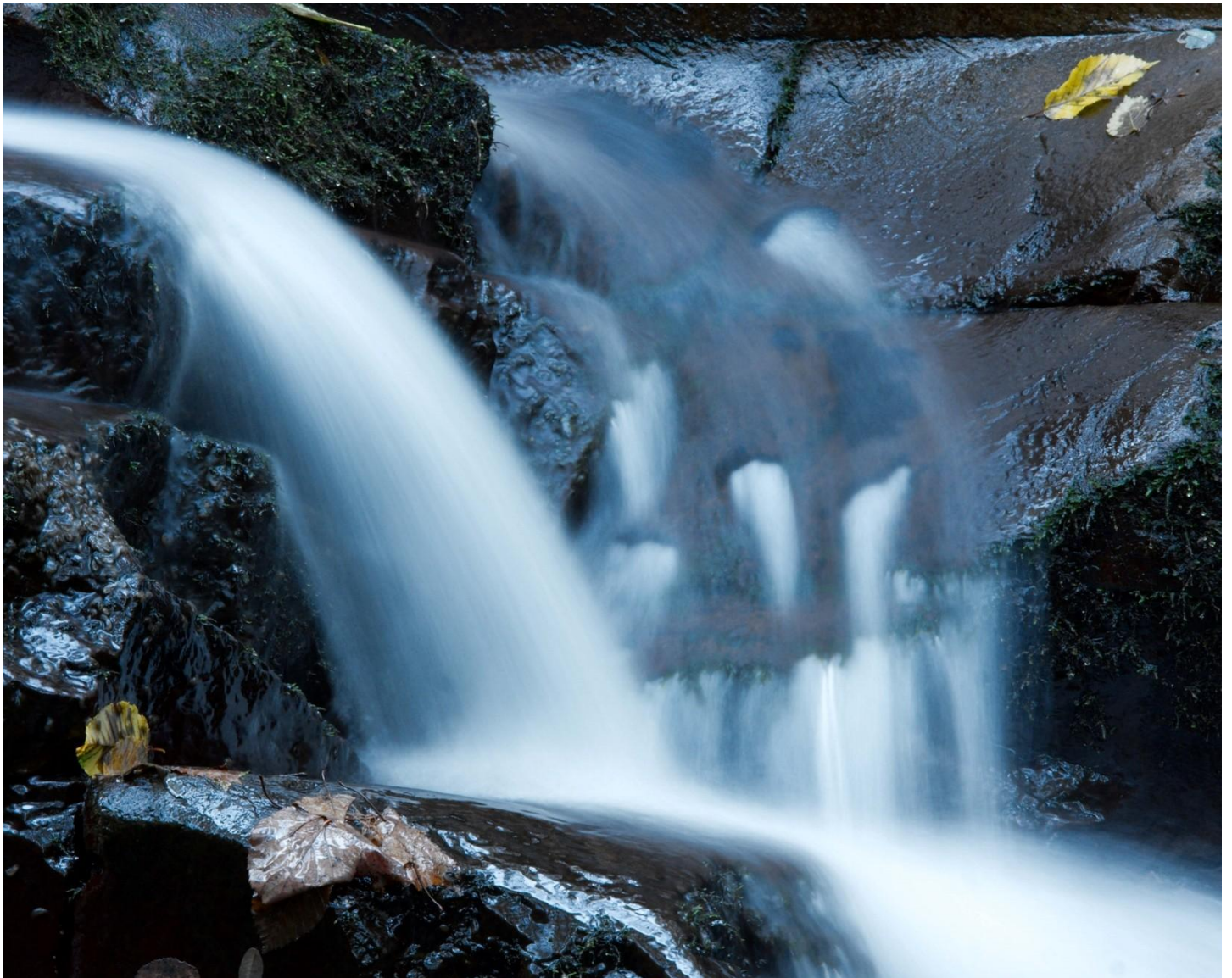


Å Energi Vannkraft AS

Kaggefoss kraftverk

Transformatorbygg. Alternativ T3. Områdestabilitet

Oppdragsnr.: 52409847 Dokumentnr.: 52409847-RIG-04 Revisjon: J02 Dato: 2025-12-09



Kaggefoss kraftverk

Transformatorbygg. Alternativ T3. Områdestabilitet

Oppdragsnr.: 52409847 Dokumentnr.: 52409847-RIG-04 Revisjon: J02

Oppdragsgiver: Å Energi Vannkraft AS
Oppdragsgivers kontaktperson: Torgeir Tiltnes Nørbech
Rådgiver: Norconsult Norge AS
Oppdragsleder: Jørn Hagen
Fagansvarlig: Are Wigernes Stuvøy
Andre nøkkelpersoner: Joakim Birkeland

Revisjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent
J01	2025-11-11	Områdestabilitetsvurdering	AS	JOABIR	JAHAN
J02	2025-12-09	Revidert etter uavhengig kvalitetssikring	AS	JOABIR	JAHAN

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

Sammendrag

Å Energi Vannkraft planlegger rehabilitering av Kaggefoss kraftverk i Modum kommune. Norconsult er engasjert for å bistå med prosjektering av blant annet nytt transformatorbygg.

Ulike tomtealternativer er vurdert i arbeidet med konsesjonssøknaden. Denne rapporten omfatter vurdering av områdestabilitet for tomtealternativ T3.

Det ble utført grunnundersøkelser i september 2025. Det ble påvist et lag med sensitiv leire/sprøbruddmateriale i flere av borpunktene. Dette laget ligger ca. 8,5 m under terrengnivået på tomta. Over leirlaget er det fastere og ikke sensitive masser.

Ettersom det er påvist sprøbruddmateriale, og topografien i området tilsier at det kan være skredfare, er områdestabilitet vurdert i henhold til NVEs veileder 1/2109 «Sikkerhet mot kvikkleireskred».

Skråningen øst for tomta er vurdert som en faresone for kvikkleireskred. Faresonen er klassifisert til middels faregrad. Tiltaket er definert i kategori K3.

Det er utført stabilitetsberegninger og konkludert med at det er for lav sikkerhet i dagens situasjon. Beregningene viser at det er mulig å oppnå tilstrekkelig forbedring av sikkerheten ved å legge ut motfylling ved foten av skråningen. Dersom transformatorbygget skal etableres ved tomtealternativ T3, anbefales å heve terrengnivået på tomta med 2 m.

I henhold til NVEs veileder 1/2019, skal områdestabilitetsvurderingene kvalitetssikres av uavhengig foretak.

Innhold

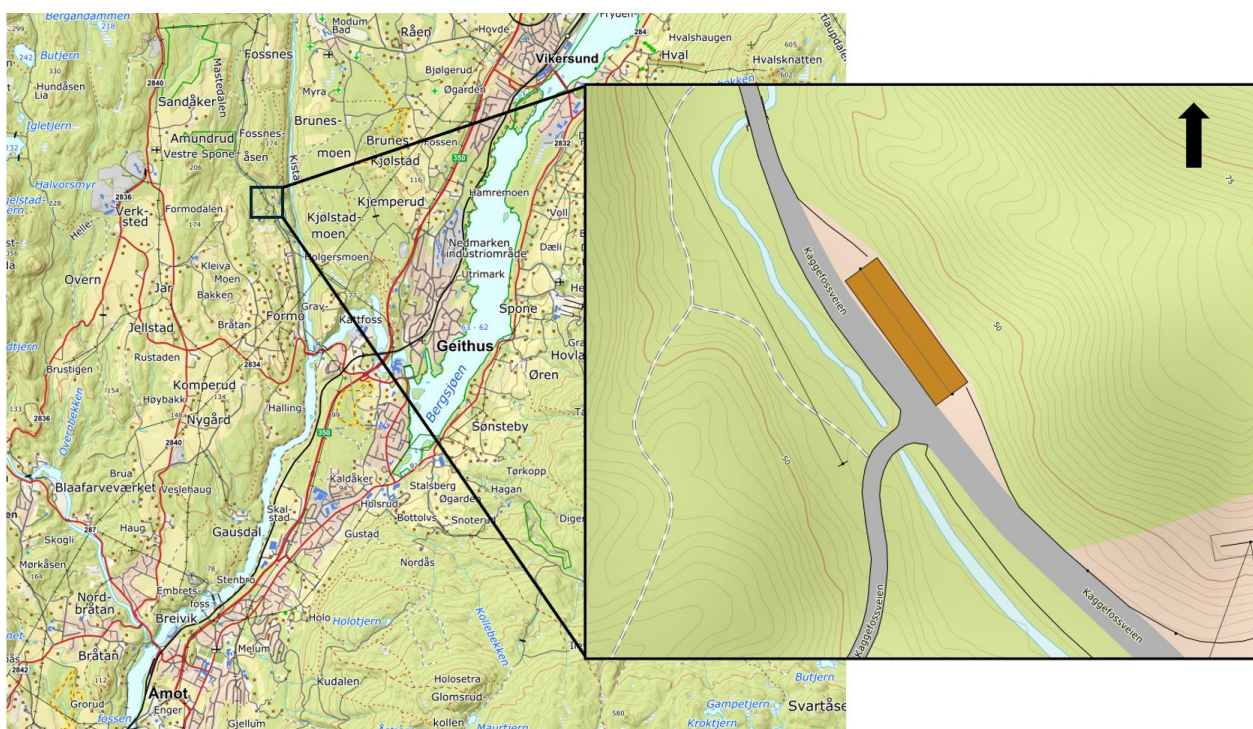
1	Innledning	4
2	Topografi og grunnforhold	5
3	Prosedyre for utredning av områdestabilitet	7
4	Aktsomhetsområder	8
4.1	Registrerte faresoner (prosedyre punkt 1)	8
4.2	Avgrensning av aktsomhetsområde (prosedyre punkt 2-3)	9
5	Utredning av faresone	12
5.1	Tiltakskategori (prosedyre punkt 4)	12
5.2	Gjennomgang av grunnlag (prosedyre punkt 5)	12
5.3	Befaring (prosedyre punkt 6)	13
5.4	Grunnundersøkelser (prosedyre punkt 7)	13
5.5	Avgrensning av løsne- og utløpsområde (prosedyre punkt 8)	14
5.6	Klassifisering av faresone (prosedyre punkt 9)	16
5.6.1	Faregrad	16
5.6.2	Konsekvensklasse og risikoklasse	16
6	Stabilitetsvurderinger (Prosedyre punkt 10)	17
6.1	Krav til sikkerhet	17
6.2	Beregningsverktøy	17
6.3	Beregningsprofil og lagdeling	18
6.4	Styrkeparametere	19
6.5	Stabilitetsvurderinger dagens situasjon	20
6.6	Stabiliserende tiltak	22
7	Øvrige naturfarer	24
8	Konklusjon	25
9	Referanser	26

1 Innledning

Å Energi Vannkraft planlegger rehabilitering av Kaggefoss kraftverk i Modum kommune. Norconsult er engasjert for å bistå med prosjektering av blant annet nytt transformatorbygg.

Ulike tomtealternativer er vurdert i arbeidet med konsesjonssøknaden. Denne rapporten omfatter vurdering av områdestabilitet for tomtealternativ T3. Oversiktskart er vist i Figur 1. Eksisterende lagerbygg skal rives, og nytt transformatorbygg etableres på samme tomt.

Ettersom det er påvist sprøbruddmateriale, og topografien i området tilsier at det kan være skredfare, er områdestabilitet vurdert i henhold til NVEs veileder 1/2109 «Sikkerhet mot kvikkleireskred» [1].



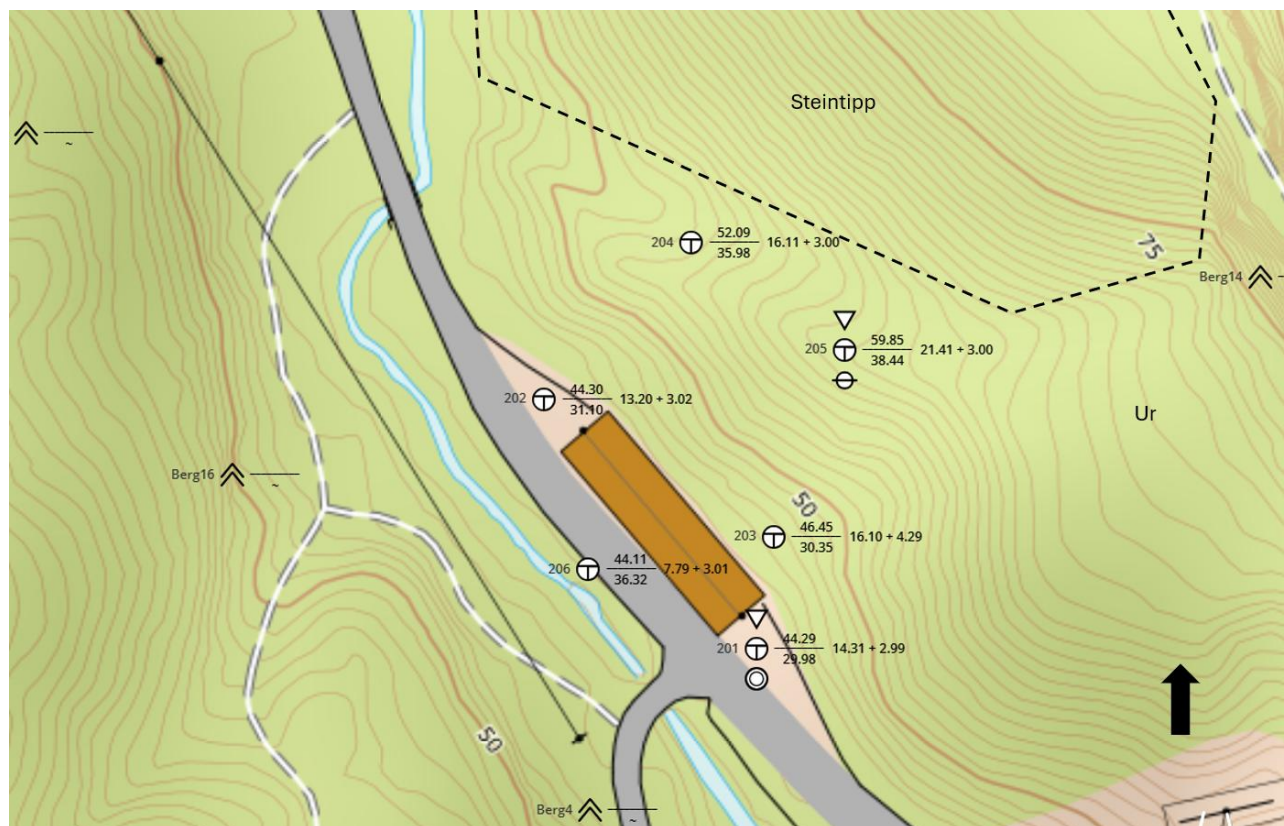
Figur 1: Oversiktskart

2 Topografi og grunnforhold

Eksisterende lagerbygg skal rives, og nytt transformatorbygg etableres på samme sted. Terrengnivået på tomta ligger på ca. kote +44,3. Øst for tomta er det løsmasseskråning opp til en rygg i terrenget. Øst for dette er det en steintipp med tunnelstein fra bygging av kraftverket. Vest for tomta og veien er det en bekk. Bunnen av bekken ligger ca. 1,5 m under terrengnivået på tomta. Fra bekken stiger terrenget bratt mot vest, og det er observert berg i dagen flere steder.

Det ble utført grunnundersøkelser i september 2025. Resultatene er presentert i rapport 52409847-RIG-05 [2]. Det er utført 6 totalsonderinger, 2 trykksonderinger og 1 prøveserie. I tillegg er det installert en poretrykksmåler. Dybde til berg i borpunktene varierer mellom 7,8 og 21,4 m. Sondringene indikerer friksjonsmasser av sand og silt i toppen, og overgang til leire i dybden. I borpunkt 201 er det registrert et lag med lav og konstant/avtakende bormotstand fra ca. 8,5-13,5 m dybde. Et tilsvarende lag er registrert i borpunkt 202 og 203. Sondring 204 og 205 indikerer at dette laget også strekker seg videre oppover i skråningen, men her er mektigheten begrenset til ca. 1 m.

Det er tatt opp 3 sylinderprøver fra 10-13 m dybde i borpunkt 201. Prøvene viser leire med romvekt 19,6-20,1 kN/m³ og vanninnhold 26-37 %. Omrørt skjærfasthet fra konusforsøk er målt til 0,1-1,4 kPa, og leira klassifiseres dermed som kvikkleire/sprøbruddmateriale. Ødometerforsøk viser at leira er overkonsolidert, med OCR≈5. Poretrykksmåler i punkt 205 er installert i 6 m dybde, og målingene tyder på at grunnvannsnivået ligger dypere enn 6 m. Grunnvannsnivået ned på flata der transformatorbygget skal etableres, antas å ligge omtrent i nivå med bekken.



Figur 2: Kart med borpunkter og observasjoner fra befaring

Kagefoss kraftverk

Transformatorbygg. Alternativ T3. Områdestabilitet

Oppdragsnr.: 52409847 Dokumentnr.: 52409847-RIG-04 Revisjon: J02

Antatt utbredelse av steintippen nordøst for tomta er basert på ortofoto fra 50- og 60-tallet, se Figur 3. Som vist i Figur 4 er det i dag vegetasjon på deler av tippskrånningen.



Figur 3: Ortofoto fra 1959. Aktuell tomt markert med rødt



Figur 4: Utklipp fra norgei3d.no

3 Prosedyre for utredning av områdestabilitet

NVEs veileder 1/2019 [1] beskriver hvordan skredfare skal utredes i områder med kvikkleire. Prosedyre for utredning av områdestabilitet er beskrevet i veilederens tabell 3.1. Prosedyren er inndelt i 11 punkter, hvor punkt 1-3 omfatter kartlegging av aktsomhetsområder, og punkt 4-11 omfatter utredning av faresoner.

Kommentarer til hvert enkelt punkt i prosedyren er vist i Tabell 1. Mer detaljert beskrivelse er gitt i påfølgende kapitler.

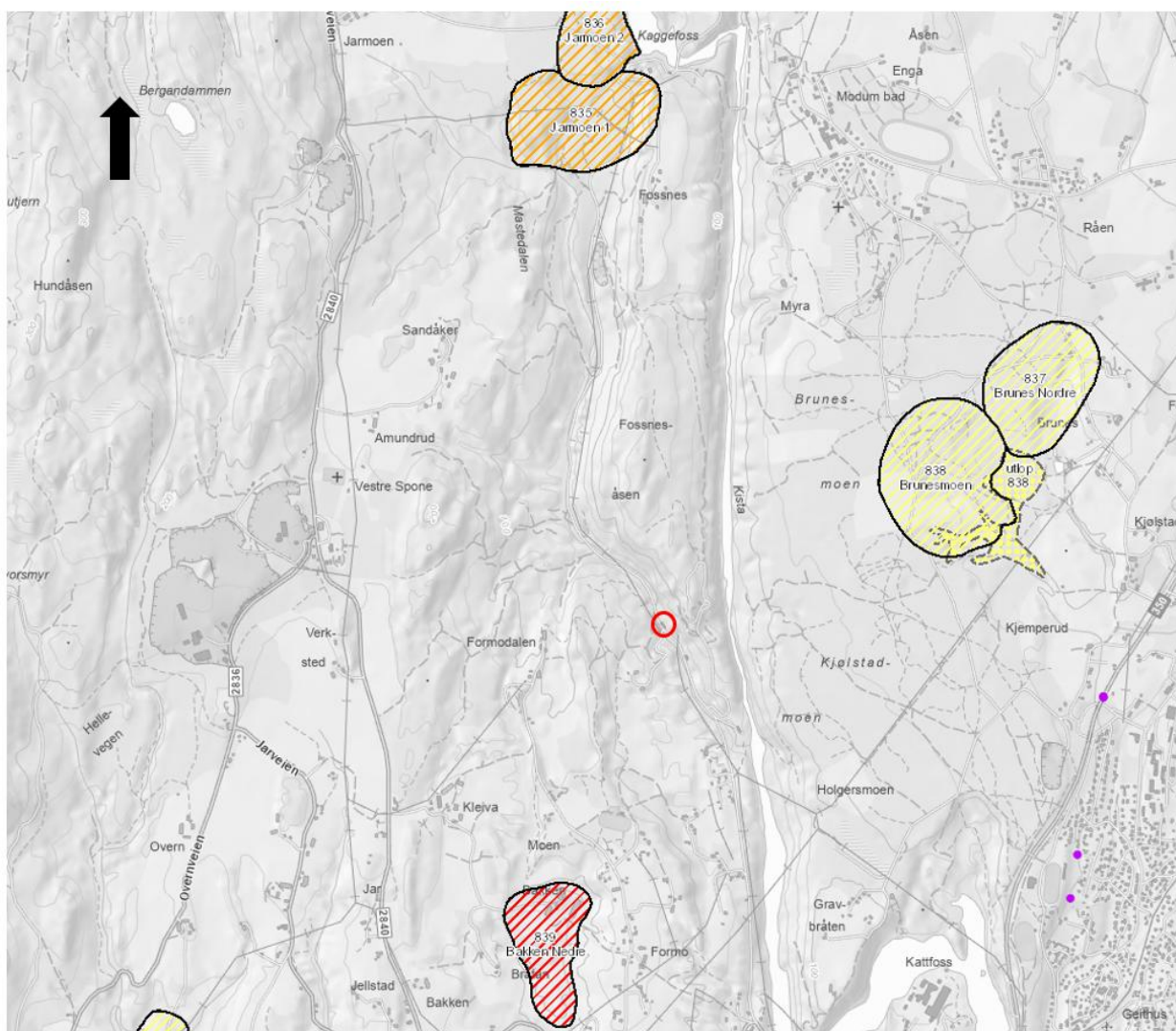
Tabell 1: Prosedyre for utredning av områdestabilitet

Prosedyre Nr.	Oppgave	Kommentar
1.	Undersøk om det finnes registrerte faresoner (kvikkleiresoner) i området	Det er ingen faresoner som berører tomta. Nærmeste registrerte faresone ligger ca. 1 km unna [3]. Se kapittel 4.1
2.	Avgrens områder med mulig marin leire	Se punkt 3
3. (3a, 3b)	Avgrens områder med terreng som kan være utsatt for områdeskred.	Skråning øst for tomta anses som et aktsomhetsområde for skred. Se kapittel 4.2
4.	Bestem tiltakskategori	Tiltakskategori K3. Se kapittel 5.1
5.	Gjennomgang av grunnlag - identifikasjon av kritiske skråninger og mulig løснеområde	Skråning øst for tomta er identifisert som kritisk. Se kapittel 5.2
6.	Befaring	Befaring gjennomført i august 2025. Se kapittel 5.3
7.	Gjennomfør grunnundersøkelser	Grunnundersøkelser gjennomført i september 2025. Se kapittel 5.4
8.	Vurder aktuelle skredmekanismer og avgrens løсне- og utløpsområder	Rotasjonsskred vurdert som aktuell skredmekanisme. Avgrensning av løсне- og utløpsområde vist i kapittel 5.5
9.	Klassifiser faresoner	Faregrad 2 (middels). Konsekvensklasse mindre alvorlig. Risikoklasse 2. Se kapittel 5.6
10.	Dokumenter tilfredsstillende sikkerhet	Det er utført beregninger og konkludert med at tilfredsstillende sikkerhet kan oppnås med motfylling som gir prosentvis forbedring i henhold til veilederens krav. Se kapittel 6
11.	Meld inn faresoner og grunnundersøkelser	Avventer innmelding til uavhengig kvalitetssikring er utført

4 Aktsomhetsområder

4.1 Registrerte faresoner (prosedyre punkt 1)

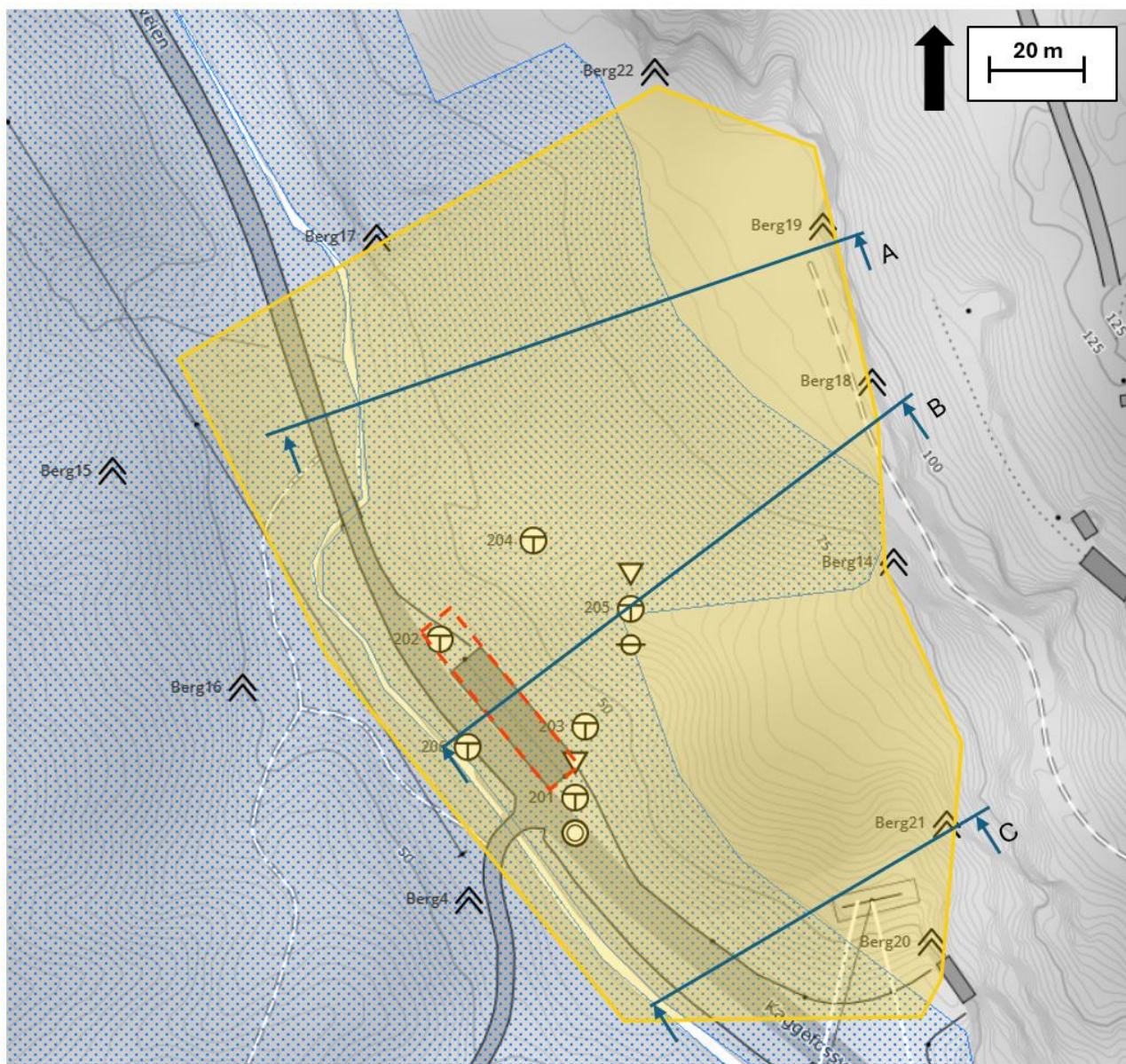
Kart fra NVE Atlas [3] viser at tomta ikke ligger innenfor tidligere kartlagte faresoner for skred. Nærmeste kartlagte soner er 839 Bakken Nedre og 838 Brunismoen. Avstand til disse sonene er i overkant av 1 km.



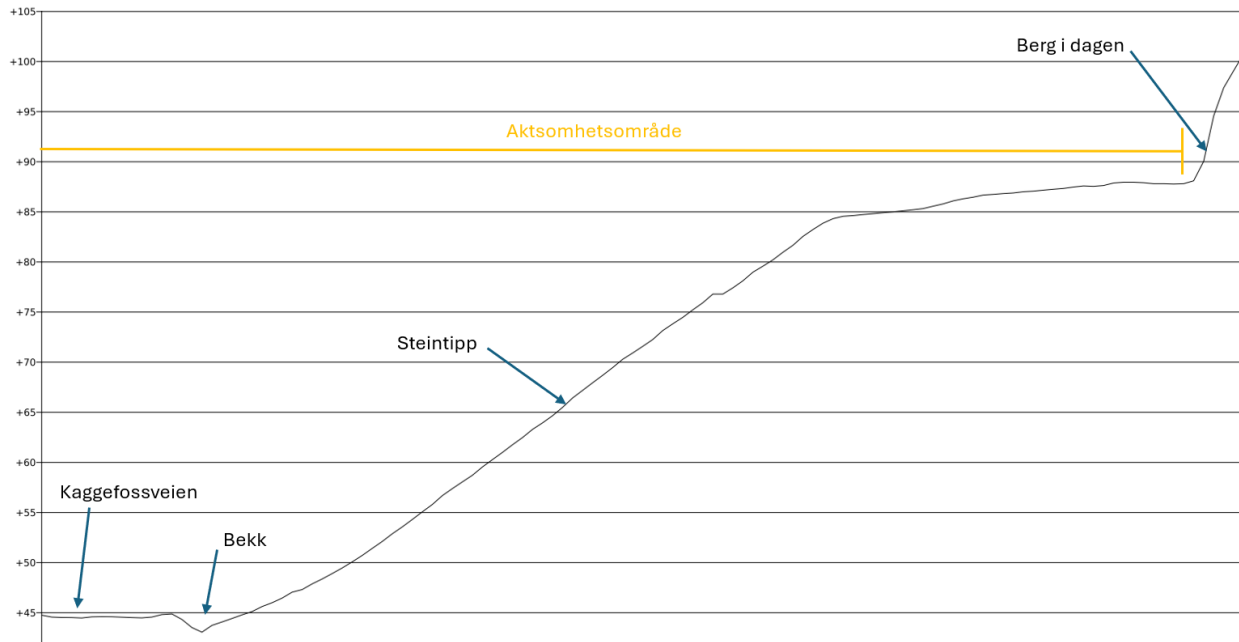
Figur 5: Kart med tidligere kartlagte faresoner for kvikkleireskred [3]. Aktuell tomt markert med rød sirkel

4.2 Avgrensning av aktsomhetsområde (prosedyre punkt 2-3)

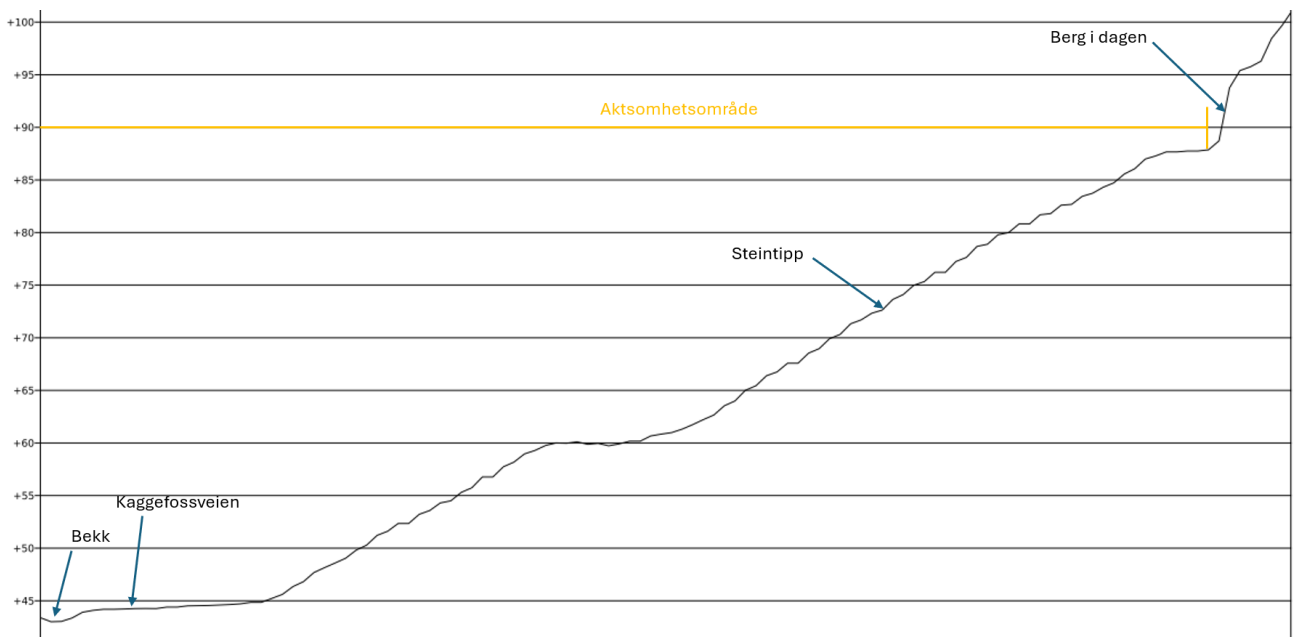
NVEs aktsomhetskart for kvikkleireskred er benyttet som grunnlag for å avgrense aktsomhetsområdet. Kartet hensyntar både mulighet for marin leire og terrenghelning. Som skissert i Figur 6 vurderes området øst for tomte som et aktsomhetsområde for skred. Avgrensning mot nord er basert på observasjon av berg i dagen på østsiden av veien. Avgrensning mot øst er også basert på antatt/observert berg i dagen. Løsmassekart fra NGU [4] indikerer at det er berg i dagen i østre deler av aktsomhetsområdet, men det er valgt å utvide grensen mot øst til der det er sikker observasjon av berg i dagen. I skråningene på vestsiden av bekken er det observert berg flere steder, og dette anses ikke som et aktsomhetsområde for skred.



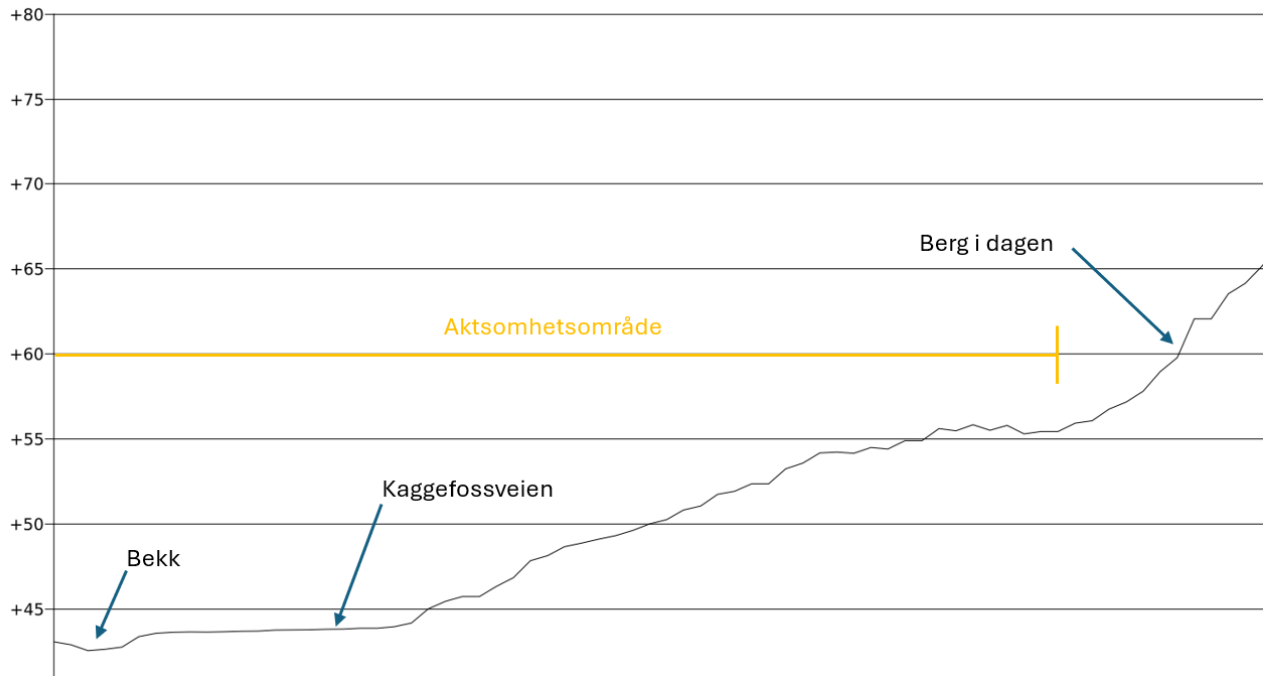
Figur 6: Avgrensning av aktsomhetsområde (oransje skravur). Aktsomhetsområder fra NVE Atlas [3] er vist med blå skravur. Plassering av nytt transformatorbygg er vist med rød, stiplest rektangel. Terrengprofil A-C: se Figur 7-Figur 9.



Figur 7: Terrengprofil A



Figur 8: Terrengprofil B



Figur 9: Terrengprofil C

5 Utredning av faresone

5.1 Tiltakskategori (prosedyre punkt 4)

Prinsipper for valg av tiltakskategori er beskrevet i veilederens kapittel 3.3.1. Tiltakskategori skal fastsettes ut fra konsekvens for tiltaket ved skred. Kategori skal vurderes av tiltakshaver og planmyndighet, med bistand fra geotekniker.

Basert på byggets størrelse og konsekvens ved skred, er det vurdert at tiltaket er i kategori K3. Dette innebærer at det er krav om videre utredning i henhold til prosedyren i veilederen.

Tiltaks-kategori	Type tiltak
K0	Små tiltak som medfører svært begrensede terrenginngrep. Lite personopphold. Ingen tilflytting av personer Garasjer, naust, tilbygg/påbygg til eksisterende bebyggelse, frittstående uthus, redskapsbod, landbruk- og skogsveger
K1	Tiltak av begrenset størrelse. Lite personopphold. Ingen tilflytting av personer Mindre driftsbygninger i landbruket, lagerbygg av begrenset verdi, lokale VA-anlegg, private og kommunale veger, mindre parkeringsanlegg og trafiksikkerhetstiltak (G/S-veg, midtdeler)
K2	Tiltak som kun innebærer terrengendring; utgraving, opp- og utfylling og masseflytting Massedepionier, komposteringsanlegg, bakkeplanering/nydyrking, massetak, andre massefyllinger
K3	Tiltak som medfører tilflytting av personer med inntil to boenheter, større byggverk med begrenset personopphold eller tiltak med stor verdi Bolighus/fritidsbolig med inntil to boenheter, større driftsbygninger i landbruket, lagerbygg med større verdi, mindre nærings- og industribygg, mindre utendørs publikumsanlegg, større VA-anlegg
K4	Tiltak som medfører større tilflytting/personopphold, samt tiltak som gjelder viktige samfunnsfunksjoner Bolighus/fritidsboliger med mer enn to boenheter, sykehjem, sykehus, skoler, barnehager, idrettshaller, utendørs publikumsanlegg og nærings- og industribygg

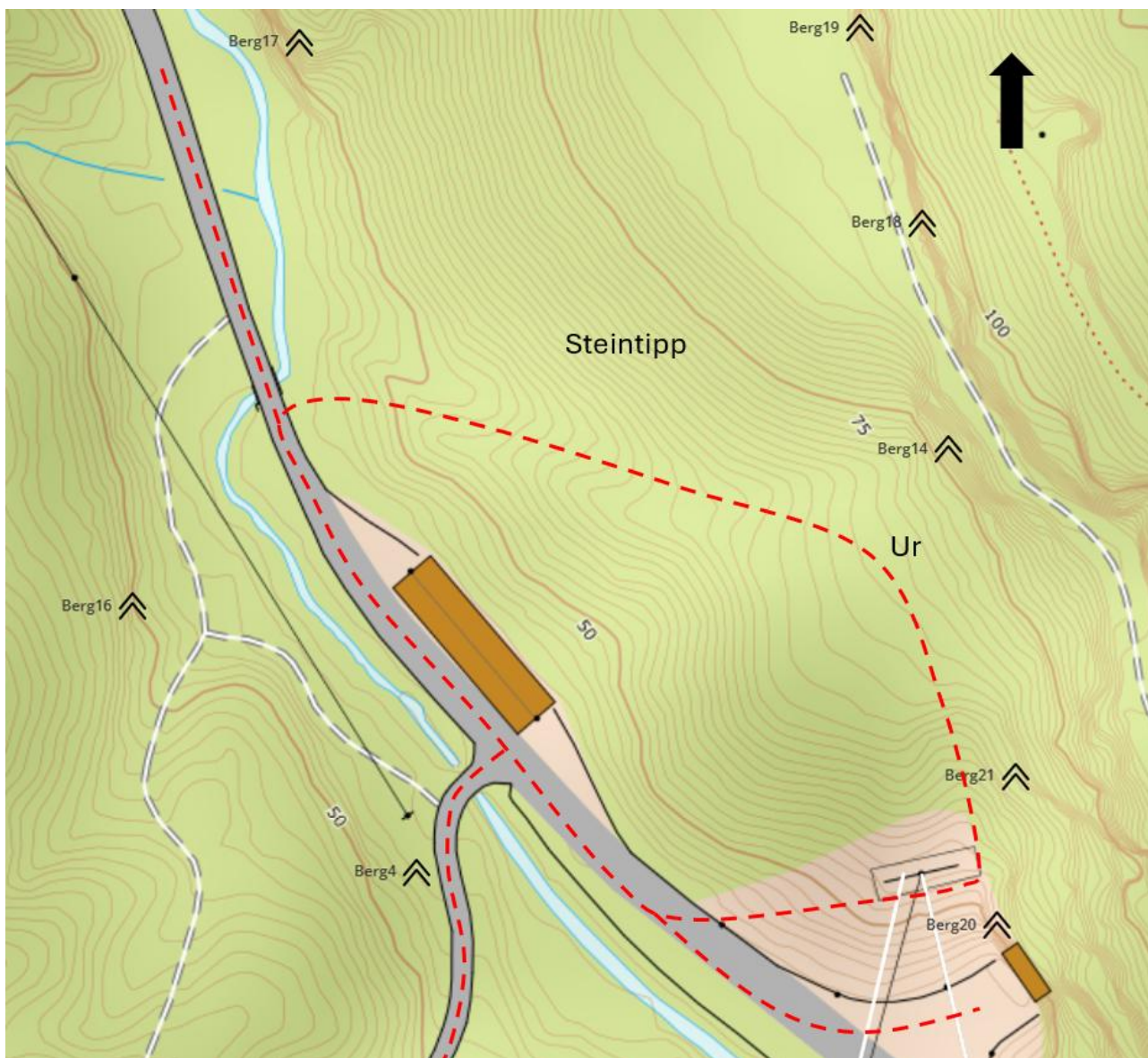
Figur 10: Tiltakskategorier med eksempler på type tiltak. Fra tabell 3.2 i NVE 1/2019 [1]

5.2 Gjennomgang av grunnlag (prosedyre punkt 5)

Dette punktet omfatter gjennomgang av tidligere grunnundersøkelser/geotekniske vurderinger og kartgrunnlag, for å identifisere kritiske skråninger. Skråning øst for tomta er identifisert som kritisk skråning, se Figur 6. Nærmere vurdering av løsn- og utløpsområde utføres i punkt 8 av prosedyren.

5.3 Befaring (prosedyre punkt 6)

Det ble gjennomført befaring i august 2025. Det ble gjort flere observasjoner av berg i dagen som legges til grunn for videre vurderinger. Det ble ikke observert aktiv erosjon i bekken på den aktuelle strekningen.



Figur 11: Kart med observasjoner fra befaring. Befaringstrasé skisser med rød, stiplet linje.

5.4 Grunnundersøkelser (prosedyre punkt 7)

Det ble utført grunnundersøkelser i september 2025. Som beskrevet i kapittel 2 ble det påvist et lag med kvikkleire/sprøbruddmateriale i grunnen.

5.5 Avgrensning av løсне- og utløpsområde (prosedyre punkt 8)

Metode for vurdering av skredmekanisme og avgrensning av løснеområde er beskrevet i veilederens kapittel 4.5. Flytskjema for vurdering av skredmekanisme er vist i Figur 12. Grunnundersøkelsene viser sprøbruddmateriale med omrørt fasthet mindre enn 0,69. Sprøbruddmaterialet ligger dypt, og andel sprøbruddmateriale over mest kritiske glideflate er mindre enn 40% (se Figur 18 og Figur 20). Det er derfor vurdert at aktuell skredmekanisme er rotasjonsskred.

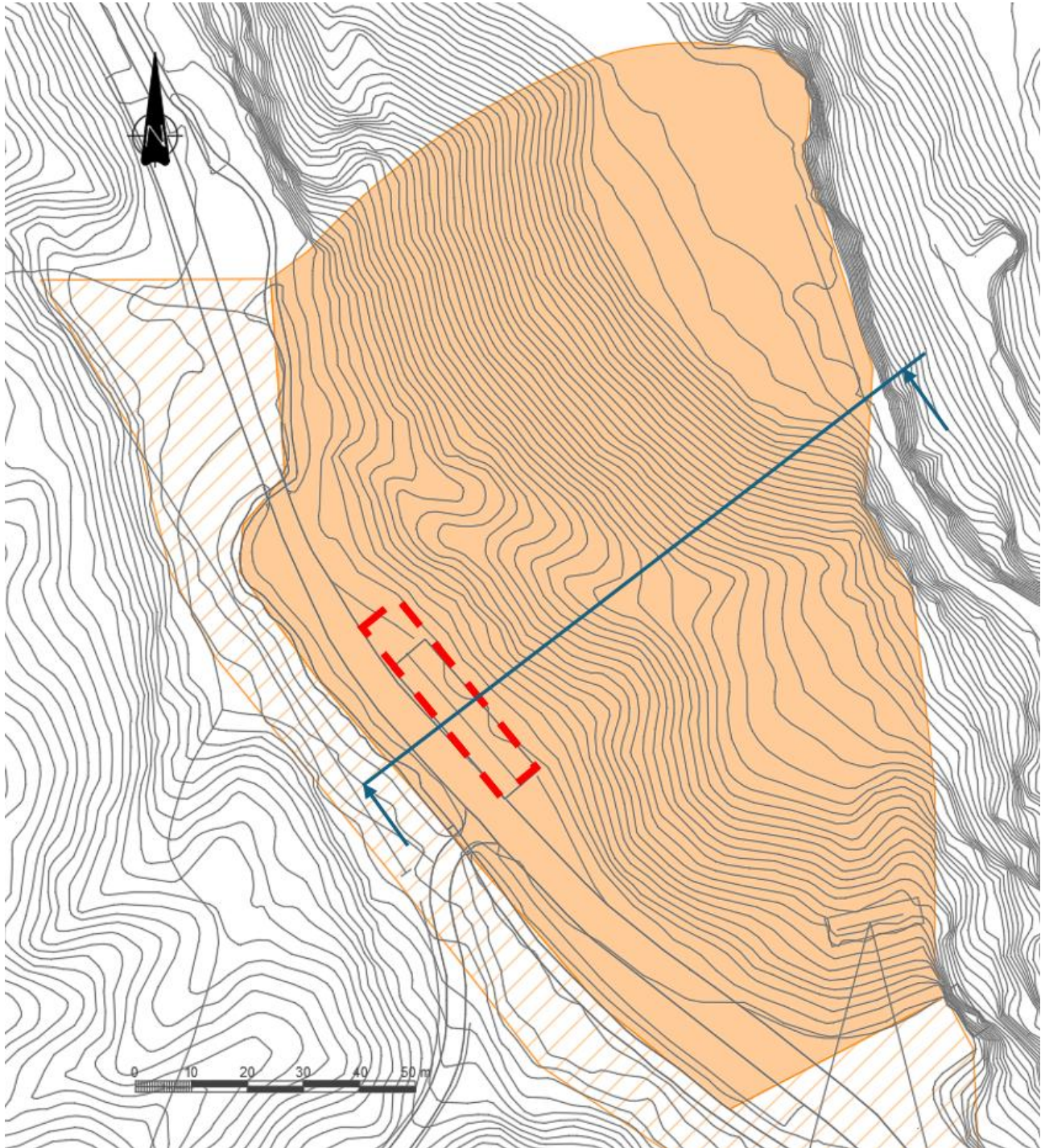


Figur 12: Flytskjema for vurdering av skredmekanisme. Figur 4.3 i NVE-veileder [1]

Bunnen av løснеområdet er vurdert å være ved bekken i bunnen av dalen. Avgrensning av løснеområdet i toppen er basert på antatt/observert berg i dagen.

Metode for vurdering av utløpsområder er beskrevet i veilederens kapittel 4.6. For flakskred og rotasjonsskred angir veilederen at lengden av utløpsområdet kan være opptil 0,5 ganger lengden av løснеområdet. Stigende terreng på motsatt side av bekken vil etter vår vurdering begrense utstrekning av utløpsområdet. Sprøbruddmaterialet ligger dypt under dalbunnen, og har dermed ikke fritt utløp. Etter vår vurdering vil derfor et potensielt skred i denne skråningen medføre at bunnen presses opp, og at mesteparten av skredmassene blir liggende igjen i skredgropa.

Basert på vurderingene over er faresonen avgrenset som vist i Figur 13.



Figur 13: Kart med avgrensning av løseområde (heldekkende skravur) og utløpsområde (skråskravur). Plassering av nytt transformatorbygg vist med rød, stiple linje. Kritisk snitt som er lagt til grunn for stabilitetsvurderinger er markert med blått.

5.6 Klassifisering av faresone (prosedyre punkt 9)

Metode for klassifisering av faresoner er beskrevet i veilederens kapittel 4.7. Sonen skal klassifiseres med faregrad, konsekvensklasse og risikoklasse.

5.6.1 Faregrad

Faresonen er vurdert å være i faregrad 2, middels.

Faktorer	Vekt-tall	Faregrad, score				Score	Poeng	Kommentarer
		3	2	1	0			
Tidligere skredaktivitet	1	Høy	Noe	Lav	Ingen	1	1	Kvikkleireskred Formo 1992, ca. 1,5 km syd for aktuelt område
Skråningshøyde, meter	2	>30	20-30	15-20	<15	3	6	Mer enn 30 m høydeforskjell mellom veien og bergskrent i øst
Tidligere/nåværende terrengnivå (OCR)	2	1,0-1,2	1,2-1,5	1,5-2	>2,0	0	0	Ødometerforsøk viser OCR>2
Poretrykk Overtrykk, kPa	3	>+30	10-30	0-10	Hydrostatisk	1	3	Ukjent, antatt 0-10 kPa
Undertrykk, kPa	-3	>-50	-(20-50)	-(0-20)		0		
Kvikkleiremektighet	2	>H/2	H/2-H/4	<H/4	Tynt lag	1	2	Ca. 5 m i borpunkt 201-203
Sensitivitet	1	>100	30-100	20-30	<20	2	2	Prøveserie 201. 5 forsøk 30-100, 1 forsøk >100
Erosjon	3	Aktiv/glidn.	Noe	Lite	Ingen	0	0	Ingen erosjon observert
Inngrep forverring	3	Stor	Noe	Liten	Ingen	2	6	Sprengsteinstipp antas å ha gitt noe forverring av stabiliteten
	-3	Stor	Noe	Liten	Ingen	0	0	
Sum		51	34	16	0		20	
% av maksimal poengsum		100 %	67 %	33 %	0 %		39	

Faregradsklasse 2

Faregrad

0 - 17 = lav

18 - 25 = middels

26 - 51 = høy

Figur 14: Vurdering av faregrad

5.6.2 Konsekvensklasse og risikoklasse

Faresonen er vurdert å være i konsekvensklasse mindre alvorlig og risikoklasse 2.

KONSEKVENSKLASSE

FAKTORER	VEKTTALL	Konsekvens, score 0-3 (lav-høy)	
		Score	Poeng
Boligeneheter	4	0	0
Næringsbygg, personer	3	0	0
Annen bebyggelse, verdi	1	1	1
Vei, ÅDT	2	0	0
Toglinje, baneprioritet	2	0	0
Kraftnett	1	2	2
Oppdemning/flom	2	1	2
Sum			5
%av maksimal poengsum			11,1 %

Konsekvensklasse mindre alvorlig

Konsekvensklasse

0 - 6 = mindre alvorlig

7 - 22 = alvorlig

23 - 45 = meget alvorlig

Tallverdi risikoklasse: 436

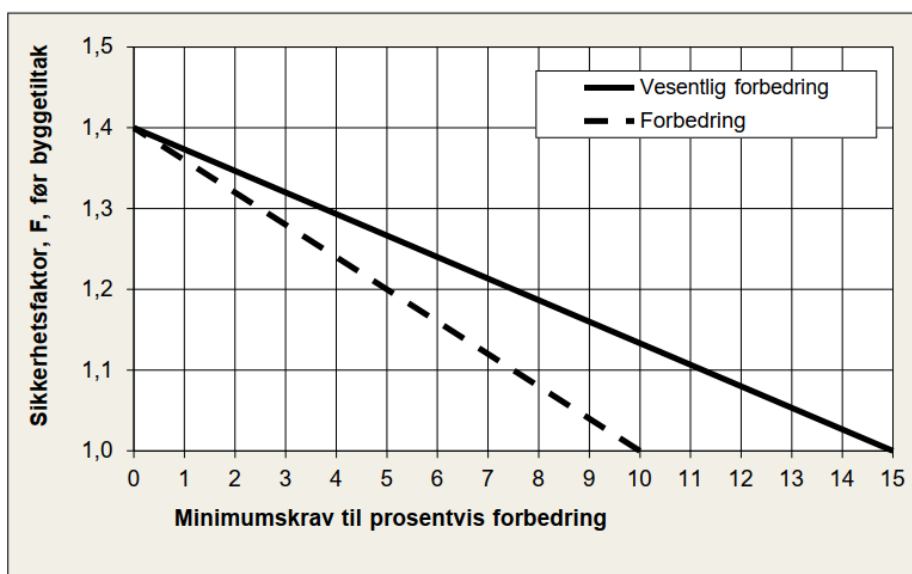
Risikoklasse: 2

Figur 15: Vurdering av konsekvensklasse og risikoklasse. Vei er gitt score 0 på grunn av ÅDT<100

6 Stabilitetsvurderinger (Prosedyre punkt 10)

6.1 Krav til sikkerhet

Krav til sikkerhet er gitt i kapittel 3.3.6 i NVE 1/2019 [1]. Det er forutsatt at tiltaket gjennomføres på en måte som ikke forverrer stabiliteten. Krav til sikkerhetsfaktor er da $F_{cu} \geq 1,4$ og $F_{c\phi} \geq 1,25$. Ved lavere sikkerhet kreves prosentvis forbedring som vist med stiplet linje i Figur 16.



Figur 16: Krav til prosentvis forbedring. Figur 3.3 i NVEs veileder

Tiltakskategori	Lav faregrad	Middels faregrad	Høy faregrad
K3	Ikke forverring	Forbedring	
K4	Forbedring		Vesentlig forbedring

Figur 17: Krav til forbedring av sikkerhet avhengig av faregrad og tiltakskategori, tabell 3.3 i NVEs veileder

For skråninger som ligger utenfor influensområdet til tiltaket, gjelder krav til sikkerhet $F_{c\phi} \geq 1,25$, samt krav til robusthet $F_{cu} \geq 1,2$. Bygget ligger foran foten av skråningen, og det skal ikke utføres tiltak som forverrer stabiliteten. Det er derfor vurdert at sikkerhetskrav for skråninger utenfor influensområdet kan benyttes.

I tillegg til sikkerhetskravene beskrevet over, må erosjon som kan utløse skred forebygges. Det er ikke observert pågående erosjon i bekken, og kvikkleirelaget ligger langt under bekkenivået. Det er derfor vurdert at det ikke er behov for erosjonssikring av hensyn til områdestabiliteten.

6.2 Beregningsverktøy

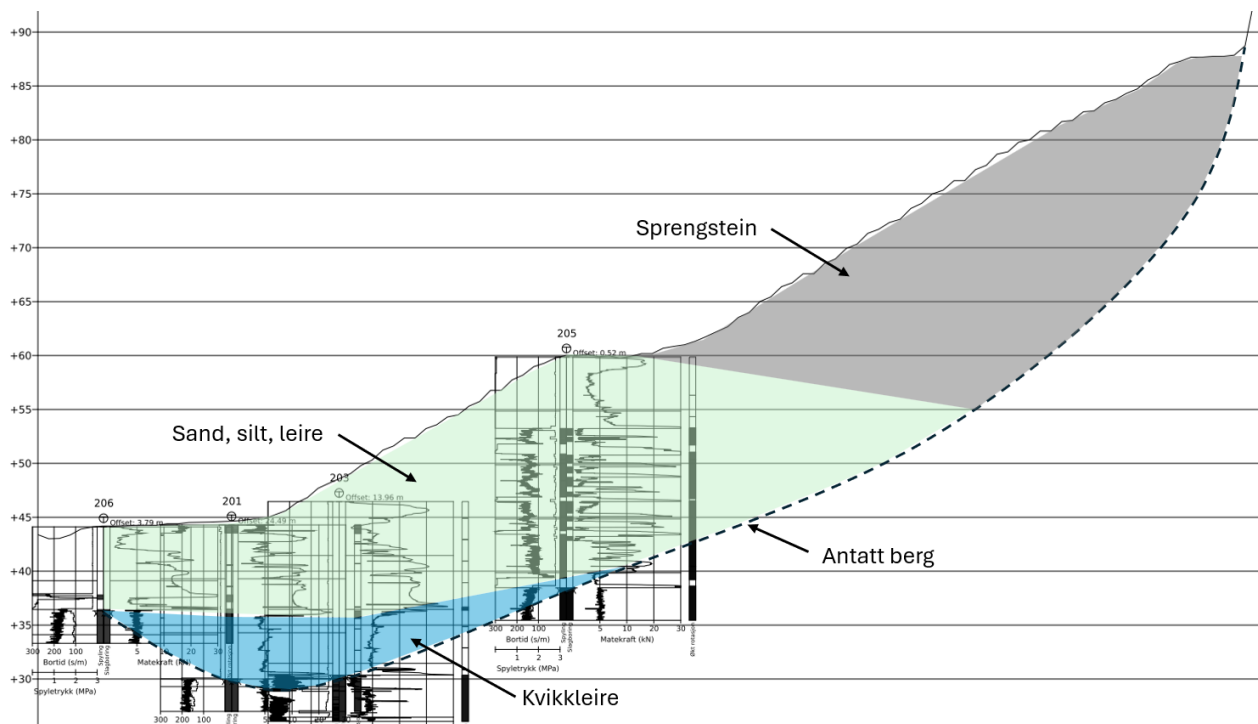
Stabilitetsberegninger er utført ved hjelp av programvaren GeoSuite Stability og Plaxis. Førstnevnte er basert på grenselikevektsmetoden, mens sistnevnte er basert på elementmetode. Det er utført beregninger med både totalspenningsanalyse (udrenert) og effektivspenningsanalyse (drenert).

6.3 Beregningsprofil og lagdeling

Stabilitetsvurderinger er basert på profil vist i Figur 18. Utførte grunnundersøkelser er presentert i rapport 52409847-RIG-05 [2].

Trykksondering i borpunkt 201 måtte avbrytes i 5 m dybde på grunn av stor motstand. Sonderingen viser lite poretrykksrespons, og indikerer at grunnen er dominert av friksjonsmasser. Naverprøver fra samme borpunkt er beskrevet som sand, leire og silt. Trykksondering i borpunkt 205 måtte avbrytes i 6 m dybde på grunn av stor motstand. Sonderingen viser større poretrykksrespons enn i 201, og massene antas å bestå av fast sandig silt/leire. Fra 6 m dybde viser totalsonderingen i hovedsak faste masser, med unntak av et løsere lag over berg.

Løsmassene over leirlaget vurderes altså å bestå av faste masser av sand, silt og leire. I beregningene er dette forenklet til ett lag, som regnes som drenert i både korttids- og langtidstilstand. For leirlaget i bunnen (blå skravur) er det utført beregninger med både drenerte og udrenerte styrkeparametere.



Figur 18: Terrengprofil med totalsonderinger. Forenklet tolkning av lagdeling vist med blå, grønn og grå skravur

6.4 Styrkeparametere

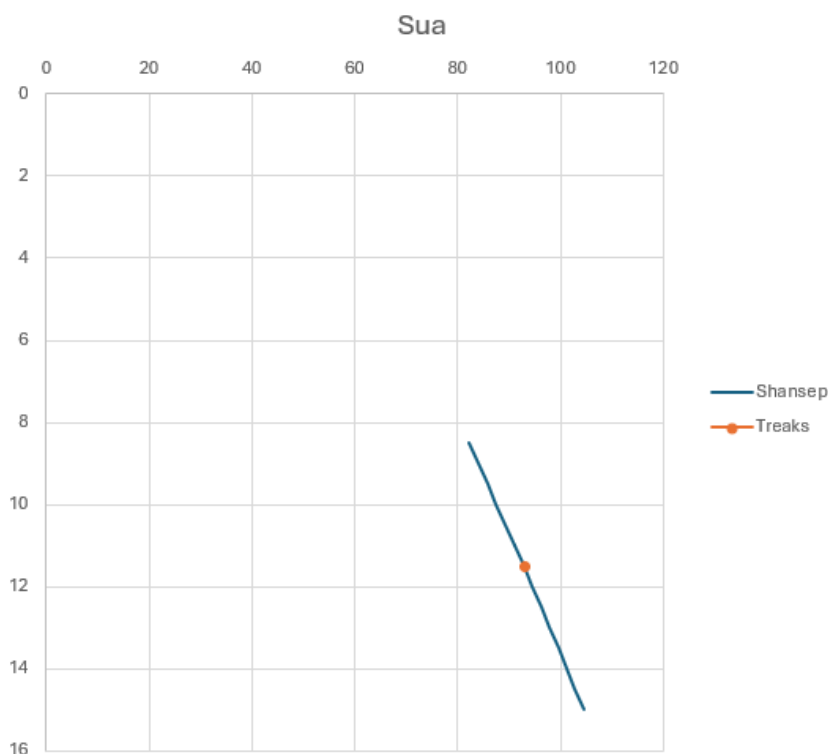
Valgte styrkeparametere for stabilitetsberegninger er vist i Tabell 2. Parametere for friksjonsmasser over leira er basert på erfaringsverdier og tolkning av trykksonderinger. Styrkeparametere for leirlaget er basert på treksialforsøk og ødometerforsøk på prøver fra borpunkt 201. Prøvekvaliteten er vurdert ut fra endring i porettall under konsolideringsfasen i treksialforsøket. Endring i porettall er mindre enn 0,02, som tilsier veldig god til utmerket kvalitet [5].

Tabell 2: Styrkeparametere for stabilitetsberegninger

Beskrivelse	Romvekt (kN/m ³)	φ (°)	c (kN/m ²)	S _{UA} (kN/m ²)	S _{UD} (kN/m ²)	S _{UP} (kN/m ²)
Sprengstein	19	42	4	-	-	-
Friksjonsmasser (sand/silt/leire)	19	34	3*	-	-	-
Leire	20	30	6	S _{UA} =82+3,4Z	0,63* S _{UA}	0,35* S _{UA}

* Det er også utført beregninger med c=0 kPa for å undersøke sensitiviteten på valgt kohesjon i lag av friksjonsmasser. Det er konkludert med at dette gir marginal endring i beregnet sikkerhet (størrelsesorden $\Delta F=0,01$).

Valgt styrkeprofil for udrenert skjærfasthet er vist i Figur 19. Det er benyttet Shansep-ligningen med prekonsolideringsspenning tolket fra ødometerforsøk, og $\alpha=0,27$, $m=0,65$. NVE-rapport 14/2014 [6] er lagt til grunn for valg av ADP-parametere.



Figur 19: Udrenert skjærfasthet i leirlaget

6.5 Stabilitetsvurderinger dagens situasjon

Beregninger for dagens situasjon er utført både i Geosuite Stability og Plaxis. I Plaxis søker programmet automatisk etter kritisk skjærflate, mens i Geosuite er det søkt etter både sirkulære og plane skjærflater.

Bergnivå i nedre del av skråningen er basert på utførte totalsonderinger. I beregningene er det lagt inn samme mektighet av leirlaget under hele dalbunnen, selv om totalsondering 206 viser at berget ligger høyere ved bekken. I øvre del av skråningen er antatt bergnivå tilpasset for å unngå at dette påvirker beliggenhet av kritisk skjærflate, det vil si at bergoverflaten er senket slik at hele skjærflaten går i løsmasser.

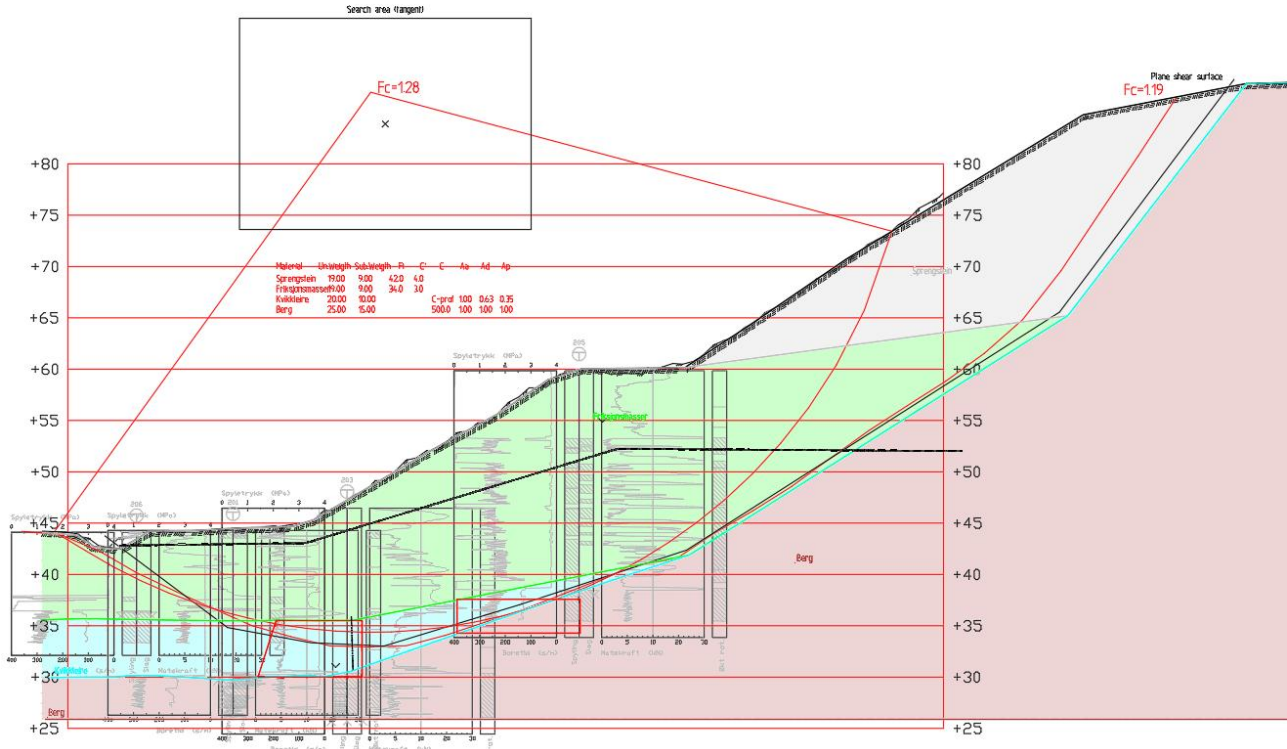
Det er antatt grunnvannstand i nivå med bekken i bunnen av skråningen, og stigende grunnvannstand oppover i skråningen. For å undersøke følsomhet for variasjoner i grunnvannstand og poretrykk, er det utført beregninger med varierende grunnvannsnivå. Det er også utført beregninger for å se på effekt av et eventuelt poreovertrykk i leirlaget over berg.

Som vist i Tabell 3 viser beregningene tilstrekkelig sikkerhet for drenert tilstand. Beregning med poreovertrykk i leira (3-4 m overtrykk i forhold til hydrostatisk trykk fra terreng), gir sikkerhet ned mot kravet på 1,25. Beregning i Geosuite viser at sikkerhet for udrenert tilstand ligger omtrent på robusthetskravet ($F_{cu} \geq 1,2$) i NVE-veilederen. Det vurderes å være relativt stor usikkerhet i beregningene, blant annet knyttet til poretrykket i skråningen og lagdeling/dybde til berg i øvre del av skråningen. Usikkerheten kan reduseres noe ved å utføre mer detaljerte grunnundersøkelser. Steinfyllingen og det bratte terrenget vil imidlertid gjøre det vanskelig å kartlegge grunnforholdene i detalj i øvre del av skråningen. Det er også vanskelig å få tatt opp uforstyrrede prøver av massene over leirlaget i nedre del av skråningen. Selv med mer detaljerte undersøkelser er det derfor tvilsomt om det kan dokumenteres at robusthetskravet i veilederen er tilfredsstillt.

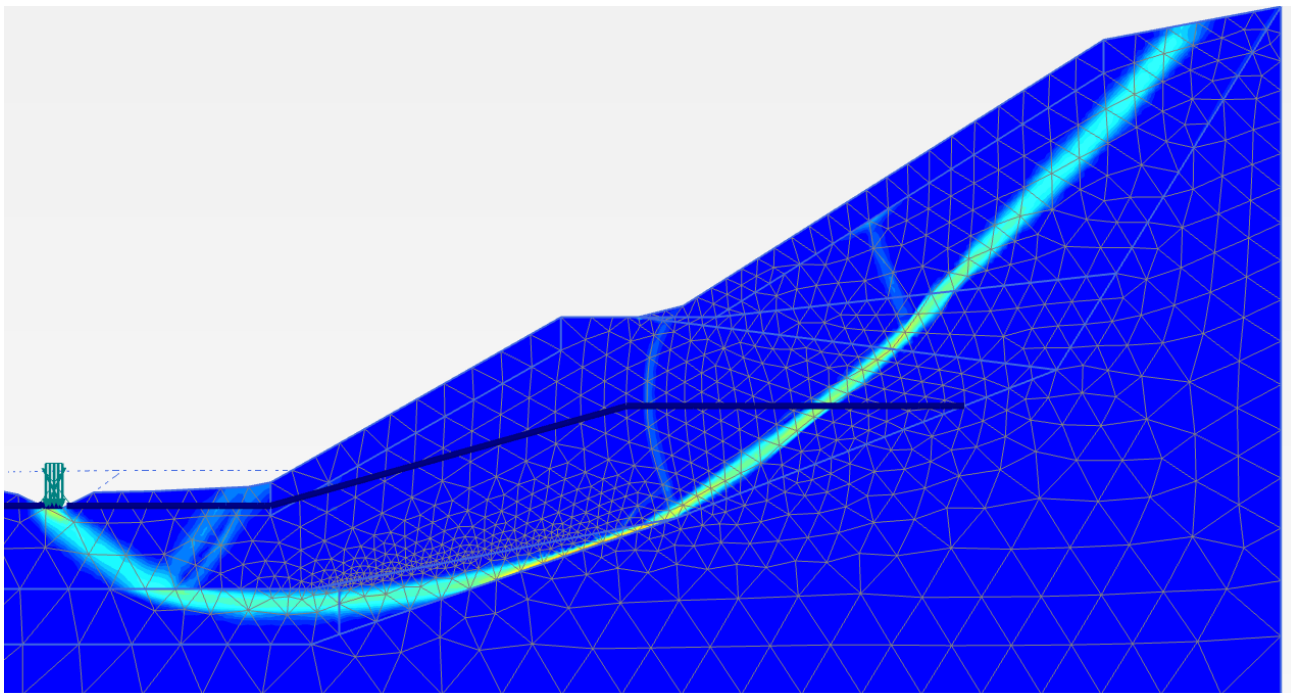
Eksakt sikkerhet for dagens situasjon er usikkert, men basert på beregningene anslås $F_{cu} \approx 1,1-1,2$ og $F_{c\phi} \approx 1,3-1,5$. Beregninger i Plaxis viser noe lavere sikkerhet enn i Geosuite. For å oppnå tilstrekkelig sikkerhet anbefales å utføre tiltak som forbedrer stabiliteten i skråningen.

Tabell 3: Beregnet sikkerhetsfaktor dagens situasjon

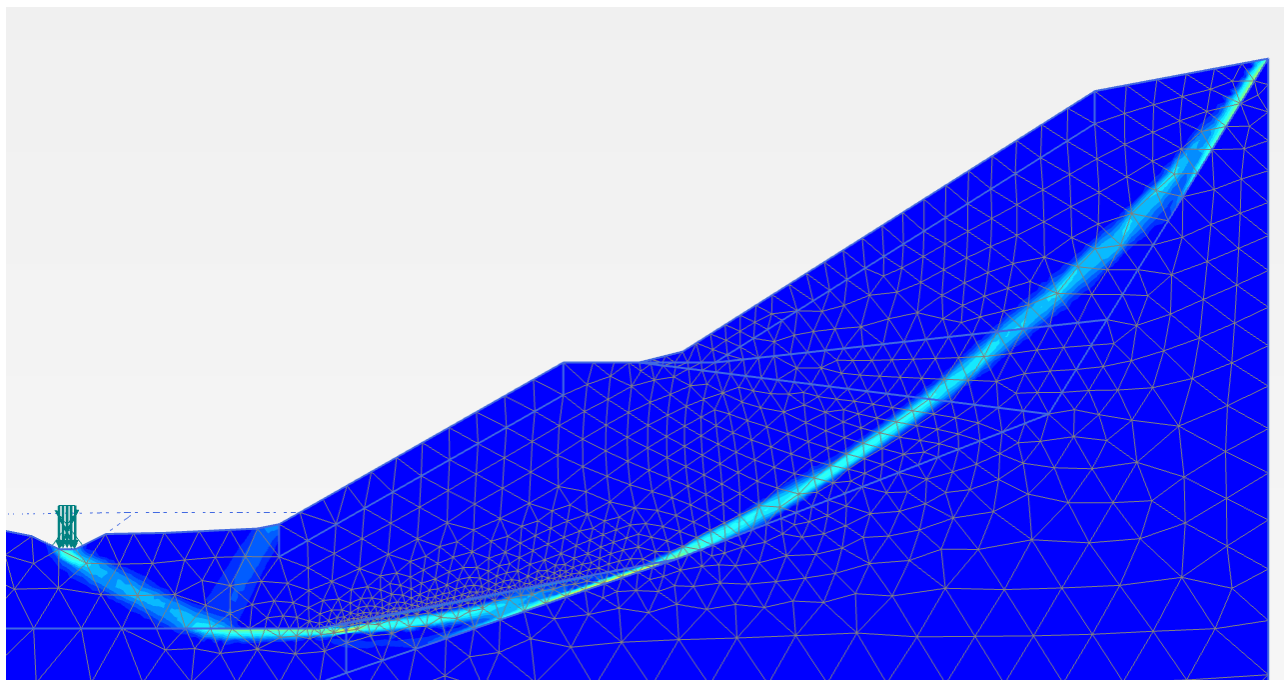
Beregningsverktøy	F_{cu}	$F_{c\phi}$
Geosuite Stability	1,19	1,44
Plaxis	1,12	1,35



Figur 20: Stabilitetsberegning i Geosuite. Dagens situasjon, udrenert



Figur 21: Stabilitetsberegning i Plaxis. Dagens situasjon, udrenert. $F_{cu}=1,12$



Figur 22: Stabilitetsberegning i Plaxis. Dagens situasjon, drenert. $F_{\text{cu}}=1,35$

6.6 Stabiliserende tiltak

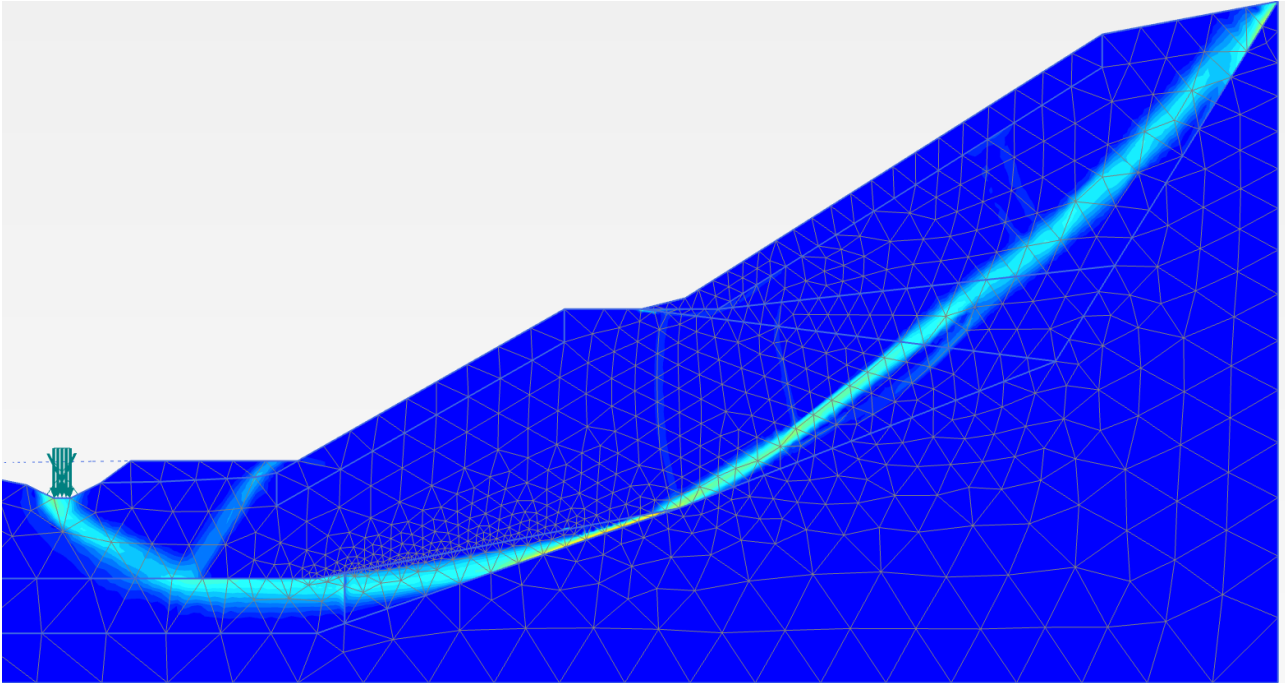
Sikkerhet for dagens tilstand er anslått til $F_{\text{cu}} \approx 1,1-1,2$. Minimumskravet til forbedring i henhold til NVE-veilederen vil da være ca. 5-8% (se Figur 16).

Det er utført beregninger med 2 m motfylling i bunnen av skråningen, og konkludert med at dette gir tilstrekkelig forbedring av sikkerheten. Vi anser dette som et robust tiltak, som er lite følsom for nevnte usikkerheter i beregningsgrunnlaget. Motfylling vil ikke forverre stabiliteten i noen faser av gjennomføringen.

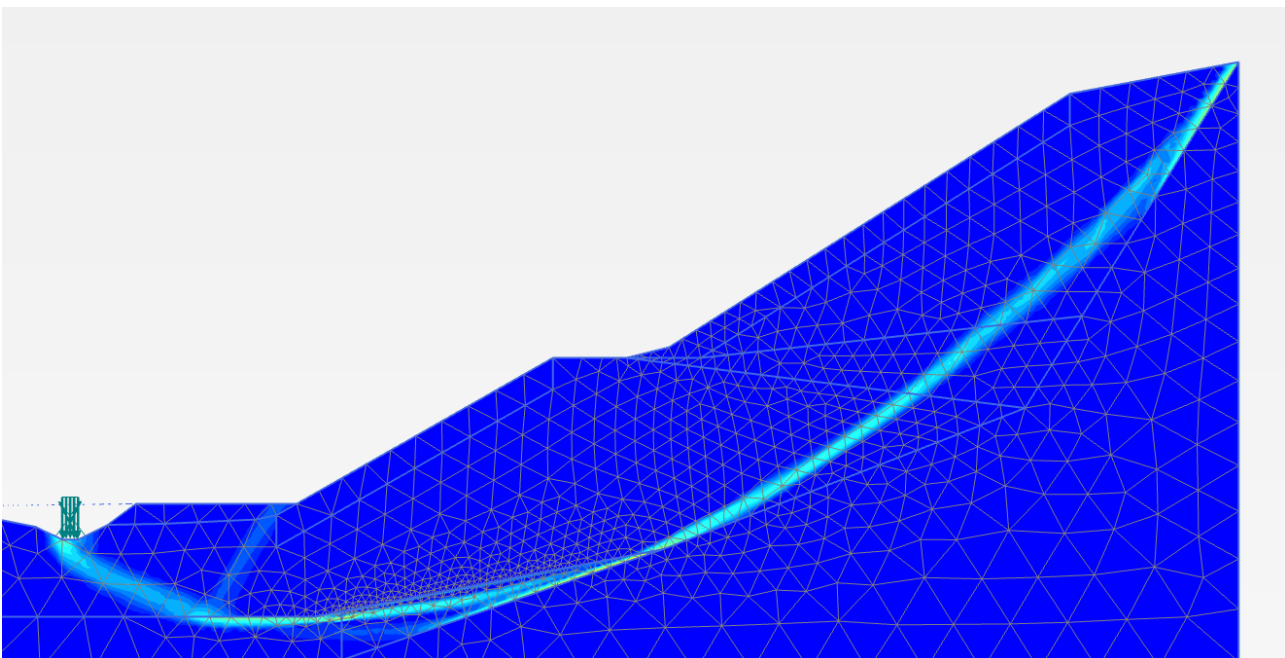
Som alternativ til motfylling er det vurdert grunnforsterkning av leira under dalbunnen. På grunn av de faste massene over leira er kalksementstabilisering ikke gjennomførbart. Alternativ metode for grunnforsterkning kan være jetpeler. Installasjon av jetpeler i leira vil gi en midlertidig forverring av stabiliteten, samt medføre vesentlig høyere kostnader og klimabelastning. Det anbefales derfor ikke å gå videre med dette alternativet.

Tabell 4: Beregnet sikkerhet før og etter tiltak

Beregning	$F_{\text{før}}$	F_{etter}	Endring
Udrenert	1,12	1,21	8 %
Drenert	1,35	1,43	6 %



Figur 23: Stabilitetsberegning i Plaxis. Motfylling, udrenert. $F_{cu}=1,21$

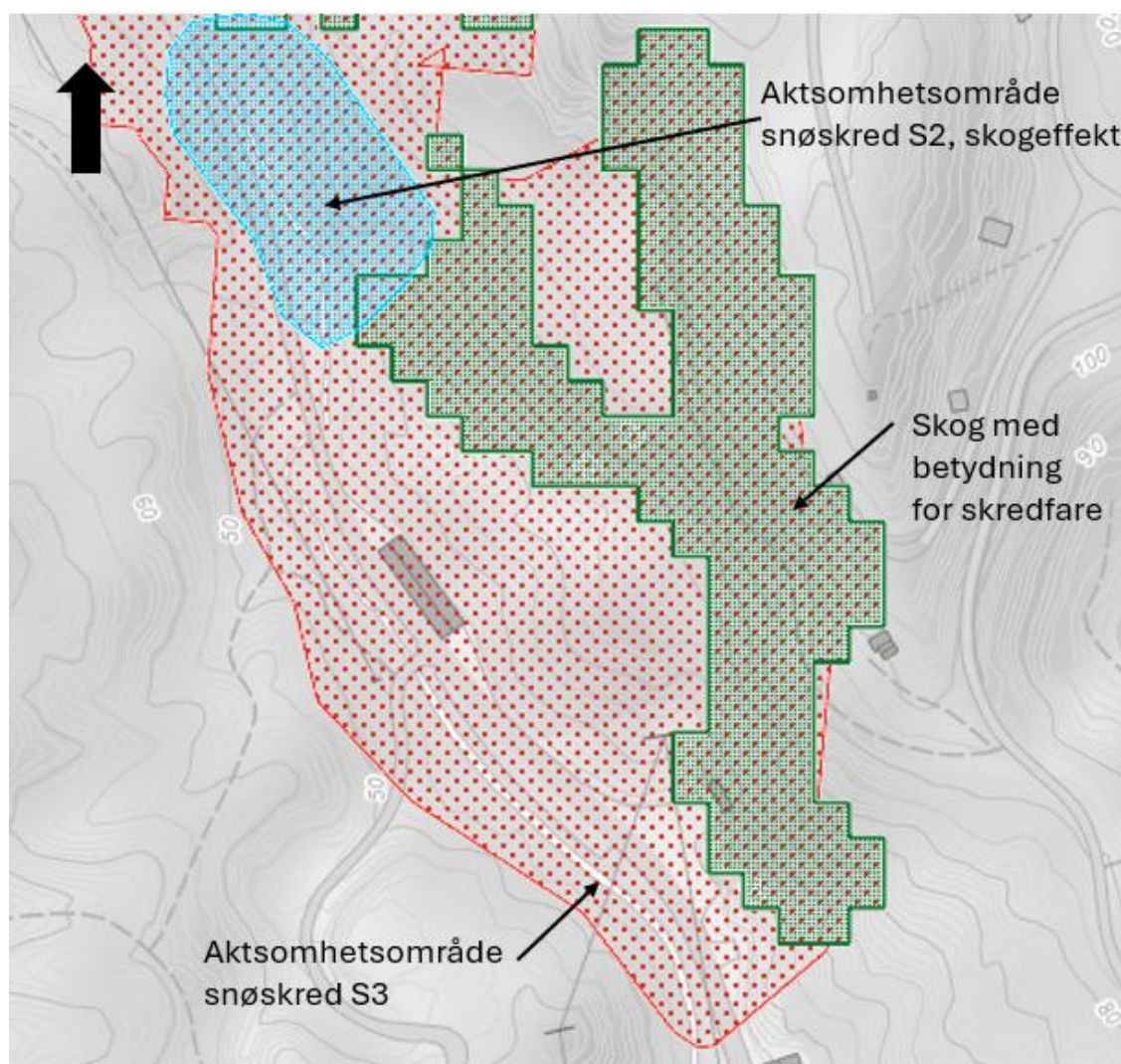


Figur 24: Stabilitetsberegning i Plaxis. Motfylling, drenert. $F_{cp}=1,43$

7 Øvrige naturfarer

Tomta ligger i aktsomhetsområde for flom [3]. Flomvurdering er utført av Dr.techn. Olav Olsen AS, og behandles ikke videre her.

Som vist i Figur 25 ligger tomta i aktsomhetsområde for snøskred sikkerhetsklasse S3. Tomta ligger imidlertid ikke innenfor aktsomhetsområde for sikkerhetsklasse S2, hensyntatt skogeffekt. Tiltaket vurderes å være i sikkerhetsklasse S2, som blant annet omfatter bygninger der det er middels økonomiske eller andre samfunnsmessige konsekvenser. Forutsatt at vegetasjonen ivaretas anses derfor tomta ikke å være utsatt for snøskredfare.



Figur 25: Aktsomhetsområder for snøskred [3]

8 Konklusjon

Skråningen øst for tomta er vurdert som en faresone for kvikkleireskred. Faresonen er klassifisert til middels faregrad. Tiltaket er definert i kategori K3 i henhold til NVEs veileder 1/2019 [1].

Det er utført stabilitetsberegninger og konkludert med at det er for lav sikkerhet i dagens situasjon. Beregningene viser at det er mulig å oppnå tilstrekkelig sikkerhet ved å legge ut motfylling ved foten av skråningen. Som illustrert i Figur 26 anbefales å heve terrengnivået på tomta med 2 m. Det er vurdert at dette kan utføres uten å måtte legge om eller lukke bekken.

Eksisterende vei må heves tilsvarende som terrenget på tomta foran transformatorbygget, og tilpasses mot eksisterende vei i hver ende.

Det er lagt til grunn at transformatorbygget direktefundamenteres på oppfylte sprengsteinsmasser. Endelig valg av fundamenteringsmetode forutsettes utført i detaljprosjekteringen. Ved eventuell pelefundamentering må det vurderes om installasjon av peler kan påvirke stabiliteten, og om det er behov for midlertidige tiltak for å forbedre stabiliteten i anleggsfasen.

I henhold til NVEs veileder 1/2019, skal områdestabilitetsvurderingene kvalitetssikres av uavhengig foretak.



Figur 26: Skisse av motfylling og nytt transformatorbygg

9 Referanser

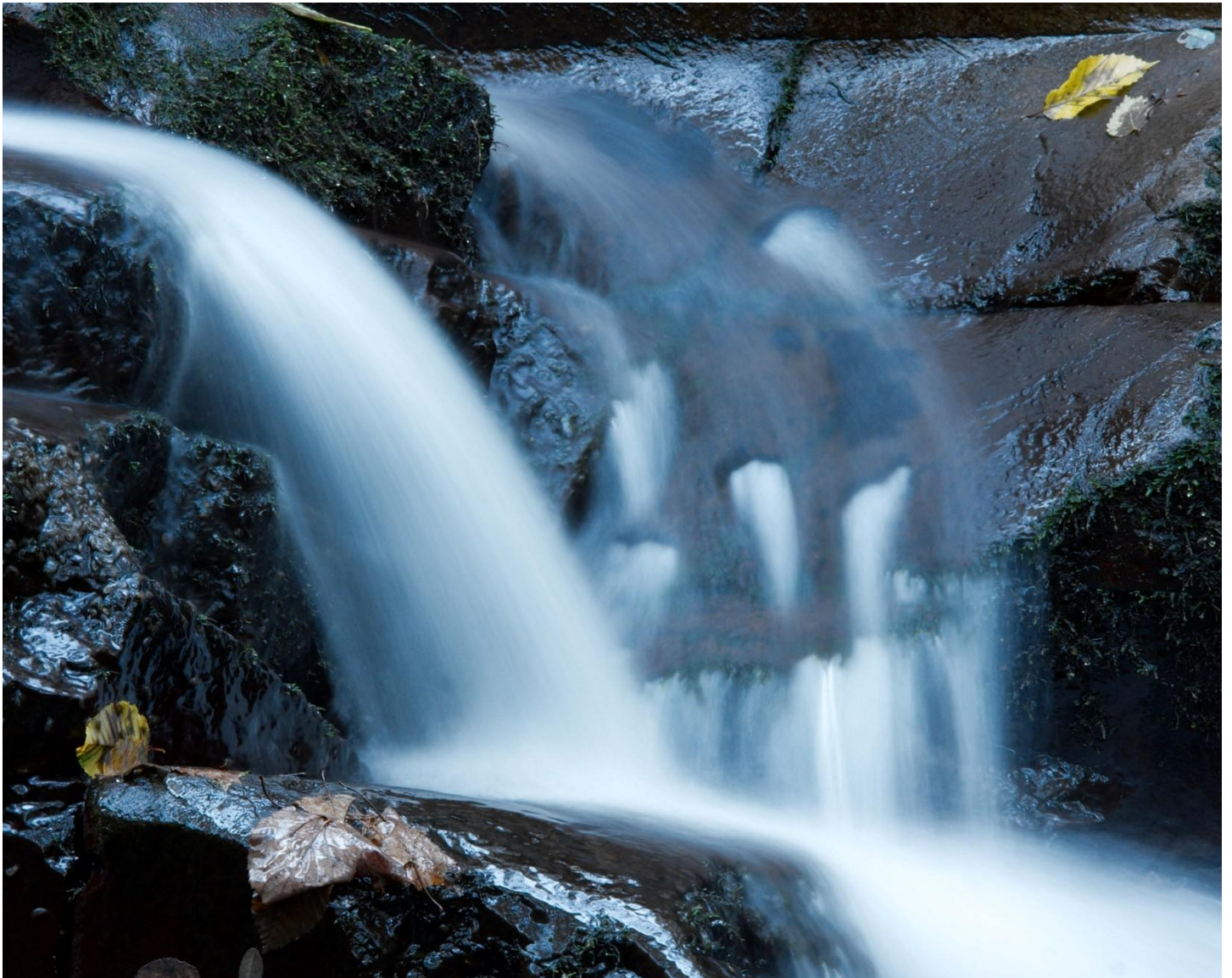
- [1] NVE, «Veileder 1/2019. Sikkerhet mot kvikkleireskred. Vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper,» 2020.
- [2] Norconsult, «52409847-RIG-05. Kaggefoss kraftverk. Supplerende grunnundersøkelser. Datarapport,» 2025.
- [3] NVE, «NVE Atlas,» [Internett]. Available: atlas.nve.no.
- [4] NGU, «NGU løsmassekart,» [Internett]. Available: https://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/.
- [5] NGF, «NGF-melding nr. 11. Veiledning for prøvetaking,» 2013.
- [6] NVE, «Rapport nr. 14/2014. En omforent anbefaling for bruk av anisotropifaktorer i prosjektering i norske leirer,» 2014-01-30.

Å Energi Vannkraft AS

Kaggefoss kraftverk

Apparatanlegg. Geotekniske vurderinger

Oppdragsnr.: 52409847 Dokumentnr.: 52409847-RIG-06 Revisjon: J01 Dato: 2025-12-12



Kaggefoss kraftverk

Apparatanlegg. Geotekniske vurderinger

Oppdragsnr.: 52409847 Dokumentnr.: 52409847-RIG-06 Revisjon: J01

Oppdragsgiver: Å Energi Vannkraft AS
Oppdragsgivers kontaktperson: Torgeir Tiltnes Nørbech
Rådgiver: Norconsult Norge AS
Oppdragsleder: Jørn Hagen
Fagansvarlig: Are Wigernes Stuvøy
Andre nøkkelpersoner: Joakim Birkeland

Revisjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent
J01	2025-12-12	Geoteknisk vurdering	AS	JOABIR	JAHAN

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

Sammendrag

Å Energi Vannkraft planlegger rehabilitering av Kaggefoss kraftverk i Modum kommune. Norconsult er engasjert for å bistå med prosjektering av blant annet apparatanlegg.

Ulike tomtealternativer er vurdert i arbeidet med konsesjonssøknaden. Innledende geotekniske vurderinger for alternativ P2 ved Øra er oppsummert i denne rapporten.

Det ble utført befarings i august 2025, og grunnundersøkelser i september 2025. Dybde til berg i borpunktene varierte mellom 1,4 og 10,3 m. Det er berg i dagen langs elva på østsiden. Det er også observert berg i dagen flere steder langs bekken på sydsiden, og langs Kaggefossveien vest for tomta. De største dybdene er registrert i sørvestre del av tomta. Grunnen her antas å bestå av faste friksjonsmasser ned til ca. 4 m dybde, og leire under dette.

For å oppnå tilstrekkelig sikkerhet mot flom, er det vurdert at terrengnivået på tomta må heves med ca. 2 m. Oppfylling vil gi tilleggsbelastning på grunnen, som kan medføre setninger. Setningene vil bli størst i områdene med størst dybde til berg. Det anslås at 2 m oppfylling kan gi i størrelsesorden 1-2 cm setning. Dette vurderes å være innenfor hva som kan aksepteres, og det forventes ikke behov for lette fyllmasser eller andre tiltak for å redusere setninger.

Det er vurdert at tomta ikke er utsatt for skredfare, og at det ikke blir utfordringer med lokalstabilitet ved oppfylling. Med hensyn til grunnforhold anses derfor tomtealternativ P2 som egnet for etablering av nytt apparatanlegg.

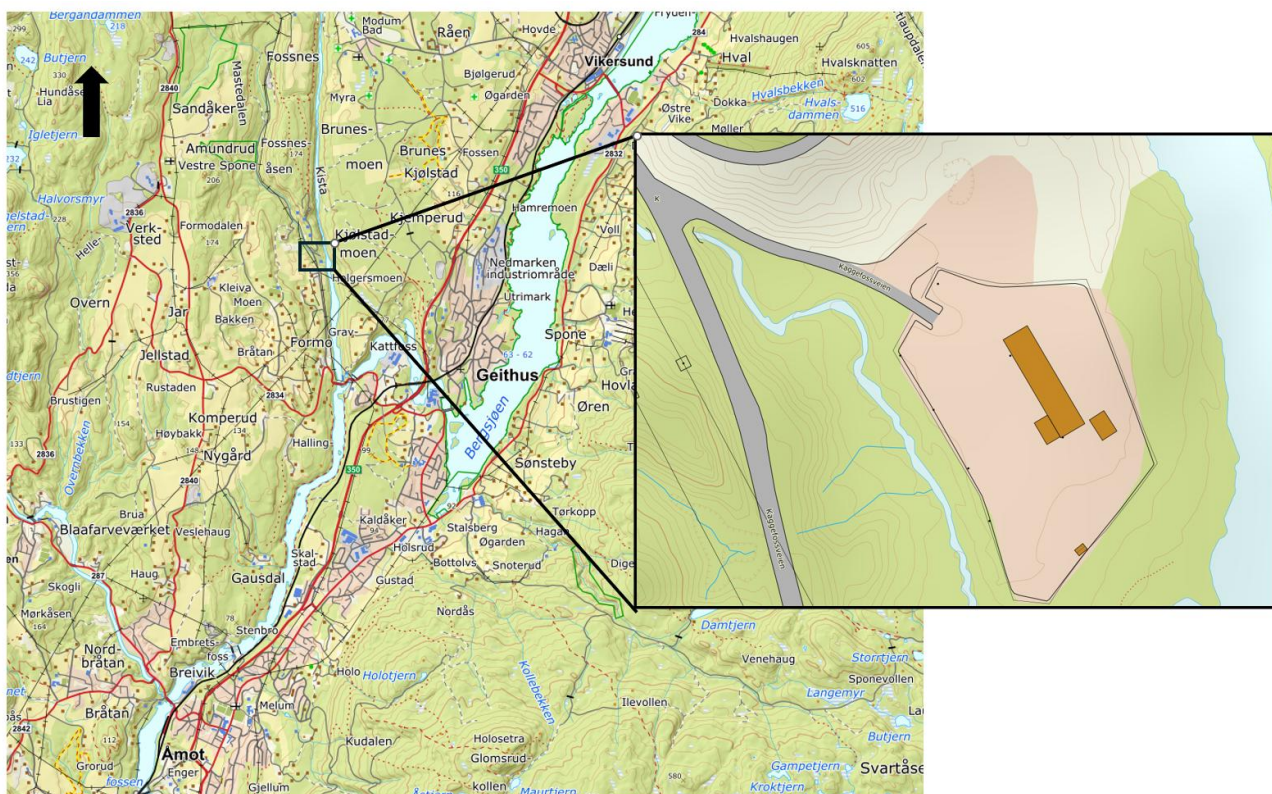
Innhold

1	Innledning	4
2	Topografi og grunnforhold	5
3	Naturfare	6
3.1	Flom	6
3.2	Kvikkleireskred	6
3.2.1	Generelt	6
3.2.2	Registrerte faresoner (prosedyre punkt 1)	7
3.2.3	Avgrensning av aktsomhetsområder (prosedyre punkt 2-3)	8
3.2.4	Tiltakskategori (prosedyre punkt 4)	9
3.2.5	Gjennomgang av grunnlag (prosedyre punkt 5)	9
3.2.6	Befaring (prosedyre punkt 6)	9
3.2.7	Grunnundersøkelser (prosedyre punkt 7)	10
3.3	Andre skredtyper	12
4	Stabilitet og setninger	13
5	Referanser	14

1 Innledning

Å Energi Vannkraft planlegger rehabilitering av Kagefoss kraftverk i Modum kommune. Norconsult er engasjert for å bistå med prosjektering av blant annet apparatanlegg.

Ulike tomtealternativer er vurdert i arbeidet med konsesjonssøknaden. Innledende geotekniske vurderinger for alternativ P2 ved Øra er oppsummert i denne rapporten. Oversiktskart er vist i Figur 1.



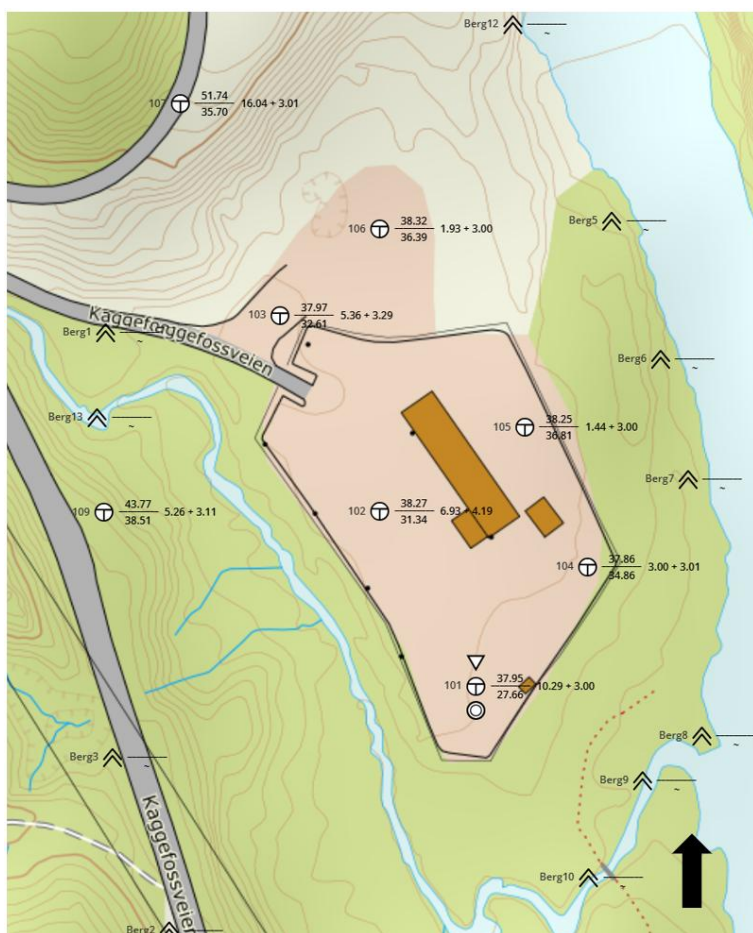
Figur 1: Oversiktskart

2 Topografi og grunnforhold

Terrengnet på tomta er tilnærmet flatt, og ligger på ca. kote +38. Det er berg i dagen langs elva på østsiden. Det er også observert berg i dagen flere steder langs bekken på sydsiden, og langs Kagefossveien vest for tomta.

Det ble utført grunnundersøkelser i september 2025. Resultatene er presentert i rapport 52409847-RIG-05 [1]. Som vist i Figur 2 er det utført 6 totalsonderinger, 1 trykksondering og 1 prøveserie på tomta. Det er i tillegg utført 3 totalsonderinger i skråning mot nord og 1 totalsondering ved Kagefossveien i vest.

Dybde til berg i borpunktene på tomta varierte mellom 1,4 m og 10,3 m. De største dybdene er registrert i punkt 101 og 102. Grunnen her antas å bestå av faste friksjonsmasser ned til ca. 4 m dybde, og leire under dette. Det er tatt opp 3 sylinderprøver i borpunkt 101, fra 6-9 m dybde. Prøvene viser leire med romvekt 19-19,5 kN/m³ og vanninnhold 29-35%. Udrenert skjærfasthet fra konusforsøk ligger mellom 23 og 44 kPa, mens udrenert skjærfasthet fra enaksiale trykkforsøk ligger mellom 72 og 81 kPa. Omrørt skjærfasthet fra konusforsøk er målt til 0,7-1,3 kPa, og leira klassifiseres dermed som sprøbruddmateriale. Ødometerforsøk viser at leira er overkonsolidert, med OCR≈5.



Figur 2: Kart med borpunkter og observasjoner fra befaring

3 Naturfare

3.1 Flom

Temakart fra NVE [2] viser at tomta ligger i et aktsomhetsområde for flom. Flomberegninger er utført av Dr. techn. Olav Olsen AS, og omtales ikke videre her. Som beskrevet i kapittel 4 er det forutsatt at terrenget på tomta heves for å oppnå tilstrekkelig sikkerhet mot flom.

3.2 Kvikkleireskred

3.2.1 Generelt

NVEs veileder 1/2019 [3] beskriver hvordan skredfare skal utredes i områder med kvikkleire/sprøbruddmaterialer. Prosedyre for vurdering av områdestabilitet er beskrevet i veilederens tabell 3.1. Prosedyren er inndelt i 11 punkter, hvor punkt 1-3 omfatter kartlegging av aktsomhetsområder, og punkt 4-11 omfatter utredning av faresoner.

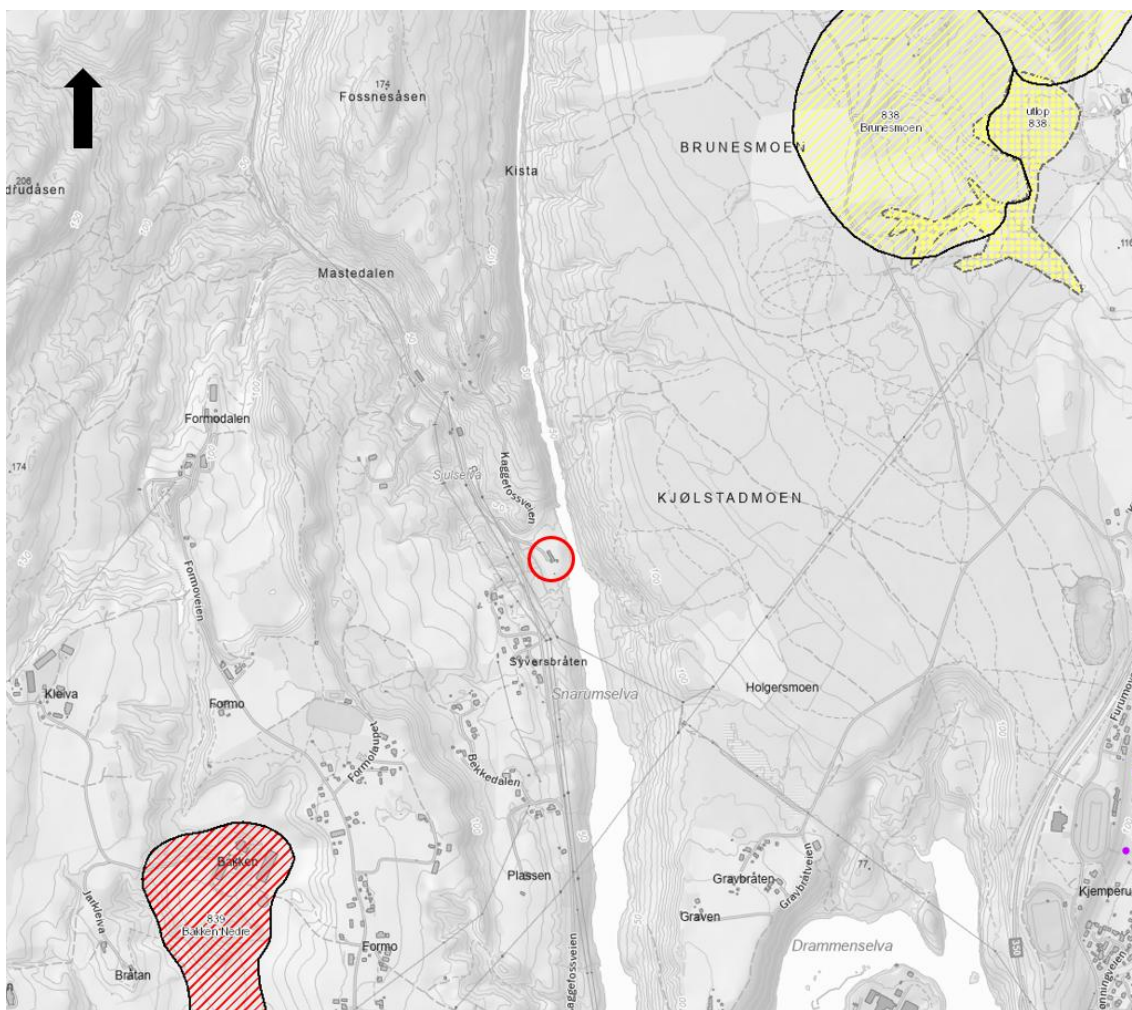
Vurderingene er oppsummert i Tabell 1. Nærmere beskrivelse er gitt i etterfølgende kapitler.

Tabell 1: Prosedyre for utredning av områdestabilitet

Prosedyre Nr.	Oppgave	Kommentar
1.	Undersøk om det finnes registrerte faresoner (kvikkleiresoner) i området	Det er ingen faresoner som berører tomta. Nærmeste registrerte faresone ligger ca. 1 km unna. Se kapittel 3.2.2
2.	Avgrens områder med mulig marin leire	Med unntak av der det er berg i dagen, er det mulighet for marin leire i hele området. Se kapittel 3.2.3
3. (3a, 3b)	Avgrens områder med terreng som kan være utsatt for områdeskred.	Tomta ligger i aktsomhetsområde (utløpsområde) for skred i skråninger nord og vest for tomta. Se kapittel 3.2.3
4.	Bestem tiltakskategori	Kategori K3. Se kapittel 3.2.4.
5.	Gjennomgang av grunnlag - identifikasjon av kritiske skråninger og mulig løseområde	Skråningene nord og vest for tomta har høydeforskjell og terrenghelning som tilsier at det kan være skredfare dersom det er kvikkleire i grunnen. Se kapittel 3.2.5
6.	Befaring	Det er gjennomført befaring og kartlegging av berg i dagen, se kapittel 3.2.6.
7.	Gjennomfør grunnundersøkelser	Det er gjennomført grunnundersøkelser i september 2025. Basert på resultatene er det konkludert med at tomta ikke er utsatt for kvikkleireskred. Se kapittel 3.2.7. Resterende utredningspunkter utgår.
8.	Vurder aktuelle skredmekanismer og avgrens løse- og utløpsområder	-
9.	Klassifiser faresoner	-
10.	Dokumenter tilfredsstillende sikkerhet	-
11.	Meld inn faresoner og grunnundersøkelser	-

3.2.2 Registrerte faresoner (prosedyre punkt 1)

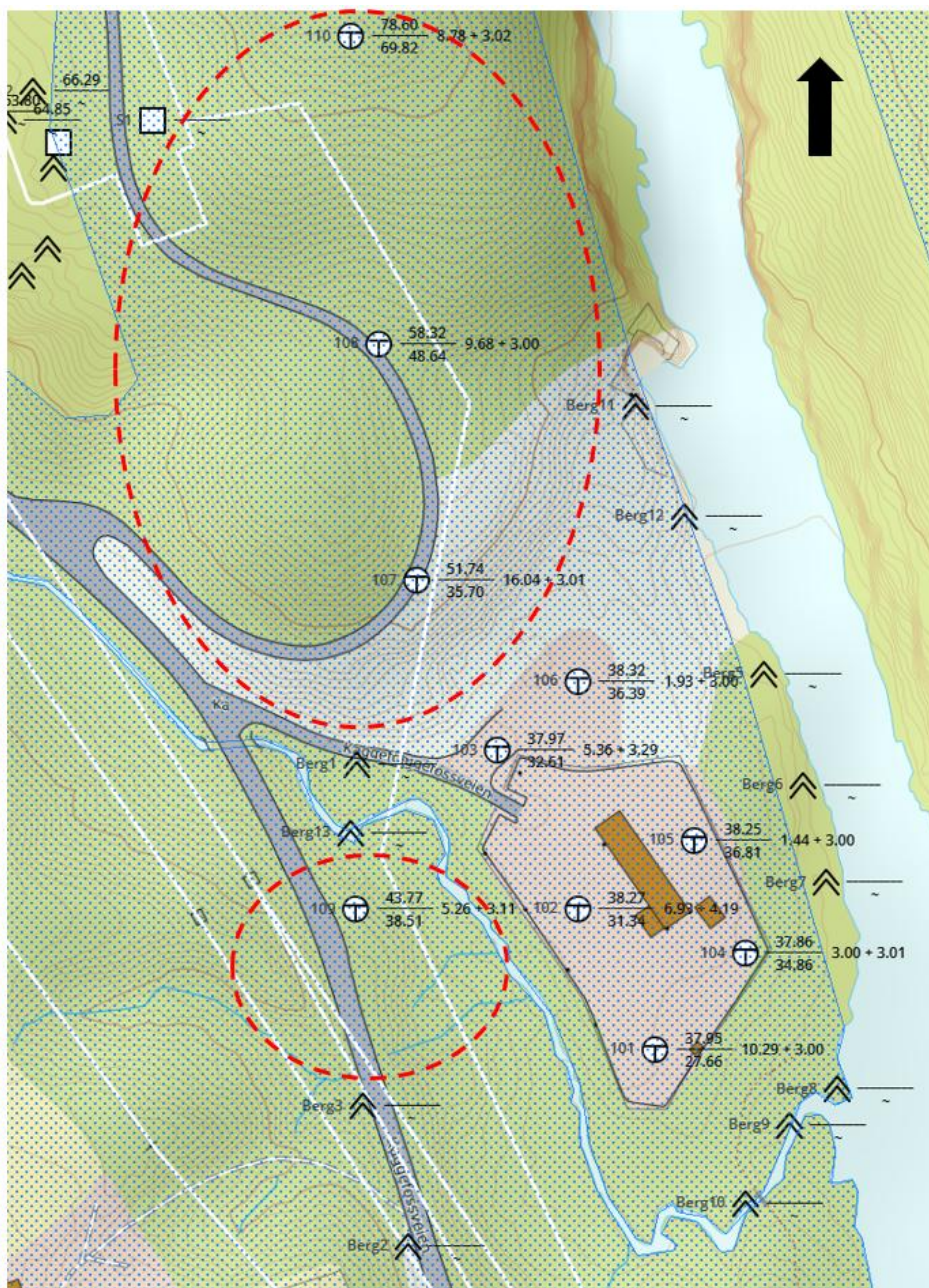
Temakart fra NVE Atlas [2] viser at tomta ikke ligger innenfor tidligere kartlagte faresoner for skred. Nærmeste kartlagte sone er 839 Bakken Nedre, ca. 1 km sydvest for tomta.



Figur 3: Kart med tidligere kartlagte faresoner for kvikkleireskred [2]. Aktuell tomt markert med rød sirkel

3.2.3 Avgrensning av aktsomhetsområder (prosedyre punkt 2-3)

Basert på løsmassekart [4], topografi og observasjoner fra befaring er det identifisert to mulige løsnemråder for skred. Som illustrert i Figur 4 gjelder dette skråning opp mot åsen i nord, samt skråning fra bekken mot Kaggefossveien i vest.



Figur 4: Kart med borpunkter, berg i dagen, aktsomhetskart kvikkleire (blå skravur) og mulige løsnemråder for skred (røde stiplede sirkler)

3.2.4 Tiltakskategori (prosedyre punkt 4)

Prinsipper for valg av tiltakskategori er beskrevet i veilederens kapittel 3.3.1. Tiltakskategori skal fastsettes ut fra konsekvens for tiltaket ved kvikkleireskred. Kategori skal vurderes av tiltakshaver og planmyndighet, med bistand fra geotekniker.

Basert på tiltakets størrelse og konsekvenser ved skred, er det vurdert at tiltaket er i kategori K3. Dette innebærer at det er krav om videre utredning i henhold til prosedyren i veilederen.

Tiltaks-kategori	Type tiltak
K0	Små tiltak som medfører svært begrensede terrenginngrep. Lite personopphold. Ingen tilflytting av personer Garasjer, naust, tilbygg/påbygg til eksisterende bebyggelse, frittstående uthus, redskapsbod, landbruk- og skogsveger
K1	Tiltak av begrenset størrelse. Lite personopphold. Ingen tilflytting av personer Mindre driftsbygninger i landbruket, lagerbygg av begrenset verdi, lokale VA-anlegg, private og kommunale veger, mindre parkeringsanlegg og trafiksikkerhetstiltak (G/S-veg, midtdeler)
K2	Tiltak som kun innebærer terrengendring; utgraving, opp- og utfylling og masseflytting Massedeponier, komposteringsanlegg, bakkeplanering/nydyrking, massetak, andre massefyllinger
K3	Tiltak som medfører tilflytting av personer med inntil to boenheter, større byggverk med begrenset personopphold eller tiltak med stor verdi Bolighus/fritidsbolig med inntil to boenheter, større driftsbygninger i landbruket, lagerbygg med større verdi, mindre nærings- og industribygg, mindre utendørs publikumsanlegg, større VA-anlegg
K4	Tiltak som medfører større tilflytting/personopphold, samt tiltak som gjelder viktige samfunnsfunksjoner Bolighus/fritidsboliger med mer enn to boenheter, sykehjem, sykehus, skoler, barnehager, idrettshaller, utendørs publikumsanlegg og nærings- og industribygg

Figur 5: Tiltakskategori med eksempler på type tiltak. Fra tabell 3.2 i NVE 1/2019 [3]

3.2.5 Gjennomgang av grunnlag (prosedyre punkt 5)

Dette punktet omfatter gjennomgang av tidligere grunnundersøkelser/geotekniske vurderinger og kartgrunnlag, for å identifisere kritiske skråninger. Det er ikke utført grunnundersøkelser eller geotekniske vurderinger på tomta tidligere. Som beskrevet i kapittel 3.2.3 er det identifisert kritiske skråninger nord og vest for tomta.

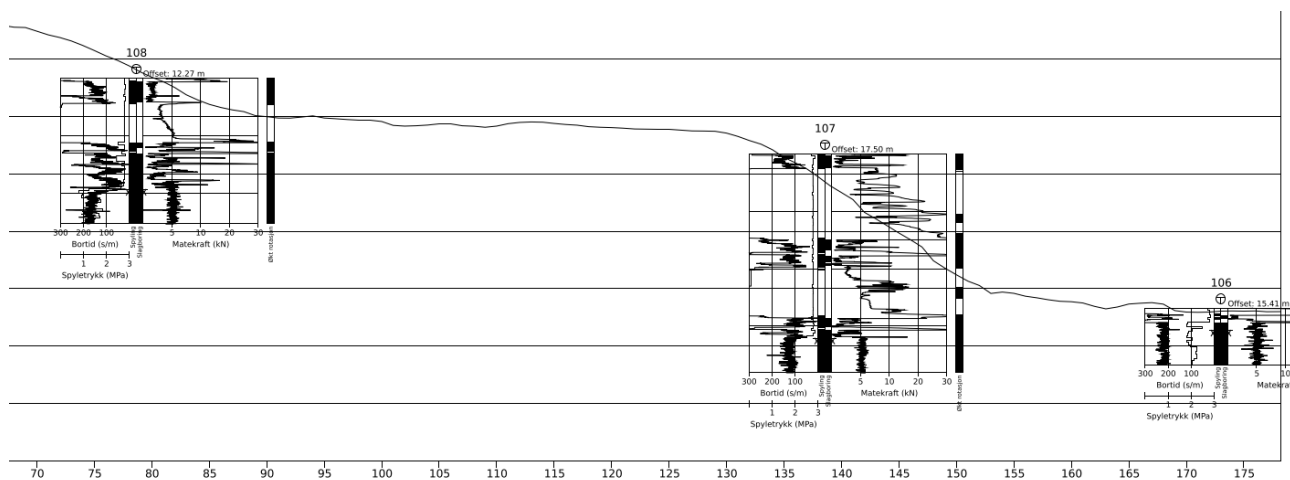
3.2.6 Befaring (prosedyre punkt 6)

Det ble gjennomført befaring i august 2025. Det ble gjort flere observasjoner av berg i dagen som legges til grunn for videre vurderinger.

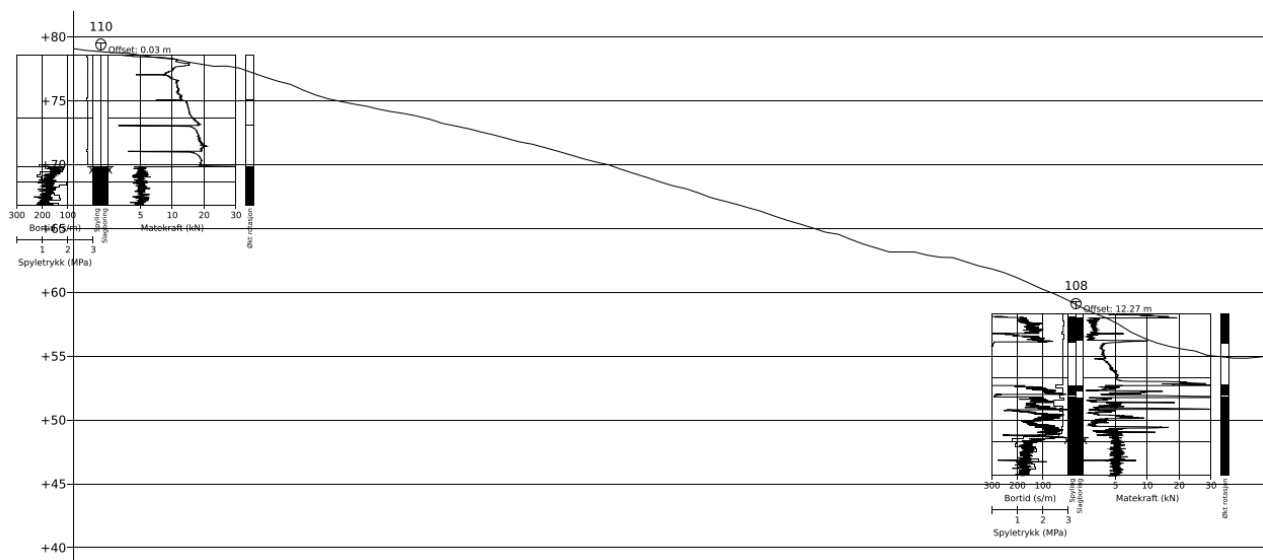
3.2.7 Grunnundersøkelser (prosedyre punkt 7)

Det ble gjennomført grunnundersøkelser i september 2025. Basert på vurderingene beskrevet i kapittel 3.2.3 ble det utført tre totalsonderinger i skråning nord for tomta og 1 totalsondering i skråning vest for tomta.

Profil med borer i skråningen mot nord er vist i Figur 6 og Figur 7. Sonderingene indikerer mye faste friksjonsmasser. Der sonderingene indikerer leire er det økende motstand i dybden, som tyder på at det ikke er sprøbruddmateriale/kvikkleire. Det er derfor konkludert med at det ikke er fare for kvikkleireskred i skråningen nord for tomta.

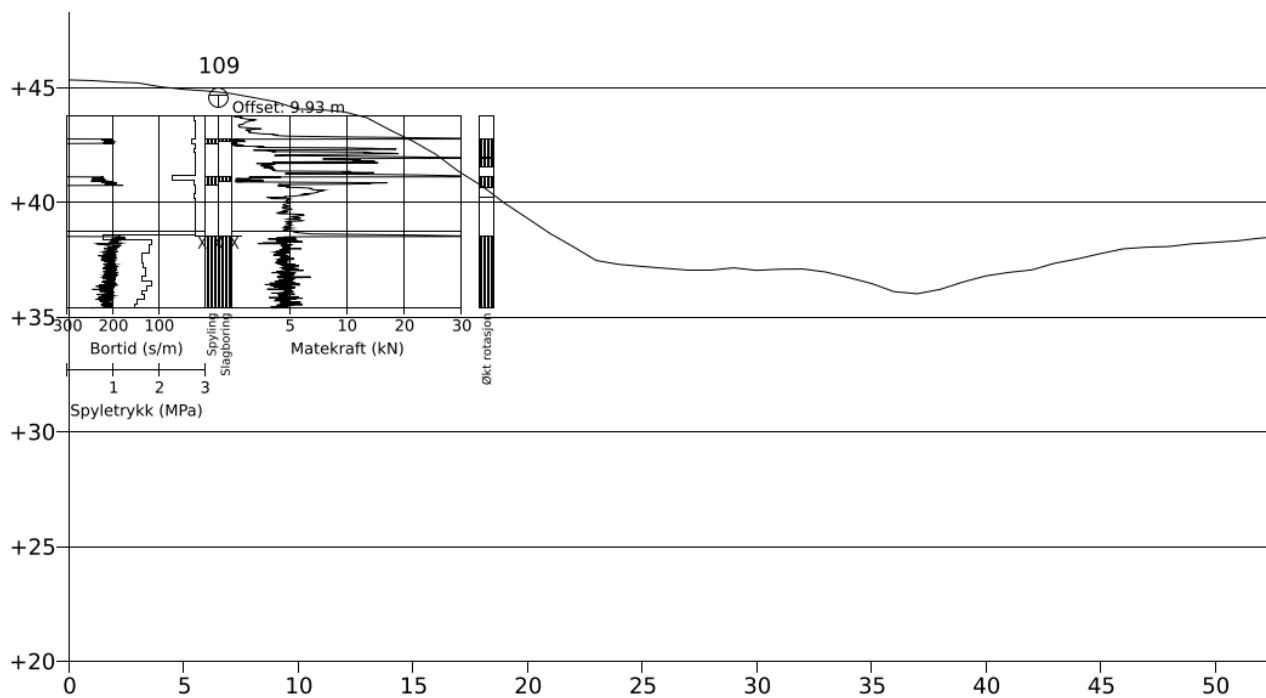


Figur 6: Profil med totalsonderinger i skråning mot nord, del 1



Figur 7: Profil med totalsonderinger i skråning mot nord, del 2

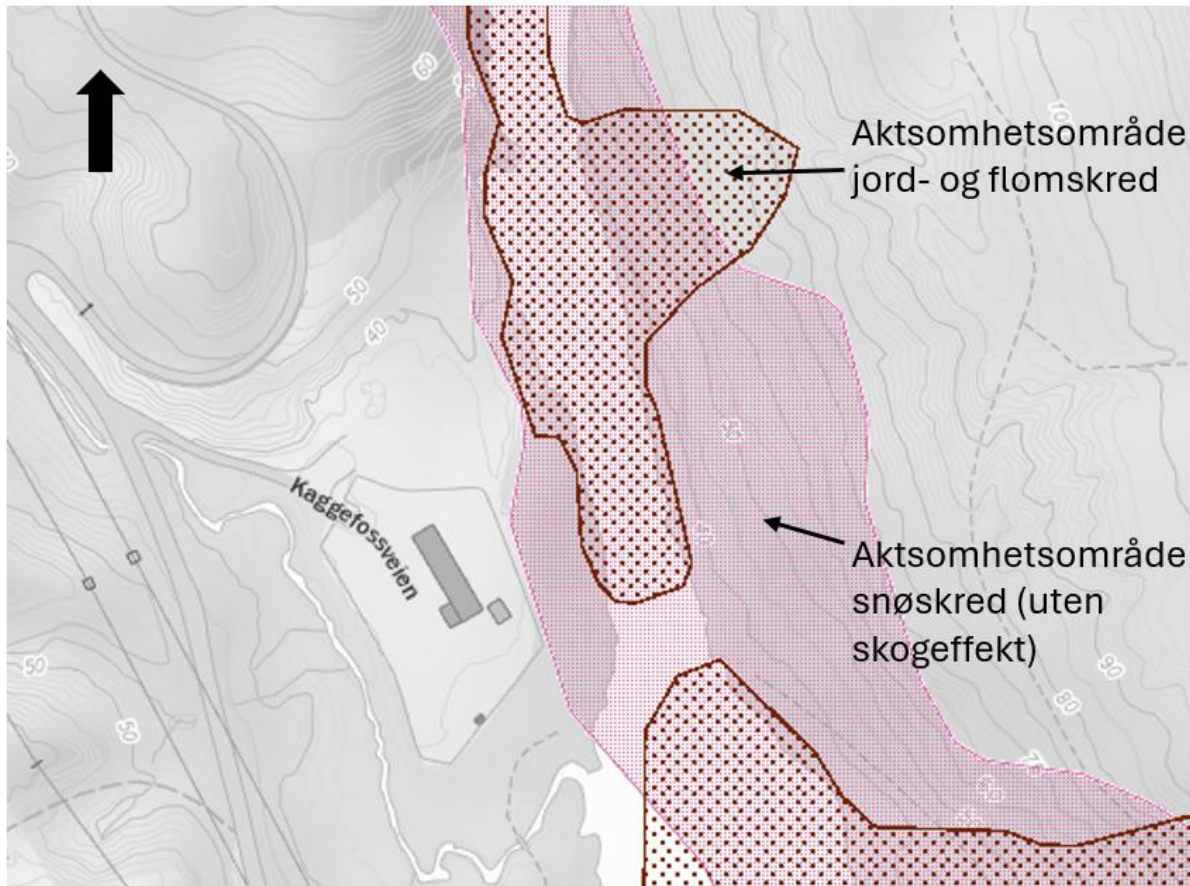
Profil med boring i skrånning mot vest er vist i Figur 8. Dybde til berg ved toppen av skrånningen er ca. 5 m, og sonderingen indikerer at grunnen i hovedsak består av friksjonsmasser. Som beskrevet over er det også gjort flere observasjoner av berg i dagen langs Kagefossveien i det aktuelle området. Det er derfor konkludert med at det ikke er fare for at apparatanlegget kan bli rammet av kvikkleireskred fra skrånningen vest for tomte.



Figur 8: Profil med totalsondering i skrånning mot vest

3.3 Andre skredtyper

Temakart fra NVE [2] viser aktsomhetsområder for snøskred (uten skogeffekt) og jord-/flomskred på motsatt side av elva. Fra elva stiger terrenget ca. 3 m opp til den aktuelle tomte, og som beskrevet over skal terrenget heves ytterligere for å oppnå tilstrekkelig sikkerhet mot flom. Det er vurdert at tomte ikke er utsatt for skred fra skråningene på motsatt side av elva.

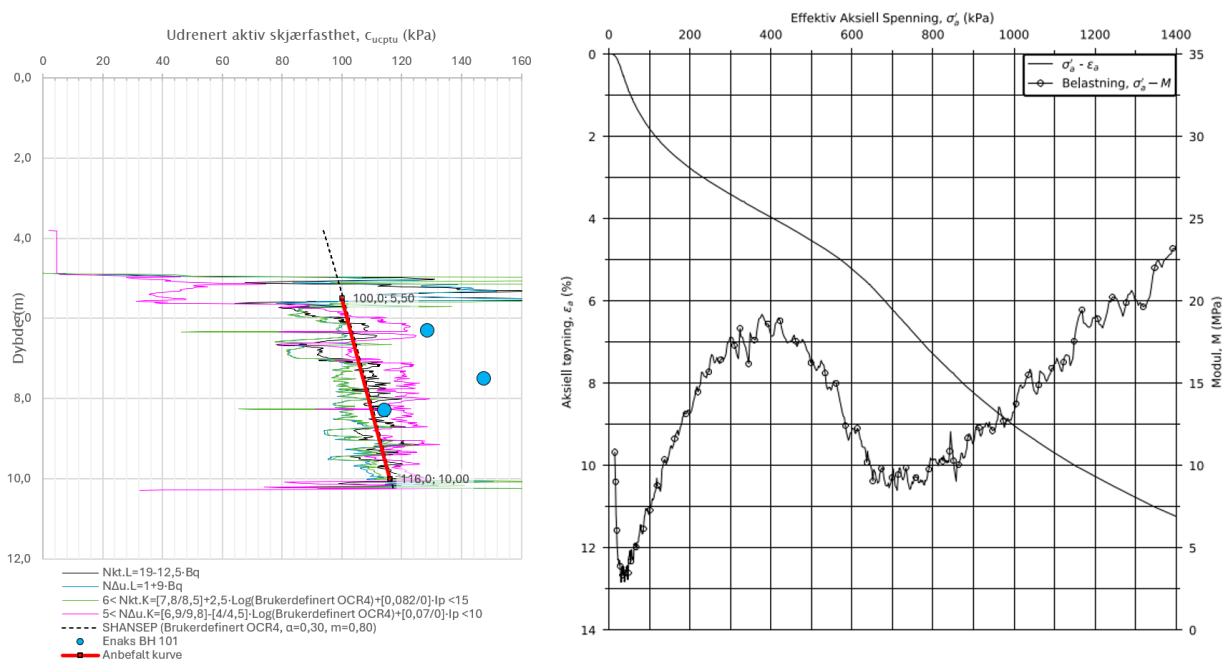


Figur 9: Kart med aktsomhetsområder for snøskred og jord-/flomskred.

4 Stabilitet og setninger

For å hensynta dimensjonerende flomvannstand er det vurdert at terrengnivået på tomta må heves med ca. 2 m. Som illustrert i Figur 10 viser trykksondering og ødometerforsøk at leira er overkonsolidert. Udrenert aktiv skjærfasthet er tolket til mer enn 100 kPa. Det er utført overslagberegning av stabilitet mot bekken i vest, med 2 m oppfylling. Beregnet sikkerhet er langt over minstekravet, og det forventes derfor ingen utfordringer med lokalstabilitet.

Oppfylling vil gi tilleggsbelastning på grunnen, som kan medføre setninger. Setningene vil bli størst i områdene med størst dybde til berg. Det anslås at 2 m oppfylling kan gi i størrelsesorden 1-2 cm setning. Dette vurderes å være innenfor hva som kan aksepteres, og det forventes ikke behov for lette fyllmasser eller andre tiltak for å redusere setninger. Det antas for øvrig at størsteparten av setningene vil inntreffe innen et par måneder etter oppfylling, slik at setninger på konstruksjonene blir mindre enn anslått over.



Figur 10: Udrenert skjærfasthet tolket fra cptu i borpunkt 101 (venstre). Ødometerforsøk på prøve fra 7,3 m dybde (høyre)

5 Referanser

[1] Norconsult, «52409847-RIG-05. Kaggefoss kraftverk. Supplerende grunnundersøkelser. Datarapport,» 2025.

[2] NVE, «NVE Atlas,» [Internett]. Available: atlas.nve.no.

[3] NVE, «Veileder 1/2019. Sikkerhet mot kvikkleireskred. Vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper,» 2020.

[4] NGU, «NGU løsmassekart,» [Internett]. Available: https://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/.