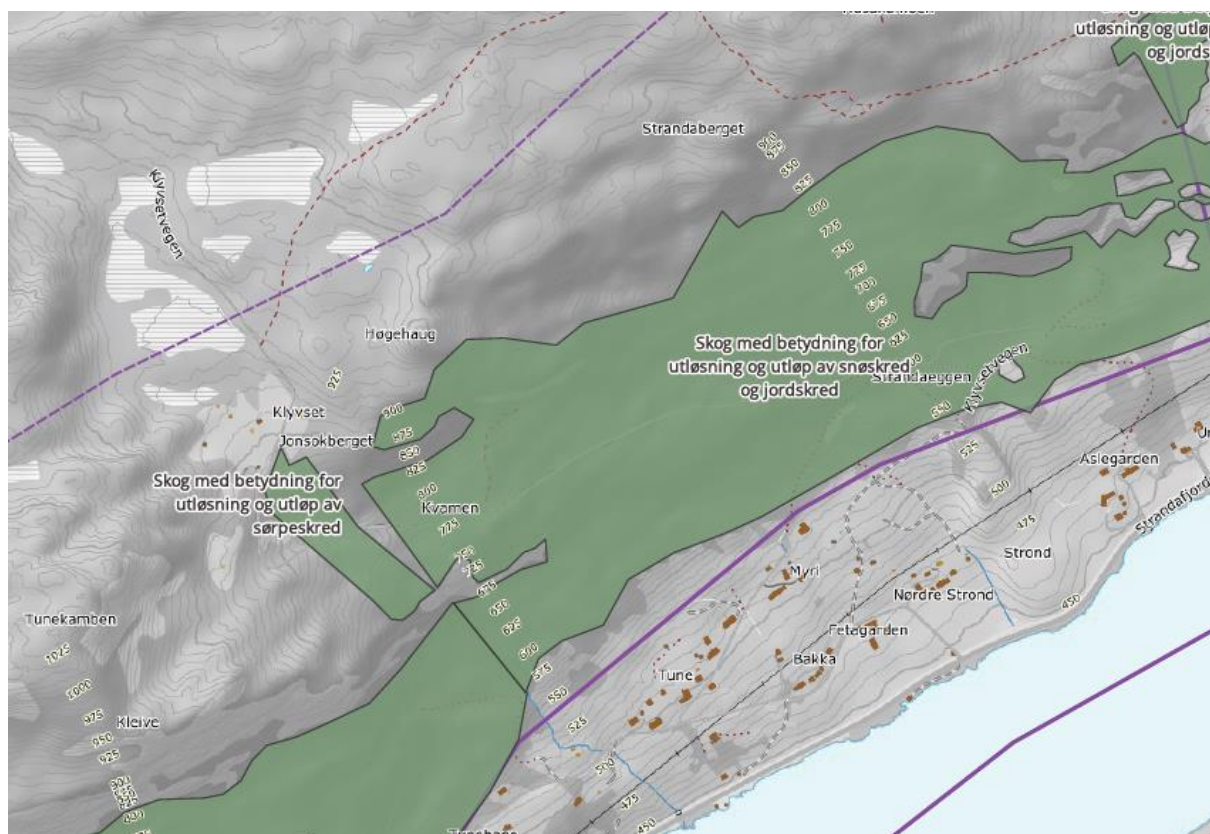
Figur 5: Oversikt over snødybde ved punkt 3 i mai måned i perioden 1958-2023.

Avrenning fra snøsmelting var derfor en medvirkende årsak til jordskredet fremfor ekstremnedbør.

4.5 Skog

Vurdering av sikring utføres basert på dagens forhold, det vil si med det vegetasjonsdekket som er i fjellsiden på nåværende tidspunkt. Utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng viser til datasettet SR16 og SR16 Beta (NIBIO, 2024) for informasjon om både treslag og tetthet (kronedekning) på skogen (Skred AS, 2024a) og fra befaring til denne utredningen er det observert i stor grad gran og furu, med innslag av løvtrær i fjellsiden. Datasettet AR5 Produktiv skog viser at tilnærmet all skog i fjellsiden over sikringsobjektene kan defineres som produktiv skog som må antas å kunne bli hugget.

Utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng (Skred AS, 2024a) vurderer at fjerning av skog påvirker sikkerhet mot skred i bratt terreng ettersom skogen har betydning for utløsning og utløp av snøskred, sørpeskred og jordskred (Figur 6).



Figur 6: Figur hentet fra 23458-01-1 vedlegg 3 (Skred AS, 2024a) som viser skog med betydning for sikkerhet mot skred i bratt terreng.

4.6 Eksisterende tiltak i området

4.6.1 Klyvsetvegen

Ifølge grunneiere har Tunevegen vært en type heste- og sledeveg over lang tid, men første grov-veg ble etablert omkring 1980.

Det vises svært tydelig av de to skredhendelsene vi kjenner (1977 og 2023) at vegen utgjør en struktur i terrenget som kan lede og konsentrere drenering av vann inn i bratt terreng med løsmasser. Dette har trolig vært medvirkende årsaker til skredhendelsene.

4.6.2 Sikringstiltak

Det vises til utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng for beskrivelse av eksisterende sikringstiltak ved terrengtiltak over Klyvsetvegen 9 og 15, som ble etablert av grunneier etter Hans (Skred AS, 2024a). Vi kjenner ikke til hvordan disse terrengtiltakene er bygd, og om de er dokumentert til å motstå krefter, erosjon osv. fra skred i bratt terreng. I ny terrengmodell fra 01.04.2024 vises disse terrengtiltakene, og vi vil dermed anse disse som en del av naturlig terreng i vurdering av sikring.

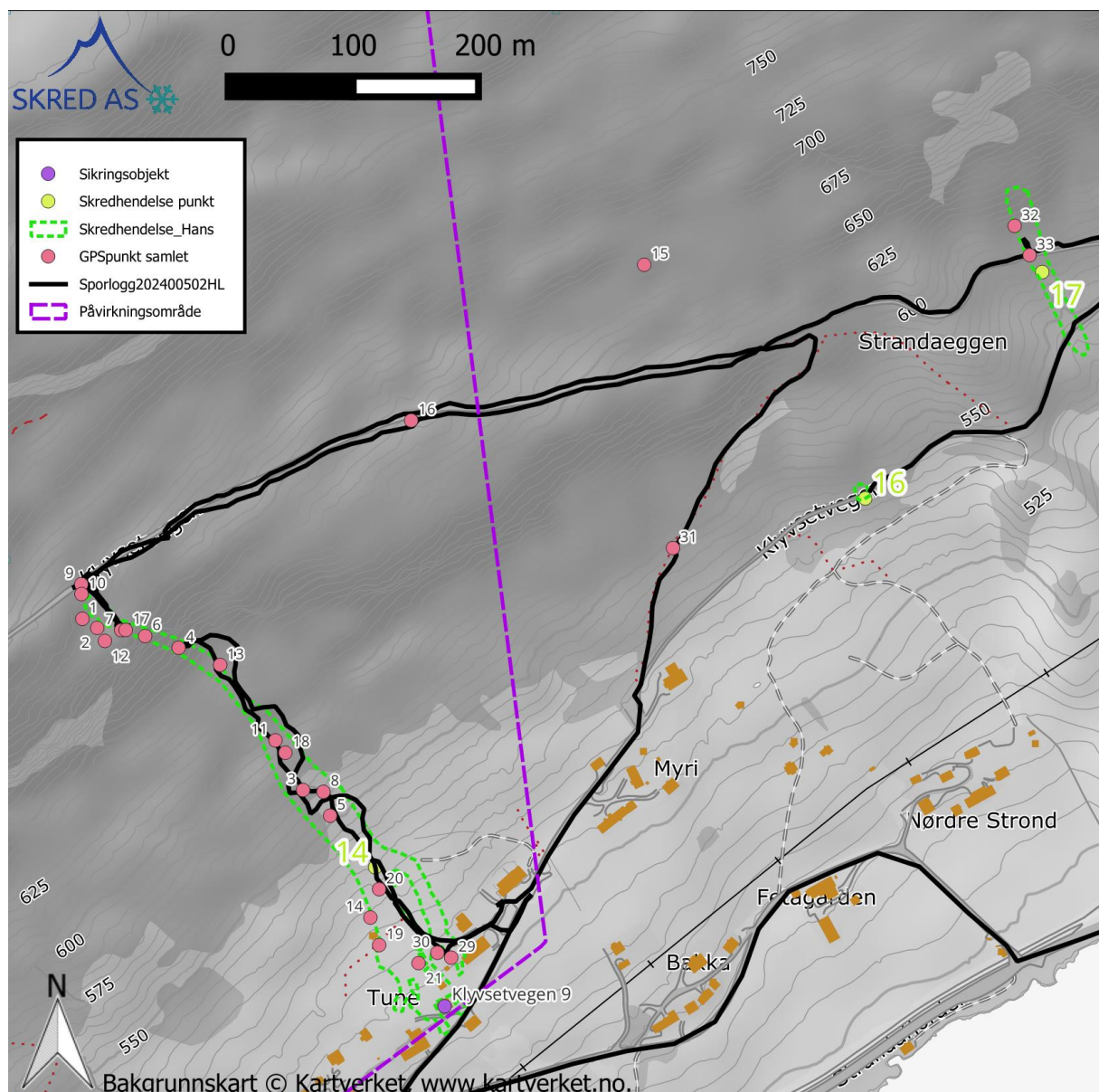
4.7 Befaringsobservasjoner

Henrik Langeland og Kalle Kronholm gjennomførte befaringsobservasjon for Klyvsetvegen 9 og 15 den 02.05.2024. Befaringsspor og GPS punkt er vist i Figur 7 og Tabell 1 og omfatter sikringsobjektet, utløpsområdet skredbanen og løsnemåte fra skredet under Hans og flere

mindre utglidninger langs Klyvsetvegen. Under befaring møtte vi også grunneiere Odd Breie (Klyvsetvegen 9) og Eilev Hefte (Klyvsetvegen 15). Grunneierne er god kjent med fjellsiden og skredhistorikken.

Observasjoner fra befaringen som er relevante for skredscenario:

- Løsneområde fra 2023 er like nedenfor løsneområde fra 1977, og er lokalisert under et lavbrekk i Klyvsetvegen (Figur 8).
- Det er tett og stor skog, primært granskog, i og rundt løsneområdet. I løsneområdet er skog dratt med (Figur 9).
- Løsmassedekket i løsneområdet er mektig, og det er ikke tegn til bergoverflate. I løsneområdet er det mye finstoff, men også blokker av varierende størrelse.
- Skredløpet går gjennom bratt klippeparti i første del og har trolig akselerert her. Så slynges det ut en klippe og treffer et bratt løsmassedekke under klippepartiet med stor kraft, og her er løsmassedekket kraftig erodert (over 4,5 meter dypt og 4-5 meter bredt). Her observeres også «mudmarks» opp mot 2 meter opp på trestammer langs skredløpet (Figur 10).
- Videre nedover virker hastigheten å avta og erosjonen reduseres og skredet flyter utover til over 30 meter bredde. Skredet kanaliseres igjen idet skredet når innmarka, her avsettes primært de grove skredmassene. Slam og vann strømmer videre.
- Observert flere tilsvarende utglidninger som 2023 skredet langs Klyvsetvegen og løsmassedekket er tilsvarende i flere andre mulige identifiserte løsneområder.
- Klyvsetvegen samler mye vann fra overliggende terreng. Det er flere markerte lavbrekk som kan kanalisere vann inn i bratt terreng med løsmassedekke dersom stikkrenner tettes. Flere stikkrenner under Klyvsetvegen leder også vann direkte inn i bratt terreng med løsmassedekke under Klyvsetvegen.

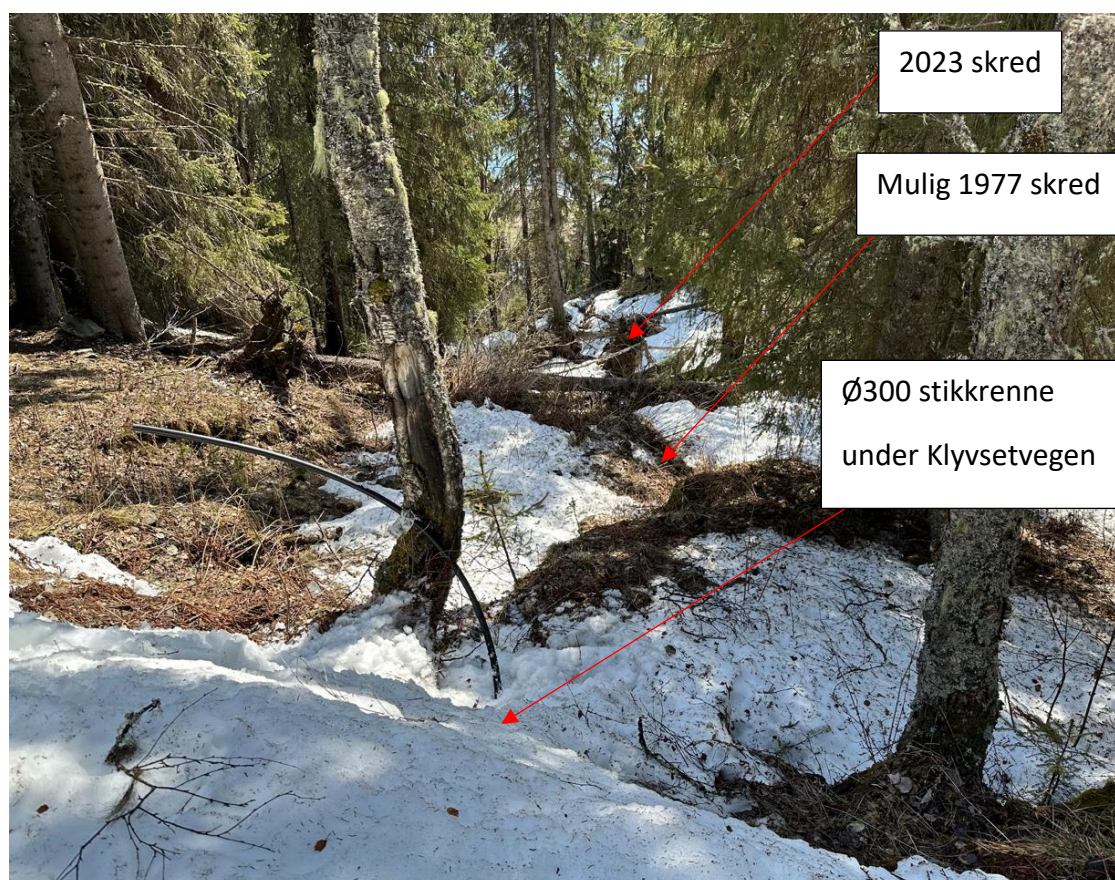


Figur 7. Befaringsspor og GPS punkt.

Tabell 1: Utvalgte GPS punkter fra befaring.

Beskrivelse	NR
0,5 meter bruddkant i skredet fra 2023	1
1 meter bruddkant i skredet fra 2023	2
1-2 meter dyb erodert i løsmasse	3
3-4 meter dyp erodert i løsmasse, 4-5 m bredt	4
Bekken går sammen	5
Berg i skredløp	6
Først erodert til berg i skredløpet her	7
Skredet har gått bredt, ca. 30 meter	8
Ca. Ø300 stikkrenne under veien, leder vann rett til 1977 og 2023 hendelse	9

1977 skred løsneområde	10
Her begynner primært avsetningssone i 2023 skred	11
Løsmasserygg parallelt løsneområde 2023 skred	12
Maks flyte høyde ca 2 meter på trær ved løpet	13
Slakere terreng mot Klyvsetvegen 9	14
Samler vann i terrenget	15
Samling av vann og lavbrekk på veg	16
Mulig skredløp 1977	17
Skredstrømmen fra 2023 splittes	18
Tunet på Klyvsetvegen 9 stod her til ca. 1940-tallet	20
Skredet i 2023 veldig kanalisert og stor erosjon i øvre del etter klippe ca 5 m bredde, flyter så ut i nedre del, men holdes relativt kanalisert ca 30 meter bredde. Kun slam og vann fortsetter mot bebyggelse	21
Stått her sia 1850	29
Stod der 1850-1950, så flyttet vekk og så flyttet tilbake i nyere tid	30
Bekk med mye vannføring, trolig kanalisering fra vei over	31
Startpunkt skred	32
Skred med løsnepkt rett over klyvsetvegen, det meste stoppet i veien	33



Figur 8: Mulig løsneområde 1977, løsneområde 2023, og tineslange som er ført gjennom 300 mm stikkrenne under Klyvsetvegen.



Figur 9: Løsneområde 2023 like under Klyvsetvegen.



Figur 10: Stor erosjon i løsmassedekket under klippepartiet. "Mudmarks" høyt på trær nært skredløpet.

5 Tidligere skredhendelser

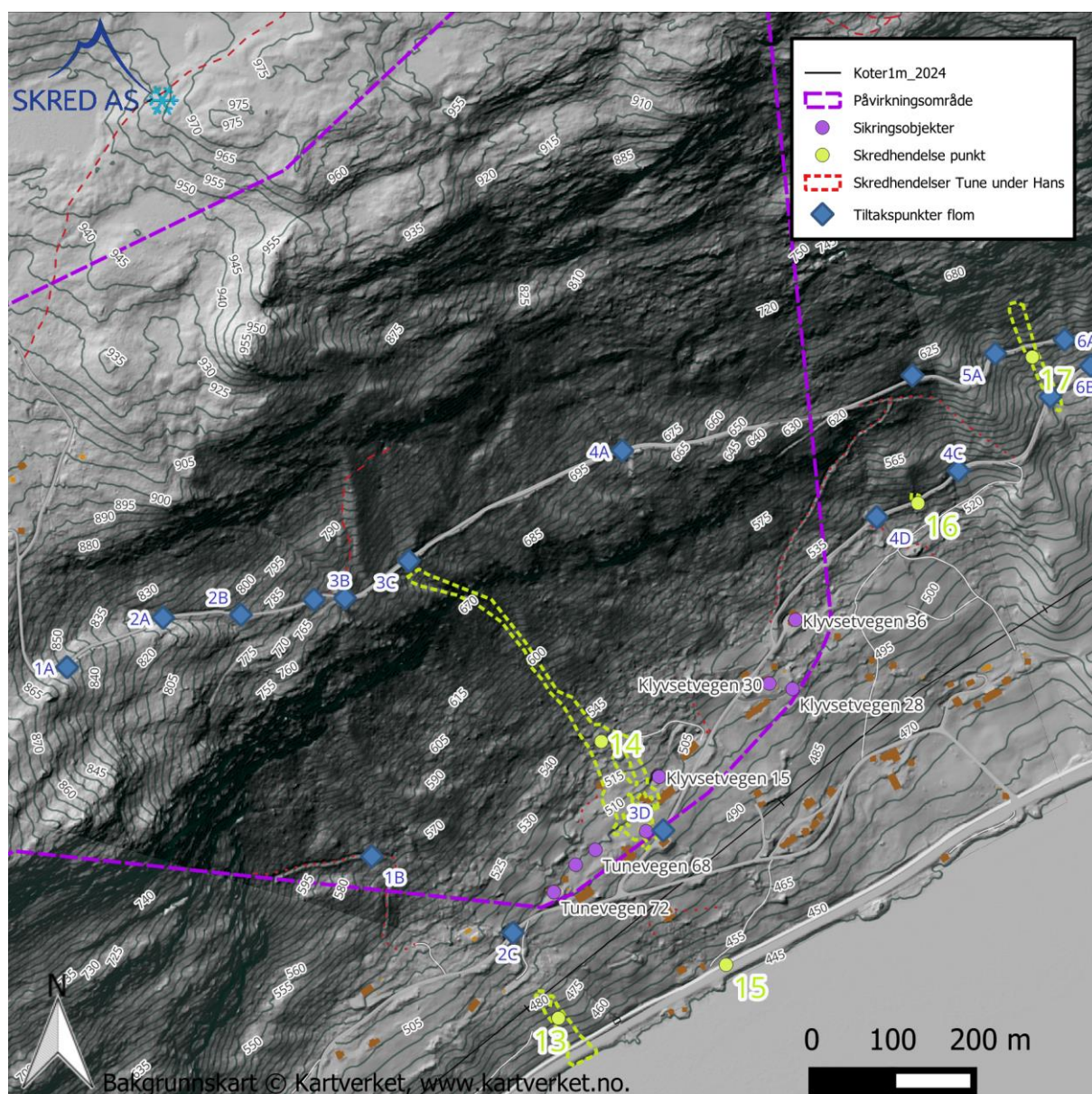
Utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng for området (Skred AS, 2024a) viser at det er registrert 2 skred ned mot Klyvsetvegen 9 og 15 (ID 15 og 14 Tabell 2, Figur 11 og Figur 12).

Tabell 2: Registrerte skredhendelser mot og like ved sikringsobjektene, hentet fra (Skred AS, 2024a).

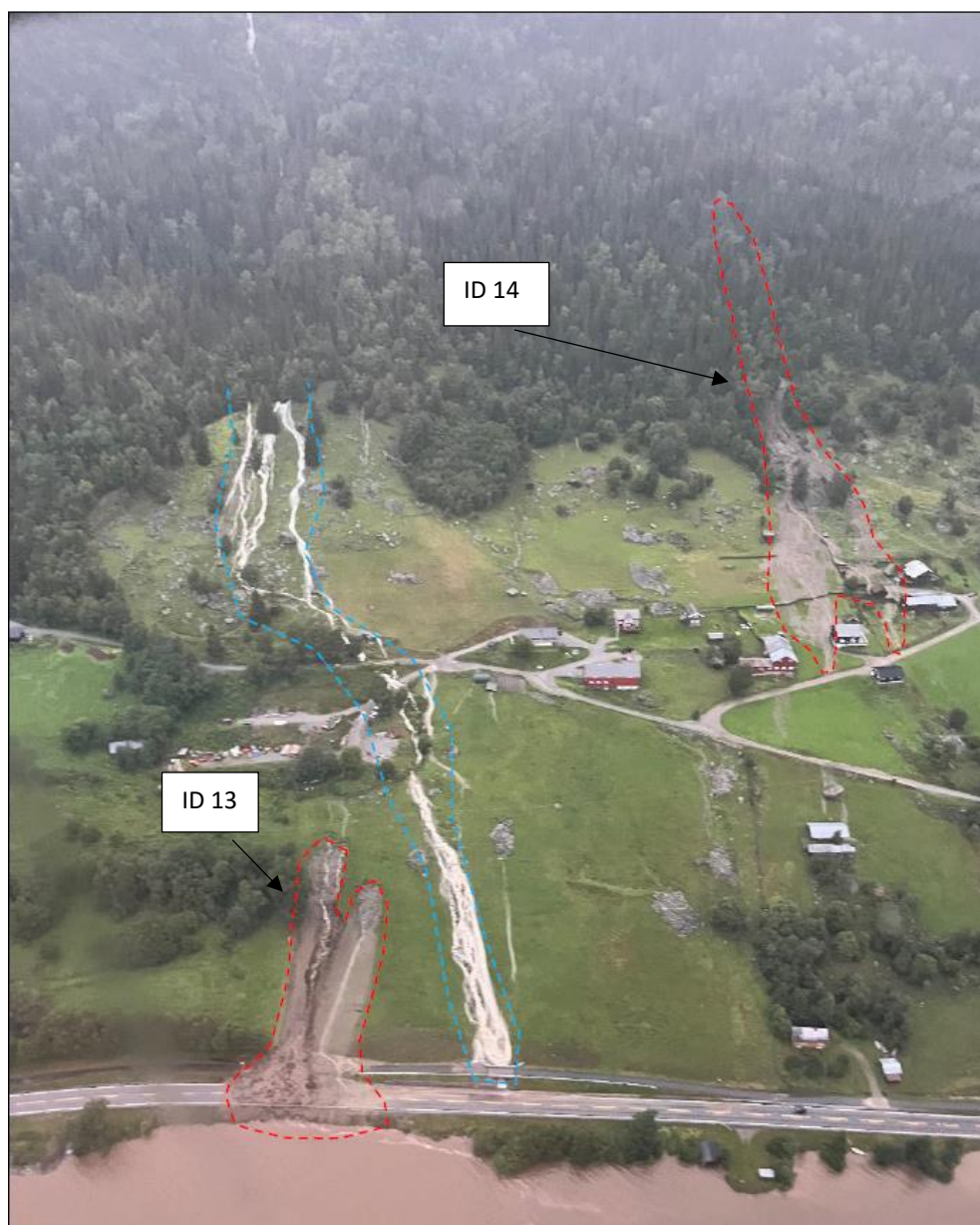
Skredtype	Tidspunkt	Beskrivelse	ID
Jordskred	28. mai 1977	Grunneier på Tune har informert om at det skal ha gått et jordskred ned til fjorden i 1977 i samme skredløp som skred 8. august 2023.	15
Jordskred	8. august 2023	«Under ekstremværet «Hans» gikk det to jordskred på et jorde i skråningen direkte ovenfor rv7, ved Tune. Skredene krysset rv7. Skredmasser på ca. 1000 kubikkmeter, avsatt på gang- og sykkelvei, og rv7. Spor etter skredet er synlig i flyfoto fra august 2023.»	13
Jordskred	8. august 2023	«Under ekstremværet «Hans» gikk det ett jordskred ned til bebyggelsen på Tune. Skredet løsnet på nedsiden av Klyvsetvegen. Startet som jordskred og utviklet seg til flomskred. Vann og slam fra skredet rant gjennom stabburet på gårdstunet. Ifølge grunneier har det gått skred i samme løp i 1977, men da med lengre utløp. Det er utført en kvalitetskontroll av skredhendelsen.» Vi mener dette var et jordskred.	14
Jordskred	8. august 2023	«Under ekstremværet «Hans» gikk det flere skred i forbindelse med Klyvsetvegen. Ett skred ned til gårdstunet på Tune er beskrevet i en egen hendelse, «Tune øvre». Klyvsetvegen øst og vest var mindre skred, som begge gikk øst for Tune. Klyvsetvegen øst var et lite flomskred som startet over Klyvsetvegen, med utløp over Klyvsetvegen to steder, ved østligste serpentinsving. Skredet gikk i et bekkeløp. Klyvsetvegen vest var et mindre jordskred, mer som en utglidning av vegskjæringen med noe masser på veien.»	16
Jordskred	8. august 2023	«Under ekstremværet «Hans» gikk det flere skred i forbindelse med Klyvsetvegen. Ett skred ned til gårdstunet på Tune er beskrevet i en egen hendelse, «Tune øvre». Klyvsetvegen øst og vest var mindre skred, som begge gikk øst for Tune. Klyvsetvegen øst var et lite flomskred som startet over Klyvsetvegen, med utløp over Klyvsetvegen to steder, ved østligste serpentinsving. Skredet gikk i et bekkeløp. Klyvsetvegen vest var et mindre jordskred, mer som en utglidning av vegskjæringen med noe masser på veien.»	17

Skredet ved Tune nedre, som gikk ned på Riksveg 7 (ID 13 i Tabell 2, Figur 11 og Figur 12) er omtalt i rapport fra Statens vegvesen (Statens Vegvesen, 2023). Det er også registrert en hendelse ned til riksveg 7 like vest for Bakka, som går ned fra Tunevegen. Dette er imidlertid vurdert å være vann og lett erosjon, og derfor ikke registrert som et skred (Skred AS, 2024a).

Under ekstremværet Hans ble det også registrert masseførende flom i Tunebekken (Tunegrovi), som renner like vest for bolighuset Tune 72. Bilde fra helikopter like etter hendelsene under Hans i 2023, jord- flomskred mot Klyvsetvegen 9 og 15 og masseførende flom i Tunebekken, er vist i Figur 12.



Figur 11: Oversikt skredhendelser ved Tune ID nr. viser til Tabell 2.



Figur 12: Bildet viser skredene Tune nedre (ID13), masseførende flom i Tunebekken (blått omriss) og skredet ved Tune øvre (ID14- Klyvsetvegen 9 og 15) og er hentet fra utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng (Skred AS, 2024a). Bildet er tatt mot nord, fra helikopter, like etter hendelsene.

5.1 Skredhendelse mot Klyvsetvegen 9 og 15 i 1977

Jordskredhendelsen i 1977 har vi informasjon om fra grunneiere i Klyvsetvegen 9 og 15.

Hendelsen ble løst ut fra under Klyvsetvegen i det samme utløsningsområdet som skredet mot Klyvsetvegen 9 og 15 under Hans i 2023 (Figur 11). Ifølge grunneiere var stikkrenne under Klyvsetvegen ved pkt. 2A (Figur 11) igjenfrosset, der Tunebekken krysser Klyvsetvegen og renner videre nedover fjellsiden, og alt vannet i Tunebekken ble ledet mot lavbrekk ved pkt. 3C (Figur 11). Klimaanalyse underbygger også dette ettersom det ikke var spesielt mye nedbør i mai 1977. Derimot var det betydelig snøsmelting som ble drenert langs

Tunebekken, og grunneier melder om at det var betydelig mer vann involvert i hendelsen i 1977 enn under hendelsen i 2023. Vann på avveie fra Tunebekken var derfor trolig medvirkende årsak til utløsning skredet.

Skredhendelsen fulgte samme skredløp som under Hans 2023, og de grove skredmassene stoppet i overgang til dyrkamark omtrent ved 525-540 moh., ca. 110-130 meter fra Klyvsetvegen 9 og 15. Skredet hadde imidlertid utløp av slam, grus, røtter og vann helt ned til Tunevegen, og vann fra skredhendelsen fortsatte også videre nedover til Rv.7 langs Strandafjorden, men ikke særlig mye skredmasser.

Grunneier i Klyvsetvegen 15 nevner at skredet påførte skade på et bygg, ved at en større stein i skredmassene traff husveggen, og knuste leca-blokker i grunnmur. Dette indikerer imidlertid at intensiteten i skredet ved Klyvsetvegen 9 og 15 var generelt lav til middels under hendelsen i 1997 gitt kriterier i Sveitsiske retningslinjer; flytehyde lavere enn 0,5 meter (lav intensitet) til flytehyde mellom 0,5-2 meter og avsetning av skredmasse lavere enn 1 meter (middels intensitet) (FOEN, 2016).

5.2 Skredhendelse mot Klyvsetvegen 9 og 15 i 2023

Hendelsen under ekstremværet Hans i 2023 løsnet i samme løsneområde som hendelsen i 1977 og fulgte samme skredløp ned mot Klyvsetvegen 9 og 15 (Figur 11).

Hendelsen løsnet like under Klyvsetvegen, og det er gitt informasjon om vannforhold i Skred AS rapport (Skred AS, 2024b);

«Punkt 3C markerer en stikkrenne under Klyvsetvegen med diameter 250 mm, og delvis lavbrekk på vegen som gjør at større vannmengde kan dra over vegen. Tune-skredet løste ut rett nedstrøms dette punktet. Mesteparten av vannføringen kommer trolig hit via veggrøfta til Klyvsetvegen, siden punktet har lite naturlig nedbørfelt. På befaring ble det observert spor i veigrøfta oppstrøms som tyder på at den har ført en god del vann under «Hans»».

Befaringer av løsneområdet like etter hendelsen viste at Klyvsetvegen har kanalisert vann til løsneområdet ved lavbrekk i vegen ved pkt. 3C (Figur 11). Dette vises også ved kraftig erosjon langs grøften på oversiden av Klyvsetvegen og lokale utglidninger i løsmasseskjæring på oversiden av Klyvsetvegen rett over løsneområdet for skred mot Klyvsetvegen 9 og 15 (Figur 13).

I løsneområdet er det løsmassedekke i svært bratt terreng, brattere enn 30 grader (Figur 14 og Figur 15), og mye vann som eroderer kan da påvirke stabiliteten i løsmassene. Stor vanntilførsel fra vann på avveie fra Klyvsetvegen, på allerede vannmettede løsmasser i bratt terreng, er derfor trolig medvirkende årsak til utløsning skredet. I løsneområdet ser en at et tynt vegetasjon-/ humuslag ligger over morenemasser med grus, stein og blokk.



Figur 13: Detaljbilder av erosjon langs Klyvsetvegen og utglidning ned i Klyvsetvegen like over løснеområde for skred mot Klyvsetvegen 9 og 15 (Figur 14).



Figur 14: Oversikt løsneområde skred mot Klyvsetvegen 9 og 15 og Hendelser på Klyvsetvegen.

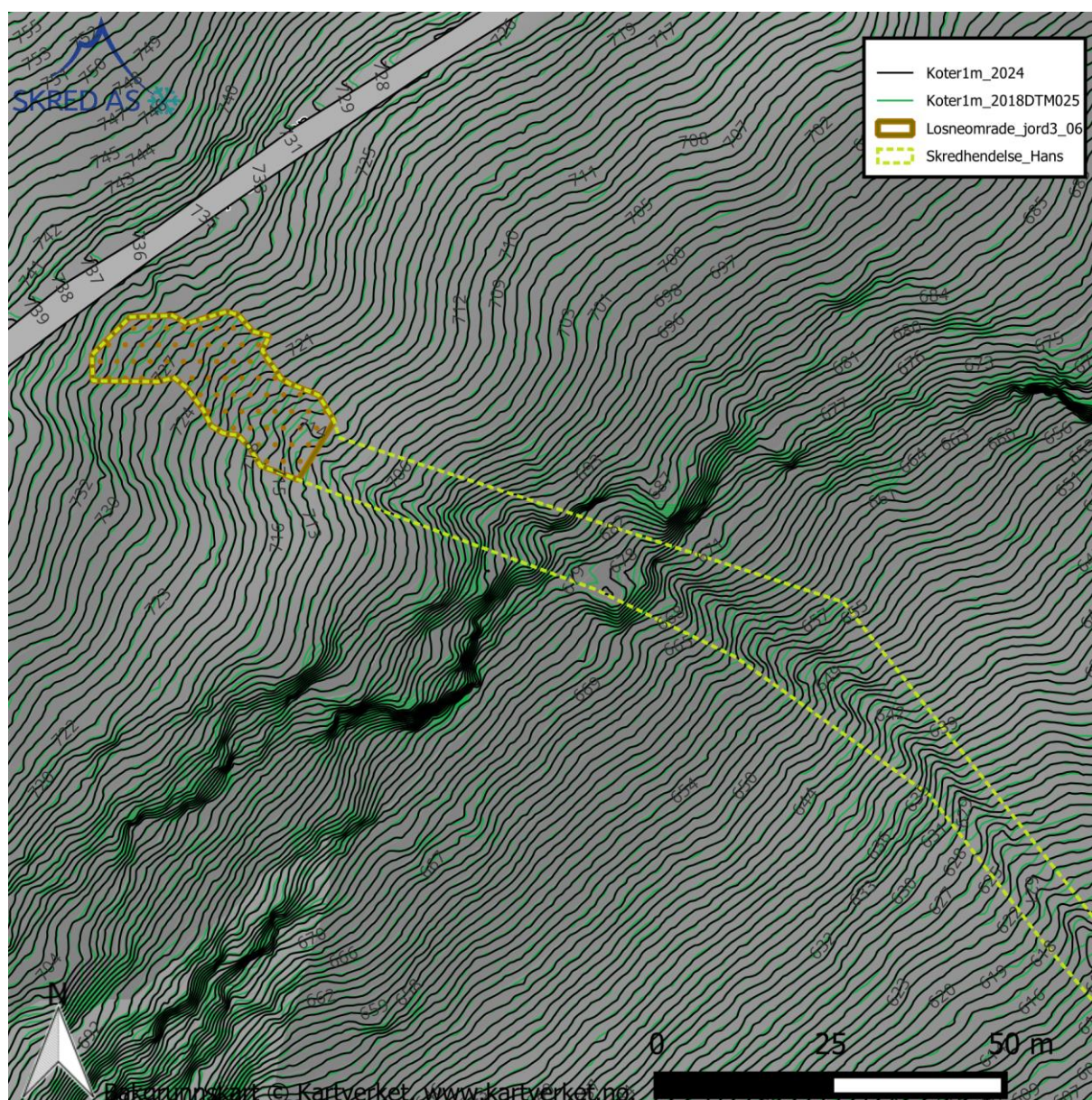
Skredløpet følger fallretningen i terrenget og analyser av terrengmodell fra før og etter skredhendelsen viser at terrenget før hendelsen var relativt jevnt og slett, ikke ravinepreget. Etter hendelsen viser terrengmodellen en tydelig dyp kanal og nedskjæring i løsmassedekket, men ikke særlig bredere enn 4-5 meter (Figur 16 og Figur 17). Bilder av skredløpet viser at grove blokker har blitt sortert ut til sidene fra skredstrømmen som levere, og at det har vært avrenning av slam/vann under og etter hendelsen som har erodert ytterligere ned i midten av skredløpet. Skredløpet kan karakteriseres av å være kanalisert og har hatt svært begrenset spredning til sidene i skredløpet, før ved avsetning i utløpsområdet. I øvre del under løsneområdet er skredløpet erodert ned til berg.



Figur 15: Løsneområdet for skredet mot Klyvsetvegen 9 og 15 sett fra Klyvsetvegen.



Figur 16: Dronefoto av skredløpet. Masser avsettes på sidene og i midten av skredløpet er det dypest erodert.



Figur 17: 1 meter koter i terrengmodell fra før og etter skredet ned mot Klyvsetvegen 9 og 15 under Hans. De svarte kotene fra scanning etter Hans viser tydelig løснеområdet og skredbanen.

De grove massene i skredhendelsen ble primært avsatt som leveer langs skredløpet, og i overkant og første del av dyrkamark der terrenget blir markert slakere enn i skredløpet, ved ca. 525-540 moh. (Figur 18 og Figur 19). Bildet viser at det er transportert mye grov stein, jord og trær med skredet, men at kun slam og vann gikk videre ned mot bebyggelsen. Skredet har trolig vært vannrikt, men den volumetriske tettheten vurderes å være forskjellig, ved at massene som gikk helt til bebyggelsen har høyere vann- og finstoffinnhold, og dermed mindre tetthet enn massene som stoppet ved overgang til dyrkamark.

Hendelsen i 2023 ga ikke direkte skade på bygg, men slam, grus og vann mot et stabbur og utover innmark ved Klyvsetvegen 9. Ved Klyvsetvegen 15 gikk skredmassene (slam, grus og

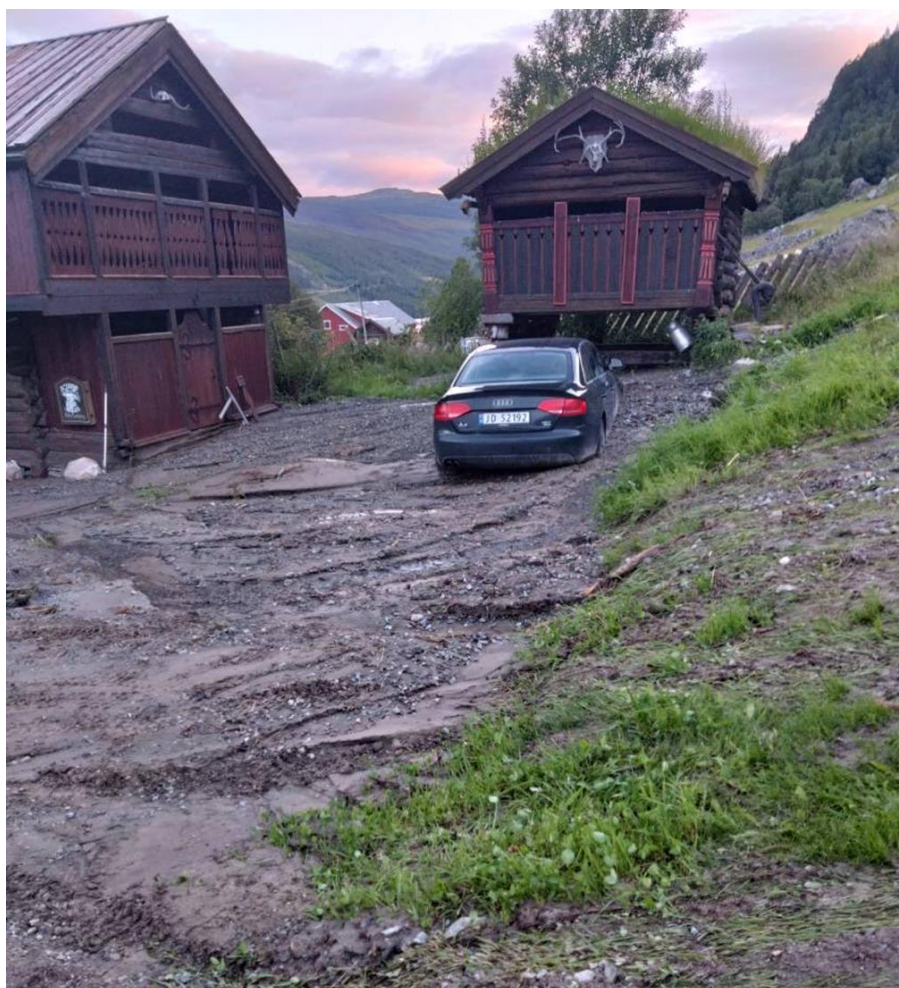
vann) gjennom tunet og strømmet mot bygg i tunet, samt en bil som sto parkert i tunet (Figur 20). Dette indikerer imidlertid at intensiteten i skredet ved Klyvsetvegen 9 og 15 var generelt lav til middels gitt kriterier i Sveitsiske retningslinjer; flyte høyde lavere enn 0,5 meter (lav intensitet) til flyte høyde mellom 0,5-2 meter og avsetning av skredmasse lavere enn 1 meter (middels intensitet) (FOEN, 2016).



Figur 18: Utløpsområdet for jord- flomskredhendelsen under Hans i 2023.



Figur 19: Bilde av utløpsområdet for skredet inn på dyrka mark rett over Klyvsetvegen 9 og 15. Bildet tatt av grunneier Eilev Hefte rett etter hendelsen.



Figur 20: Bilde av skredmasser (slam og grus) avsatt i tunet til Klyvsetvegen 15. Skredmassene har strømmet gjennom tunet og mot bygg og bilen, men har forårsaket begrenset skade på bygg. Bildet tatt av grunneier Eilev Hefte rett etter hendelsen.

5.3 Tilbakeberegning av skredhendelser

Som hjelp til å fastsette dimensjonerende skredscenario for sikring har vi sett nærmere på hendelsen i 2023, ettersom vi har mye informasjon om denne, men også benyttet det vi vet om hendelsen i 1977. Skredhendelse som jord- /flomskred har da forekommet 2 ganger på 47 år, der vann på avveie fra snøsmelting (1977) og ekstremnedbør (2023) var del av utløsende årsak. Hendelsene vi kjenner til vil gi oss informasjon som kan brukes i vurdering av skredscenario.

5.3.1 Observasjoner

Noen viktige observasjoner fra hendelsene i 1977 og 2023 er at det meste av grove skredmasser er avsatt ved overgang til innmark, omtrent 525-540 moh., og at det primært er vann og slam som har strømmet helt ned til husene og videre ned til Tunevegen. Skredet i 1977 var imidlertid kraftig nok til at det førte en større steinblokk helt i vegg på Klyvsetvegen 15m, og denne blokken påførte skade på leca-blokker i vegg.

Skredet under Hans i 2023 har også erodert kraftig i løsmassedekket og slik laget et veldefinert skredløp fra brattskrenten og godt ned mot innmark, der erosjonen har avtatt og skredstrømmen har begynt å flyte utover i bredden som et tradisjonelt trekantskred.

5.3.2 Terrengmodell

Det er tilgjengelig terrengmodell fra 2018 (scannet 03.06.2018 til 06.06) med 0,25 meter oppløsning og en terrengmodell fra etter «Hans» 2023 (scannet 13.09.2023 til 09.10) med 0,25 meter oppløsning. Dette gjør at vi kan analysere terrengforskjell i deler av skredløpet fra skredhendelse i 2023. Det ble gjort sikringstiltak ved bygging av voller i terrenget etter Hans, og da ble skredmasser fra hendelsen i 2023 benyttet til oppbyggingen (Med referanse til samtale med Eilev Hefte fredag 19.04.2023), og oppbyggingen av voller ble gjort før scanning av ny terrengmodell. Det er derfor ikke mulig å sammenligne terrengmodellene i utløpsområdet med tanke på analyse av avsetning av skredmassene.

Vi har sett på flere metoder for å analysere endringer i terrengmodell etter «*yield rate concept*» (Oldrich and Jakob, 2005). Analysene viser at det ble utløst betydelig skredmasser fra løsneområdet, og at skredet har erodert svært dypt i skredløpet, opptil over 4,5 meter i skredbanen ved ca. 660 moh. (Figur 21).

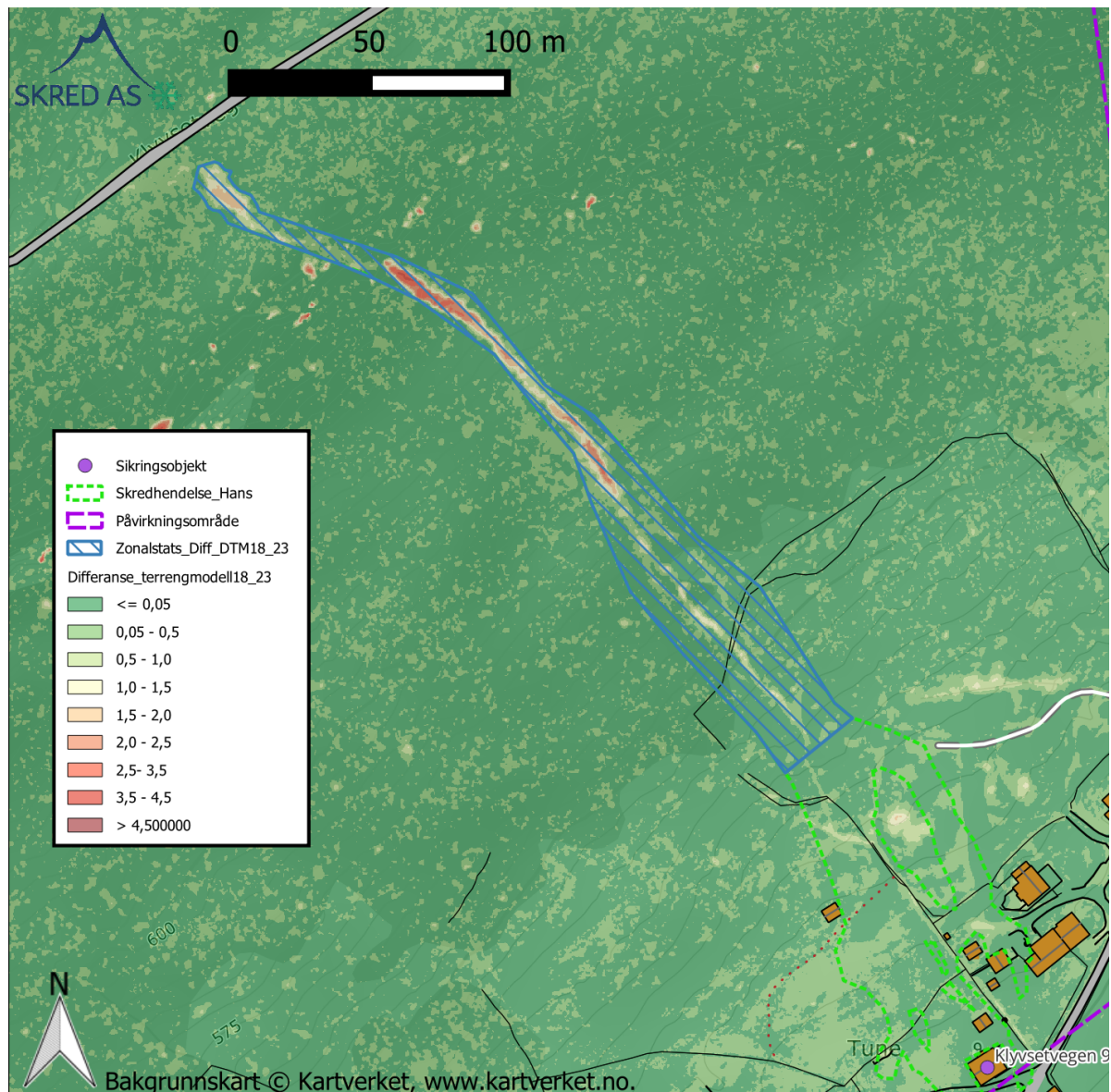
Vi har gjort estimat på skredvolum ved hjelp av differanse i terrengmodell og fra faktiske tverrprofiler i skredbanen. Vi har kun sett på volum i løsneområdet og skredbane omtrent ned til avsetning av de grove massene ved ca. 525-540 moh. ettersom terrenget og skredmassene i utløpsområdet er bearbeidet og endret etter skredhendelsen.

For polygonet «zonalstats_diff_DTM18-23» i Figur 21 ser vi at den gjennomsnittlige erosjonen er 0,24 meter og arealet er lik 5846 m². Produktet av disse kan gi et estimat på totalt skredvolum, og er omtrent 1400 m³.

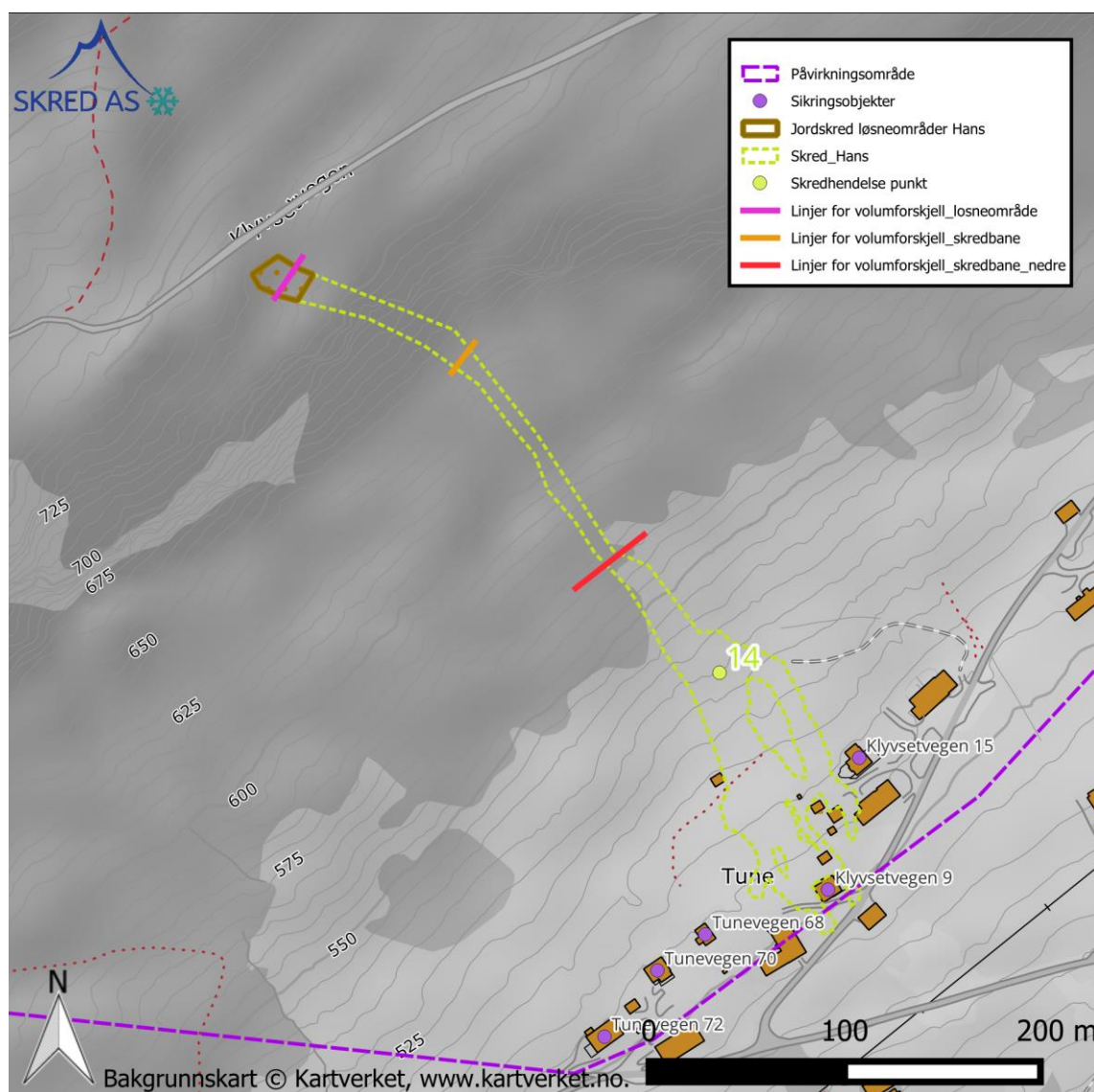
Figur 22 viser plassering av profiler og Figur 23 viser profil med terrengmodell fra juni 2018 og september/oktober 2023. I løsneområdet ser vi en endring på tverrprofilet i terrengoverflaten på maksimalt 1,5-2 meter over knapt 10 meter. Forenklet beregnet vil det tilsvare et tverrsnittsareal på omtrent 10-20 m². Det er ikke et så stort løsnevolum over hele løsneområdet, som går omtrentlig mellom 713-732 moh., så vi estimerer et løsnevolum på initialskredet på rundt 200-300 m³.

Fra tverrprofilene i skredløpet ser vi at det er avsatt noe masse i levéer til sidene for skredløpet som er dypest erodert. Skredløpet er omtrent 250-300 meter langt fra løsneområdet til avsetning av de grove massene ved ca. 525-540 moh. Det eroderte området i skredløpet varierer, i øvre del med tverrsnittsareal omtrent 10-15 m², til nedre del med tverrsnittsareal 1-3 m³. Erodert volum i skredbanen er da betydelig mer enn volum i løsneområdet, men noe av skredmassene er også avsatt i skredløpet. Fra denne metoden vurderer vi at erodert masse i skredløpet er kan være 1000-1500 m³.

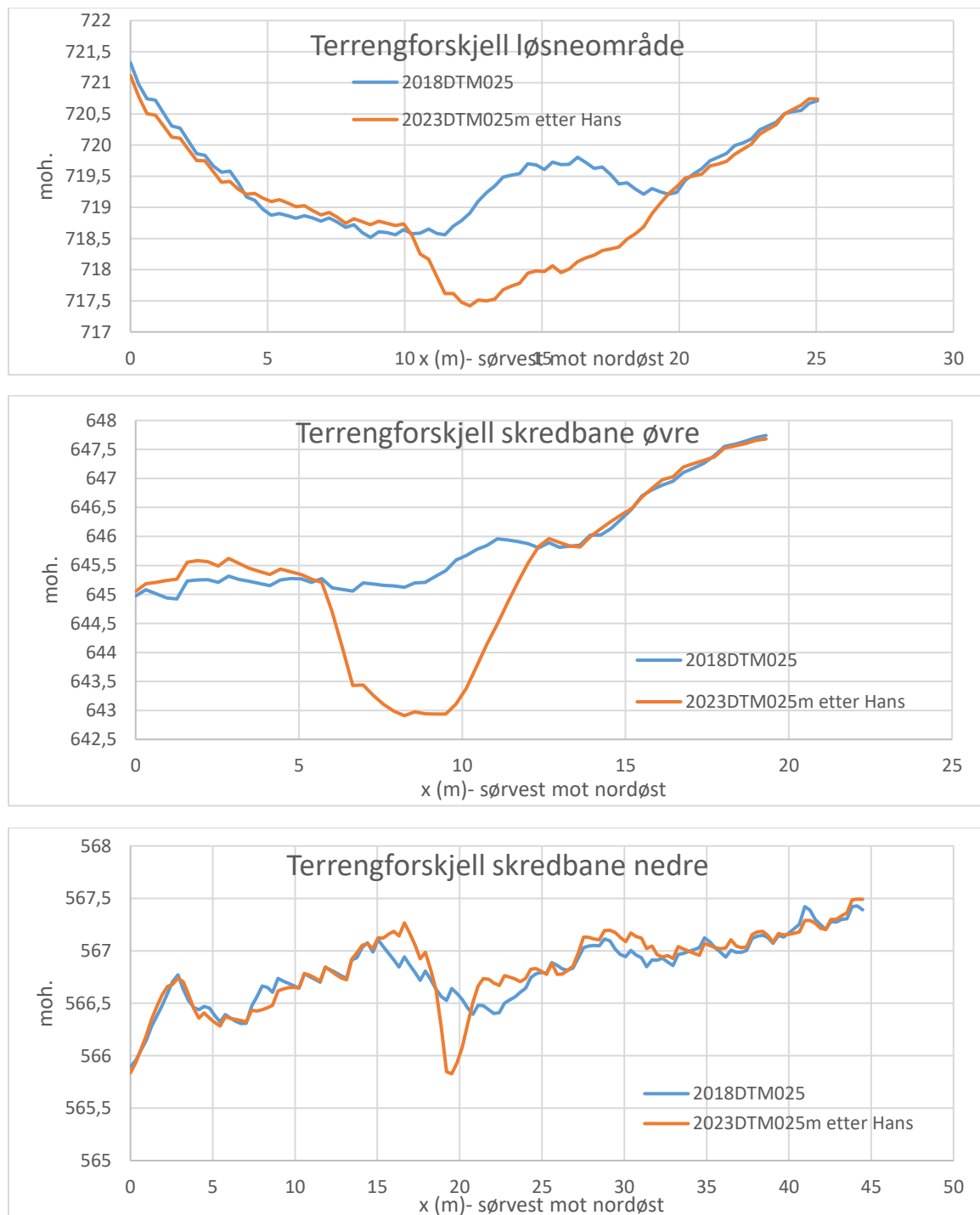
Metodene gir da litt ulike resultat, men vi vurderer at skredvolumet (løsnevolum og erodert volum i skredbanen) ikke har vært større enn 1500 m³.



Figur 21: Differanse i terrengmodell fra 2018 og 2023 (etter Hans) som viser erosjonen fra skredet under Hans. Merk at erosjonsdypet har positive verdier i tegnforklaring.



Figur 22: Oversikt profilinjer for analyse differanse i terrengmodell før og etter skredhendelse under Hans.



Figur 23: Terrengeprofiler langs linjer vist på Figur 22.

5.3.3 Modellering

Til å tilbakeregne hendelsene har vi brukt den dynamiske modellen RAMMS::DEBRIS FLOW (SLF WSL, 2022). Modellen er primært utviklet for flomskred, men i 2020 ble det gjort et FoU-prosjekt i regi av NVE (NVE, 2020) for å undersøke om modellen med god nok treffsikkerhet kan benyttes til å beregne jordskred, primært i åpne skråninger, under norske forhold. Resultatene er gode og kan gi nyttig grunnlag for tilbakeregning av skredhendelser.

Det er likevel viktig å påpeke at FoU prosjektet søker å kalibrere modellering av skredhendelser med det kjente utløpet av skredhendelsene, og dette gir ikke nødvendigvis riktig informasjon om skredprosessen fra modelleringen (det vil si for eksempel hastighet, flytehyde). Utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng (Skred AS, 2024a) har også tilbakeregnet hendelser under Hans, og det spesifikke skredløpet mot Klyvsetvegen 9 og 15. Det henvises til resultater i denne rapporten.

5.3.3.1 Modelloppsett

Tabell 3 viser utgangspunktet for modelloppsettet og baserer seg på forslagene i NVE-rapporten for fjellside med lavere høydeforskjell enn 300 meter (NVE, 2020). Vi har derfor benyttet «*block release*» som utløsningsmekanisme, men måttet tilpasse Voellmy-parameterne noe fra standardverdiene ($\mu=0,2$ og $\xi=200 \text{ m/s}^2$), og også endret på erosjonsparameterne som en sensitivitetsanalyse. Erosjonsparametere er navngitt på engelsk for å være i tråd med begrepsbruken for programvaren. Tettheten er holdt uendret lik 2000 kg/m^3 i alle simuleringer.

Tabell 3: Oversikt parameter modelloppsett for tilbakeregning skredhendelser i 1977 og 2023.

Parameter/ Simulering	Terreng modell	Terreng- opp- løsning	Løsne vol. (m^3)	μ (-) / ξ (m/s^2)	Erosio n rate (m/s)	Pot. erosion depth (per kPa)	Critical shear stress (kPa)	Max erosion depth (m)	Erosion vol. (m^3)
C01	2018	1 m	230	0,2/ 200	0,025	0,1	1	3	6398,7
C02	2018	1 m	230	0,2/ 200	0,013	0,1	1	2	3465,5
C03	2018	1 m	230	0,2/ 200	0,013	0,1	1	1,5	3465,5
C04	2018	1 m	230	0,2/ 200	0,013	0,1	1	1	3465,5
C05	2018	1 m	230	0,2/ 200	0,013	0,05	1	0,5	1423,77
C06	2018	0,5 m	230	0,2/ 200	0,013	0,05	1	0,5	1397,17
C07	2018	0,5 m	230	0,2/ 200	0,013	0,05	1	1	1397,74
C08	2018	0,5 m	230	0,2/ 200	0,013	0,05	0,5	1,5	1973,59
C09	2018	0,5 m	230	0,2/ 200	0,013	0,05	1	2	1397,74
C10	2018	0,5 m	230	0,2/ 200	0,013	0,05	0,5	2	1973,59
C11	2018	0,5 m	230	0,2/ 200	0,013	0,05	0,5	3	1973,59
C12	2018	0,5 m	230	0,2/ 200	0,025	0,05	0,5	3	3159,49

C13	2018	0,5 m	230	0,2/ 200	0,05	0,05	0,5	3,5	4885,85
C14	2018	0,5 m	230	0,15/ 150	0,013	0,05	0,5	3	2085
C15	2018	0,5 m	230	0,15/ 150	0,013	0,05	0,5	1,5	2082
C16	2018	0,5 m	230	0,175/ 175	0,013	0,05	0,5	1,5	2018,89

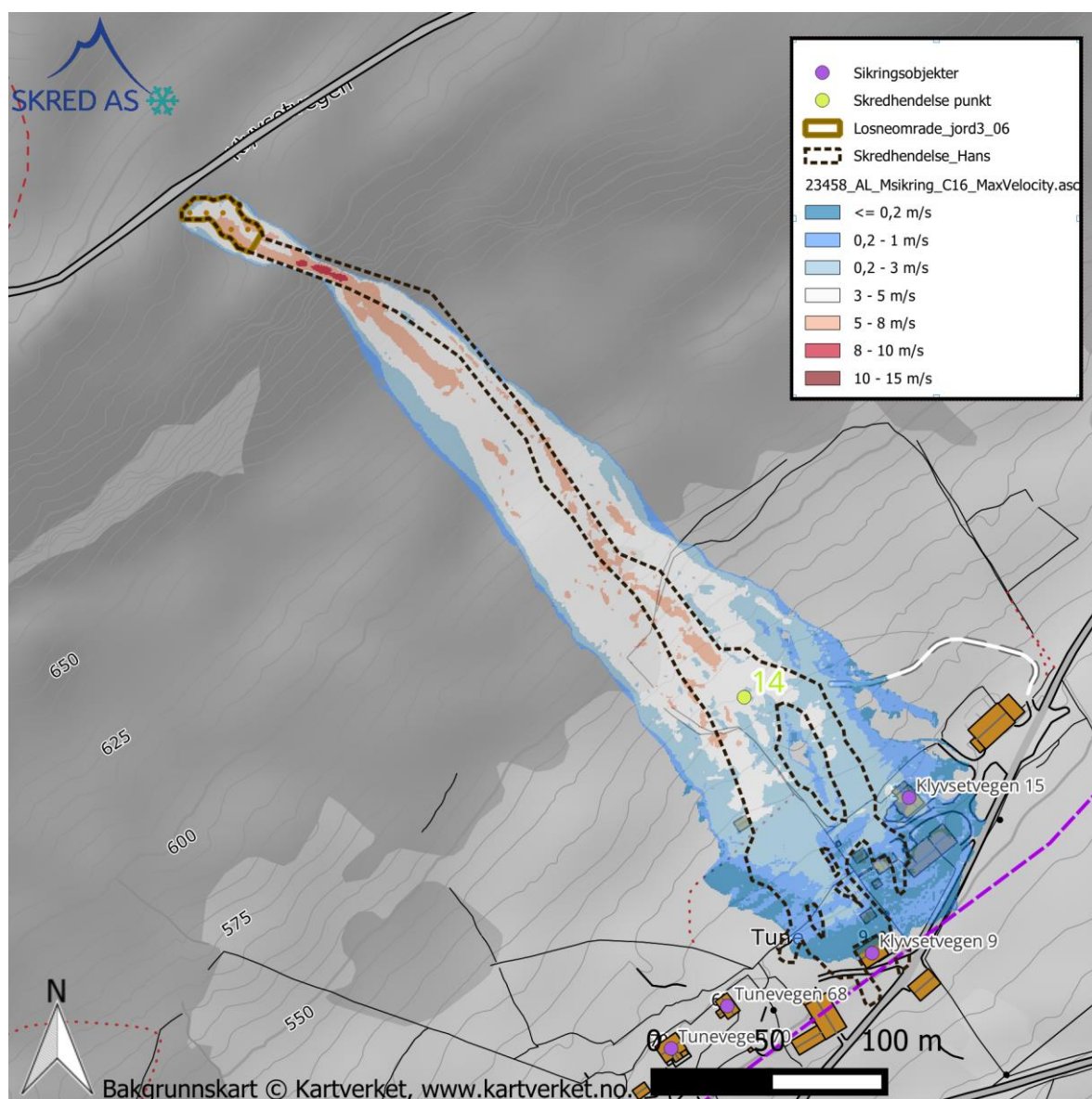
5.3.3.2 Diskusjon

Vi mener kjøringen (C16) i Figur 24 gir en god representasjon av skredet i 2023 med tanke på den informasjonen vi har om utløp og skadeomfang, selv om det modellerte skredløpet mellom løснеområdet og utløpsområdet ikke representerer skredhendelsen.

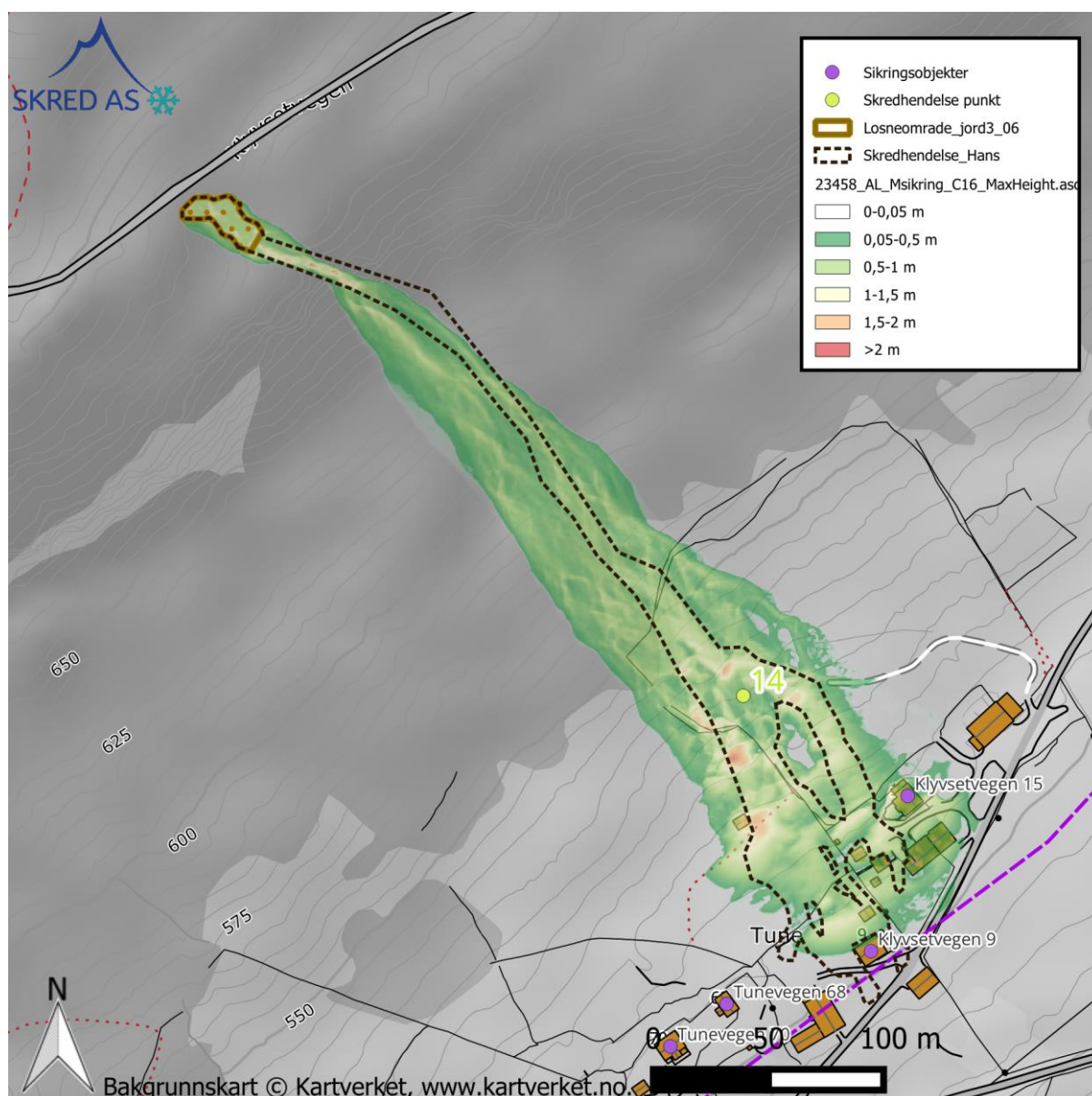
Modelleringen treffer godt på omtrentlig utløp for hendelsene i 1977 og 2023. Det er tydelig at terrengmodellen påvirker flytemønster og utløpslengden, og dette er også observert av NVE (NVE, 2020), at grovere terrengmodell i noen tilfeller ga lengre utløp med samme oppsett.

Flytemønsteret i modellering er ikke helt etter hva som er observert som utløp av skredet i 2023 i felt og ved terrengmodell. Spesielt bøyer modellert skred av mot sør tidligere enn hendelsen i 2023 når det har passert det bratte klippebåndet ved ca. 680 moh. Dette medfører at skredløpet nedover fjellsiden i modellen går litt mer mot sørvest enn observert i første del.

I nedre del av skredbanen sprer det modellerte skredet seg betydelig mer ut, som en type «trekantskred», i forhold til det observerte skredet i 2023 som var svært kanalisert, spesielt mellom ca. 575-680 moh. Dette medfører imidlertid at det modellerte skredutløpet treffer bedre med observert skred i 2023 i utløpsområdet, der også hendelsen i 2023 spredte seg utover innmark. Spredningen av skredmasser i utløpsområdet kan også skyldes avsetning av grovere masser ved overgang dyrkamark og at mer vannrike skredmasser fortsetter videre ned mot bebyggelse. Med tanke på estimert volum i hendelsen i 2023 er også modellering C16 noe større (kapittel 5.3.2). Lav modellert flyte høyde i modellen (Figur 25) vurderes å stemme godt med observasjoner fra de lokale og bilder etter hendelsen. Modellen klarer ikke å gjenspeile at den mest betydelige avsetningen var i overgang til dyrkamark på 525-540 moh.



Figur 24: Modellering av skredhendelsen i 2023 ved hastighet, med parameter i simulering C16 (Tabell 3).



Figur 25: Modellering av skredhendelsen i 2023, ved flyte høyde med parameter i simulering C16 (Tabell 3).

Forskjellene i skredløpet mellom faktisk skred under Hans i 2023 og tilbakeregning medfører at det hefter noe usikkerhet ved tilbakeregning i forhold til å bruke disse resultatene videre som grunnlag for å bestemme dimensjonerende skredscenario. Vi må derfor hensynta denne usikkerheten i det videre.

5.4 Vurdering av nominell årlig sannsynlighet tidligere hendelser

Skredene i 1977 og 2023 (to hendelser fra samme løsneområde de siste ca. 50 år) har begge blitt utløst av vann på avveie som medvirkende årsak, men vann på avveie er knyttet til ulike hendelser- snøsmelting i 1977 og ekstremnedbør i 2023. Vi vurderer at det derfor er sannsynlig at det i fjellsiden, både under og over Klyvsetvegen, er løsmassedekke som destabiliseres og eroderes ved eksponering for intensiv nedbør eller avrenning fra

snøsmelting/nedbør. Det er registrert flere mindre utglidninger i området ved ekstremnedbør under Hans i 2023, samt to skredhendelser fra samme løснеområde (1977 og 2023), som underbygger dette.

Ettersom det ikke er andre spesielt tydelige tegn på jord- eller flomskred i fjellsiden, eksempelvis ravinert terreng, er det naturlig å vurdere at løsmassene generelt sett er stabile gitt at de ikke utsettes for unormale påkjenninger, slik som eksempelvis intensiv nedbør eller avrenning fra snøsmelting/nedbør. Returperioden for eksempelvis ekstremnedbør eller betydelig snøsmelting er derfor viktig for potensielle jord- og flomskredhendelser.

Klyvsetvegen er også pekt på som en medvirkende årsak til skredhendelser, ettersom denne strukturen samlet vann både ved hendelsen i 1977 og 2023, og har potensiale til å føre vann på avveie inn i bratt terreng med løsmasser (Skred AS, 2024a). Dette viser avrenningsanalysen svært godt. Vi kan imidlertid ikke se på avrenningen som et stabilt system, dette kan endres som følge av ulike forhold, og konsentrasjon av vann på avveie kan dermed også oppstå andre steder i det bratte terrenget under Klyvsetvegen. Det er også fortsatt mer løsmasser tilgjengelig for erosjon i løснеområdet for 1977 og 2023, samt flere andre løснеområder som kan utsettes for vann på avveie.

Fare for skred i bratt terreng ved et gitt sted er produktet av sannsynligheten for utløsning av et skred og sannsynligheten for at skredet når frem til dette stedet (Gauer, 2018). I dette ligger derfor at den nominelle årlige sannsynligheten for skred på det gitte stedet er avhengig av en kombinasjon av hendelser som påvirkes av flere ulike og usikre parameter. Basert på en frekventistisk tilnærming vil returperiode for en hendelse som i 1977 og 2023 være ca. hvert 23 år, med tilsvarende nominell årlig sannsynlighet 0,04, gitt en tidsperiode siden 1977. En kan derfor trolig angi dette som en største mulige frekvens vi kjenner til.

Dette medfører at vurdering av skredsikring for sikkerhetsnivå S2 etter TEK17 (nominell årlig sannsynlighet 1/1000) betinger at et mer uvanlig scenario må vurderes. Vann på avveie har vært en viktig årsak for utløsning av skredhendelsene i 1977 og 2023, og gjennom klimaanalyse har vi sett at returperioden for ekstremnedbør som under Hans i 2023 er ca. 100-150 år og snøhøyde i terrenget (som kan gi stor snøsmelting) som for hendelsen i mai 1977 er lik 117 år. Snøhøyden i seg selv er vel ikke nok, den må kombineres med intens snøsmelting for å få en returperiode som sier noe om faren for jordskred, men dette er komplisert å analysere. Holder vi alle andre betingelser like kan vi da anta at nominell årlig sannsynlighet for en hendelse som i 1977 eller 2023 er mellom 0,015-0,018 (1/65-1/53 år), basert på returperiode for relevante klimadata.

Basert på en helhetlig vurdering, samt vurderinger i utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng (Skred AS, 2024a), vurderer vi nominell årlig sannsynlighet for skredhendelser som i 1977 og 2023 til mellom 0,05-0,016 (1/20-1/65 år).

Ved høye sikkerhetskrav (lav nominell årlig sannsynlighet for skred i bratt terreng) må en derfor legge til grunn mer uvanlige/ukjente skredscenario, og resulterende dimensjonerende skred vil da bli større, mer intenst og/eller ha lengre utløp.

6 Skredscenario

Fastsettelse av dimensjonerende scenario baserer seg på mange faktorer med tilhørende usikkerheter, og det er ingen eksakte svar på hva som er det rette grunnlaget for hvert sikringsnivå.

6.1 Metodikk

Som grunnlag for skredscenario tar vi utgangspunkt i faresonene (Skred AS, 2024a), antatt returperiode for 1977 og 2023-hendelsene, den kalibrerte modellen basert på tilbakeregning og NVE-rapport om beregning av jordskred under norske forhold (NVE, 2020).

6.2 1/1000

6.2.1 Scenario

For å fastsette dimensjonerende scenario med nominell årlig sannsynlighet 1/1000 har vi tatt utgangspunkt i scenarioet for 1977 og 2023-hendelsene. For å skalere scenarioet til en sjeldnere hendelse har vi tatt utgangspunkt i antagelsene om at sjeldnere skred vil være større, og dermed ha større skadepotensial og/eller lengre utløp. Årsakene til en sårn hendelse kan være:

- Vann på avveie i andre deler av fjellsiden eller flere steder i fjellsiden samtidig.
- Den delen av skredløpet hvor erosjon foregår blir større, for eksempel ved at skredet eroderer i en større del av fjellsiden.
- Høyere grunnvannsstand som gir økt poretrykk slik at det skal mindre skjærkrefter til for å erodere løsmassene, og skredets utløsningsområde og erosjonspotensial blir dermed blir større.
- Mer vann i skredmassene som reduserer intern friksjon mellom solide partikler i løsmassene, og dermed gir økt hastighet og utløpslengde.
- Geologiske massestrømmers tilfeldige oppførsel, som ofte påvirker størrelse, intensitet og utløp.

Det er viktig å påpeke at skredet under Hans hadde en strømningsform preget av kraftig erosjon i skredløpet, og som vi ikke klarer å gjenskape i modellering. Dette medfører at vi må hensynta usikkerhet i parameter vi har benyttet i tilbakeregning av hendelsen ift. å bruke dette i å bestemme dimensjonerende skredscenario. I scenario for sikkerhetskrav S2 har vi valgt at det kan forekomme et større skred, og vi vurderer derfor at dette vil ha større likhet mot et typisk trekant-skred, som også modellering viser vil kunne forekomme.

6.2.2 Modellering

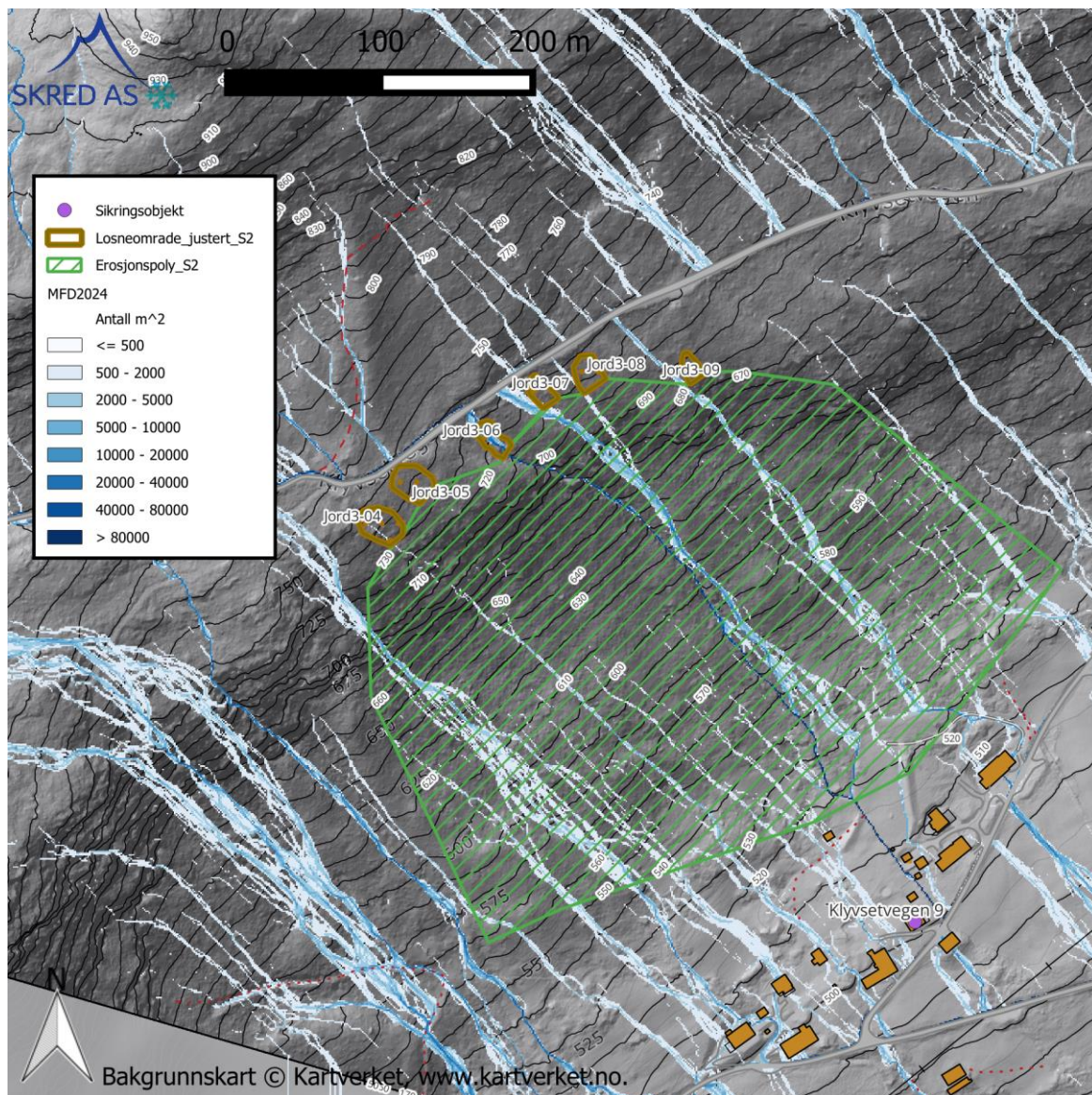
Vi vurderer modelloppsettet er kalibrert til de stedlige forholdene gitt tilbakeregning av hendelsen i 2023. Gjennom kalibrering av modellen ga oppsett med mer konservative parametere enn NVE FoU (NVE, 2020), for eksempel lavere friksjonsparametere og lavere «Critical shear stress», resultater som matchet godt med utløpet i 2023. Det har imidlertid trolig stor betydning at vi utførte modellering med terrengmodell med høy oppløsning. Lavere oppløsning ga lengre utløpslengder med parameter tilsvarende NVE FoU (NVE, 2020).

Figur 26 viser løснеområdene som vi har brukt til modellering av dimensjonerende scenarioer. De er basert på utredningen av sikkerhet mot skred i bratt terreng og nye analyser med bakgrunn i geomorfologiske tegn, avrenningsanalyser og modelleringstekniske forhold. Det er flere andre løснеområder som kan være relevante, for eksempel på oversiden av Klyvsetvegen, men de definerte løснеområder vurderes å dekke relevante skredscenarioer.

Som grunnlag for det dimensjonerende scenarioet har vi valgt å holde bakkefriksjonen lik tilbakeregning 2023 hendelsen (kapittel 5.3), men justere og øke volum i løснеområder, «*erosion rate*», «*pot. erosion depth*» og «*max erosion depth*» (Tabell 4). Det vil gi raskere erosjon ned til maksimal erosjonsdybde og gi et større skred volummessig ved større utløsningsvolum og at det tillates større erosjon. Samtidig øker hastigheten og utløpslengden til skredet, og dermed vil skadepotensialet ved skredintensiteten være større i større del av utløpet. Modellering av dimensjonerende skredscenario utføres også på terrengmodell fra høsten 2023, etter Hans, som representerer dagens terreng.

Tabell 4: Oversikt parameter modelloppsett for modellering S2 skredscenario.

Terreng modell	Terreng-opp-løsning	$\mu (-) / \xi (m/s^2)$	Erosion rate (m/s)	Pot. erosion depth (per kPa)	Critical shear stress (kPa)	Max erosion depth (m)
2023	1 m	0,175/175	0,025	0,1	0,5	3



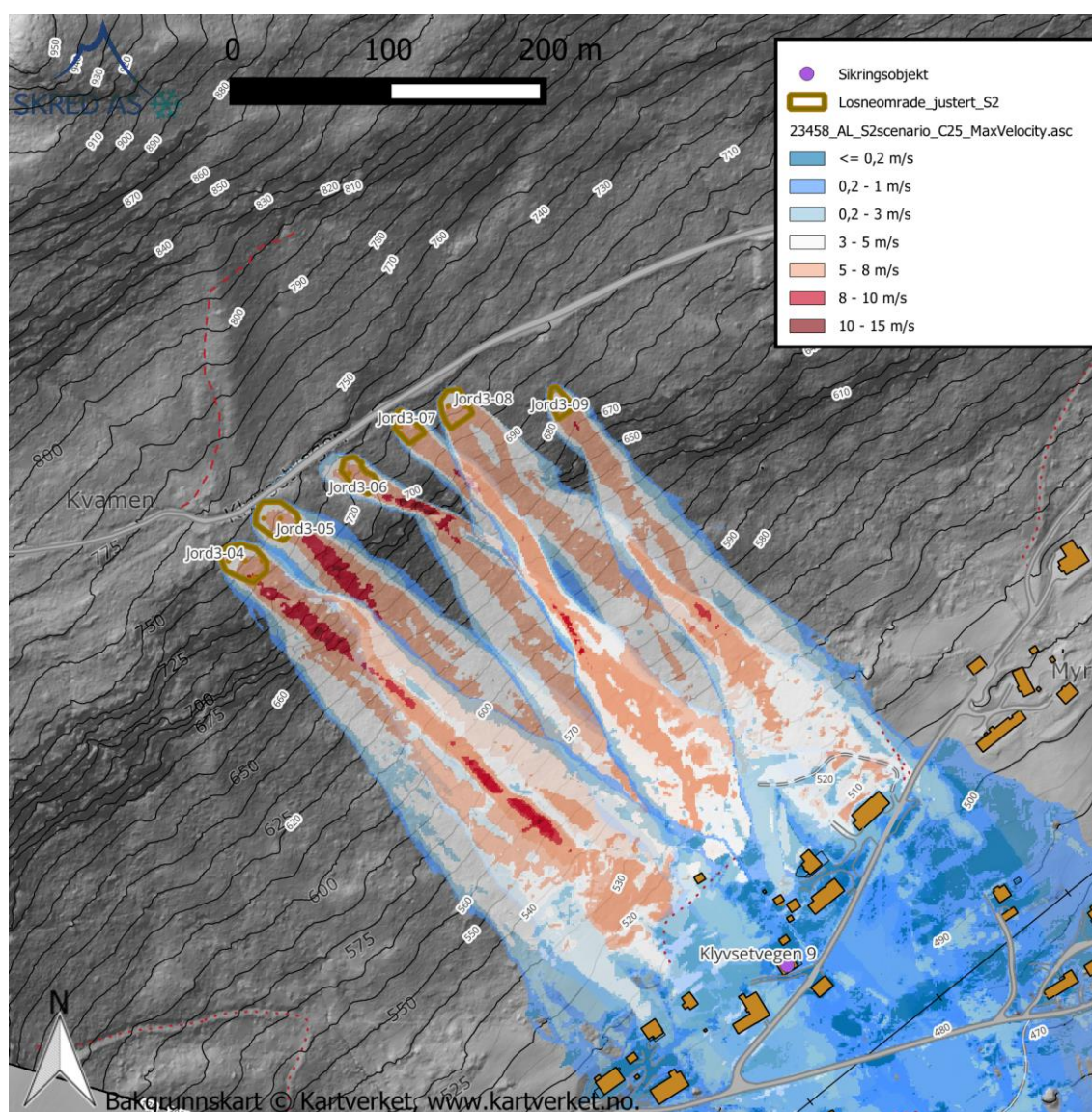
Figur 26: Vurderte løsneområder, med erosjonspolygon benyttet i modellering og avrenningsanalyse med siste tilgjengelige terrengmodell (Kapittel 4.3).

6.2.3 Resultater

Tabell 5 viser skredvolum fra de definerte løsneområdene (Figur 26) for dimensjonerende scenario med nominell årlig sannsynlighet 1/1000. Figur 27 viser en figur med modelleringsresultat hastighet. Skredbanene er modellert separat, men resultatene vises samlet for enkelthets skyld.

Tabell 5: Oversikt løsneområder og skredvolum i modellering for skredscenario sikkerhetskrav S2.

Løsneområde	Modellering	Løsnevolum (m ³)	Erodert volum (m ³)	Flytevolum (m ³)
Jord3-05	C20	626,00	12 941,00	13 567,00
Jord3-06	C21	541,00	9 145,24	9 686,24
Jord3-07	C22	321,00	6 285,00	6 606,00
Jord3-08	C23	444,00	12 867,00	13 311,00
Jord3-09	C24	245,00	5 410,00	5 655,00
Jord3-04	C25	693,00	11 072,00	11 765,00



Figur 27: Resultat fra modellering dimensjonerende scenario S2.

Modelleringen viser at skredene i dimensjonerende skredscenario for sikkerhetsnivå S2 kanaliseres i øvre del av skredbanen, men så flyter bredere utover i nedre del av

skredbanene. Skredene har høy hastighet ($> 5\text{m/s}$) frem til det når innmark og slakere terreng, omtrent ved 520 moh. Utflating i terrenget og bredere flytemønster til skredstrømmen bremser skredene, og dette var også tydelig av skredhendelsen under Hans i 2023.

Etter Hans har det blitt etablert terrengtiltak på innmark for beskyttelse mot skred. Tiltaket som er utformet som ledevoll ved Klyvsetvegen 15 leder skredmasser direkte mot Klyvsetvegen 9. Sikring av Klyvsetvegen 9 mot jord- og flomskred fra løseområde jord3-09 hadde trolig ikke vært nødvendig om ikke tiltaket ved Klyvsetvegen 15 hadde ledet skredmassene mot Klyvsetvegen 9. Tiltaket over Klyvsetvegen 9 indikerer noe bremsende effekt på skredstrømmen, men ikke tilstrekkelig til å gi tilfredsstillende sikkerhet for sikkerhetskrav S2.

For å sette dimensjonerende skredscenario for sikkerhetsnivå S2 i kontekst til hendelsen vi kjenner fra Hans i 2023, med estimert årlig nominell sannsynlighet ca. $1/20$ - $1/65$ år, så øker skredvolum fra omtrent 1500 m^3 til omtrent 9600 m^3 . Hastigheten i skredmasser ved Klyvsetvegen 9 øker også betydelig og er rundt 3 m/s og flytehyden kan komme opp mot 1,5 meter. Skredscenario for sikkerhetskrav S2 viser da et skred med betydelig skadepotensiale for Klyvsetvegen 9.

7 Aktuelle sikringstiltak

7.1 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.

Vi har vurdert at sikringstiltak for Klyvsetvegen 9 må bestå av en barriere som beskytter sikringsobjektet, og kun tiltak i løснеområdet vil ikke være tilstrekkelig, og anses for omfattende og utfordrende, for å oppnå sikkerhetsnivået. Ettersom det er identifisert flere potensielle løснеområder for skred i fjellsiden over sikringsobjektene, må en plassere barrieren så nærme som mulig sikringsobjektet for å sikre mest mulig målrettet (unngå å sikre «unødvendig» areal). Dette må imidlertid tilpasses til de eksisterende forholdene (andre bygg og infrastruktur, grunnforhold, nabogrenser osv.).

For å unngå å øke ulempe på tilgrensende areal og infrastruktur jfr. Grannelova kan det ikke benyttes barriere som medfører vesentlig endring i skredstrømmen i forhold til naturlig skredstrøm, eksempelvis ved ledevoll. Aktuelt tiltak for sikring med barriere er dermed:

- Barriere ved fangvoll
- Barriere ved jord- og flomskrednett
- Objektsikring av Klyvsetvegen 9 (forsterkning av bygg til å tåle skredlaster)

I tillegg anbefaler tiltaksvurdering for bekker og flomveier for Breie, Tune, Skottebøl-Noss (Skred AS, 2024b) tiltak for vannhåndtering, og utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng forutsetter at dagens skog opprettholdes (Skred AS, 2024a).

7.2 Objektsikring i eksisterende bygg

Objektsikring handler om å forsterke en konstruksjon (her Klyvsetvegen 9) slik at konstruksjonen kan stå imot skredlaster, og dermed kan byggverket i seg selv oppfylle kravene til tilfredsstillende sikkerhet mot skred i bratt terreng. Dette forutsetter at skredlastene ikke er for store etter krav i TEK17 og at uteareal kan nedklassifiseres til sikkerhetsklasse S1 dersom sikringsobjektet eksempelvis skal tilfredsstillende sikkerhetsklasse S2 (dette må imidlertid avklares med plan- og bygningsmyndighet).

Utearealet for Klyvsetvegen 9 tilfredsstiller ikke sikkerhetskravet mot skred i bratt terreng ved nedklassifisering til S1. Innledende beregninger for støtrykk fra skred mot nordvestvegg til Klyvsetvegen 9 viser at lastene fra skred fra flere av løснеområdene overstiger 50 kPa. Objektsikring er derfor ikke mulig i henhold til kravene i TEK17 §7-3 annet ledd og vi har ikke sett videre på dette.

7.3 Jord- og flomskrednett

Jord- og flomskrednett er kraftige ringnett av stål som spennes på tvers av jord- og flomskredløp, eller på terrenget for grunne jordskred, for å gi kontrollert avsetning av skredmateriale og bremse opp etter stoppe skred. Nettene er like steinspranggjerder, men er bedre tilpasset for å ta opp laster fra løsmasser som flyter og gir en flatelast, eksempelvis ved mer finmasket inner-nett og at nettet går tett på bakken for å unngå at skredmasser strømmer under nettet.

Nettet skal primært stoppe faste og grovere masser, og det er derfor også behov for å sikre mot slam og vann som renner gjennom nettkonstruksjonen. Men en viktig utfordring er at nettet må ha tilstrekkelig kapasitet til at det vesentlige av skredvolumet kan avsettes mot nettet. For standard nettsystem er avlagringskapasitet begrenset (WSL, 2020) ettersom ved treff vil nettet kollapse over skredmassene og netthøyden dertil reduseres (nominell høyde reduseres til residual høyde ved treff). Dette medfører at eventuelle påfølgende skredmasser flyter over nettet, og avlagringskapasiteten defineres derfor av residualhøyden.

Vi har gjort innledende vurderinger for barriere ved jord- og flomskrednett. Gitt en plassering som det vi vurderer for fangvoll vil skredlastene i fangnett være ikke være håndterbare ift. de standardiserte løsningene som finnes i dag, ettersom EAD-godkjente nett for grunne jordskred (Engelsk: *hillslope debris flow*) kan ta krefter opp mot 150 kPa (WSL, 2020). Gitt det dimensjonerende skredvolumet som skal stoppes av nettet, og at slike jordskrednett ikke er spesielt høye (2-4 m etter (WSL, 2020)) vil det være begrenset avlagringskapasitet uten betydelige terrenginngrep for masseavlagring oppstrøm fangnettet.

Avlagringsvolum (retention volume) for jordskrednett kan beregnes (WSL, 2020) og ved kontakt med Geobrudd har vi mottatt informasjon om standardiserte jordskrednett. Dersom vi benytter et utgangspunkt for nominell høyde lik 3,5 meter for nettet og residual høyde lik 2,5 meter etter treff, samt at skredmassene spres i jordskrednettet over 70 meter, er avlagringskapasiteten omtrent 2500 m³. Dette er ikke tilstrekkelig avlagringskapasitet for dimensjonerende skredscenario for sikkerhetskrav S2.

Fangnett for jord- og flomskred kommer også mindre gunstig ut i en kost/nytte analyse, i forhold til eksempelvis en tradisjonell skredvoll. Bakgrunnen for dette er at fangnett er konstruksjoner med kortere levetid, og gjerne betydelig større vedlikeholdsbehov etter treff fra en skredhendelse.

På bakgrunn av dette har vi vurdert at fangnett mot jord- og flomskred ikke vurderes videre som sikring for Klyvsetvegen 9.

7.4 Skredvoll

Skredvoller er konstruksjoner som har til hensikt å stoppe (fangvoll) eller lede (ledevoll eller plogvoll) skredmasser slik at de ikke treffer objektet som skal sikres. De består gjerne av en bratt støtside på skredsiden og en slakere side på luftsiden. En fangvoll må ha rom til et avlagringsbasseng for skredmassene som stoppes av støtsiden, mens en ledevoll/plogvoll må kunne lede skredmassene inn i et område som ikke fører til økt ulempe.

7.4.1 Avklaring mulige volltype

Av følgende årsaker vurderes det at det kun er fangvoll som er aktuelt som skredvollbarriere, og ikke ledevoll/plogvoll:

- På bakgrunn av eksisterende bygg nær Klyvsetvegen 9 er det ikke mulig å etablere en skredvoll tett på sikringsobjektet, ettersom en voll har et visst fotavtrykk (areal konstruksjonen dekker) avhengig av høyde på voll, bredde vollkrone og skråningshelling på støtside og leside. Eksempelvis vil en voll med normal helling på støtside leside (hhv 3:1 og 1:2), vollkrone på 1,5 meter bredde og høyde på 4 meter ha et fotavtrykk (bredde) pr enhetslengde lik ca. 11 meter. I tillegg må det være rom til magasin for masseavlagring og vannhåndtering ved støtside voll.
- Flere løseområder gir skredstrøm fra ulike retninger inn mot Klyvsetvegen 9 og eksisterende terrengtilpasninger (egenutarbeidede sikringstiltak etter Hans) medfører også endring av skredstrøm som må hensyntas. Ettersom det ikke er tilstrekkelig plass for vollkonstruksjoner nært sikringsobjektet må vollkonstruksjon flyttes oppover i terrenget for å få tilstrekkelig med plass. Dette medfører at en lede-/plogvollkonstruksjon vil lede skredstrømmen i annen retning enn hva som var naturlig strømningsretning og ettersom det er nærhet til eksisterende bygg og infrastruktur vil dette føre til økt ulempe for tilgrensende områder.

Vi har derfor vurdert å ikke videre utlede alternativene for lede-/plogvoll, men kun utrede sikring ved fangvoll.

7.4.2 Sikring ved fangvoll

Dimensjonering av skredvoller mot jord-/flomskred er det generelt liten erfaring med (Statens vegvesen, 2023), men denne type jord-/flomskred er tilsvarende snøskred en granulær strømningsprosess som både har likheter og forskjeller. Vi tar derfor utgangspunkt i samme metodikk, som andre også gjør eksempelvis Statens vegvesen, for dimensjonering ettersom det er utviklet et godt grunnlag for snøskred.

Geometrien til skredvoller må tilpasses skredtype, men det er viktig at den geometriske formgivningen må kunne redusere oppstuvning av løsmasser mot skredvollen og hindre overtopping som medfører skade nedstrøms fangvollen. Som et estimat for vollhøyde kan en benytte forholdet gitt av Statens vegvesen (Statens vegvesen, 2023), gjerne omtalt som den tradisjonelle metoden: $H = (u_1 \sin \alpha)^2 / 2g$

hvor H er oppstuvingshøyden (minste høyde på voll), u_1 er hastigheten til fronten av skredet oppstrøms tiltaket, α er defleksjonsvinkel og g er gravitasjonskonstanten. Andre kilder introduserer også produktet $2g\lambda$ i nevneren (Rudolf-Miklau et al., 2015; Salm, 1990; Johannesson et al., 2009) der λ er en empirisk koeffisient fra relatert til skredets tetthet og tap av bevegelsesmengde og effekt av friksjon på skredet som stuves opp mot støtsiden.

For snøskred kan også bruke en hydrodynamisk tilnærming, som foreslått av (Johannesson et al., 2009). Vi har tatt med metoden som en støtte til vurderingene siden det ifølge Statens Vegvesen ikke finnes noen god metode for å estimere høyder for slike skredtyper og at

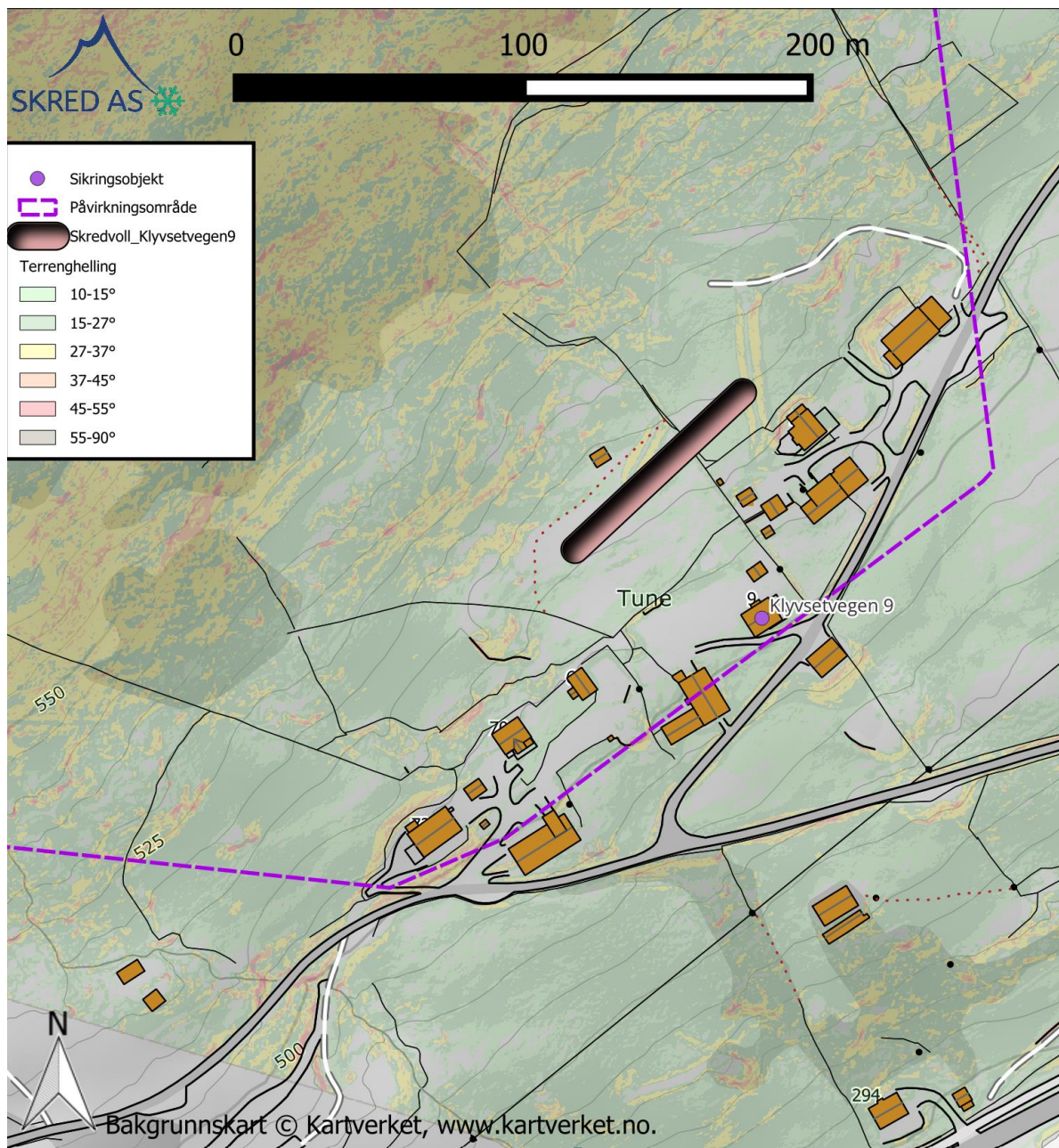
nyere undersøkelser har anbefalt å benytte den tradisjonelle metoden med varsomhet og vurderte at en analytisk metode basert på sjokkteori kan være bedre egnet (Iverson, 2016).

Basert på at en fangvoll trenger plass med tanke på fotavtrykk og masseavlagringskapasitet/vannhåndtering oppstrøms støtside har vi tatt utgangspunkt i en plassering for støtside som vist i Figur 28. En fangvoll kan også tilpasses til terrenget ved at en tar ut masse oppstrøms støtside slik at nødvendig vollhøyde opprettholdes, men effektiv vollhøyde over eksisterende terreng blir lavere og slik sett blir også fotavtrykket redusert. Dette krever imidlertid gode løsninger for vannhåndtering og masseavlagring.

Støtsiden er også tegnet tilnærmet normalt på skredstrømmen for å ikke ha noen ledeeffekt mot annen infrastruktur og bebyggelse. Den er planlagt med et svakt fall mot sørvest langs fangvoll støtside, dette er tenkt for at massene skal spre seg utover støtside heller enn å stuves opp mot vollen på et sted i en vifteform. Det eksisterende tiltaket for Klyvsetvegen 9 må rives for å gjøre plass til magasin for masseavlagring, og avslutning av fangvoll mot tiltaket ved Klyvsetvegen 15 må tilpasses slik at masser ikke ledes mot Klyvsetvegen 9. Linje for støtside til fangvollen i Figur 28 er omtrent 80 meter lang og medfører at Klyvsetvegen 9 blir liggende ute av skredstrømmen med skadepotensial. Nødvendig lengde på vollen må strekkes mot øst for å unngå at skredmasser som ledes av vollen ved Klyvsetvegen 15 skal kunne gå mot Klyvsetvegen 9, dette tiltaket medfører derfor at vollen blir lengre. Eventuelt må det gjøres terrengtilpasninger og fjerning av vollen ved Klyvsetvegen 15.

Endelig plassering og utforming av voll kan justeres noe i en eventuell detaljprosjekteringsfase dersom det er behov. Det må da verifiseres at de skredtekniske premissene er ivarettatt, spesielt mht. lengde på vollen.

I Tabell 6 viser vi inngangsparameter for beregning av oppstuvingshøyde fangvoll basert på dimensjonerende skredscenario for plassering av fangvoll som i Figur 28. I Tabell 7 beregnes vollhøyder basert på strømningsverdier fra de ulike skredløpene for en 3-deling av vollen.



Figur 28: Foreslått plassering støtside fangvoll for Klyvsetvegen 9 basert på skredtekniske vurderinger.

Tabell 6: Oversikt inngangsparametere for forhold ved voll og skredstrøm for beregning klatre- og influenshøyde.

	Parameter	Verdi	Kommentar
Forhold ved voll	Terrenghelning ved tiltak terreng [°]	10-15	Bruk av 10-15 grader er en forenkling, for terrenget varierer noe mer, men det er generelt lav 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)	2,5	Fra modellering ved foreslått lokalisering støtside voll
	Hastighet (m/s)	5	Fra modellering ved foreslått lokalisering støtside voll
Skredstrøm	Froudetall Fr [-]	1,0	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 7: Beregning av klatre- og influenshøyde mot ulike deler av vollen.

Voll	Metode (m)		Klatrehøyde gjennomsnitt (m)	Vurdert nødvendig minste vollhøyde(m)
	Tradisjonell (m)	Hydrodynamisk (m)		
Sørvestre del	3,8	6,1	4,9	5
Midtre del	3,8	6,1	4,9	5
Nordøstre del	3,8	6,1	4,9	5

Trykket flomskred utøver mot vertikale flater (støtside voll) 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) er lik: $P_s = 0,5k\rho_s(u_1)^2$

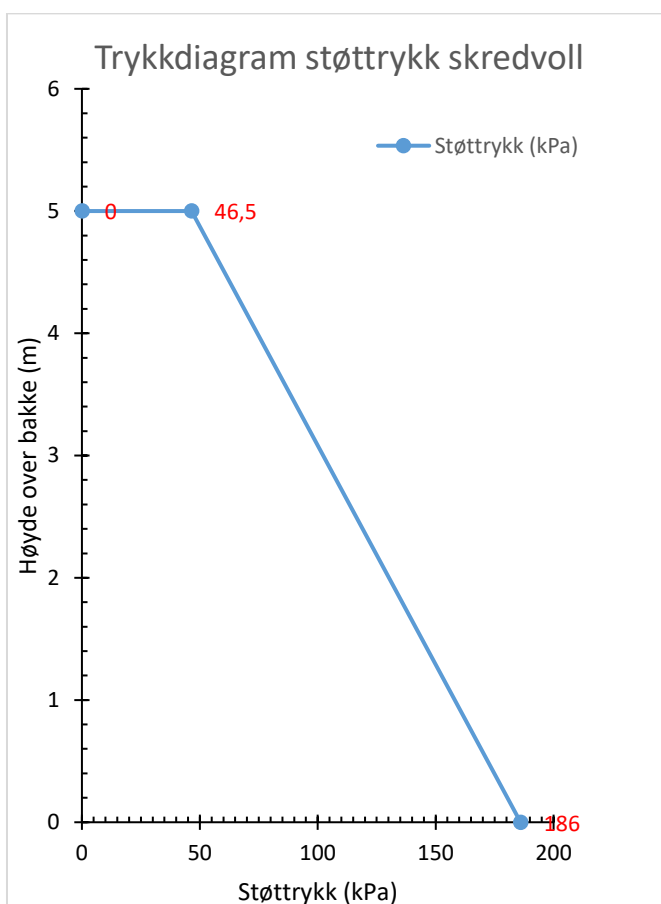
der k er en konstant, ρ_s er væskens/massens tetthet og u_1 er hastigheten oppstrøms tiltaket. Konstanten, k , representerer effekten av at skredmassene har en viss fasthet og at det kan være store partikler i skredene. Statens vegvesen V139 (Statens vegvesen, 2023) anbefaler k verdi lik 6 og tetthet lik 2000 kg/m^3 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 8 og Figur 29 viser resultater for støttrykk mot støtside voll med 5 meter høyde, der fordeling av støttrykk mot fangvoll støtside er vurdert ved å midle beregnet trykk fra begge metodene. 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. Lastfordelingen er som anbefalt av Østerisk metode (Suda et al., 2010)/ONR24801.

Tabell 8: Støttrykk fra jord- og flomskred i flyte høyden mot skredvoll støttside gitt plassering Figur 28.

Voll	Hastighet (m/s)	Flyte høyde (m)	Tetthet (kg/m ³)	K-verdi	Støttrykk (kN/m ²)		
					V139	Suda et al 2010	Gj.snitt
Hele lengde	5	2,5	2000	6	150	222,4	186



Figur 29: Diagram for støttrykk mot skredvoll støttside med 5 meter høyde.

Dimensjonerende skred er en sjelden hendelse og det forventes at det er liten sannsynlighet for at last fra skred i denne størrelsesorden inntreffer i tiltakets levetid. Vi vurderer derfor at dimensjonering av laster kan betraktes som ulykkeslast etter NS-EN 1991-1-7:2006+NA:2008 Eurokode 1: Laster på konstruksjoner. Del 1-7: Allmenne laster. Ulykkeslaster, som krever at konstruksjonen skal være tilstrekkelig robust ved å dimensjonere konstruksjonen slik at sannsynligheten for at konstruksjonen overlever en ulykkeshendelse.

Skredscenario viser at skredvolum varierer i forhold til hvilke definerte løsnemråder som løser, og varierer mellom totalt ca. 5 600-13 500 m³ totalt flytevolum (Tabell 5). Det er

imidlertid slik at ikke hele skredvolumet i alle skredbanene blir stoppet av vollen, siden vollen er plassert omtrent i rett linje mellom løsneområde Jord3-06 og Klyvsetvegen 9 (Figur 1). Vi har derfor endret terrengmodellen i modelleringsprogrammet RAMMS ved å sette inn en høy voll langs planlagt vollprofil. Da vil ikke skremasse kunne overtoppe vollen i modellen og vi kan få et mål på hvor mye av skredmassene som stoppes av og avsettes ved vollen, samt hvordan dette fordeles på de ulike skredløpene (Tabell 9).

På bakgrunn av denne analysen vurderer vi at avlagringskapasitet for fangvoll må være omkring 8500-9000 m³.

Tabell 9: Oversikt løsneområder og skredvolum i modellering for skredscenario sikkerhetskrav S2 samt vurdering av hvor mye av skredvolumet som stoppes av fangvollen.

Løsneområde		Flytevolum (m ³)	Avlagring ved voll fra RAMMS (m ³)	Andel av skredstrømmen som stoppes av fangvoll (%)
Jord3-05	J3-05_C20	13 567,00	5000-5700	37-42
Jord3-06	J3-06_C21	9 686,24	7000-7400	72-76
Jord3-07	J3-07_C22	6 606,00	4600-5100	70-77
Jord3-08	J3-08_C23	13 311,00	5100-5600	38-42
Jord3-09	J3-09_C24	5 655,00	350-380	6-7
Jord3-04	J3-04_C25	11 765,00	2000-2500	17-21

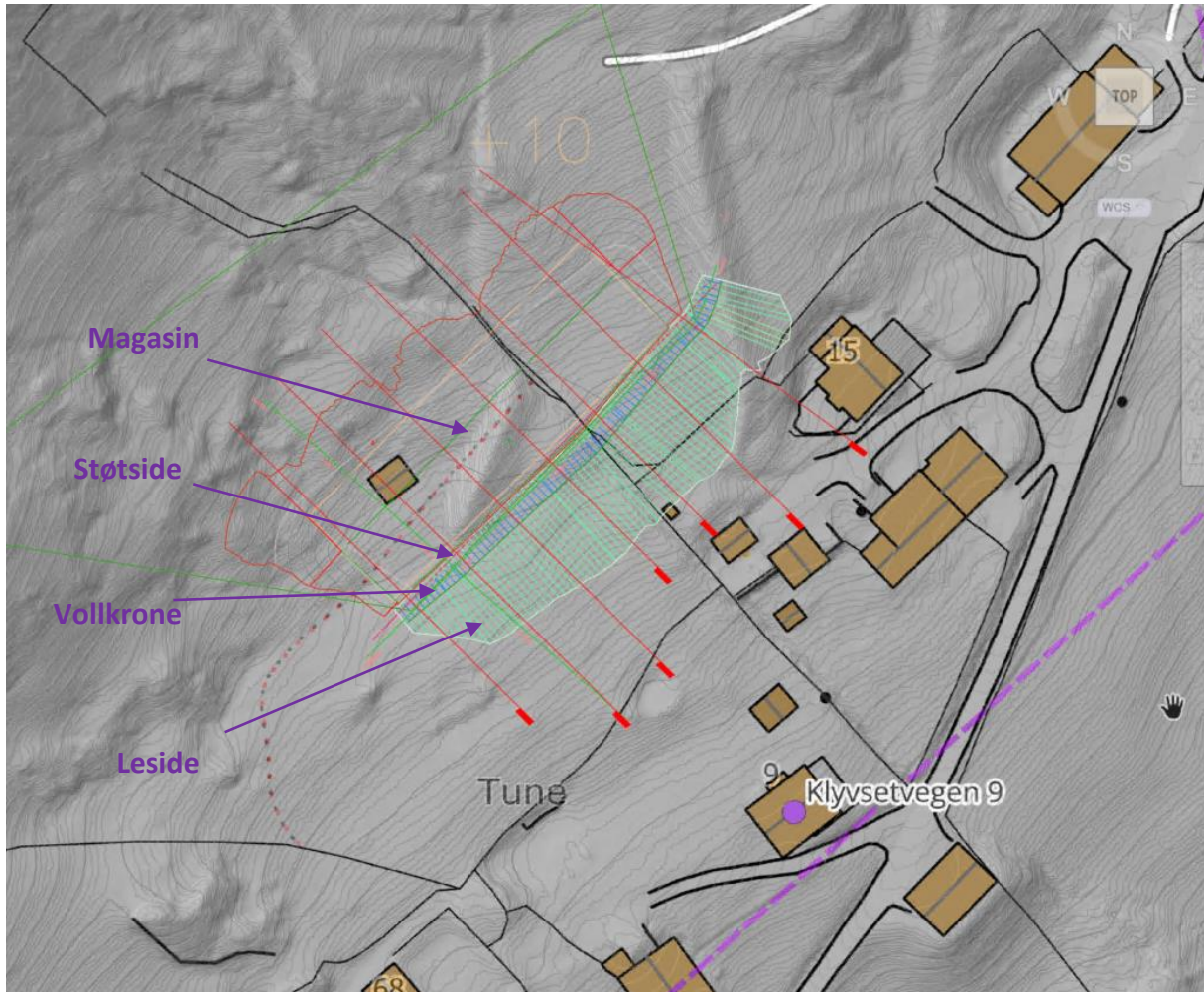
7.4.3 Utførelse

Utførelse av voller avhenger av tilgang på masser, terreng og anleggstekniske forhold og er godt beskrevet av Statens Vegvesens håndbøker (Statens vegvesen, 2024, 2023). Skredvoller har vesentlig bedre effekt med steil helling på støtside og bygges da gjerne med tørrmur, gabionkasser, jordarmering eller i noen tilfeller betongelementer. Eventuelt slakere støtsider kan bygges av sortert sprengstein, og kan også jordarmeres ved behov. Skråningen på luftsiden bygges gjerne med slakere helning. Selve fyllingen består gjerne av stedlige eller tilførte masser, avhengig av massenes kvalitet. Der det er begrenset plass kan baksiden også bygges med samme prinsipp som for støtsiden.

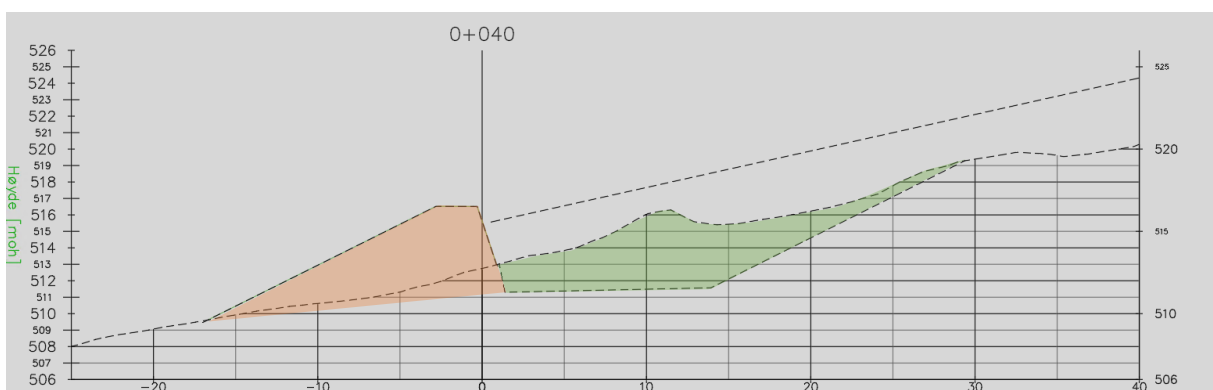
Dimensjoneringen av sikringstiltaket forutsetter tradisjonelt fangvollprofil med 5 meter effektiv vollhøyde og ca. 80 meter lengde (kap. 7.4.2), helling støtside 3:1 eller brattere med muring, vollkropp av løsmasser med vollkrone ca. 2,5 meter og leside helling 1:2, samt avlagringsbasseng i forkant av skredvoll (Figur 31). Innledende geotekniske vurderinger bekrefter at dette er gjennomførbart, men det er usikkerhet rundt jordparametere, og videre arbeid må omfatte grunnundersøkelser for å redusere usikkerhet i detaljprosjektering av sikringstiltaket.

Det er lagt til grunn en løsning ved bruk av stedlige masser i vollkroppen, som koordineres mot utgraving av magasinet oppstrøms. Vollen vil da også kunne senkes i terrenget, selv om effektiv vollhøyde opprettholdes. Dette er også avhengig av faktisk løsmassedyp ved vollen,

og må verifiseres. En delvis nedgravd voll stiller imidlertid krav til vannhåndtering og stedlige løsmasser. Dersom det ikke er mulig å gjenbruke stedlige masser kan vollen bygges med tilkjørte kvalitetsmasser.



Figur 30: Eksempel plansnitt på mulig fangvollplassering for sikring av Klyvsetvegen 9.



Figur 31: Eksempel tverrsnitt på mulig fangvoll ved plassering i Figur 28.

Vi har tatt ut gjennomsnittsdata fra tverrprofil i terrengmodellen (Figur 31) for en mulig vollkonstruksjon (Figur 28) til bruk for å estimere mengder i kostnadsestimat.

Tverrsnittsareal pr. enhetslengde for vollkonstruksjonen, gitt 10 graders opprinnelig terrenghelning, er ca. 57 m^2 (markert som oransje polygon i Figur 31), med et fotavtrykk lik ca. 17 meter (bredde voll). I tverrsnittet av vollen estimerer vi ca. 6 m^2 for tørrmur og ca. 10 m^2 for nødvendig bak- og underfylling av tørrmur med drenerende sprengstein. Som et representativt snitt for tverrsnittsareal pr enhetslengde for nødvendig utgravd volum for magasin til masseavlagring benytter vi 65 m^2 (markert som grønn polygon i Figur 31).

Det er viktig å påpeke at mengdene er basert på gjennomsnittsdatabaser fra et representativt tverrprofil (Figur 31) fra terrengmodell med en mulig vollkonstruksjon (Figur 28). Mengdene vil derfor kunne endres ved mer detaljerte beregninger og detaljprosjektering av voll eller endringer av vollgeometri.

7.5 Vannhåndtering og erosjonssikring

7.5.1 Innledning

Vannhåndtering kan redusere løsnessannsynlighet, men det vurderes å være urealistisk å utføre tiltak som hindrer skred i å løsne i forhold til sikkerhetsnivå S2 etter TEK17. Vann på avveie har vist å være en medvirkende årsak til tidligere skredhendelser, men det vil være svært omfattende å kontrollere all avrenning fra høyereliggende terreng mot sikringsobjektet, og et slikt tiltak vil uansett ikke kunne gjøre noe med ekstremnedbør som treffer løsneområdene direkte. Det er likevel en forutsetning for sikringsalternativene at vannhåndtering langs Klyvsetvegen forvaltes og driftes etter hensikten, og for å unngå stor konsentrasjon av avrenning i bratte deler av fjellsiden.

Tiltaksvurdering for bekker og flomveier for Breie, Tune, Skottebøl-Noss (Skred AS, 2024b) gir en vurdering av avrenning og vannveier, kritiske punkt og foreslåtte tiltak med prioritering. Det presiseres at Klyvsetvegen, som går på tvers av terrenget høyt oppe over sikringsobjektene, påvirker avrenningen videre nedover, og det anbefales flere tiltak for vannhåndtering knyttet til denne.

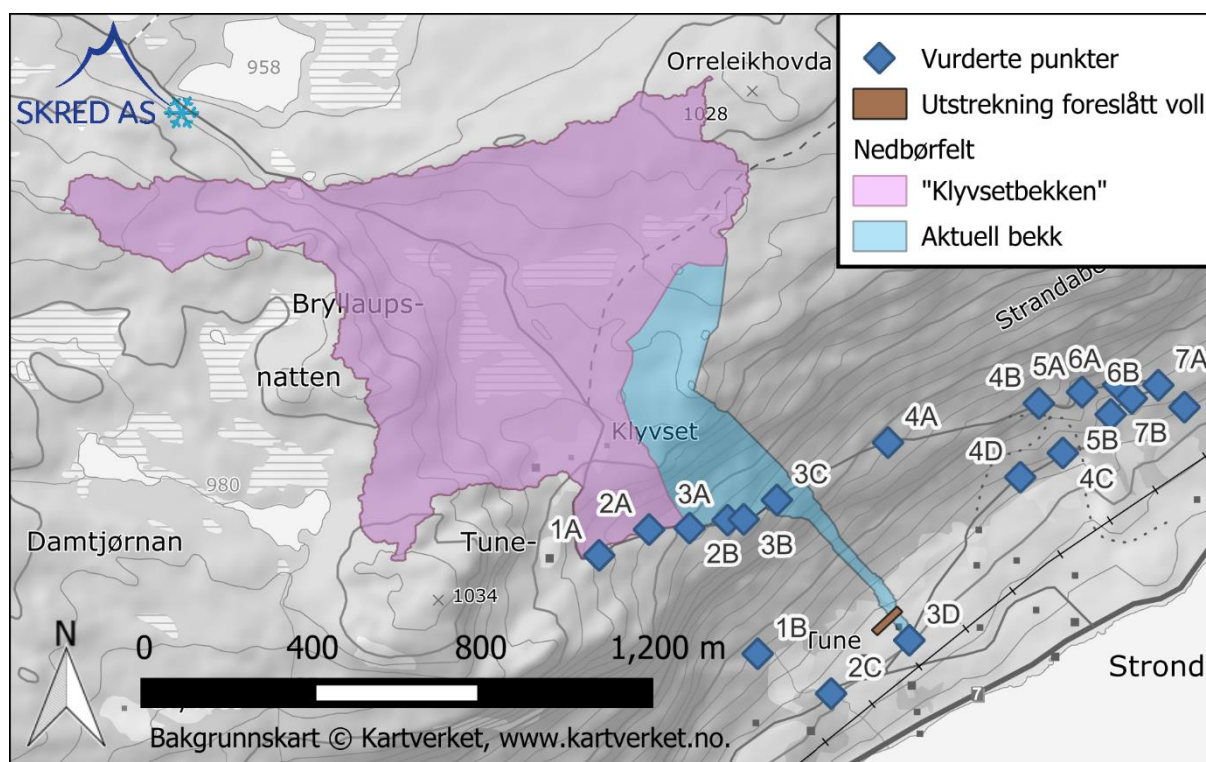
Skredløpet utgjør en flomvei for vann som kommer fra terrenget oppstrøms og som samles langs Klyvsetvegen. Vannet ledes både under Klyvsetvegen i stikkrenne, samt at terrenget faller slik at overskytende vann vil dra over veien her. Planlagt sikringsløsning er en skredvoll på tvers av skredløpet. Dette gjør at vannet i skredløpet må håndteres gjennom eller rundt vollen.

7.5.2 Sikkerhetsnivå

Formålet med sikringstiltaket er at boligen skal oppnå sikkerhet mot skred i bratt terreng etter sikkerhetsklasse S2 i TEK17, og nominell årlig sannsynlighet for skred skal dermed være lavere enn $1/1000$. Tilsvarende sikkerhetsklasse for flom er F2, der nominell årlig sannsynlighet skal være lavere enn $1/200$. I henhold til veileder for flomberegninger (NVE, 2022) skal det benyttes et sikkerhetspåslag på 40 % for alle vassdrag mindre enn 10 km^2 . For det representative vassdraget i flomberegninga for mindre bekker (Skred AS, 2024b) gir formelverket for små felt at $Q_{1000}/Q_{200} = 1,38$. Q_{200} med 40 % klimapåslag tilsvarer dermed Q_{1000} for dagens klima, og vi anser derfor flomberegninga fra Skred AS (2024b) som gyldig for sikkerhetsnivået $1/1000$.

7.5.3 Vannmengder

For en naturlig situasjon har skredløpet en dimensjonerende vannføring på $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ (punkt 3D i Skred AS (2024b) og Figur 11 og Figur 32 i denne rapporten). I arbeidet med *Tiltaksvurdering for bekker og flomveier* ble det avdekket at det er potensiale for at Tunebekken (benevnt «Klyvsetbekken» i Skred AS (2024b)) kan følge Klyvsetvegen østover og dra ned skredløpet mot Tune. Dette kan i verste fall føre til $3,4 \text{ m}^3/\text{s}$ ned skredløpet. I Skred AS (2024b) ble det derfor anbefalt å utbedre kryssingen Tunebekken x Klyvsetvegen (punkt 2A/2B) slik at vannet i bekken følger sitt naturlige løp. Figur 32 viser de aktuelle nedbørfeltene og punktene som omtales.



Figur 32: Nedbørfeltet som bør legges til grunn for bekken i aktuelt skredløp i blått, og nedbørfeltet til Tunebekken i rosa som kan dras på avveie mot vurdert bekk skredløp.

Vi forutsetter at det anlegges en trygg kryssing med tilstrekkelig dimensjon for bekken i 2A og/eller 2B som gjør at sannsynligheten for vann på avveie derfra blir betydelig redusert, se detaljer i Skred AS (2024b). Samtidig, er det ikke ønskelig med mer vann gjennom stikkrennene i 3A og 3B for å ikke øke skredfaren i de løpene. Vi forutsetter derfra at vann som naturlig drenerer mot disse stikkrennene kan dra på avveie ned skredløpet, ettersom dimensjonen på kryssingene er svært små. Dimensjonerende vannføring for bekken i skredløpet blir dermed $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$ (3A/3B + 3C + 3D i Skred AS (2024b)).

Dimensjonerende vannføring for Tunebekken i 2A er $2,7 \text{ m}^3/\text{s}$ Skred AS (2024b). Av hensyn til den bratte helningen på vegen vil det trolig være vanskelig å anlegge et lavbrekk, og vi anbefaler derfor at både 2A og 2B oppdimensjoneres til å ha kapasitet til dimensjonerende flom, slik at 2B fungerer som en reserveløsning dersom 2A tilstoppes.

7.5.4 Stikkrenner ved 2A og 2B

Begge leder vann ned samme løp. Nødvendig dimensjon på stikkrennene er 2 x 1000 mm i hver av kryssingene, med forutsetning om ingen tilstopping, Klyvsetvegen er forholdsvis smal, og det forventes at en lengde på stikkrennene på 5 meter er tilstrekkelig.

7.5.5 Grøft for avrenning fra fangvoll

Skredvollen planlegges som fangvoll på tvers av skredløpet, der det i etterkant av skredet har etablert seg en «bekk». Vannet i «bekken» må håndteres gjennom eller rundt vollen. Stikkrenner er sårbare for tilstopping, både av sedimenter, drivgods og is. En mer robust, driftssikker og mindre vedlikeholdskrevende løsning vil derfor være å anlegge en åpen grøft rundt fangvollen. Vi anbefaler derfor åpen grøft langs og rundt fangvollen og har vurdert dette alternativet nærmere.

Vannhåndtering langs støtsiden av vollen håndteres som en del av vollen, med en overgang i sørøstre ende av vollen til en overvannsgrøft som leder vannet tilbake til bekkeløpet nedstrøms.

Basert på størrelsen på nedbørfeltet, forventer vi at «bekken» i skredløpet i praksis vil være tørr mesteparten av tida, og kun føre vann under nedbør og snøsmelting. Vi foreslår derfor at det anlegges erosjonssikring i bunn av grøfta, dekket av et lag med dagens vekstmasser slik at overflaten vil bestå av gress eller annen vegetasjon. Ut fra beregnet vannhastighet og størrelse på grøfta (se Tabell 11) forventer vi at ordnet steinlag vil være en hensiktsmessig type erosjonssikring (NVE, 2023b). Siden terrenget heller mot en side, forventer vi at det vil være tilstrekkelig med erosjonssikring i bunn og på nedstrøms side av grøfta.

Terrenget har en helning på 1:5 til 1:10 i området, og vi antar en helning på 4 % for det nye bekkeløpet siden det skal gå skrått tilbake mot dagens bekkeløp. Nedstrøms vollen kan det nye bekkeløpet utformes som en kombinasjon av utgraving/grøft samtidig som massene som graves ut legges opp som en voll på nedstrøms side av bekkeløpet. På denne måten går grøfta i massebalanse samtidig som det oppnås tilstrekkelig fribord uten et dypt skår i terrenget. Utformingen på grøfta kan gjerne tilpasses innspill fra grunneier/jordbruker, så lenge nødvendig kapasitet oppnås.

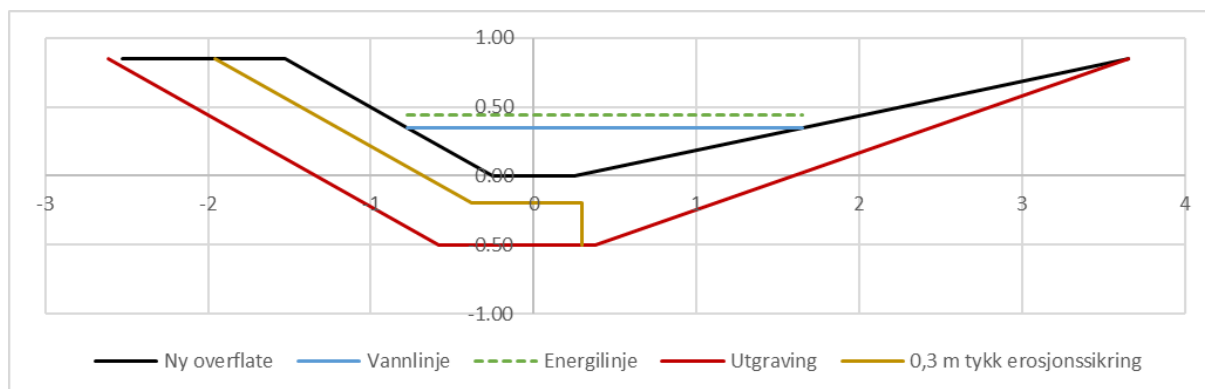
Nødvendig dimensjon på grøft er beregnet med Mannings formel, som forutsetter frispeilstrømning. Tabell 10 viser parameterne benyttet i beregning med Mannings formel, mens Tabell 11 viser resultatene av beregningene og Figur 33 viser et tverrsnitt med størrelsene. Figur 34 viser forslag til plassering av grøft med 5 meter total bredde og 85 meter lengde. Mengder for bruk i kostnadsoverslag antar et grøftetverrsnitt på 5 m², noe som gir totalt utgravingsvolum lik 425 m³ som må flyttes. For overslagsberegning antar vi en tykkelse på steinlaget på 0,3 meter som gir areal for erosjonssikring på 0,6 m² per 85 løpemeter som totalt krever 51 m³ stein. For vekstmassene antas det at dagens topplag kan gjenbrukes.

Tabell 10: Parametere benyttet i beregning med Mannings formel.

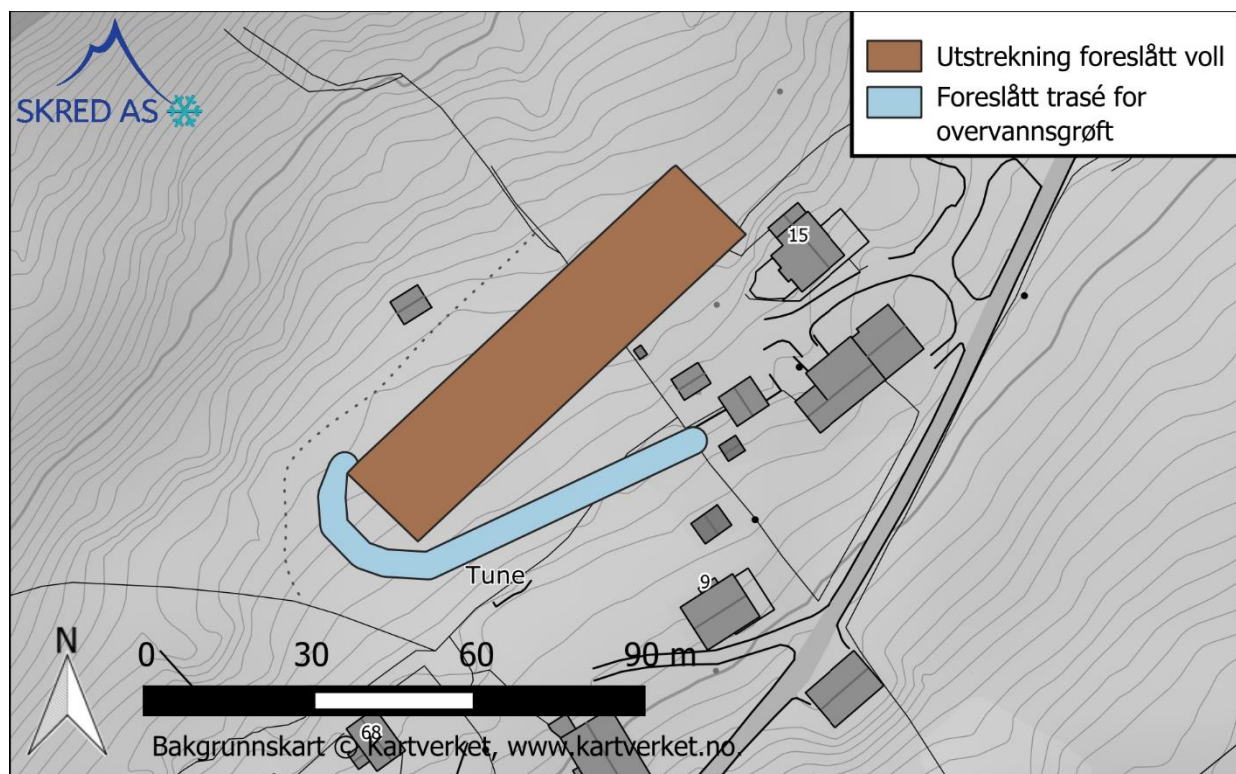
Strekning	Vannføring [m ³ /s]	Bunnbredde [m]	Bunnhelning [-]	Helning oppstrøms skråning [1:n]	Helning nedstrøms skråning [1:n]	Mannings [m ^{1/3} /s]
Nedstrøms voll	0,7	0,5	0,04	4	1,5	20

Tabell 11: Resultater og nødvendig dimensjon på grøft ut fra beregning med Mannings
 formel.

Strekning	Vanndybde [m]	Vannhastigh et [m/s]	Energi høyde [m]	Fribord (sikkerhets- margin) [m]	Nødvendig dybde [m]	Nødvendig bredde [m]
Nedstrøms voll	0,35	1,4	0,09	0,5	0,85	5,2



Figur 33: Tverrsnitt av foreslått utforming av grøft, med oppstrøms side til høyre og
 nedstrøms side til venstre.



Figur 34: Voll (ca. 80 x 18 meter) og forslag til plassering av grøft (ca. 85 meter lang) ved foreslått fangvoll for overvannshåndtering (5 meter bred). Trase kan tilpasses.

7.6 Skog

Beplantning kan redusere løsnessannsynlighet, men det er i dag allerede tett og stor skog i aktuelle løsneområder.

At dagens skog i påvirkningsområdet opprettholdes og skjøttes er derfor en forutsetning for sikringskonseptet ettersom dette er angitt for faresonene ((Skred AS, 2024a) og Figur 6) som vurdering av skredsikring bygger på (se kapittel 3.6). I påvirkningsområdet for Klyvsetvegen 9 (Figur 1) kan ikke flatehogst gjennomføres, og skogen må båndlegges for hogst med forutsetning om at skogen skjøttes for å opprettholde dagens effekt.

Ettersom dette er en forutsetning for sikringstiltaket, gitt utredning av sikkerhet mot skred (Skred AS, 2024a), har vi ikke kostnadsestimert båndlegging og skjøtsel av skog for å opprettholde sikringseffekten. Ål kommune har imidlertid meldt tilbake at de har igangsatt et arbeid for vern av skog i samarbeid med grunneiere.

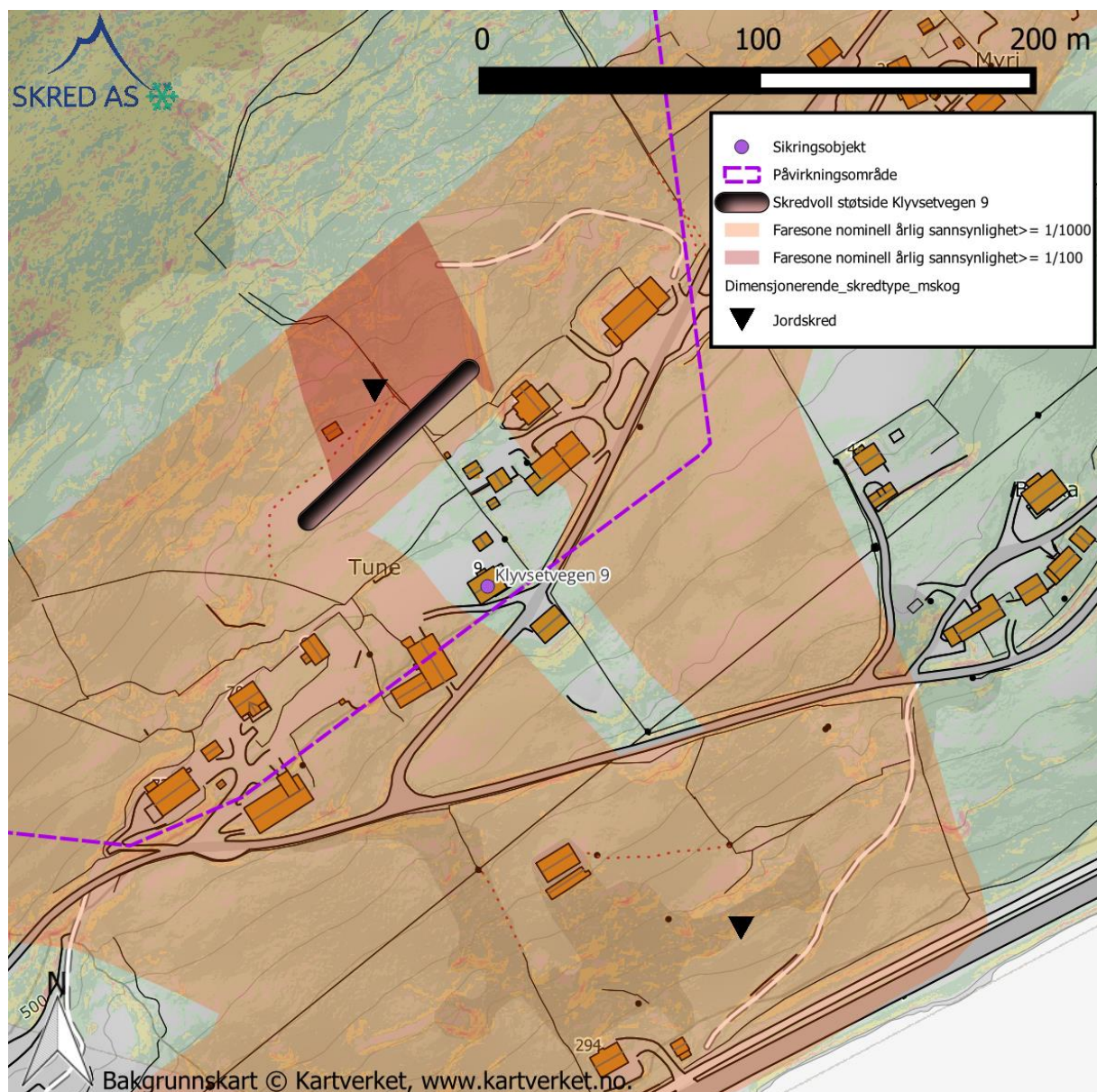
7.7 Oppsummering sikringskonsept og restrisiko

Skred AS anbefaler et sikringskonsept bestående av:

- Vannhåndtering der Tunebekken krysser Klyvsetvegen (punkt 2A og 2B, omtrent ved 800 moh. i Figur 32)
- Fangvoll ved Klyvsetvegen 9 og overvannshåndtering rundt fangvoll
- At skog i påvirkningsområdet båndlegges for flatehogst, med forutsetning om at skogen skjøttes for å opprettholde dagens effekt.

Denne sikringsløsningen vil gi tilfredsstillende sikkerhet mot skred i bratt terreng for sikkerhetskrav S2 etter TEK17 §7-3 annet ledd for Klyvsetvegen 9 (Figur 35).

Faresonene er endret nedstrøms fangvoll ved at vollen vil fullstendig stoppe dimensjonerende skred for sikkerhetskrav S1 etter TEK17 §7-3. Faresone for skred i bratt terreng med nominell årlig sannsynlighet 1/1000 dekker omtrent hele fotavtrykket til vollen ettersom en dimensjonerende skredhendelse kan overtoppe vollen noe eller gi lokale skader i øvre del av vollkonstruksjon. Faresonene er ikke endret sør for Tunevegen ettersom det her er vurdert å være løseområder for jordskred nedenfor veien (Skred AS, 2024a).



Figur 35: Faresoner skred i bratt terreng ved sikring som anbefalt.

7.8 Drift og vedlikehold

De anbefalte sikringstiltakene må vedlikeholdes for å opprettholde sin funksjon. Vi viser til følgende regelverk med utgangspunkt i DiBKs veileder utbygging i fareområder (Direktoratet

for byggkvalitet, 2022) og NVE sikringshåndbok (NVE, 2023a) 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.

For vannhåndteringstiltak er det viktig at grøftens tverrsnitt opprettholdes ved tilsyn og rensk etter større nedbør-/skredhendelser. Det samme gjelder kryssingen for Tunebekken av Klyvsetvegen, 200-300 meter vest for skredløpet, omtrent på kote 800 moh. (punkt 2A og 2B Figur 32). 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 magasinet for masseavlagring holdes fri for masser slik at full effektiv fangvollhøyde er tilgjengelig ved skredhendelse. Etter skredhendelser må avlagringsbassenget tømmes så snart som mulig og vollen må inspiseres for lokale skader.

For skogen må denne skjøttes slik at den opprettholder sin funksjon for å redusere løsnesevne, for eksempel ved planlagt skogskjøtsel og beplantning.

Ved eventuell detaljprosjektering må krav til FDV fastsettes.

8 Innledende kostnadsoverslag

Sammenstillingen under viser kostnadsestimat for tiltakene (Tabell 12). Mengdene er basert på gjennomsnittsdata fra terrengmodell med voll som skissert med plassering i Figur 28 og ved tverrprofil i Figur 31.

Tabell 12: Kostnadsestimat for sikring av Klyvsetvegen 9 mot skred i bratt terreng.

Bygningsdel	Mengde		Enhetskost		Kostnad	
Fangvoll						
Utgraving	5200	m ³	50	kr/ m ³	kr	260 000
Murfasade av naturstein	480	m ²	5000	kr/ m ²	kr	2 400 000
Bakfylling sprengstein under og bak mur	800	m ³	300	kr/ m ³	kr	240 000
Massefylling i voll (eks. murfasade og bakfylling)	3280	m ³	100	kr/ m ³	kr	328 000
Bortkjøring og deponering overskuddsmasse fra utgraving	1920	m ³	100	kr/ m ³	kr	192 000
Erosjonssikring drenering langs vollfot	200	m ²	1000	kr/ m ²	kr	200 000
Grøft for avrenning fra fangvoll						
Utgraving grøft	425	m ³	50	kr/ m ³	kr	21 250
Erosjonssikring grøft	170	m ²	1000	kr/ m ²	kr	170 000
Vannhåndtering Klyvsetvegen pkt 2A og 2B						
Materialer oppdimensjonering stikkrenner (stikkrenner, vingemurer, omfyllingsmasser, nye vegmasser og deponering gamle rør)		RS			kr	300 000
Arbeider oppdimensjonering stikkrenner		RS			kr	160 000
Delsum alle tiltak					kr	4 271 250
Diverse / uforutsett	15 %				kr	640 688
Rigg og drift	20 %				kr	982 388
Entreprisekostnad eks. mva					kr	5 894 325
Planlegging, prosjektering og byggeledelse	8 %				kr	471 546
Prosjektkostnad eks. mva (2024-pris)					kr	6 365 871

Det understrekes at estimatet er heftet med usikkerhet. Eksempelvis kan detaljprosjektering av voll og vannhåndtering gi grunnlag for mer detaljerte beregninger av mengde og kostnad,

og tilgang på stein for muring og kostnad for bortkjøring av overskuddsmasser vil kunne påvirke pris og gjennomføringen.

Båndlegging av skogen i påvirkningsområdet iht. til utredning av sikkerhet mot skred (Skred AS, 2024a) er ikke medtatt som en kostnad etter avklaring med Ål kommune.

9 Konklusjon

Skred AS har utført en vurdering av sikring mot skred i bratt terreng for Klyvsetvegen 9 i Ål kommune for sikkerhetsnivå S2 etter TEK17§7-3.

Basert på gjennomgang av grunnlag og nye analyser er det vurdert at Klyvsetvegen 9 kan oppnå tilfredsstillende sikkerhet mot skred i bratt terreng ved et sikringskonsept som består av:

- Vannhåndtering der Tunebekken krysser Klyvsetvegen (pkt. 2A og 2B)
- Fangvoll ved Klyvsetvegen 9 og overvannshåndtering rundt fangvoll
- At skog i påvirkningsområdet båndlegges for flatehogst, med forutsetning om at skogen skjøttes for å opprettholde dagens effekt.

Gjennom et mengdeanslag for sikringstiltakene og vurdering av enhetspriser har vi estimert et kostnadsomfang lik ca. 6,4 millioner kroner (eks. mva.). for sikringskonseptet. Dette inkluderer omkring 500 000 kroner (eks. mva.). til videre planlegging og prosjektering.

Innledende geotekniske vurderinger konkluderer med at anbefalt sikringstiltak anses å være gjennomførbart, men det er usikkerhet rundt jordparametere, og videre arbeid må omfatte grunnundersøkelser for å redusere usikkerhet. Sikringskonseptet må videre detaljprosjekteres der løsningene detaljeres ytterligere og eventuelle tverrfaglige hensyn må ivaretas.

10 Referanser

- 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/>,.
- FOEN, 2016. Protection against Mass Movement Hazards- Guideline for the integrated hazard management of landslides, rockfall and hillslope debris flows.
- Gauer, P., 2018. Avalanche probability: Slab release and the effect of forest cover, in: International Snow Science Workshop. Innsbruck, Austria.
- Iverson, M.R., G.L.D., & L.M., 2016. Debris flow runup on vertical barriers and adverse slopes. Journal of Geophysical Research: Earth Science.
- Johannesson, T., Gauer, P., Issler, P., Lied, K., 2009. The design of avalanche protection dams. Recent practical and theoretical developments. EUROPEAN COMMISSION Directorate-General for Research, Brussels.
- NIBIO, 2024. Kilden [WWW Document]. URL <https://kilden.nibio.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 API [WWW Document]. URL api.nve.no
- NVE, 2023a. Sikringshåndboka- Skred i bratt terrenng.
- NVE, 2023b. Sikringshåndboka - Modul F1.200: Mulige tiltak mot erosjon.
- NVE, 2022. Veileder 01/2022 - Veileder for flomberegninger.
- NVE, 2021. Veileder 01/2021 - Veileder til vannressursloven og NVEs behandling av vassdrag- og grunnvannstiltak.
- NVE, 2020. FOU 80607 - RAMMS::Debris Flow for beregning av jordskred.
- Oldrich, H., Jakob, M., 2005. Debris-flow Hazards and Related Phenomena.
- Romerike Geoteknikk AS, 2024. Geoteknisk notat 50575-01-TN Innledende geotekniske vurderinger ift. planlagte skredsikringstiltak (forprosjekt).
- Rudolf-Miklau, Mears, Sauermoser, 2015. The Technical Avalanche Protection Handbook.
- Salm, 1990. Berechnung von Fliesslawinen.
- Skred AS, 2024a. 23458-01-2 Skredfarekartlegging for Breie, Tune og Skottebøl.

Skred AS, 2024b. 23458-02-1 Tiltaksvurdering for bekker og flomveier Breie Tune Skattebøl Noss.

SLF WSL, 2022. RAMMS::DEBRISFLOW User Manual v1.8.0.

Statens vegvesen, 2024. V138- Veger og snøskred.

Statens vegvesen, 2023. V139 Flom- og sørpeskred.

Statens Vegvesen, 2023. Oppsummering av skred- og flaumsituasjon Rv7 august 2023
C13671-SKRED-02.

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.