RAPPORT

Vinkfjorden: fjellskred og flodbølge

VURDERING AV FARE FOR FJELLSKRED OG FLODBØLGER MOT OPPDRETTSANLEGG

DOK.NR. 20170278-01-R
REV.NR. 1 / 2018-03-01

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT
NGI.NO

Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemann uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGI.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this risk and take full responsibility for use of this document.

This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document was prepared for. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the owner's consent. No changes to the document shall be made without consent from NGI.

NGI

Prosjekt

Prosjekttittel:	Vinkfjorden: fjellskred og flodbølge
Dokumenttittel:	Vurdering av fare for fjellskred og flodbølger mot oppdrettsanlegg
Dokumentnr.:	20170278-01-R
Dato:	2017-09-01
Rev.nr. / Rev.dato:	1 / 2018-03-01

Oppdragsgiver

Oppdragsgiver:	Cermaq AS
Kontaktperson:	Torbjørn Hjerto
Kontraktreferanse:	Epost fra Torbjørn Hjerto 16. februar 2017

for NGI

Prosjektleder:	Sylfest Glimsdal
Utarbeidet av:	Henrik Langeland og Sylfest Glimsdal
Kontrollert av:	Vidar Kveldsvik og Carl B. Harbitz

Sammendrag

Et fjellparti like vest for fjellet Kvannto (698 moh) i Vinkfjorden, Steigen kommune er avløst av en baksprekk med opptil 1 meter bredde. På oppdrag for Cermaq AS har NGI vurdert fare for fjellskred fra fjellpartiet. Årsaken til at Cermaq AS ønsker en vurdering er at de frykter at et fjellskred vil kunne skape en flodbølge som kan utgjøre en fare for Cermaq AS' oppdrettsanlegg og tilhørende lekter for mannskap og overnatting.

Fjellpartiet er tydelig avgrenset av baksprekken som går ut i dagen i den sørøstre og nordvestre delen av det potensielt ustabile partiet. Dette utgjør avgrensinger på hver side av det potensielt ustabile partiet. Sprekkeregistrering og kinematisk analyse viser at plan utgliding og toppling (utvelting) er mulige bruddmekanismer.

Det totale volumet av fjellpartiet estimeres til ca. 36000 m^3- 42000 m^3, og klassifiseres dermed som potensielt fjellskred. Det er også vurdert at volumet ikke vil øke betydelig i skredløpet, ettersom det er moderate mengder løsmasser/ur som kan rives med.

Analyse av satellittdata (InSAR-data) fra ERS-satellitt (European Space Agency) viser at det ikke er registrert bevegelse i fjellpartiet i tidsperioden 1992-2000. Det er ikke tilgjengelig nyere InSAR data, og vi kan dermed ikke slå fast om fjellpartiet har beveget seg fra år 2000 til 2017.

I henhold til et klassifikasjonssystem for ustabile fjellskråninger i Norge (Hermanns m. fl. 2013) er fareklassen vurdert til medium til høy, avhengig av hvilken "score" en gir forflytning og akselerasjon. Ettersom skredet vil gå rett i Vinkfjorden, og det ikke er boliger eller annen infrastruktur i skredløpet, vil konsekvensene av et skred knytte seg til mulig flodbølge som skapes ved at skredmassene treffer Vinkfjorden.

Cermaq AS opplyser at personoppholdet ved lekteren ikke vil overstige 25 personer, og lekteren skal dermed vurderes i sikkerhetsklasse S2 i henhold til byggteknisk forskrift TEK17 § 7-3, der største nominelle årlige sannsynlighet for skred ikke skal være større enn 1/1000. Forskriften definerer dette videre (TEK17 §7.3): "*Sannsynligheten som er oppført i tabellen i forskriften, angir den årlige sannsynligheten for skredskader av betydning, det vil si skred med en intensitet som kan medføre fare for liv og helse eller større materielle skader."*

Mulige flodbølger vil kunne ramme Cermaq's lekter og oppdrettsanlegg, som ligger mindre enn 500 meter fra stedet hvor et potensielt skred treffer Vinkfjorden. Belastningen på lekter og anlegget, samt lekter for lagring av fór ved Forneset, kan vurderes ut fra flodbølgeberegningene som er presentert i Kapittel 5. Bølgene som dannes vil være 300-500 m lange og med bølgehøyder opp mot 2.5 m. Fra TEK17 §7.3: *"Sikkerhetskravene i annet ledd kan oppnås (...) ved å dimensjonere og konstruere byggverket slik at det tåler belastningene et skred kan medføre".*

Flere av de sørøstlige forankringspunktene for selve oppdrettsanlegget (mulig også de sørligste punktene ut mot fjorden om skredet går langt nok) samt de østligste mærdene ligger i antatt skredløp og kan bli truffet av skredmasser. Det bør gjøres en vurdering av skadepotensialet (personskade, skade på fisk og materielle skader) i forhold til hva som kan skje hvis disse forankringene blir truffet av skredet.

Det vurderes at den årlige nominelle sannsynligheten for et fjellskred er større enn 1/1000. Anlegget og lekteren oppfyller dermed ikke uten videre kravene i S2, med mindre anlegget og lekteren tåler belastningen fra flodbølgene. Potensiell rømning eller skade på fisk som følge av forurensning må også tas med i betraktningen når man skal undersøke om anlegget tåler belastningen fra flodbølgene.

Innhold

1 Innledning 6
1.1 Krav til sikkerhet mot skred 6
2 Grunnlagsmateriale 7
3 Områdebeskrivelse 8
3.1 Topografi og beskrivelse av fjorden 8
3.2 Geologi 10
3.3 Potensielt ustabilt parti 13
4 Farevurdering for fjellskred 16
4.1 Bevegelse 16
4.2 Klassifisering 17
4.3 Sannsynlighet 18
4.4 Utløpssone for fjellskred 19
5 Farevurdering for flodbølge 21
5.1 Anvendte begreper og metoder 21
5.2 Modellering og valg av parametere 21
5.3 Resultater 22
6 Sammenstilling farevurdering 24
6.1 Konsekvens 24
6.2 Oppsummering 25
7 Konklusjon 27
8 Referanser 28

Vedlegg

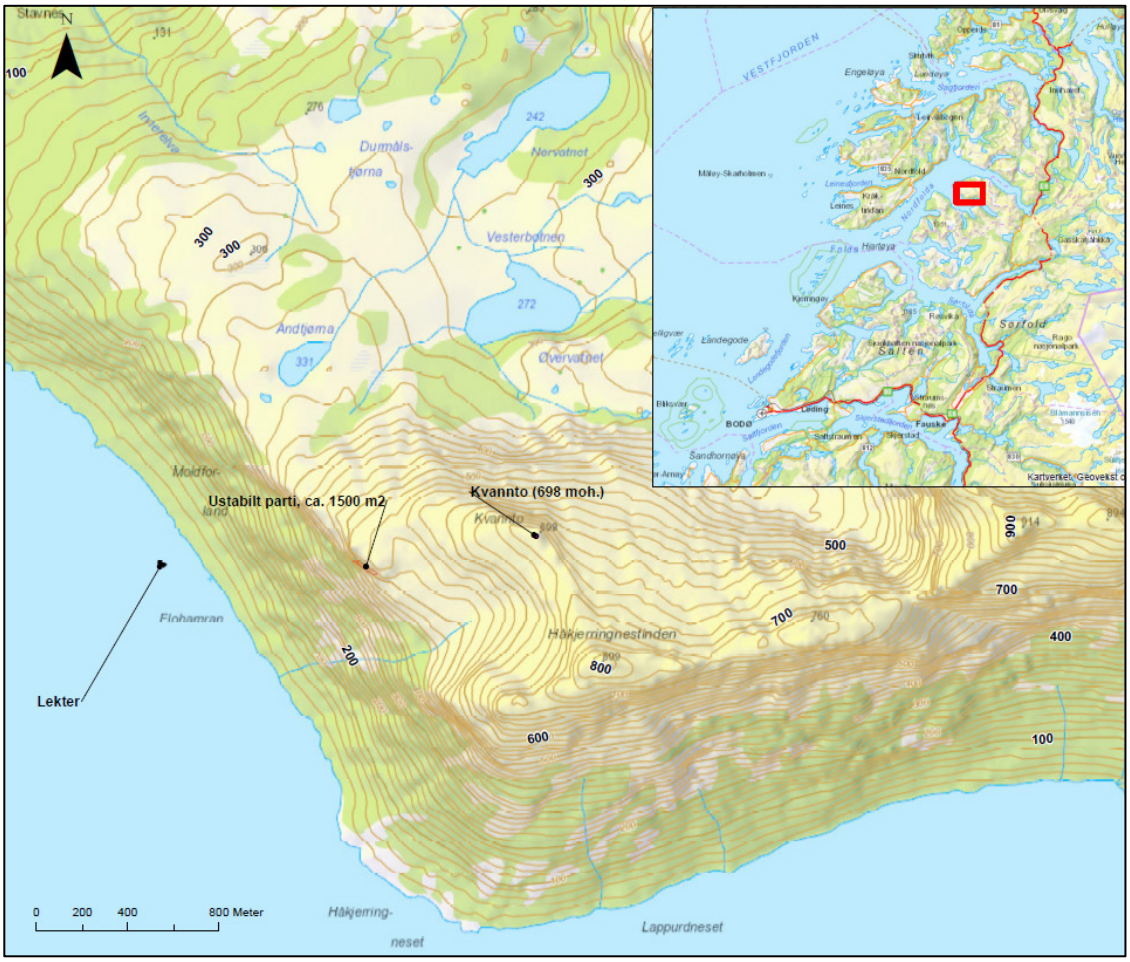
Vedlegg A Om flodbølger generert av fjellskred
Vedlegg B Konvergenstest for kontroll av nøyaktighet i flodbølgeberegningene.

Kontroll- og referanseside

1 Innledning

På oppdrag for Cermaq AS har NGI vurdert fare for fjellskred fra et fjellparti på ca. 500 meter over havet like vest for fjellet Kvannto (698 moh.) i Vinkfjorden, Steigen kommune. Årsaken til oppdraget er at Cermaq AS frykter at et fjellskred vil kunne skape en flodbølge som kan utgjøre en fare for Cermaqs oppdrettsanlegg med tilhørende lekter for mannskap og overnatting (Figur 1-1).

Det er ingen infrastruktur eller bebyggelse i dette området på land, og vurderingen omfatter derfor kun faren for skade på Cermaqs lekter og oppdrettsanlegg.



Figur 1-1. Oversiktskart med det potensielt ustabile fjellpartiet markert med rødt polygon.

1.1 Krav til sikkerhet mot skred

Plan- og bygningsloven § 28-1 stiller krav om tilstrekkelig sikkerhet mot fare for nybygg, tilbygg og endring på eksisterende bygg:

"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."

I henhold til byggteknisk forskrift TEK17 § 7-3 (DIBK, 2017) skal sikkerhetsklasse for skred fastsettes for vurdering av byggverk i skredfareområde. Dette gjelder både for skred og sekundærvirkninger av skred. I TEK17 §7-3 heter det: "*Tilfredsstillende sikkerhet mot skred er angitt som en største nominell årlig sannsynlighet for skred. Sannsynligheten angir den årlige sannsynligheten for skredskader av betydning, det vil si skred med en intensitet som kan medføre fare for liv og helse eller større materielle skader.*"

Vi har fått informasjon fra Cermaq AS om at personoppholdet på lekteren ikke vil overstige 25 personer, og at det normalt bor 2-3 personer på lekteren. På bakgrunn av at personoppholdet ikke vil overstige 25 på lekteren vurderes det at lekteren skal tilfredsstille kravene i sikkerhetsklasse S2, der største nominelle årlige sannsynlighet for skred, eller sekundærvirkninger av skred, ikke skal være større enn 1/1000.

2 Grunnlagsmateriale

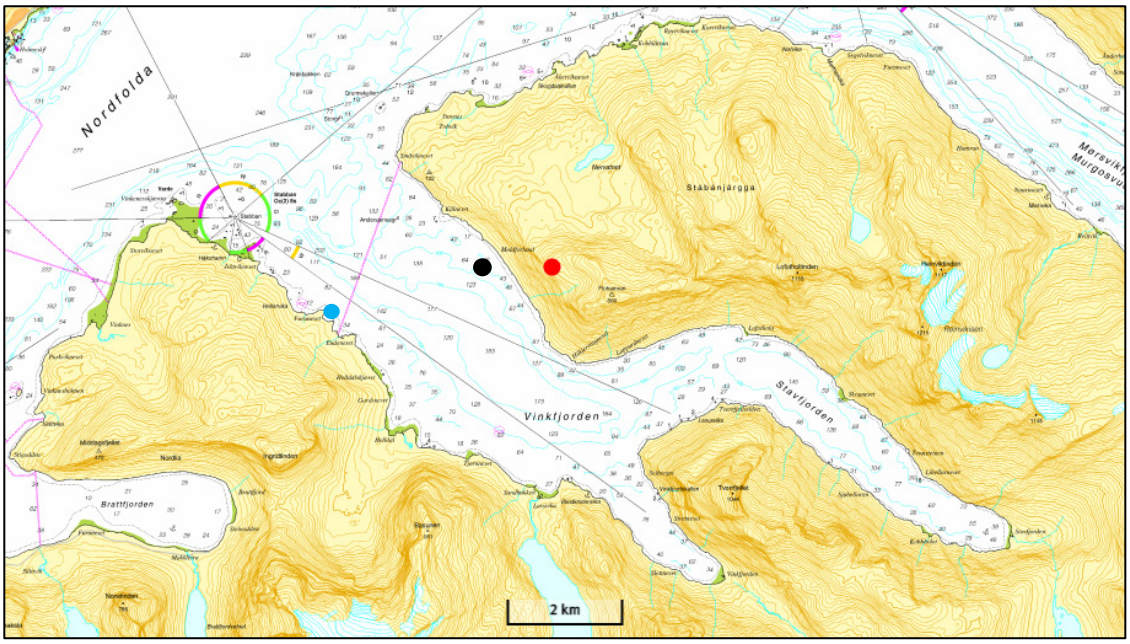
Data og opplysninger som er brukt for utarbeidelse av denne rapporten er digitale kart, flyfoto, data fra satellitt (Interferometrisk Syntetisk Apertur Radar, InSAR) og opplysninger fra oppdragsgiver. Befaring ble gjennomført av Vidar Kveldsvik (NGI) og Henrik Langeland (NGI) onsdag 2017-05-31. For tilkomst til området under befaring ble det benyttet båt fra Cermaq AS.

Terrengmodell for generering av terrenghelling er basert på en landsdekkende modell med ekvidistanse 10 meter. Dette gir en grov oppløsning for terrenghelling, men er det beste tilgjengelige kotegrunnlaget for området.

Cermaq AS har tidligere mottatt en rapport fra geolog Sigvart Bjerkenes, som omhandler en vurdering av fjellpartiet. NGI kjenner ikke til at det er gjennomført flere vurderinger av det potensielt ustabile fjellpartiet tidligere.

3 Områdebeskrivelse

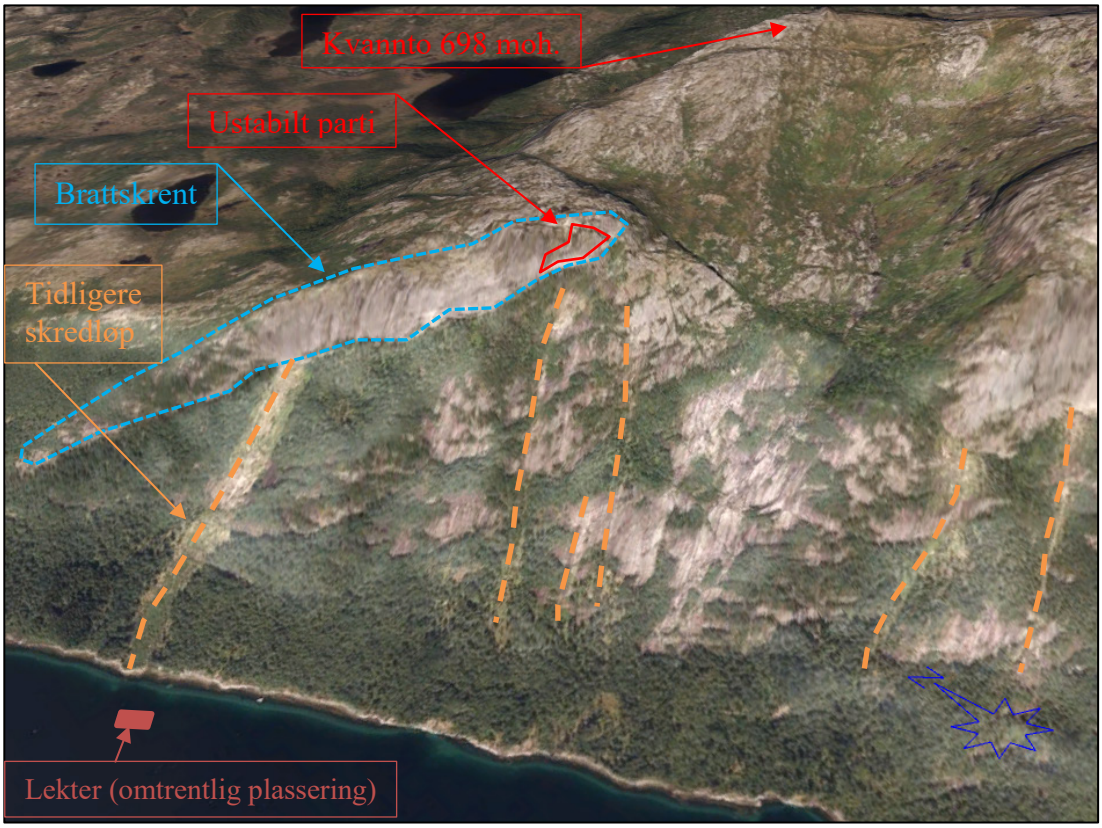
3.1 Topografi og beskrivelse av fjorden



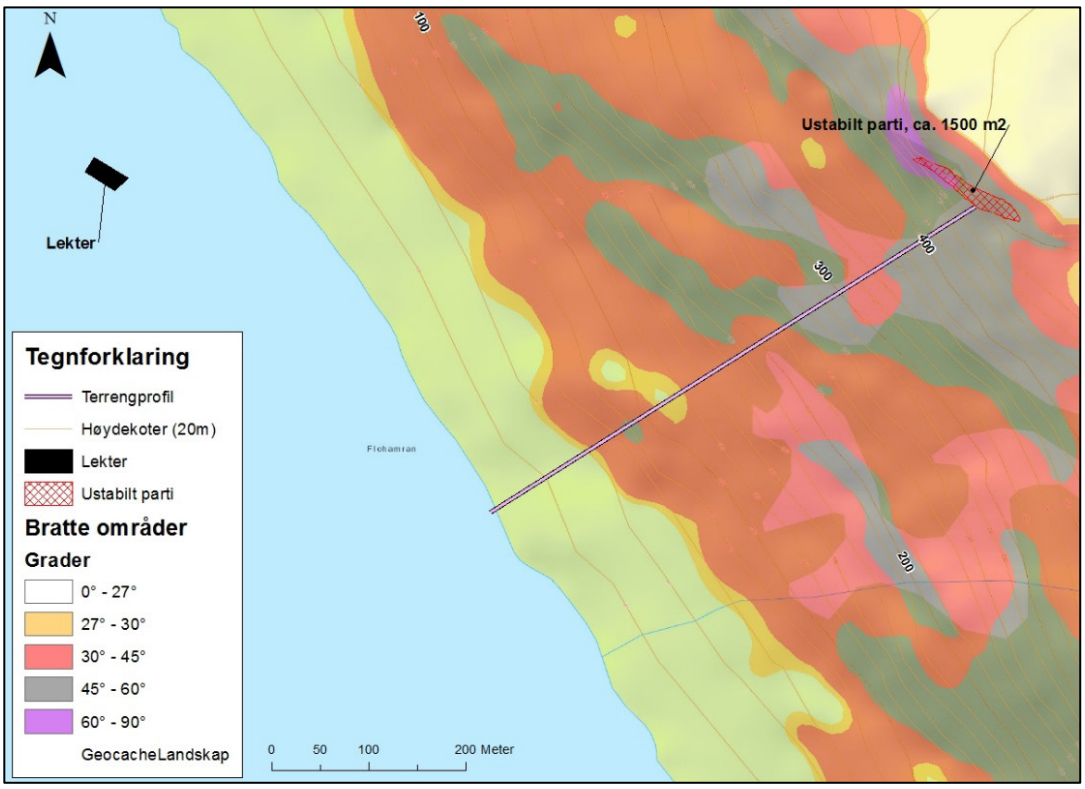
Figur 3-1. Kart som viser Vinkfjorden. Rødt punkt markerer potensielt ustabilt parti, mens det svarte punktet viser omtrent posisjon til lekteren. Blått punkt viser lekter for fórlager ved Forneset.

Vinkfjorden er en avstikker av fjorden Nordfolda og er orientert NV-SØ på sørsiden av denne, se Figur 3-1. Utenfor det ustabile fjellpartiet er Vinkfjorden opp mot 200 m dyp. Lekteren ligger ifølge tilgjengelige dybdedata fra http://www.geonorge.no ved ca. 60-70 m dyp. Posisjonen til lekteren er oppgitt fra oppdragsgiver til å være 67,7292° N 15,4443° Ø. Dette tilsvarer i UTM 33 koordinater 7512750 N 518800 Ø.

Det ustabile området ligger omtrent 500 moh. Partiet utgjør den sørøstlige delen av en definert brattskrent med retning sørøst-nordvest (Figur 3-2). Brattskrenten er tilnærmet vertikal og ca. 50-70 meter på det høyeste. Fra Vinkfjorden stiger fjellsiden bratt oppover mot skrenten, der terrenghellingen i hovedsak er mellom 30-45 grader opp til foten av brattskrenten, men stedvis er det brattere (Figur 3-3).



Figur 3-2. Oversikt over det potensielt ustabile området og fjellsiden ovenfor lekter. Plassering av lekter er omtrentlig, og lekter er ikke i rett skala i forhold til bildet.



Figur 3-3. Oversikt over terrenghelling fra Vinkfjorden til det potensielt ustabile fjellpartiet. Lilla strek viser plassering av terrengprofil (Figur 3-7).

3.2 Geologi

3.2.1 Berggrunn

Berggrunnen er kartlagt som granittisk gneis, grov- til middelskornet, stedvis porfyrisk ved det ustabile bergpartiet (NGU, 1996).

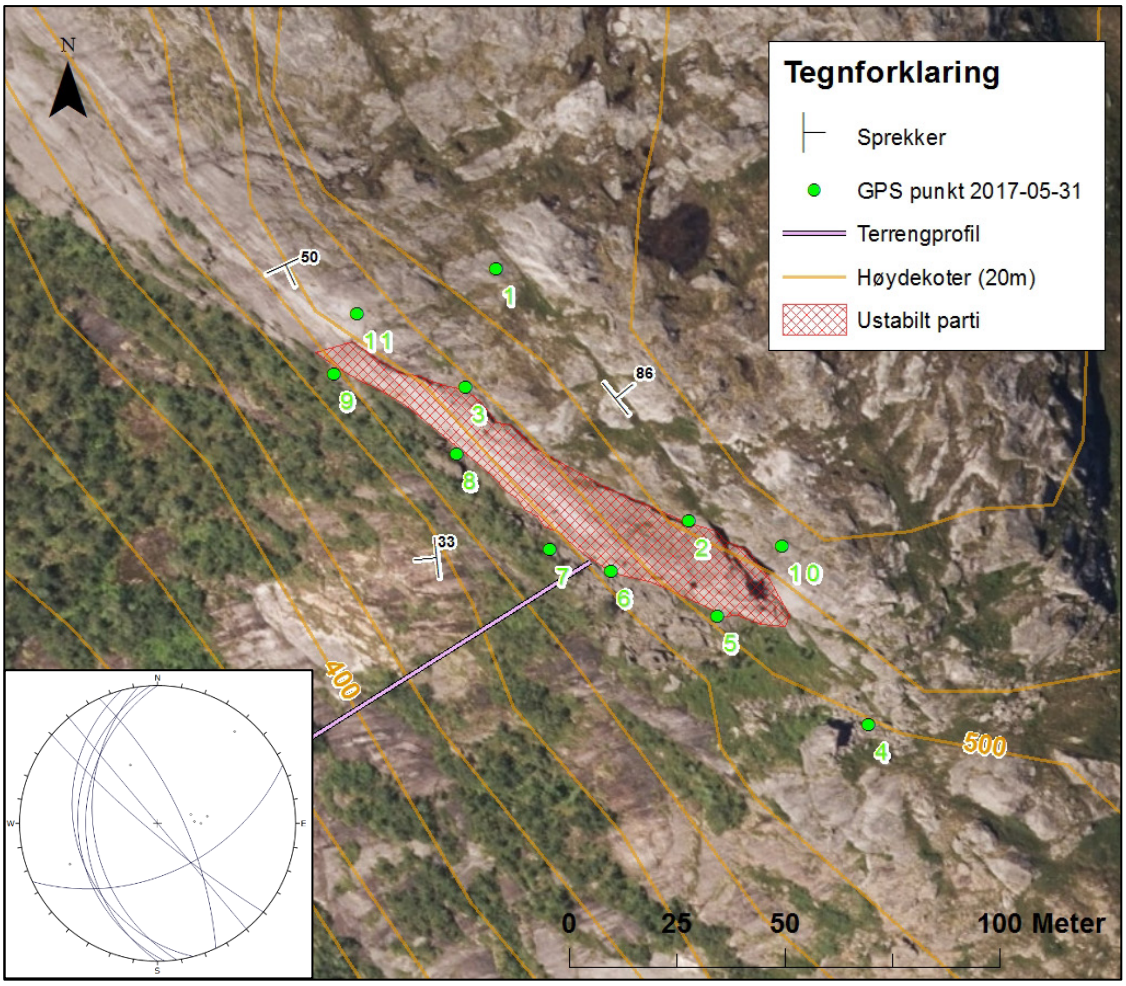
Under befaring ble det gjort målinger av dominerende strukturer/sprekker ved GPS punkt 4, 5, 7 og 8 (Figur 3-4). Registreringer er tolket og inndelt i sprekkesett (Tabell 3-1).

Tabell 3-1. Inndeling i sprekkesett basert på målinger ved GPS punkt 4, 5, 7 og 8. Strøk og fall er angitt etter høyrehåndsregelen (fall til høyre når det ses langs den horisontale strøk-retningen).

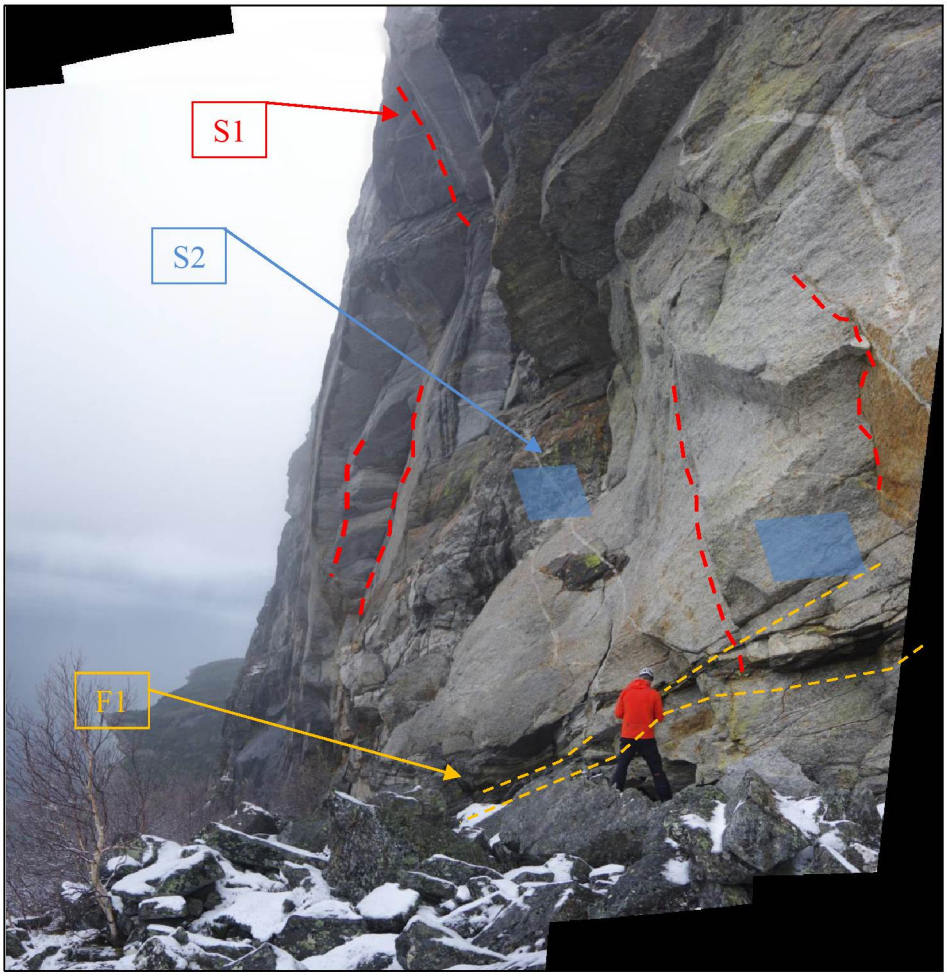
Sprekkesett	Strøk	Fall
S1	321°	86°
Foliasjonsparallelt sprekkesett (F1)	174°	33°
S2	065°	50°
Baksprekk	120°/300°	Tilnærmet 90°
Skråning nedenfor foten av potensielt ustabilt parti	145°	40°

Figur 3-4 viser GPS punkt for bergrunnsundersøkelser, avgrensing av det potensielt ustabile fjellpartiet samt symbol for dominerende sprekkeretninger og polplott med visning av storsirkler. Sprekkesettene er også vist på Figur 3-5.

Det er observert at vann renner ut av vertikale sprekker i området ved GPS punkt 8. Det vurderes dermed at det er kontakt mellom baksprekk og sprekker i foten av fjellpartiet.



Figur 3-4. Detaljbilde av det potensielt ustabile partiet (flyfoto). Innfelt er polplott (med storsirkel) for målte sprekker ved ulike GPS punkt (Tabell 3-1). Sprekkesett S1, S2 og F1 er vist med strøk og fall symboler på figuren. Baksprekken går gjennom GPS punkt 2 og 3.



Figur 3-5. Bilde fra foten av det ustabile partiet tatt omtrent ved GPS punkt 6, mot nordvest. På bildet er sprekkesett S1 (rød stiplet linje), F1 (gul stiplet linje) og S2 (lysblå parallellogram) markert. Ur ved foten av det potensielt ustabile partiet er også synlig.

3.2.2 Løsmasser

I nedre del av fjellsiden er det tynt løsmassedekke, med tett vegetasjon av større bjørk- og furutrær. Oppover i fjellsiden er vegetasjonen spredt, med mindre bjørketrær som vokser mellom store svaparti med bart berg (Figur 3-2). NGU (2001) har kartlagt løsmassedekket som "bart fjell, stedvis tynt dekke".

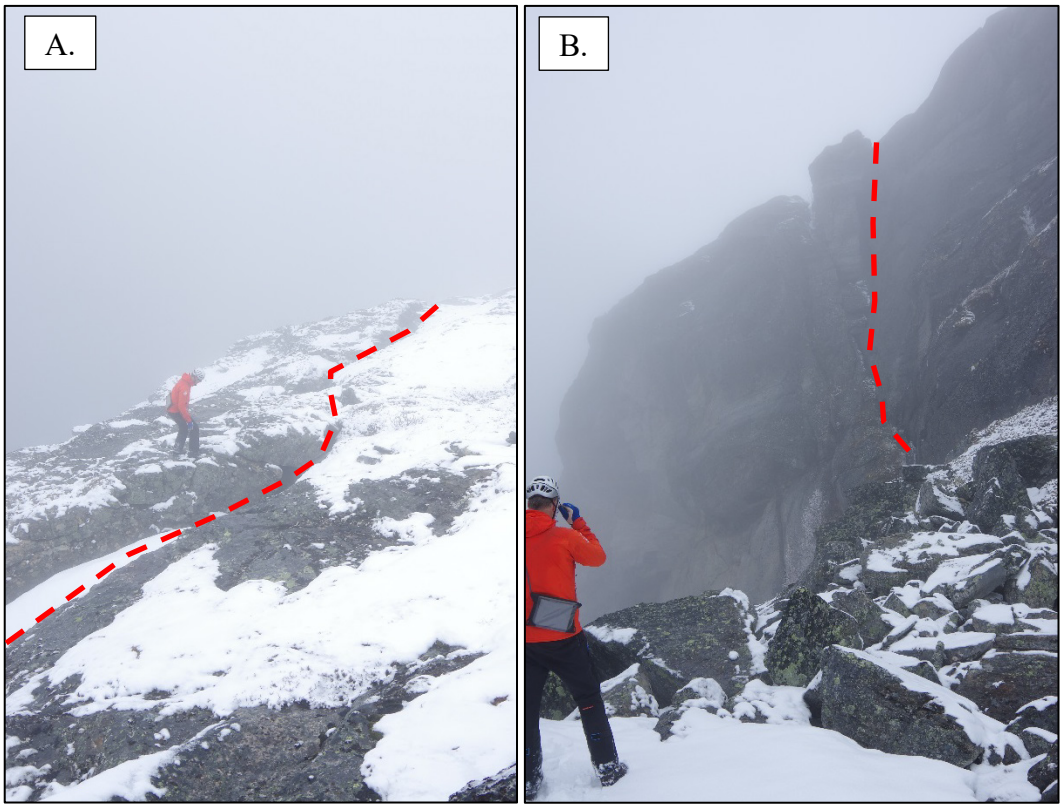
3.2.3 Tidligere skredhendelser

Under befaring og på flyfoto ble det identifisert flere skredløp fra tidligere skredhendelser (Figur 3-2). Det er et markert skredløp som går fra det potensielt ustabile partiet og nesten helt ned til fjorden. Det er usikkert om skredløpet representerer en hendelse eller flere steinsprang/steinskred. Skredløpet lengst nordvest (til venstre på Figur 3-2) stammer fra en skredhendelse for omtrent 12 år siden (rundt 2005).

Det ble observert skredur ved foten av det potensielt ustabile partiet, ved GPS punkt 5, 6, 7 og 8 (Figur 3-5). Ved punkt 8 virker det å være nokså nylig steinsprangaktivitet. Blokkstørrelsen i ura varierer fra blokker mindre enn 1 m^3 til blokker på rundt 50 m^3, og det er vurdert at ura er lite mektig.

3.3 Potensielt ustabilt parti

Det potensielt ustabile partiet ligger som et tydelig avgrenset fjellparti i den sørøstlige enden av den tydelig definerte brattskrenten (Figur 3-2). Baksprekken som avgrenser potensielt ustabilt parti kan følges tydelig oppe på platået, langs hele partiets lengde (Figur 3-6), og er opptil 1 meter bred. Baksprekken går ut i dagen i den sørøstre og nordvestre delen av det potensielt ustabile partiet, og dette utgjør avgrensinger på hver side av det ustabile partiet (Figur 3-4 og Figur 3-6).

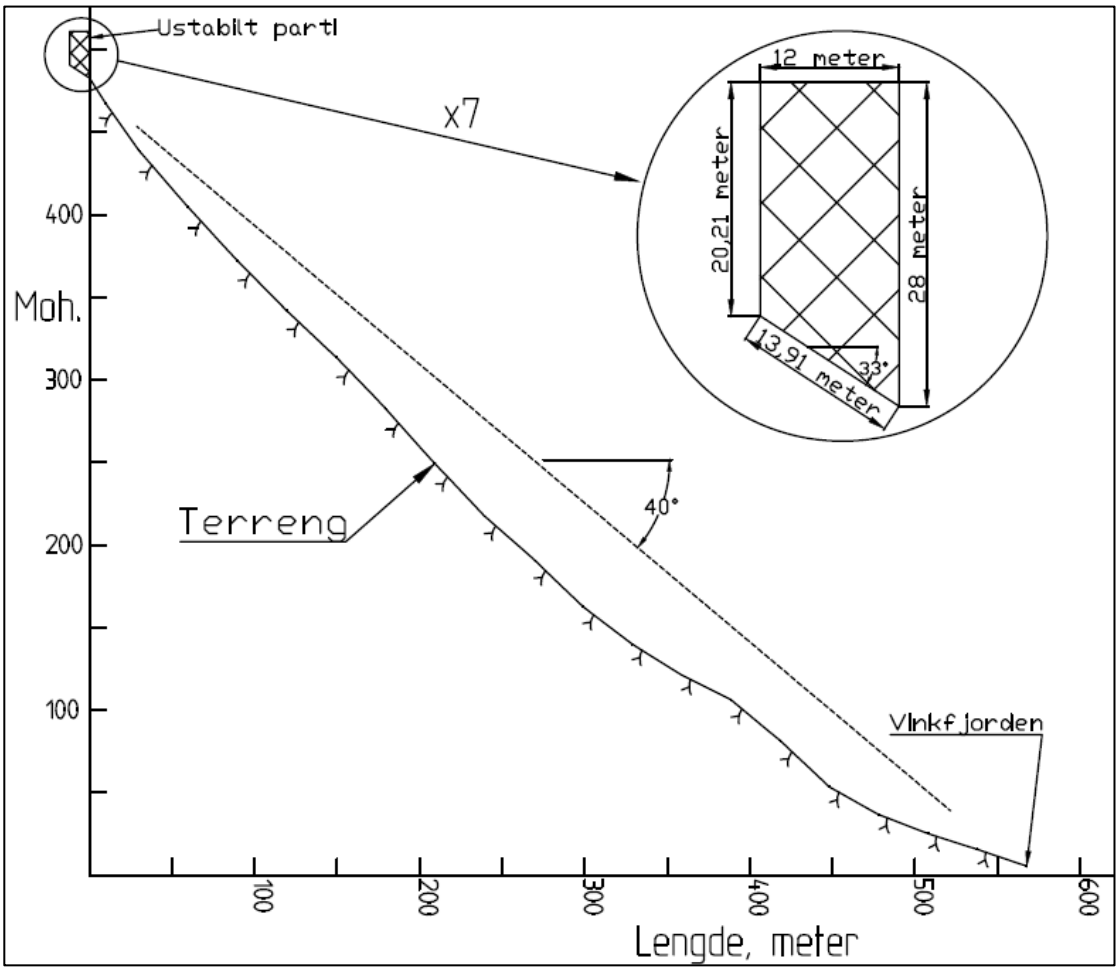


Figur 3-6. A. Baksprekk vist fra GPS punkt 10 mot nordvest. B. Baksprekk vist fra GPS punkt 4 mot nordvest.

Det potensielt ustabile fjellpartiet er kartlagt i felt og ved hjelp av ArcGIS. Kartlegging gir følgende mål (Tabell 3-2 og Figur 3-7):

Tabell 3-2. Topografiske egenskaper for potensielt ustabilt fjellparti.

Topografiske egenskaper	Mål
Lengde baksprekk	ca. 125 meter
Omkretsen av toppen av fjellpartiet	ca. 264 m
Lengden av toppen av fjellpartiet målt parallelt med baksprekken	ca. 125 meter
Største lengde av toppen av fjellpartiet målt vinkelrett på baksprekken	ca. 17,5 meter
Gjennomsnittlig lengde av toppen av fjellpartiet målt vinkelrett på baksprekken	ca. 12 meter
Høydeforskjellen mellom toppen av fjellpartiet og foten av fjellpartiet	ca. 28 meter
Horisontalavstanden mellom foten av fjellpartiet og Vinkfjorden	ca. 590 meter
Høydeforskjellen mellom foten av fjellpartiet og Vinkfjorden	ca. 480 meter
Gjennomsnittlig terrenghelning mellom foten av fjellpartiet og Vinkfjorden	ca. 40°
Høyden på baksprekken basert på et terrengprofil gjennom fjellpartiet	ca. 20 m (Figur 3-7)



Figur 3-7. Blokkmodell av potensielt ustabilt parti, samt profil mellom potensielt ustabilt parti og Vinkfjorden. Terrengprofil linje er vist i Figur 3-3.

3.3.1 Estimat av volum

Formen på toppen av fjellpartiet tilsvarer omtrentlig et rektangel med sidekanter på henholdsvis 125 m og 12 m. Det er antatt at det potensielt ustabile fjellpartiet har et glideplan som utvikler seg fra baksprekken og inn under fjellpartiet. Målinger av det foliasjonsparallelle sprekkeplanet registrert i foten (Tabell 3-1) viser en fallvinkel på dette glideplanet lik 33°. Basert på dette og målene i Tabell 3-2 og Figur 3-7, fås en blokkmodell av fjellpartiet som gir størrelse som vist i Tabell 3-3.

Tabell 3-3. Areal i horisontalplan og vertikalplan, samt estimat for totalvolum.

Beskrivelse	Beregning	Totalt
Areal horisontalsnitt på toppen av fjellpartiet	ca. 125 m x 12 m	ca. 1500 m^2
Areal vertikalsnitt gjennom blokken	ca. ((12x20,21)+((7,79x12)/2))	ca. 290 m^2
Volumet av fjellpartiet	Vertikalsnitt: 290 m^2 × 125 m Horisontalsnitt: 1500 m^2 × 28 m	ca. 36 000 m^3 - ca. 42 000 m^3

Totalvolumet av fjellpartiet er estimert til ca. 36 000 m^3- 42 000 m^3 og klassifiseres dermed som potensielt fjellskred da volumet er større enn 10 000 m^3 (NGI, 2014a).

Det bratte terrenget mellom fjellpartiet og fjorden består hovedsakelig av bart berg, stedvis noe løsmassedekke med vegetasjon. Det er registrert noe ur ved foten av fjellpartiet, men denne er vurdert å være lite mektig. Et eventuelt skred vil dermed ikke kunne øke volumet i skredløpet betydelig, som for eksempel ved medrivning dersom det hadde vært mektig ur i skredløpet.

3.3.2 Kinematisk analyse

Wyllie and Mah (2004) beskriver fire kriterier for at geometriske forhold skal føre til at plan utglidning i en skråning er mulig:

1. Strøkretningen til glideplanet må være relativt lik strøkretningen til fjellsiden (±~20^0).
2. Fallvinkel til glideplanet må være slakere enn fallvinkel til fjellsiden.
3. Fallvinkel til glideplanet må være brattere enn friksjonsvinkelen for planet.
4. Det må finnes strukturer som avgrenser bergpartiet på sidene og i bakkant.

De registrerte sprekkesettene og øvrige observasjoner i felt tilfredsstiller kriteriene 2-4. Kriterium 1 er ikke oppfylt basert på data i Tabell 3-1. Imidlertid, strøkretningen til det foliasjonsparallelle sprekkeplanet (F1) varierer mellom 165°-180°. Ved strøkretning på 165° oppfylles kriterium 1, og det vurderes dermed at også kriterium 1 tilfredsstilles.

Friksjonsvinkel til sprekkeplanene er ikke kjent, og kinematisk analyse med friksjonsvinkel lik 19° (meget liten frisksjonsvinkel), muliggjør også toppling (utvelting) som mulig bruddtype, i tillegg til plan utglidning. Vår vurdering er at utglidning er mest

sannsynlig, at sprekkesett F1 er vesentlig for at utglidning skal kunne skje, og at brudd i intakt berg trolig også er nødvendig for at utglidning skal kunne skje.

Under befaringen ble det stedvis langs foten av det potensielt ustabile fjellpartiet observert brudd i intakt berg, dvs. nydannede sprekker. Dette kan skyldes lokale forhold ved foten av fjellpartiet og/eller det skyldes bevegelse i hele fjellpartiet som har forårsaket spenninger i foten som overstiger styrken til det intakte berget med tilhørende brudd/sprekkdannelse.

4 Farevurdering for fjellskred

4.1 Bevegelse

NGI har vært i kontakt med NGU ved John Dehls for å undersøke om det finnes satellitt InSAR data for området. Disse dataene kan benyttes for å kunne vurdere om det er pågående forflytning i fjellpartiet.

InSAR er en metode som gir høydeendring basert på analyse av faseforskjeller mellom to radarsignal tatt fra samme satellittposisjon ved forskjellige tidspunkt. Avanserte InSAR-algoritmer er i stand til å detektere endringer av overflaten i millimeter både på infrastruktur og i terreng. InSAR-metoden fungerer best i vegetasjonsfattige områder, som bebygde områder, og der det er bart fjell.

InSAR data hentes vanligvis fra Radarsat-2 (Canadian Space Agency satelitt) og Sentinel-1 (EU, Copernicus programme, satelitt). I følge NGU finnes det ikke Radarsat-2 bilder fra Nordland, og bilder fra Sentinel-1 er ikke prosessert enda.

Det finnes InSAR data fra ERS-satellitt (European Space Agency satellitt) for området, der datasettet dekker perioden år 1992-2000. Analysen fra John Dehls ved NGU fastslår at det ikke er bevegelse i fjellpartiet i den gitte tidsperioden. Kvaliteten på ERS data er ikke like god som Radarsat-2 eller Sentinel-1, men ifølge Dehls hadde vi hatt mulighet til å detektere bevegelse om den var større enn et par mm per år. Vi kan derfor slå fast, på bakgrunn av InSAR data, at det ikke var bevegelse i fjellpartiet i perioden 1992-2000. Vi kan ikke si noe om mulig bevegelse fra år 2000 til 2017.

Dannelsen av baksprekken kan skyldes ulike prosesserr eller en kombinasjon av disse:

- Bevegelse i det ustabile fjellpartiet som fører til gradvis åpning av baksprekken.
- At baksprekken følger en eldre geologisk struktur som har blitt lagt åpen ved erosjon av svakt materiale i strukturen.

4.2 Klassifisering

Vi har klassifisert det potensielt ustabile fjellpartiet i henhold til et klassifikasjonssystem vist i Tabell 4-1, utarbeidet av Hermanns m. fl. (2013). Systemet omhandler ni kriterier (Figur 4-1) som beskriver nåværende tilstand for skråningen, der de ni kriteriene hovedsakelig deles i to kategorier; 1. strukturell utvikling i den ustabile fjellsiden, 2. tegn på aktivitet og bevegelseshastighet.

Hvert kriterium er delt i ulike tilstander, og hver tilstand har en egen verdi (score) (Hermanns m. fl. 2013).

1. Back-scarp	Score	Rel. prob.	Norm. prob.
Not developped	0	0	33.3 %
Partly open over width of slide body (few cm to m)	0.5	0	33.3 %
Fully open over width of slide body (few cm to m)	1	0	33.3 %
2. Potential sliding structures	**Score**	**Rel. prob.**	**Norm. prob.**
No penetrative structures dip out of the slope	0	0	33.3 %
Penetrative structures dip on average < 20 degree or steeper than the slope	0.5	0	33.3 %
Penetrative structures dip on average > 20 degree and daylight with the slope	1	0	33.3 %
3. Lateral release surfaces	**Score**	**Rel. prob.**	**Norm. prob.**
Not developped	0	0	20.0 %
Partly developped on 1 side	0.25	0	20.0 %
Fully developped or free slope on 1 side or partly developped on 2 sides	0.5	0	20.0 %
Fully developped or free slope on 1 side and partly developped on 1 side	0.75	0	20.0 %
Fully developped or free slope on 2 sides	1	0	20.0 %
4. Kinematic feasibility test	**Score**	**Rel. prob.**	**Norm. prob.**
Kinematic feasibility test does not allow for planar sliding, wedge sliding or toppling	0	0	20.0 %
Failure is partly kinematically possible (movement direction is more than ±30° to slope orientation)	0.5	0	20.0 %
Failure is kinematically possible (movement direction is less than ±30° to slope orientation)	0.75	0	20.0 %
Failure is partly kinematically possible on persistent discontinuities (movement direction is more than ±30° to slope orientati	0.75	0	20.0 %
Failure is kinematically possible on persistent discontinuities (movement direction is less than ±30° to slope orientation)	1	0	20.0 %
5. Morphologic expression of the rupture surface	**Score**	**Rel. prob.**	**Norm. prob.**
No indication on slope morphology	0	0	33.3 %
Slope morphology suggests formation of a rupture surface (bulging, concavity-convexity, springs)	0.5	0	33.3 %
Continuous rupture surface is suggested by slope morphology and can be mapped out	1	0	33.3 %
6. Displacement rates	**Score**	**Rel. prob.**	**Norm. prob.**
No significant movement	0	0	16.7 %
0.2 - 0.5 cm/year	1	0	16.7 %
0.5 - 1 cm/year	2	0	16.7 %
1 - 4 cm/year	3	0	16.7 %
4 - 10 cm/year	4	0	16.7 %
> 10 cm/year	5	0	16.7 %
7. Acceleration (if velocity is >0.5 cm/yr and <10 cm/yr)	**Score**	**Rel. prob.**	**Norm. prob.**
No acceleration or change in displacement rates	0	0	50.0 %
Increase in displacement rates	1	0	50.0 %
8. Increase of rock fall activity	**Score**	**Rel. prob.**	**Norm. prob.**
No increase of rock fall activity	0	0	50.0 %
Increase of rock fall activity	1	0	50.0 %
9. Past events	**Score**	**Rel. prob.**	**Norm. prob.**
No post-glacial events of similar size	0	0	33.3 %
One or several events older than 5000 years of similar size	0.5	0	33.3 %
One or several events younger than 5000 years of similar size	1	0	33.3 %

Figur 4-1. Kriteriene i fare- og risikoklassifiseringsystemet for ustabile fjellparti i Norge (Hermanns et al. 2013).

Det potensielt ustabile fjellpartiet er klassifisert etter kriteriene i Hermanns m. fl (2013) i Tabell 4-1. På bakgrunn av at vi ikke har nyere InSAR data enn fra perioden 1992-2000, er det vanskelig å gi nøyaktig "score" på kriteriene 6 og 7. Vi beregner derfor to total "scores", med benevning A og B.

Tabell 4-1. Klassifisering av det ustabile fjellpartiet.

Kriterium	Score A	Score B	Kommentar
1. Back-scarp	1		Baksprekken er utviklet langs hele fjellpartiet.
2. Pot. sliding structures	1		Det vurderes at baksprekk går over I potensiell glide-flate som følger det foliasjonsparallelle sprekkeplanet I foten av ustabile partiet.
3. Lateral release surfaces	1		Sprekken går ut I dagen på den nordvestre side, fri flate på den sørøstre side.
4. Kinematic feasibility test	1		Kinematisk analyse viser at planutgliding er mulig bruddmekanisme og at orientering glideplan er innenfor ±30° i forhold til orientering fjellside.
5. Morphologic expression of the rupture surface	0,5		Bruddflate er synlig i baksprekk og i fri flate ved sør-østre del av det ustabile partiet. Ikke mulig å følge bruddflate langs foten, kan være dekket av ur. Det renner vann ut av vertikale sprekker i området ved GPS punkt 8, tyder på kontakt med baksprekk.
6. Displacement rates	0 (A)		InSAR datasett fra 1992-2000 viser ingen tegn til bevegelse i denne perioden. Alternativ A antar at dette også gjelder for perioden 2000-2017.
		2 (B)	InSAR datasett fra 1992-2000 viser ingen tegn til bevegelse i denne perioden. Alternativ B antar at det har skjedd bevegelse etter perioden 1992-2000, og at bevegelsen nå er større enn 0,5 cm/år
7. Acceleration	0 (A)		InSAR datasett fra 1992-2000 viser ingen tegn til bevegelse i denne perioden. Alternativ A antar at dette også gjelder for perioden 2000-2017.
		1 (B)	InSAR datasett fra 1992-2000 viser ingen tegn til bevegelse i denne perioden. Alternativ B antar at det har skjedd en akselerasjon etter perioden 1992-2000, og at bevegelsen nå 0,5-1 cm/år.
8. Increase of rock fall activity	-		Vurderes å være for lite grunnlag for å gi score her.
9. Past events	0,5		Større steinsskredhendelse for omtrent 12 år siden like nordvest for ustabilt område. Størrelse er ukjent, men ikke av tilsvarende størrelse som det potensielt ustabile partiet. Det har likevel trolig vært flere hendelser langs den tydelig definerte brattskrenten etter siste istid.
Total (A)	**5**		
Total (B)		**8**	

Beregning av "score" for fareklasse gir 5 for alternativ A og 8 for alternativ B. Maksimal score for fareklasse i klassifiseringssystemet er 13, og 12 når det ikke settes "score" for kriterium 8. Det er ingen direkte sammenheng mellom "score" for fareklasse og nominell årlig sannsynlighet for skred.

4.3 Sannsynlighet

På bakgrunn av registreringer og analyser vurderes det at den nominelle årlige sannsynligheten for et fjellskred er større enn 1/1000 basert på følgende:

- Det ustabile partiet er tydelig avgrenset av fremtredende sprekkesett i berggrunnen, der baksprekken følger langs hele partiets lengde, og åpning på baksprekken er opp mot 1 meter.

- Kinematisk analyse viser at det er potensial for utgliding/utvelting.
- Det er registrert tidligere skredhendelser, og det registreres også tydelig spor i terrenget etter dette. Det er også observert relativt ferske steinsprangblokker ved foten av det ustabile partiet. Blokkene har størrelse på mellom ca. 1 m3 til ca. 50 m3.
- Det ustabile partiet er klassifisert etter Hermanns m. fl. (2013), og gir medium fareklasse for alternativ A og høy fareklasse for alternativ B (Figur 6-1).

4.4 Utløpssone for fjellskred

Løsneområdet er langt og smalt i utstrekning (Tabell 3-2), retning omtrent nordvest-sørøst (baksprekk har strøkretning 120°-300° Tabell 3-1). Fallretning på fjellsiden under kildeområdet er mot sørvest, strøkretning omtrent 145° (Tabell 3-1). Fjellsiden under kildeområdet er bratt, omtrent 40° i gjennomsnitt (Figur 3-7), og består i øvre del av svapartier med bart berg. Spredt innimellom er det større vegetasjonsområder overdekkende svaflatene, med spredt og lav bjørkevegetasjon. I nedre del av fjellsiden er det løsmassedekke overliggende svaflatene, med tett vegetasjon av større bjørk og furutrær.

Det vurderes at et potensielt skred vil bestå av hele, eller større deler av det ustabile partiet (Figur 3-4). Blokkene i den underliggende ura er relativt store, opptil 50 m^3. De harde svaflatene under løsneområdet vil trolig føre til at skredmassen knuses opp i mindre blokker.

Det er lite eller ingen større topografiske elementer/strukturer i fjellsiden, mellom det potensielle løsneområdet og Vinkfjorden. Dette skyldes at svaflatene i øvre del har relativt konsistent fallretning og at løsmassedekket i nedre del er tynt og følger oppå svaflaten. Skogen i øvre del av fjellsiden vurderes å være for liten til å kunne påvirke skredbanen i øvre del. Et potensielt skred vil dermed ikke bli ledet i et forutbestemt skredløp, men trolig spre seg utover svaflatene.

Spor i skogen etter tidligere skredhendelser fra det ustabile partiet, samt spor fra 2005 hendelsen (Figur 3-2), viser relativt "rette" skredløp med direktelinje mot Vinkfjorden fra løsneområdet. Det vurderes at et potensielt skred fra det ustabile partiet vil ha en lignende skredbane. Det er likevel usikkert hvor stor del av det ustabile området som løsner, hvor mye det ustabile partiet knuses i mindre blokker, og hvor bredt det sprer seg på svaflaten.

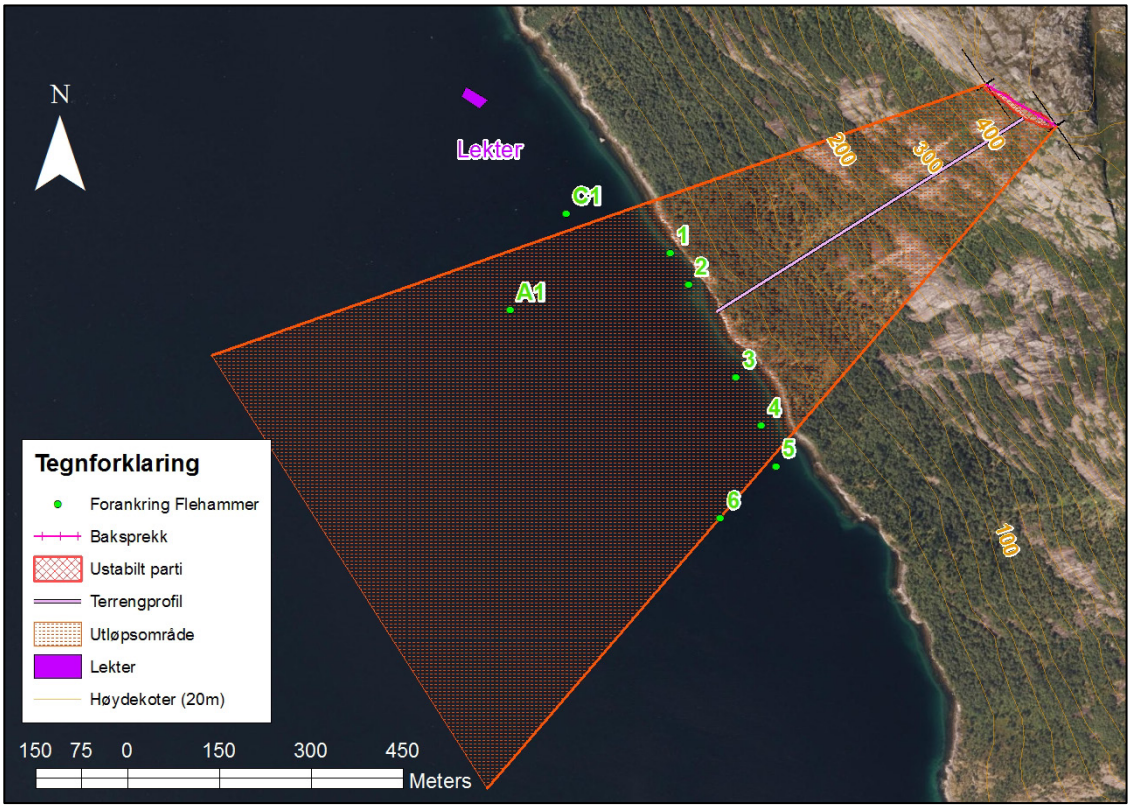
Vi antar i vår vurdering at hele det ustabile partiet løsner, langs den definerte baksprekken (Figur 3-4). Vi vurderer at fallretningen på et skred vil være tilnærmet lik fallretningen til fjellsiden, ca. 235° (strøkretning ca. 145°, Tabell 3-1) siden det er lite topografiske elementer som vil lede skredet. Vi vurderer at skredløpet er definert av to linjer som går 15° ut fra fallretningen, fra nordvestlig og sørøstlig ytterkant av det ustabile området, og ned til fjorden. Skredløpet er vist i Figur 4-2.

Det vurderes at et potensielt fjellskred i seg selv ikke vil kunne treffe lekteren. Det er sekundærvirkning av skredet, flodbølge (tsunami), som kan ha skadepotensiale for lekteren.

Det vurderes at retningen på skredløpet, slik det er skissert i fjellsiden (Figur 4-2), også er representativt for retningen til skredmassene når de treffer fjorden. Hastigheten på skredmassene i vann vil sannsynligvis reduseres noe, men retningen vil være lik som over vann.

Linjen mellom A1 og C1 tilsvarer sør-østlig kant for de to østligste mærdene. Figur 4-2 viser at den sørøstlige delen av mærdene ligger innenfor skissert skredløp i vann, hvor punkt A1 og C1 ligger henholdsvis ca. 285 og 130 m fra land. Anlegget ligger på overflaten, men vi vurderer at flogstein (steinfragment fra skredmassene), kan nå ut til mærdene, og påføre skader på anlegget.

Flere av de sørøstlige forankringspunktene (pkt. 1, 2, 3, 4 og 6 på Figur 4-2) samt de østligste mærdene ligger i skissert skredløp under vann (Figur 4-2), og kan bli truffet av skredmasser. Det bør gjøres en vurdering av skadepotensialet i forhold til hva som kan skje hvis forankringene blir truffet av skredet. De sørligste av forankringer som ligger ut mot fjorden kan om skredet går noe lenger enn vurdert her også bli truffet.



Figur 4-2. Vurdering av mulig utløpsområde ved skred fra det ustabile partiet.

5 Farevurdering for flodbølge

5.1 Anvendte begreper og metoder

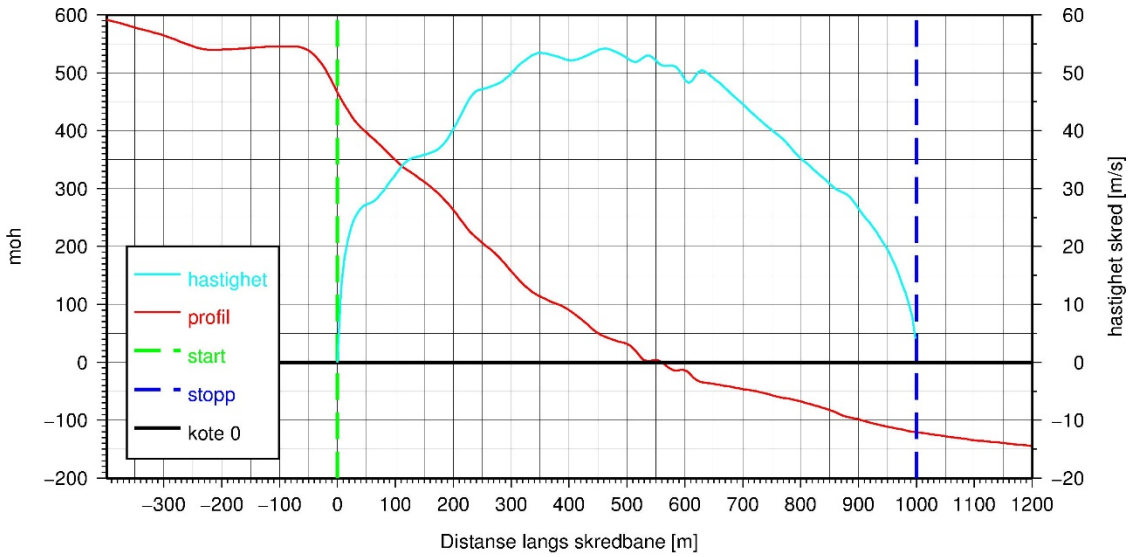
Med ***overflatehevning*** menes bølgetoppens høyde over stillevannstand (likevektsnivå), ***bølgehøyde*** er definert som høydeforskjellen mellom bølgetopp og bølgedal, mens ***partikkelhastighet*** beskriver hvor fort vannet beveger seg (strømhastighet). Det er verdt å merke seg at partikkelhastighet ikke er det samme som hastigheten bølgene forplanter seg med. For nærmere beskrivelse av beregningsmodellene, se Vedlegg B.

5.2 Modellering og valg av parametere

Betydningen av skredparameterne (form, hastighet og utløpslengde) for bølgedannelsen er grundig testet ved hjelp av regnemodeller. Testene viser at bølgehøyden i hovedsak avhenger av tykkelsen på skredet (eller skredets frontareal), hastigheten i første fasen etter at skredet har gått i vannet, og hvor langt skredet beveger seg under vann. Dess lengre skredutløp, dess lengre tid har skredet en innvirkning på bølgene og dess høyere bølger bygger seg opp. Mindre betydning har skredets form, dvs. helning i fronten, og hvor langt selve skredet er, NGI (2014b). Se for øvrig Vedlegg A for en nærmere beskrivelse av flodbølger generert av fjellskred.

Resultatene er sensitive i forhold til valg av parameterverdier. Vi har derfor valgt disse slik at resultatene er på den konservative siden. Skredvolumet av ustabilt parti er over anslått til 36250 m^3- 42000 m^3. Det forventes at når den ustabile blokka løsner vil den brytes opp i et skred bestående av steiner og blokker av ulik størrelse. Skredet vil strekkes i lengderetning og bre seg ut sideveis på veien ned mot fjorden. For dannelse av flodbølgene har arealet i fronten større betydning enn lengden av skredet. I flodbølge-beregningene er skredet representert som en massiv blokk som er 200 m bredt og 5 m høyt. Av modelleringstekniske grunner er lengden på skredet satt til 100 m. Skredet er noe avrundet i forhold til en firkantet boks, for å unngå ufysikalsk støy i regnemodellene samt gi en mer riktig fysisk representasjon av skredet.

Undersjøiske utløpsdistanser er basert på vurdering av dybdeprofilet utenfor skred-området, og på kjente (statistiske) sammenhenger mellom skredvolum og utløpsdistanse (Romstad et al. 2009). Valgt total utløpsdistanse er 1000 m, som gir et forhold mellom høydeforskjellen fra der skredet starter til det stopper og horisontal utløpsdistanse (H/L) på 0.6. Hastigheten er beregnet ut fra en såkalt energilinjebetrakning. Beregnet hastighet på skredet når det treffer fjorden er på litt over 50 m/s. Se Figur 5-1 for detaljer rundt skredprofil og utløp, samt beregnet hastighetsforløp for skredet.

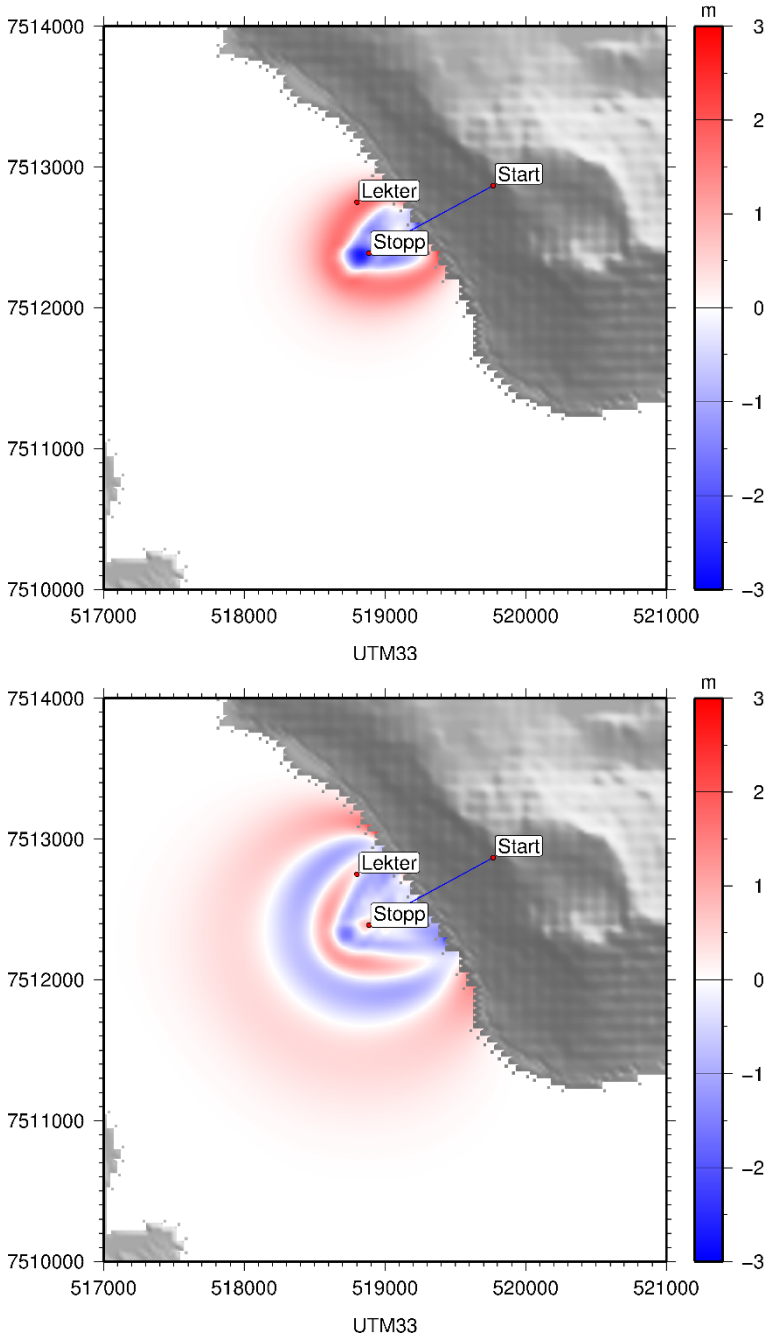


Figur 5-1. Terrengprofil langs antatt skredbane (rød linje, venstre akse), hastighetsprofil for skredet (turkis linje – høyre akse), samt indikasjon på hvor skredet starter og slutter (grønn og blå vertikale stiplede linjer). Svart horisontal linje tilsvarer kote 0 m.

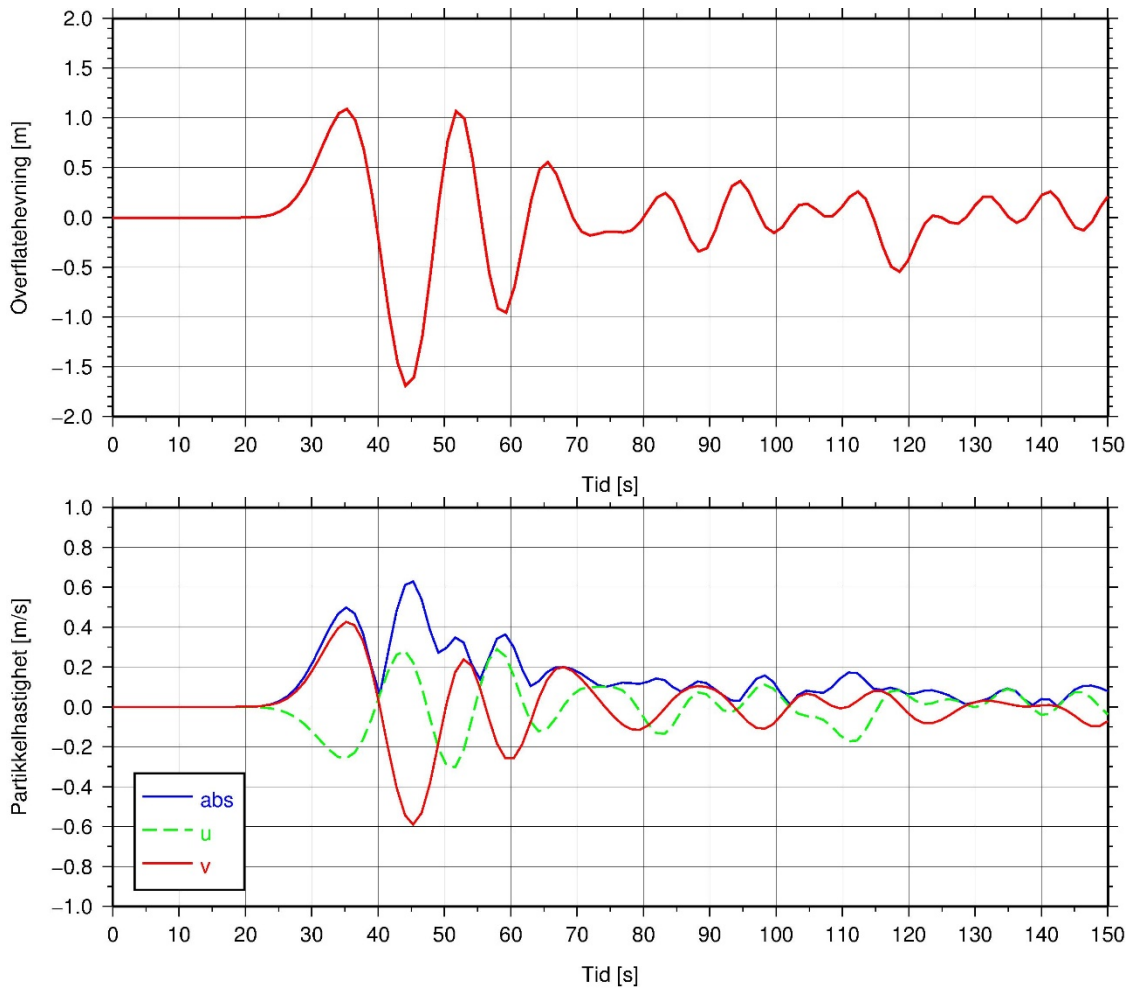
5.3 Resultater

To øyeblikksbilder av overflatehevningen sett ovenfra 30 og 50 s etter utløsning av skredet er vist i Figur 5-2. Vi ser en tydelig bølgetopp som beveger seg utover, etterfulgt av en serie bølger med avtagende høyde og bølgelengde. Tidsutviklingen for overflatehevningen og partikkelhastigheten til vannet ved lekteren er vist i Figur 5-3. Overflatehevningen for ledende bølger varierer fra ca. +1 m til -1.5 m, mens partikkelhastigheten er maksimalt ca. 0.6 m. I forhold til korte brytende bølger dannet av vind vil bølgene som kan nå anlegget fra skredet oppføre seg mer som et raskt tidevann med glatte lange bølger. Hastigheten bølgene beveger seg med (altså forplantningshastigheten til bølgene og ikke partikkelhastigheten) er avhengig av dypet. Ved lekteren vil bølgene bevege seg med en hastighet på ca. 25 m/s. Fra Figur 5-3 betyr det at bølgelengden for første bølge vil være ca. 500 m mens den før neste bølge vil være ca. 300 m. Fra første bølgetopp til første bølgedal vil vannets helning være ca. 2.5 m/250 m. Bølgen bruker her 10 s på å senke vannivået 2.5 m. Fra første bølgedal til andre bølgetopp vil helningen være ca. 2.5 m/150 m. Hevningen på 2.5 m gjøres unna her på 6 s. Partikkelhastigheten er størst når bølgedalen etter ledende topp passerer lekteren. Da er denne ca. 0.6 m/s. Det er verd å merke seg at ved flodbølger så beveger vannet seg med tilnærmet samme hastighet i hele dypet (altså samme hastighet ved overflaten som nede ved bunnen). Dette skiller seg fra tilfellet med kortere bølger på overflaten (f.eks. vindbølger) som beveger vannet en halv bølgelengde ned i fjorden. Ute på fjorden antas det ikke å være brytende bølgetopper, slik som man vil kunne få langs strandlinja. Det er også viktig å påpeke at langs strandlinjen vil man få høyere bølger. I en video av et skred på ca. 170.000 m^3 i Geirangerfjorden 8. mai 2017 kan man tydelig se denne effekten. Ute på fjorden var det lange glatte bølger, mens det i strandsonen var brytende bølger.

Det er også gjort vurderinger av den potensielle flodbølgen for lekteren hvor det opp-bevares fòr for oppdrettsanlegget ved Forneset, se Figur 3-1. Lekteren er fortøyd ved posisjon 67° 43.410' N og 15° 22.600' Ø. Her vil bølgehøyden (høyde fra bølgetopp til bølgebunn) være maksimalt 1.2 m, og partikkelhastigheten på vannet vil være under 0.4 m/s. Bølgeperioden på ledende bølger vil være 30-40 s.



Figur 5-2. Overflatehevning (gitt i meter, se fargeskala) 30 og 50 s etter at skredet løsner. "Start" og "stopp" viser hvor skredet starter og stopper i modelleringen. Anlegget er lokalisert ved punktet "lekter".



Figur 5-3. Tidsutvikling av overflatehevningen ved lekteren (øverst) og tilsvarende utvikling av partikkelhastigheten ved samme lokasjon (nederst). I nederste figur er grønn og rød linje komponentene av hastigheten for hhv retningene NS ("u") og ØV ("v"), mens blå linje er absoluttverdien av partikkelhastigheten ved lekteren.

6 Sammenstilling farevurdering

6.1 Konsekvens

Fare- og risikoklassifiseringsmatrisen for oppfølging med overvåkning og ytterligere undersøkelser for ustabile fjellparti i Norge tar også hensyn til konsekvens ved et potensielt skred.

I dette tilfellet vil ikke selve fjellskredet kunne treffe mennesker, boliger eller infrastruktur, gitt at ingen oppholder seg i strandsonen under det potensielt ustabile partiet. Fjellskredet vil imidlertid kunne skape en flodbølge når det treffer Vinkfjorden. En

flodbølge vil kunne være skadelig for Cermaq's lekter, der det er konstant person-opphold, og konsekvensen knytter seg dermed til skadepotensialet en flodbølge vil ha på lekteren.

Vi har fått informasjon fra Cermaq AS om at personoppholdet på lekteren ikke vil overstige 25 personer, og at det normalt bor 2-3 personer på lekteren. Den mest alvorlige konsekvensen ved et fjellskred, og påfølgende flodbølge, er dermed skade på lekteren at 2-3 personer som bor på lekteren mister livet.

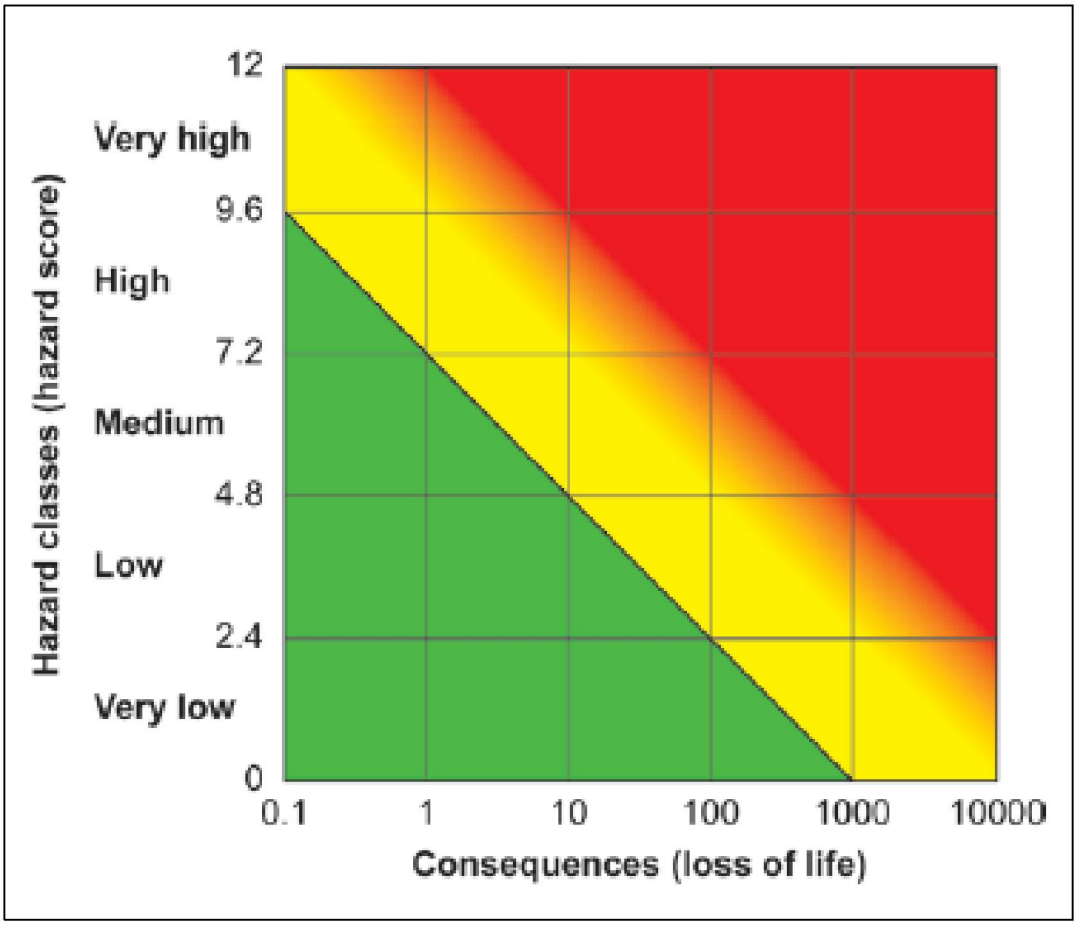
6.2 Oppsummering

Basert på fareklasse (Tabell 4-1) og vurdering av konsekvenser (en flodbølge kan ta livet av 2-3 personer), vil vi havne i lav til moderat risiko for alternativ A og i moderat risiko for alternativ B (Figur 6-1).

Fordi det ikke er mennesker, boliger eller infrastruktur på land i området under det ustabile fjellpartiet, vil konsekvensen av et fjellskred knytte seg til sekundærvirkningene av et fjellskred, dvs. flodbølger.

Mulige flodbølger vil kunne skade Cermaq lekter, som ligger mindre enn 500 meter fra stedet hvor et potensielt fjellskred treffer Vinkfjorden. Belastningen flodbølger vil påføre lekteren kan vurderes ut fra flodbølgeberegningene. Bølgene som dannes vil være 300-500 m lange og med bølgehøyder opp mot 2,5 m.

Risikoklassifisering (Hermanns et al. 2013) i forhold til vurdert fareklasse og mulige konsekvenser gir moderat til høy risiko (Figur 6-1).



Figur 6-1. Fare- og risikoklassifiseringsmatrise for ustabile fjellparti i Norge (Hermanns et al. 2013). Grønn = lav risiko; gul = moderat risiko; rød = høy risiko.

Det vurderes i utgangspunktet at lekteren ikke tilfredsstiller kravene til sikkerhetsklasse S2, der største nominelle årlige sannsynlighet for skred, eller sekundærvirkninger av skred, ikke skal være større enn 1/1000. Skadepotensialet for flodbølger er beskrevet over. Hvis man kommer fram til at anlegget og lekteren tåler belastningen (og eventuell forurensning av vannet som flodbølgene kan skape), er derimot kravene til TEK17 oppfylt.

Hermanns m. fl. (2013) skisserer følgende når det gjelder videre oppfølging av objekter med ulik risiko:

- Lav risiko: Rutineundersøkelser i felt eller analyse av fjernavlesningsdata, foto tatt fra luften og satellittdata, hvert 10-20 år.
- Moderat risiko: Periodisk overvåking med tid mellom hver måling vurdert ut fra geologiske forhold, anvendbarhet av ulike metoder og kost-nytte vurderinger.
- Høy risiko: Oftest kontinuerlig overvåking kombinert med tidlig-varsling teknikker. Omfang må avklares i fellesskap av risikoeiere og geofageksperter.

Før en har tilgjengelig data om bevegelse i fjellpartiet etter år 2000, kan det være aktuelt at fjellpartiet instrumenteres med overvåkningsutstyr, periodisk eller kontinuerlig.

7 Konklusjon

Et potensielt ustabilt fjellparti like vest for fjellet Kvannto er avløst av en baksprekk med opptil 1 meter bredde. Baksprekken "går ut i dagen" i den sørøstre og nordvestre delen av det potensielt ustabile partiet, og dette utgjør avgrensinger på hver side av det potensielt ustabile partiet.

Registrering av strukturer i bergmassen og kinematisk analyse viser at planutgliding og toppling (utvelting) er mulige bruddmekanismer. Totalvolumet av fjellpartiet er antatt å være ca. 36000 - 42000 m^3 og det er vurdert at det ikke er sannsynlig med stor medriving av urmasser i et eventuelt skredløp. Det potensielt ustabile partiet klassifiseres dermed som potensielt fjellskred (større enn 10 000 m^3).

I henhold til et klassifikasjonssystem for ustabile fjellskråninger i Norge (Hermanns m. fl. 2013) er fareklassen vurdert til medium eller høy, avhengig av hvilken "score" en gir forflytning og akselerasjon. Ettersom skredet vil gå rett i Vinkfjorden, og det ikke er boliger eller annen infrastruktur i skredløpet, vil konsekvensene av et skred knytte seg til en mulig flodbølge som skapes ved at skredmassene treffer Vinkfjorden.

Mulige flodbølger vil kunne skade Cermaq lekter direkte (eller indirekte i form av forurensning), som ligger mindre enn 500 meter fra stedet hvor et potensielt skred treffer Vinkfjorden. Belastningen på lekter og anlegget kan vurderes ut fra flodbølge-beregningene som er presentert i Kapittel 5. I henhold til TEK17 §7.3: " *Tilfredsstillende sikkerhet mot skred er angitt som en største nominell årlig sannsynlighet for skred. Sannsynligheten angir den årlige sannsynligheten for skredskader av betydning, det vil si skred med en intensitet som kan medføre fare for liv og helse eller større materielle skader.*" og *"Sikkerhetskravene i annet ledd kan oppnås (...) ved å dimensjonere og konstruere byggverket slik at det tåler belastningene et skred kan medføre".*

Det vurderes at den nominelle årlige sannsynligheten for et fjellskred er større enn 1/1000. Anlegget og lekteren oppfyller dermed ikke uten videre kravene i S2, med mindre anlegget og lekteren tåler belastningen fra flodbølgene. Potensiell rømning eller skade på fisk som følge av forurensning må også tas med i betraktningen når man skal undersøke om anlegget tåler belastningen fra bølgene.

8 Referanser

DIBK 2017. Direktoratet for byggkvalitet, Byggteknisk forskrift TEK10 § 7-3.

Hermanns R L, Oppikofer T, Anda E, Blikra L H, Böhme M, Bunkholt H, Crosta G B, Dahle H, Devoli G, Fischer L, Jaboyedoff M, Loew S, Sætre S & Molina Y 2013. Hazard and risk classification for large unstable rock slopes in Norway. Italian Journal of Engineering Geology and Environment – Book Series (6).

NGI 2014a. Skred, skredfare og sikringstiltak – praktiske erfaringer og teoretiske prinsipper. NGI og Universitetsforlaget, Oslo.

NGI 2014b. Evaluation of the flow characteristics of the potential Åkerneset rockslide, western Norway – contributions to the design of laboratory experiments on wave generation. Norwegian Geotechnical Institute report 20061333-01-R.

NGU 1996. Bergrunn N250-kartblad, Sulitjelma, målestokk 1:250 000.

NGU 2001. Løsmasse fylkeskart, Nordland, målestokk 1:250 000.

Romstad, B., Harbitz, C., and Domaas, U. 2009. A GIS method for assessment of rock slide tsunami hazard in all Norwegian lakes and reservoirs. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 9, 1-13.

http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/9/353/2009/nhess-9-353-2009.html

Wyllie, D C & Mah, C W 2004. *Rock Slope Engineering, Civil and Mining, 4th Edition,* New York, Spon Press, Taylor & Francis Group.

Vedlegg A

OM FLODBØLGER GENERERT AV FJELLSKRED

Innhold

A1 Om flodbølger generert av fjellskred 2

A1 Om flodbølger generert av fjellskred

Skred som faller i fjorder eller innsjøer genererer tyngdebølger som normalt fortoner seg som en mellomting mellom dønninger og tidevann. Flodbølger generert av skred inngår i den type bølger som gjerne betegnes ” tsunamis”.

Generering og utbredelse av flodbølger etter skred er et komplisert fenomen som kan deles i tre faser: 1) energioverføring fra skred- til vannbevegelse; 2) bølgeutbredelse i åpent vann; 3) bølgeoppskylling i strandsonen.

Bølgenes karakteristika avhenger av skredets volum, form og hastighet, så vel som av vanndypet. Karakteristisk overflateheving vil normalt være mye mindre enn vanndypet i størstedelen av området. Dette er innfridd også i dette konkrete tilfellet, og fører til at enklere (dybdemidlede) likninger er gyldige.

Bølgene klassifiseres som lange bølger dersom størsteparten av den energi som overføres fra skred- til vannbevegelse fordeles på bølgelengder mye større enn karakteristisk vanndyp. Da er bevegelsen på ethvert sted tilnærmet den samme i hele vanndypet. Bølgen synes best inne ved land der den blir krappere, dvs. både kortere (fordi hastigheten avtar) og høyere (fordi energifluksen må være konstant) på grunnere vann inn mot land.

Under utbredelsen bort fra skredområdet vil bølgens form endres avhengig av dempning og bunntopografi. Først avtar bølgehøyden som følge av radiell dempning når energien spres over et stadig større område. Bølgehøyden er således omvendt proporsjonal med kvadratroten av avstanden fra skredområdet. I tillegg utsettes bølgen for refraksjon, diffraksjon, refleksjon, interferens, fokusering, og amplifikasjon.

Amplifikasjonsfaktoren, dvs. forholdet mellom oppskyllingshøyden og overflatehevingen for innkommende bølge på dypt vann, er hovedsakelig bestemt av bølgelengden og helningen i strandsonen, eller mer presist forholdet mellom lengden på innkommende bølge og lengden på horisontalprojeksjonen av oppskyllingsskråningen under stillevannstand.

Amplifikasjonsfaktoren for bølger mot en skrånende strand vil normalt være omkring 2 - 4. Lokale forhold kan imidlertid føre til refraksjon, interferens og fokusering som øker oppskyllingshøyden ytterligere. Vi vil derfor anslå en faktor opptil 5 - 6 i områder spesielt utsatt for slike effekter (for eksempel bukter og nes). For oppskylling langs en slak, ”ideell” skråning er amplifikasjonsfaktoren maksimalt omkring 6. For refleksjon mot en tilstrekkelig høy tilnærmet vertikal vegg er amplifikasjonsfaktoren omkring 2.

Fjellskred kan medføre store svingninger i innelukkede fjorder eller innsjøer. Dette kan arte seg som en serie av innkommende bølger der den første ikke nødvendigvis er størst. Bølgebevegelsen kan vare i timevis.

Vedlegg B

KONVERGENSTEST

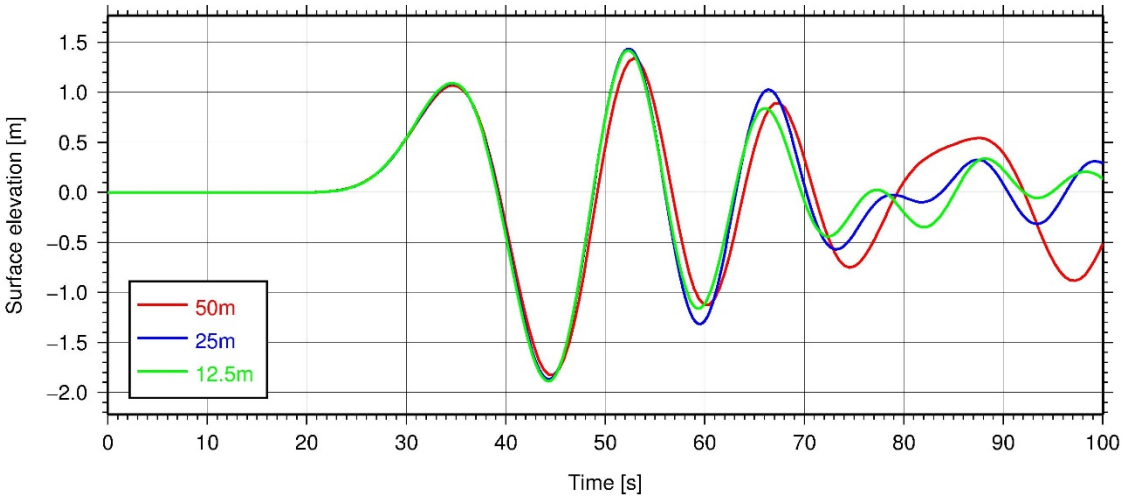
Innhold

B1 Konvergenstest for kontroll av nøyaktighet 2

B1 Konvergenstest for kontroll av nøyaktighet

Bølgelikningene løses numerisk ved at hele beregningsområdet deles opp i et finmasket nett eller celler, deretter beregnes bølgehøyde og strømhastighet i hver enkelt celle. Ved å sammenlikne simuleringer med ulik oppløsning av nettet kan vi måle nøyaktigheten til beregningene og konvergensen til metoden. Konvergensen oppnås dersom beregningene går mot den samme løsningen for finere og finere nett. I Figur B1 har vi presentert tidsserier fra flodbølgemodellen Globouss som er anvendt i beregningene ved lokasjonen til lekteren. Resultatene er vist for tre forskjellige oppløsninger. For ledende bølge er det et avvik på kun 0.5% mellom 12.5 m og 25 m oppløsning, samt 2% mellom 12.5 m og 50 m. Det er økende avvik for påfølgende bølger, men den maksimale belastningen på anlegget og lekteren er kun knyttet til ledende bølger og her er det meget god konvergens. I beregningene er det anvendt en oppløsning på 25 m for GloBouss.

Konklusjonen er at vi har brukt konvergerende løsninger.



Figur B1. Konvergenstest av GloBouss ved posisjonen til lekteren, dybde ifølge tilgjengelige dybdedata er 65 m.

Kontroll- og referanseside/ Review and reference page

Dokumentinformasjon/*Document information*		
Dokumenttittel/*Document title* Vurdering av fare for fjellskred og flodbølger mot oppdrettsanlegg		**Dokumentnr./*Document no.*** 20170278-01-R
Dokumenttype/*Type of document* Rapport / Report	**Oppdragsgiver/*Client*** Cermaq AS	**Dato/*Date*** 2017-09-01
Rettigheter til dokumentet iht kontrakt/ *Proprietary rights to the document according to contract* Oppdragsgiver / Client		**Rev.nr.&dato/*Rev.no.&date*** 1 / 2018-03-01
Distribusjon/*Distribution* BEGRENSET: Distribueres til oppdragsgiver og er tilgjengelig for NGIs ansatte / LIMITED: Distributed to client and available for NGI employees		
Emneord/*Keywords* Stabilitet, steinskred, steinsprang, fjellskred, flodbølge, modellering		

Stedfesting/*Geographical information*	
Land, fylke/*Country* Nordland	**Havområde/*Offshore area***
Kommune/*Municipality* Steigen	**Feltnavn/*Field name***
Sted/*Location* Vinkfjorden	**Sted/*Location***
Kartblad/*Map* 2130 III Helldalisen	**Felt, blokknr./*Field, Block No.***
UTM-koordinater/*UTM-coordinates* **Sone:** 33 **Øst:** 518875 **Nord:** 7512910	**Koordinater/*Coordinates*** **Projeksjon, datum: Øst: Nord:**

Dokumentkontroll/*Document control*
Kvalitetssikring i henhold til/*Quality assurance according to NS-EN ISO9001*

Rev/ Rev.	*Revisjonsgrunnlag/Reason for revision*	Egenkontroll av/ *Self review by:*	Sidemanns-kontroll av/ *Colleague review by:*	Uavhengig kontroll av/ Independent review by:	Tverrfaglig kontroll av/ *Inter-disciplinary review by:*
0	Originaldokument	2017-09-01 Henrik Langeland/ Sylfest Glimsdal	2017-09-01 Vidar Kveldsvik/ Carl B. Harbitz		
1	Beskrive utløpsområde samt bølger ved Forneset	2018-03-01 Henrik Langeland/ Sylfest Glimsdal	2018-03-01 Vidar Kveldsvik/ Carl B. Harbitz		

Dokument godkjent for utsendelse/ *Document approved for release*	Dato/*Date*	Prosjektleder/*Project Manager*
	1. mars 2018	Sylfest Glimsdal

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen ingeniørrelaterte geofag. Vi tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg, og hvordan jord og berg kan benyttes som byggegrunn og byggemateriale.

Vi arbeider i følgende markeder: Offshore energi – Bygg, anlegg og samferdsel – Naturfare – Miljøteknologi.

NGI er en privat næringsdrivende stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskaper i Houston, Texas, USA og i Perth, Western Australia.

www.ngi.no

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting within the geosciences. NGI develops optimum solutions for society and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the natural and built environment.

NGI works within the following sectors: Offshore energy – Building, Construction and Transportation – Natural Hazards – Environmental Engineering.

NGI is a private foundation with office and laboratories in Oslo, a branch office in Trondheim and daughter companies in Houston, Texas, USA and in Perth, Western Australia

www.ngi.no

OSLO
TRONDHEIM
HOUSTON
PERTH

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT
NGI.NO

Hovedkontor Oslo
PB. 3930 Ullevål Stadion
0806 Oslo

Avd. Trondheim
PB. 5687 Torgarden
7485 Trondheim

T 22 02 30 00
F 22 23 04 48
NGI@ngi.no

BANK
KONTO 5096 05 01281
ORG.NR 958 254 318MVA

ISO 9001/14001
CERTIFIED BY BSI
FS 32989/EMS 612006