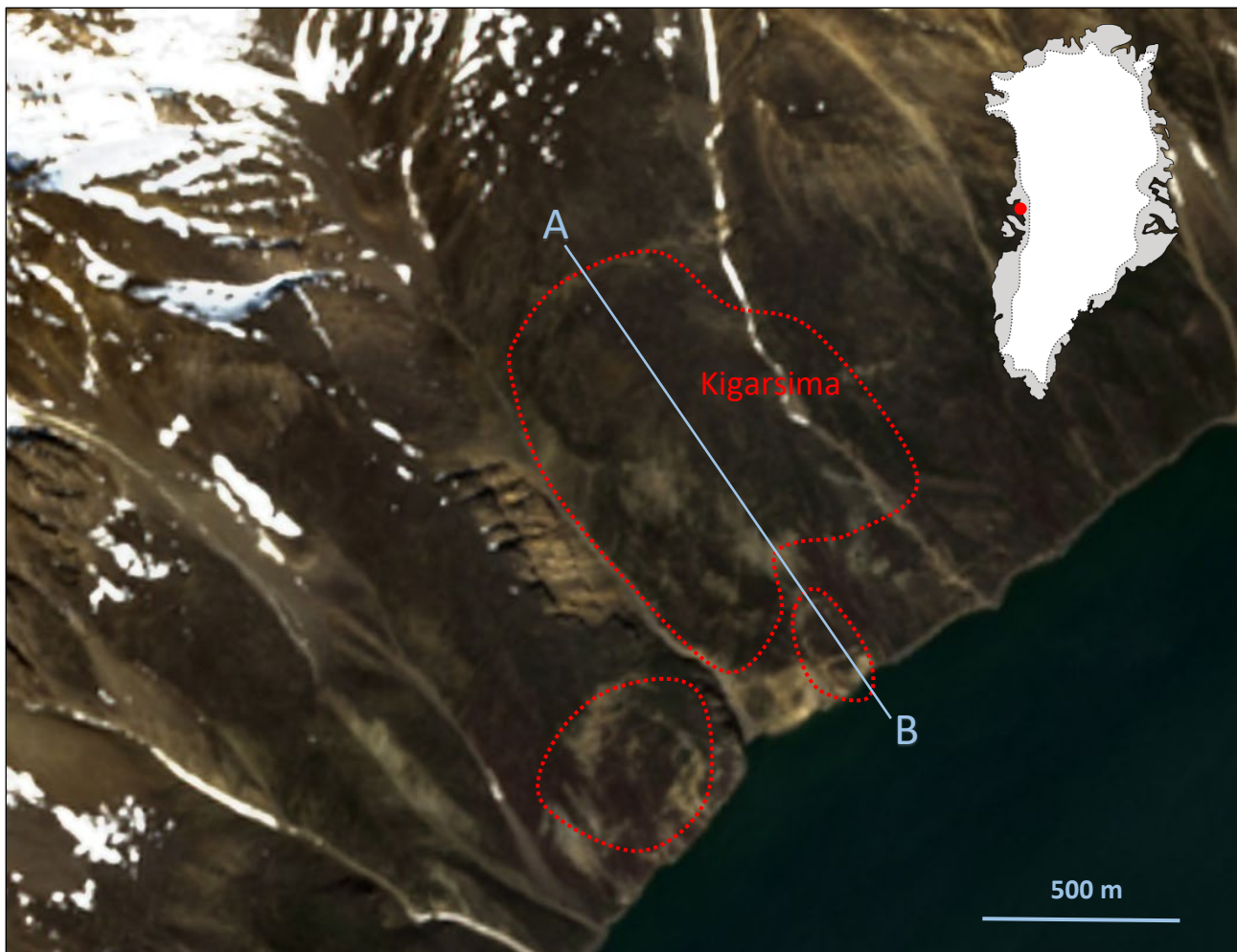


Faktablad nr. 19: Vurdering af Kigarsima



Figur 1: Skredkysten ved Kigarsima. Områderne med bevægelse er markeret med røde stiplede omrids. Det største område i bevægelse er det ustabile fjeldparti Kigarsima. Neden for dette ses to mindre, meget aktive skredområder. Et tolket profil langs linjen AB ses i Figur 6. Sentinel-2 satellitbillede fra den 26/06-2021.

Konklusion

Der vurderes at være meget høj sandsynlighed for, at der sker et fjeldskred fra det ustabile fjeldparti Kigarsima, som har haft en hurtig og accelererende skredudvikling. Fjeldpartiet ligger nær beboede områder i Uummannaqs fjordsystem. Risikoen forbundet med en potentiel tsunami fra Kigarsima klassificeres som høj.

Det anbefales, at Kigarsima monitoreres vha. satellitdata samt bevægelsesdata og klimatiske data indsamlet i felten. Det anbefales desuden, at der iværksættes udvikling af et tsunamivarslingssystem for hele Uummannaqs fjordsystem.

Indledning

Nærværende faktablad er et af 19 faktablade for potentielt ustabile fjeldpartier, som er undersøgt i "Undersøgelse af risiko for alvorlige fjeldskred i Grønland" 2019–2022. Vurderingerne af de potentielt ustabile fjeldpartier er baseret på nuværende viden og tilgængelige data for bevægelser og skredstrukturer. Risikoniveauet for disse vil i nogle tilfælde med tiden kunne ændre sig.

Lokalitet

Den ydre del af Kangerluarsuk fjorden i Uummannaqs fjordsystem. 71°13'51.11"N, 52° 9'20.29"V

Afstand til infrastruktur ad vandvejen

| | |
|------------|--------|
| Ukkusissat | 31 km |
| Qaarsut | 58 km |
| Illorsuit | 65 km |
| Niaqornat | 75 km |
| Sattut | 72 km |
| Uummannaq | 80 km |
| Ikerasak | 120 km |

Baggrund for risikovurderingen i foråret 2022

Området ligger 45 km syd for fjeldskredet den 17. juni 2017 i Karrat, og geologien i de to områder er den samme. Det ustabile fjeldparti blev opdaget i foråret 2022 ved analyse af skråfoto fra henholdsvis 2015 og 2021, der viste, at der havde været meget hurtig og accelererende skredudvikling. Fjeldpartiet har sandsynligvis kun været aktivt i løbet af de seneste ca. 10 år. På lokaliteten ses tre områder i bevægelse. Det største område, kaldet Kigarsima, er 1250 m langt og 750 m bredt og er afgrænset opadtil af en 10–20 m høj bagvæg i 650 m højde. Derudover er der to mindre skredområder i den nedre del af skråningen.

Geologi

Området er en del af den geologiske Karrat Gruppe, der består af metamorfoserede sedimenter, som overligger og er foldet med gnejs fra Arkæikum. Lokalt består bjergsiden ved lokaliteten af schist bestående af metamorfoseret muddersten og basalter, der overlejrer Arkæisk gnejs (grundfjeld).

Feltobservationer

Feltobservationerne viste, at bagvæggen, som kan følges over hele fjeldpartiets bredde, for det meste fremstår som en skråning dækket af løse blokke og sedimenter (Figur 2), men nogle steder

har den også blotninger af fast klippe gennemskåret af forkastninger (Figur 3). Desuden sås åbne sprækker, som viser, at der er nylige bevægelser (Figur 4).



Figur 2: Bagvæggen af det ustabile fjeldparti ses de fleste steder som en skråning dækket af løst materiale.



Figur 3: Fast klippe gennemskåret af forkastning i bagvæggen.

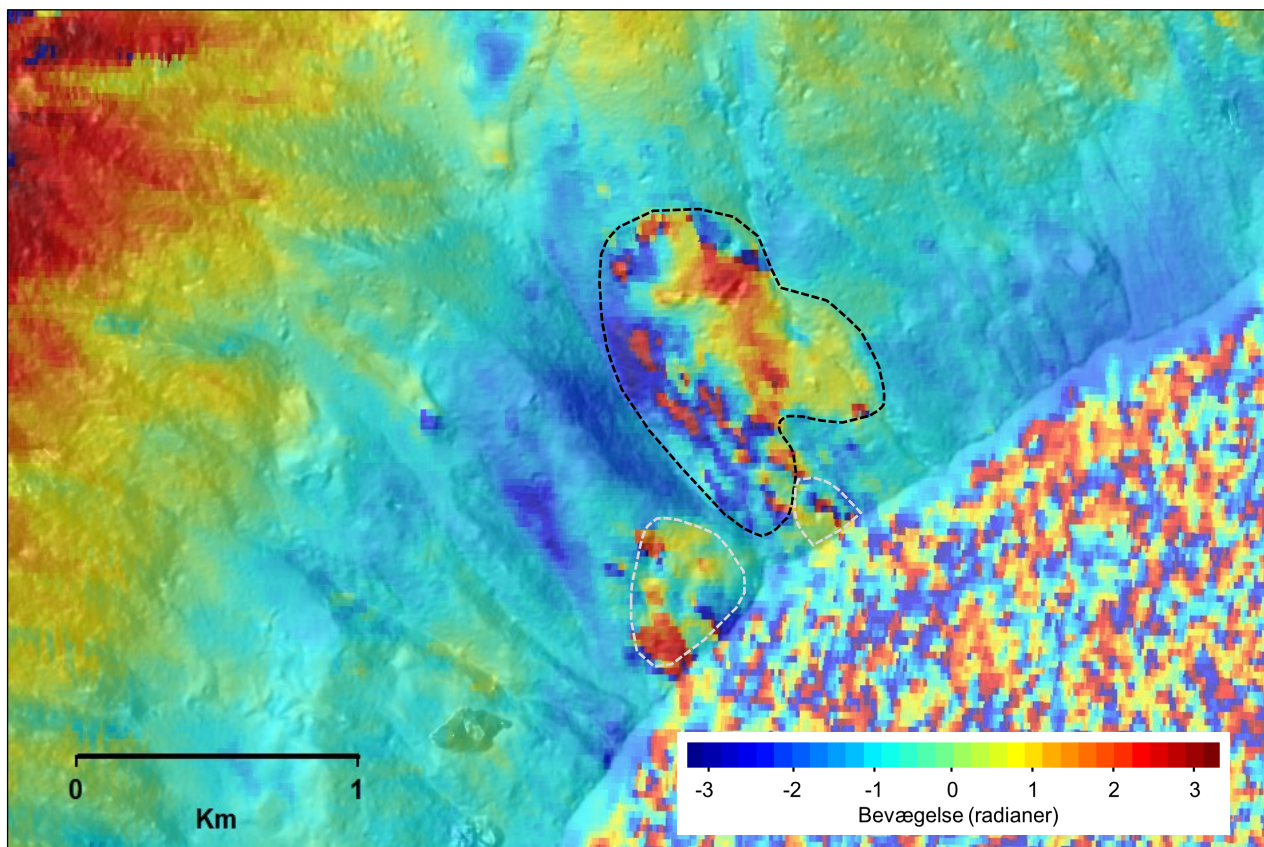


Figur 4: Åben sprække i den øvre del af det ustabile fjeldparti. Bagvæggen ses i baggrunden af billedet.

InSAR- og bevægelsesanalyse

Lokaliteten er godt opløst i Sentinel-1 radarbilleder fra både nordgående og sydgående geometri. Der er bevægelse med delvis dekorrelation på de ældste InSAR-data fra 2016. Fjeldpartiet ses at udvide sig til siderne i årene frem til 2021, hvor der er dekorrelation i hele fjeldpartiets vestlige del (Figur 5). Bevægelsesmålinger fra skråfoto samt PSI-analyse (Persistent Scatterer Interferometry) af sydgående spor 25 viser, at bevægelsen i fjeldpartiet er ca. 1 m/år.

Neden for fjeldpartiet Kigarsima ses et mindre skredområde med fuldstændig dekorrelation i InSAR. Analyser af satellitdata og skråfoto viser, at skredområdet bevægede sig ca. 40 m mellem 2018 og 2021. På den modsatte side af kløften vest for Kigarsima er der et andet mindre skredområde, som bevæger sig ca. 3 m/år.



Figur 5: Interferogram fra 20/6 – 26/7 2021 (Sentinel-1 sydgående spor 25, farverne viser bevægelse i satellittens synsretning målt i radianer). I dette eksempel er der tydelig bevægelse i det store fjeldparti kaldet Kigarsima (markeret med sort stiplede omrids) samt i to mindre skredområder i umiddelbar nærhed (hvide stiplede omrids). Interferogrammet er plottet oven på en hillshade fra ArcticDEM.

Størrelse

Volumenet af det ustabile fjeldparti Kigarsima er beregnet til ca. 28 millioner m³. Dette er baseret på bagvæggens udbredelse og en modelleret brudflade, der hælder 23° i skråningens retning mod fjorden. Idet strukturerne endnu ikke er meget udviklede, og vi ikke kender brudfladens nøjagtige hældning, er der dog en vis usikkerhed på volumenestimatet.

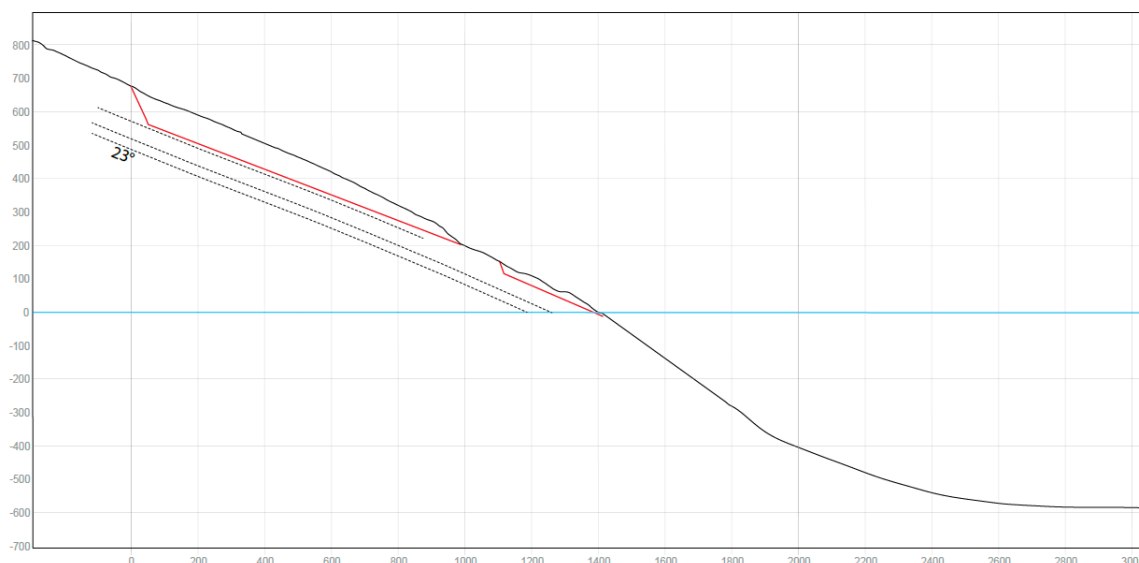
Skredmodel

De geologiske lag i området hælder 20°–23° mod fjorden (dip-slope), og analyser af bevægelsesvektorer imellem 2015 og 2021 viser, at bevægelsen sker parallelt med laghældningen. Det viser, at det ustabile fjeldparti bevæger sig langs en plan lagflade og kan klassificeres som et såkaldt translationskred (Figur 6). Translationskred er ikke selvstabiliserende (se f.eks. Svennevig & Keiding 2020), og det må antages, at bevægelsen fremover vil fortsætte og eventuelt accelerere.

Dette er den samme skredmodel som for fjeldskredet ved Karrat den 17. juni 2017 (Svennevig et al., 2020). Det ustabile fjeldparti er betinget af geologien og de strukturelle faktorer.

Permafrostdegradering som følge af klimaforandringer kan være en dynamisk betingende faktor,

der kan forklare, hvorfor bevægelsen er begyndt inden for de seneste år. Yderligere undersøgelser af permafrostens tilstand på skrånningen er dog nødvendige for at kunne vurdere dette.



Figur 6: Tværsnit igennem Kigarsima. De stiplede linjer er bjergsides lagdeling, der hælder mod kysten. De røde linjer er glidefladen for Kigarsima (tv) og et mindre ustabil skredområde (th).

Fareklassificering

Lokaliteten er vurderet ved hjælp af den tilpassede norske fareklassificering (GEUS Notat, 29. september 2022). Faren er her lig sandsynligheden for, at der sker et fjeldskred. Kigarsima er karakteriseret ved en hurtig og accelererende udvikling og veludviklede strukturer, hvorfor sandsynligheden for, at der sker et fjeldskred, klassificeres som meget høj (Tabel 1).

Tsunamimodellering

Detaljeret tsunamimodellering er udført af Norges Geotekniske Institut og beskrevet i NGI Rapport af 13. juni 2022 og GEUS Notat af 14. juni 2022. Tsunamimodelleringen for et "worst case" scenarie fjeldskred fra Kigarsima ved højvande viste, at der vil være høje opskyl i Qaarsut, Niaqornat og Ukkusissat (Tabel 2).

Konsekvensen af et fjeldskred fra Kigarsima i form af det potentielle tab af menneskeliv er estimeret ved hjælp af befolkningstal fra Grønland til at være mellem 5 og 65. Intervallet afspejler spændet af realistiske skredscenarier, samt det at fjeldskreddet kan ske både ved lavvande og højvande.

Tabel 1: Fareklassificering for Kigarsima

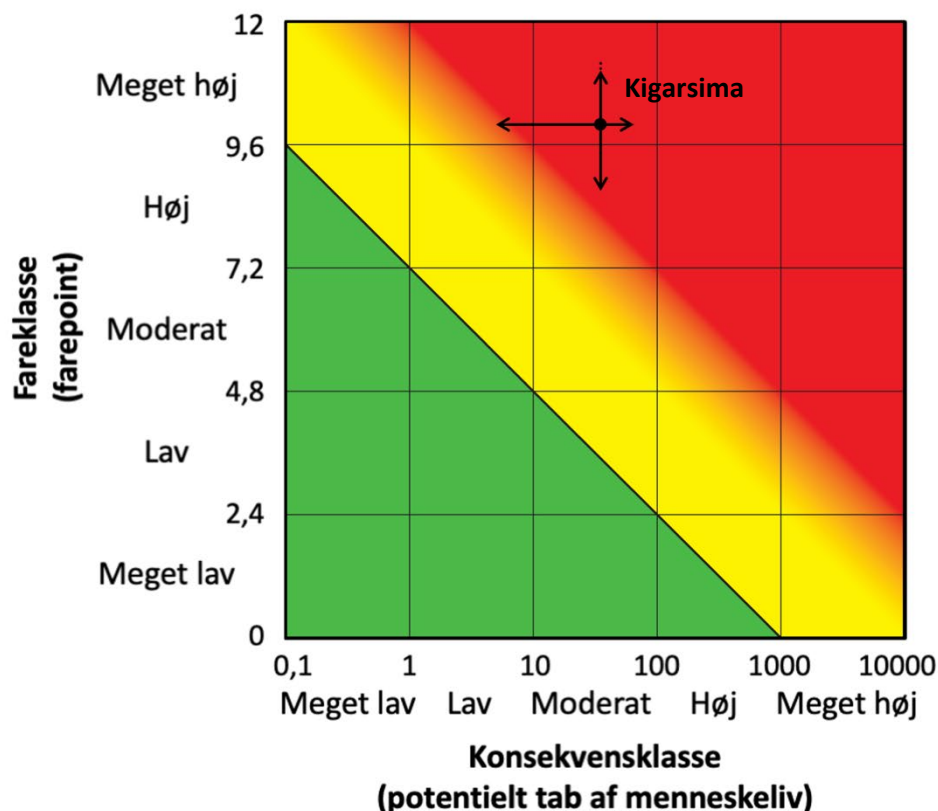
| Kriterie | | Point | Kommentar |
|-----------|--|-------|--|
| 1 | Udviklet bagvæg | 1 | Veludviklet bagvæg på op til 20 meters højde. |
| 2 | Potentielle glidestrukturer | 1 | Lagdeling hælder 20°–23° mod kysten og kommer ud af skråningen. |
| 3 | Laterale frigørelsesflader | 0,5 | Delvist udviklede afgrænsninger til begge sider. |
| 4 | Kinematisk mulig | 1 | Der er tydelig lagdeling i området, men det vides ikke med sikkerhed, om der er andre strukturer som gør skred kinematisk mulig. |
| 5 | Morfologisk manifestation af brudflade | 0,5 | Der ses udbulning langs fjeldpartiets nedre afgrænsning. |
| 6 | Hastighed | 3 | Der er målt hastigheder ved hjælp af InSAR og bevægelsesvektorer på ca. 1 m/år i størstedelen af fjeldpartiet. Der er lokale områder med højere hastigheder (dekorrelation i InSAR). |
| 7 | Acceleration | 1 | Der er markant acceleration af bevægelserne, baseret på udviklingen af strukturerne. |
| 8 | Stenfaldsaktivitet | 1 | Der er stenfaldsaktivitet særligt i den nedre del. |
| 9 | Tidligere hændelser | 1 | Fjeldskreddene i Karrat i 2009, 2016 og 2017 er sket i samme geologiske og geografiske miljø. |
| Sum point | | 10 | Svarer til meget høj fareklasse |

Tabel 2: Simulerede ankomsttider og opskylshøjder for en tsunami udløst af et potentielt fjeldskred fra Kigarsima. Der er beregnet opskylshøjder for tre forskellige skredscenarier: Scenariet "nedre" anses for at generere det mindst mulige opskyl, mens scenariet "øvre" anses at generere højest mulige opskyl. Scenariet "worst case" er øvre scenarie ved maksimalt højvande, dvs. plus 1,3 m.

| | Afstand (km) | Ankomst første bølge (min) | Opskylshøjde Scenarie "nedre" ($20 \times 10^6 \text{ m}^3$) (m) | Opskylshøjde Scenarie "øvre" ($30 \times 10^6 \text{ m}^3$) (m) | Opskylshøjde Scenarie "worst case" ($30 \times 10^6 \text{ m}^3$) +1,3 m højvande (m) |
|------------|--------------|----------------------------|--|---|---|
| Illorsuit | 63 | 14 | 1–1,5 | 2–3 | 3–4 |
| Qaarsut | 58 | 13 | 2–6 | 4–9 | 5–10 |
| Niaqornat | 73 | 15 | <1,5 | 1–3 | 3–5 |
| Uummanaq | 72 | 15 | 1–3 | 1–5 | 2–5 |
| Saattut | 70 | 14 | 1–2 | 2–5 | 2–5 |
| Ukkusissat | 29 | 5 | 2–3 | 3–5 | 4–7 |
| Ikerasak | 110 | 22 | <0,5 | <1 | <2 |

Risikovurdering

Med udgangspunkt i estimaterne af fare- og konsekvensklasse er Kigarsima plottet i risikomatricen i Figur 7. Heraf ses det, at Kigarsima plotter i det røde felt for høj risiko. På baggrund af den høje risiko anbefales det, at Kigarsima monitoreres vha. satellitdata samt bevægelsesdata og klimatiske data indsamlet i felten. Det anbefales desuden, at der iværksættes udvikling af et tsunamivarslingssystem for hele Uummannaqs fjordsystem (se GEUS Notater af 28. juni 2021 og 2. juli 2021).



Figur 7: Risikomatrice for Kigarsima. Den estimerede usikkerhed er vist med pile. Usikkerheden i fareklassen afspejler, at der er begrænset datagrundlag i nogle af farekriterierne. Usikkerheden i konsekvensklassen afspejler spændet af realistiske skredscenarier, samt det at fjeldskredet kan ske både ved lavvande og højvande. Fra GEUS Notat af 29. september 2022.

Referencer

GEUS Notat om risikoklassificering af ustabile fjeldpartier i Karrat og Kigarsima, Uummannaqs fjordsystem, 29. september 2022.

GEUS Notat om risiko for beboede områder ved en tsunami udløst af et fjeldskred fra lokaliteten Kigarsima i Uummannaqs fjordsystem, 14. juni 2022.

NGI Report no 20210737-01-R: Tsunami hazard analysis in Greenland. Runup modelling of potential tsunamis from Kigarsima, 13. juni 2022.

GEUS Notat om vurdering og anbefaling af muligheder for monitoring og varsling af tsunami og fjeldskred ved Karrat 3, 2. juli 2022.

GEUS Notat om mulighederne for varsling af tsunami eller fjeldskred i Grønland, 28. juni 2021.

Svennevig, K., Keiding, M., 2020. En dansk nomenklatur for landskred. *Geologisk Tidsskrift* 19–30.

Svennevig, K., Dahl-Jensen, T., Keiding, M., Boncori, J.P.M., Larsen, T., Salehi, S., Solgaard, A.M., Voss, P.H., 2020. Evolution of events before and after the 17 June 2017 rock avalanche at Karrat Fjord, West Greenland – a multidisciplinary approach to detecting and locating unstable rock slopes in a remote Arctic area. *Earth Surface Dynamics*. 8, 1021–1038. <https://doi.org/https://doi.org/10.5194/esurf-8-1021-2020>.