

# GEUS Notat om risiko for et alvorligt fjeldskred fra lokaliteten Kigarsima i Uummannaqs fjordsystem

## Indledning

I projektet "Undersøgelse af risiko for alvorlige fjeldskred i Grønland" har området i Uummannaqs fjordsystem haft stort fokus, da mange af de ustabile fjeldpartier lokaliseret i det forudgående screeningprojekt ligger der. Ved en rutinemæssig analyse af InSAR-satellitdata forud for feltarbejdet i 2021 blev det observeret, at et område på en fjeldside i Kangerluarsuk fjorden (Figur 1) muligvis var i bevægelse.



Figur 1: Oversigtskort over Uummannaqs fjordsystem. Udover Kigarsima er de ustabile fjeldpartier ved Karrat markeret.

Lokaliteten bliver her kaldt "Kigarsima" efter et næs, der er den nærmeste navngivne lokalitet, og ligger 5 km mod syd. Lokaliteten blev besøgt på feltarbejdet i sommeren 2021, uden at GEUS' geologer umiddelbart blev alarmeret af det. Da skråfotos fra feltarbejdet blev sammenholdt med skråfotos fra 2015 og analyser fra nyprocesserede InSAR blev det dog klart, at der fra denne lokalitet er meget høj sandsynlighed for et fjeldskred, som vil kunne have alvorlige konsekvenser for nærtliggende beboede områder. Det er på denne baggrund, at GEUS informerede formanden for Beredskabskommissionen ved et møde 6. april 2022 og leverer dette GEUS Notat.

Nærværende notat er baseret på analyser af satellitdata (optiske og InSAR), skråfotos fra 2015 og 2021, samt feltobservationer fra feltbesøget i 2021. For at kunne vurdere konsekvensen af et potentielt fjeldskred fra Kigarsima er det nødvendigt med tsunamimodellering. GEUS har kontaktet Norges Geotekniske Institut (NGI), som også udførte tsunamimodellering for potentielle fjeldskred fra Karrat (GEUS Notat af 29. marts 2021). De prioriterer opgaven højt og forventer at have et resultat i slutningen af maj 2022. GEUS vil udarbejde et nyt notat med opskylskort, når resultaterne af tsunamimodelleringen foreligger.

## Sammendrag

På baggrund af de foreløbige undersøgelser af lokaliteten Kigarsima informerer GEUS hermed Beredskabskommissionen om, at GEUS vurderer, at der fra denne lokalitet er meget høj sandsynlighed for et fjeldskred, som vil kunne have alvorlige konsekvenser for nærtliggende bygder. Det ustabile fjeldparti på lokaliteten har haft en meget hurtig og accelererende udvikling igennem de seneste ca. 10 år. Strukturelle analyser viser, at det ustabile område ikke er selvstabiliserende, og det må antages, at bevægelsen vil fortsætte og eventuelt accelerere yderligere.

Den nuværende foreløbige vurdering – før resultaterne af en tsunamimodellering haves – er, at især bygderne Niaqornat, Qaarsut og Ukkusissat kan være udsatte. GEUS vurderer, at der er betydeligt større sandsynlighed for et fjeldskred fra Kigarsima end fra Karrat 3. Til gengæld viser foreløbige estimer over opskylshøjde, at et potentielt fjeldskred fra Kigarsima vil have en lavere samlet konsekvens end en tsunami fra Karrat 3.

## Lokaliteten Kigarsima

### Baggrund

Området ligger 45 km syd for fjeldskredet den 17. juni 2017 ved Karrat, og geologien i de to områder er den samme. Området er en del af den geologiske Karrat Gruppe, der består af metamorfoserede sedimenter, som overligger og er foldet med Arkæisk gnejs. Lokalt består bjergsiden ved det ustabile område af schist bestående af metamorfoseret muddersten og vulkanitter, der overligger Arkæisk gnejs (grundfjeld).

Det ustabile område i bevægelse er 1250 m langt og 750 m bredt (Figur 2). Det er afgrænset opadtil af en 10–20 m høj bagvæg i 650 m højde. Neden for det store ustabile område, nær kysten, ses i billederne fra 2021 et lille stabilt område på 250x250 m, som er afgrænset af brede

sprækker langs hele dets omrids. Disse sprækker ses ikke på billederne fra 2015. Det vurderes, at dette område ikke er strukturelt forbundet med det større ustabile område, og det anses for at være for lille til alene at kunne forårsage en ødelæggende tsunami. Skred fra det lille ustabile område kan dog potentielt være med til at destabilisere det store ustabile område ovenfor. Et fjeldskred fra det store ustabile område vil ligeledes kunne rive det lille område med. Det må desuden forventes, at der efter et fremtidigt fjeldskred fra det store område stadig vil være meget høj sandsynlighed for nye fjeldskred fra lokaliteten.



*Figur 2: Kigarsima lokaliteten. Den stiplede linje viser omfanget af det store ustabile område kortlagt ud fra InSAR. Pilene angiver det lille ustabile område med tydelige sprækker langs hele dets omrids. Bemærk, at der også på den modsatte side af kløften, sydvest for Kigarsima, er et mindre område i bevægelse, som dog vurderes at have et volumen, der er for lille til at kunne forårsage en ødelæggende tsunami.*

#### Det ustabile områdes udvikling

Under feltbesøget i sommeren 2021 blev der observeret tegn på nylige bevægelser ved bagvæggen, omend strukturerne ikke var af en størrelse, som var umiddelbart alarmerende (Figur 3). En sammenligning af skråfotos fra feltarbejdet med arkivfotos fra 2015, viser dog, at der er sket en betydelig skredudvikling i årene imellem 2015 og 2021 (Figur 4).

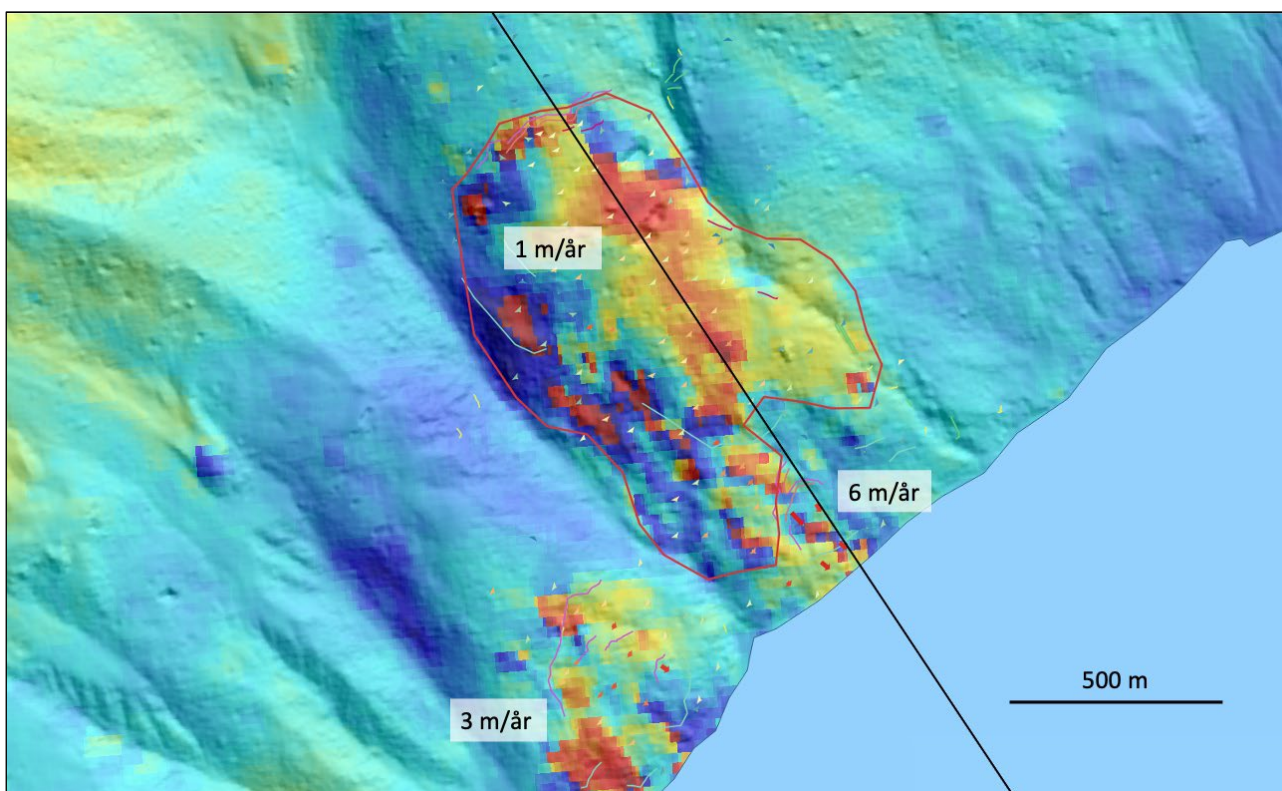


Figur 3: Feltfoto ved bagvæggen i august 2021. Tydelige friske sprækker ses langs bunden af bagvæggen hvor personen står. Billedet er taget i 650 m højde kiggende mod sydvest mod munden af fjorden.



Figur 4: Skråfotos fra 2015 og 2021, der viser Kigarsimas udvikling over de seks år. Billedet fra 2015 er taget i forbindelse med den geologiske kortlægning af området. De sorte pile viser, hvor bagvæggen er under udvikling, i 2015 som et system af mindre sprækker og i 2021 som en sammenhængende bagvæg. Det lille område med betydelig skredudvikling er vist med en sort ellipse på 2021-billedet.

På billederne fra 2015 er bagvæggen et system af mindre, op til 5 meter høje usammenhængende sprækker, der ikke er vokset sammen endnu, mens billederne fra 2021 viser en veludviklet, op til 20 m høj bagvæg, som kan følges langs hele toppen af det ustabile område. InSAR-data fra 2017–2021 viser, at det ustabile område har udvidet sig til begge sider i løbet af perioden. Der er målt gennemsnitshastigheder på ca. 1 meter/år i det store område over en seksårig periode, men lokalt ses der også højere hastigheder (Figur 5). I det lille område nedenfor måles bevægelser på helt op til ca. 6 meter/år. Det, at der var så få skredstrukturer at se i 2015, og at der sker en hurtig skredudvikling i området, tyder på, at bevægelsen i området ikke er ældre end ca. 10 år.

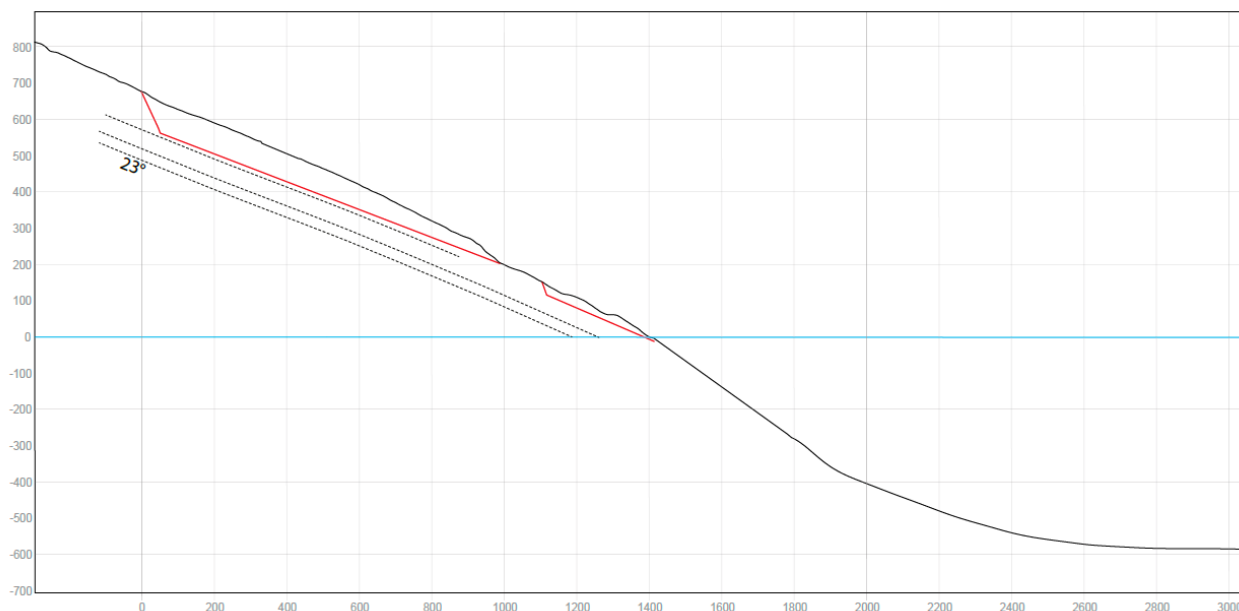


Figur 5: Detaljekort fra Kigarsima. Skyggelagt InSAR interferogram der viser områder med terrænbevægelse fra 20. juni – 26. juli 2021. Årlige gennemsnitshastigheder målt ved hjælp af InSAR og bevægelsesvektorer i skråfotos fra 2015 og 2021 er angivet på figuren med pilene. Derudover er kortlagte strukturer indtegnet med polylinjer. Det røde omrids viser omfanget af det store ustabile område som bevæger sig i gennemsnit ca. 1 m/år. Derudover er der bevægelse på ca. 6 m/år i det lille område nedenfor, samt ca. 3 m/år i et mindre, kystnært område på den modsatte side af kløften fra Kigarsima. Profilet i Figur 6 er langs med den sorte linje.

### 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 område bevæger sig langs en plan lagflade og kan klassificeres som et såkaldt translationskred (Figur 6) (Svennevig & Keiding 2020). Translationskred er ikke selvstabiliserende, og det må antages, at bevægelsen fremover vil fortsætte og eventuelt

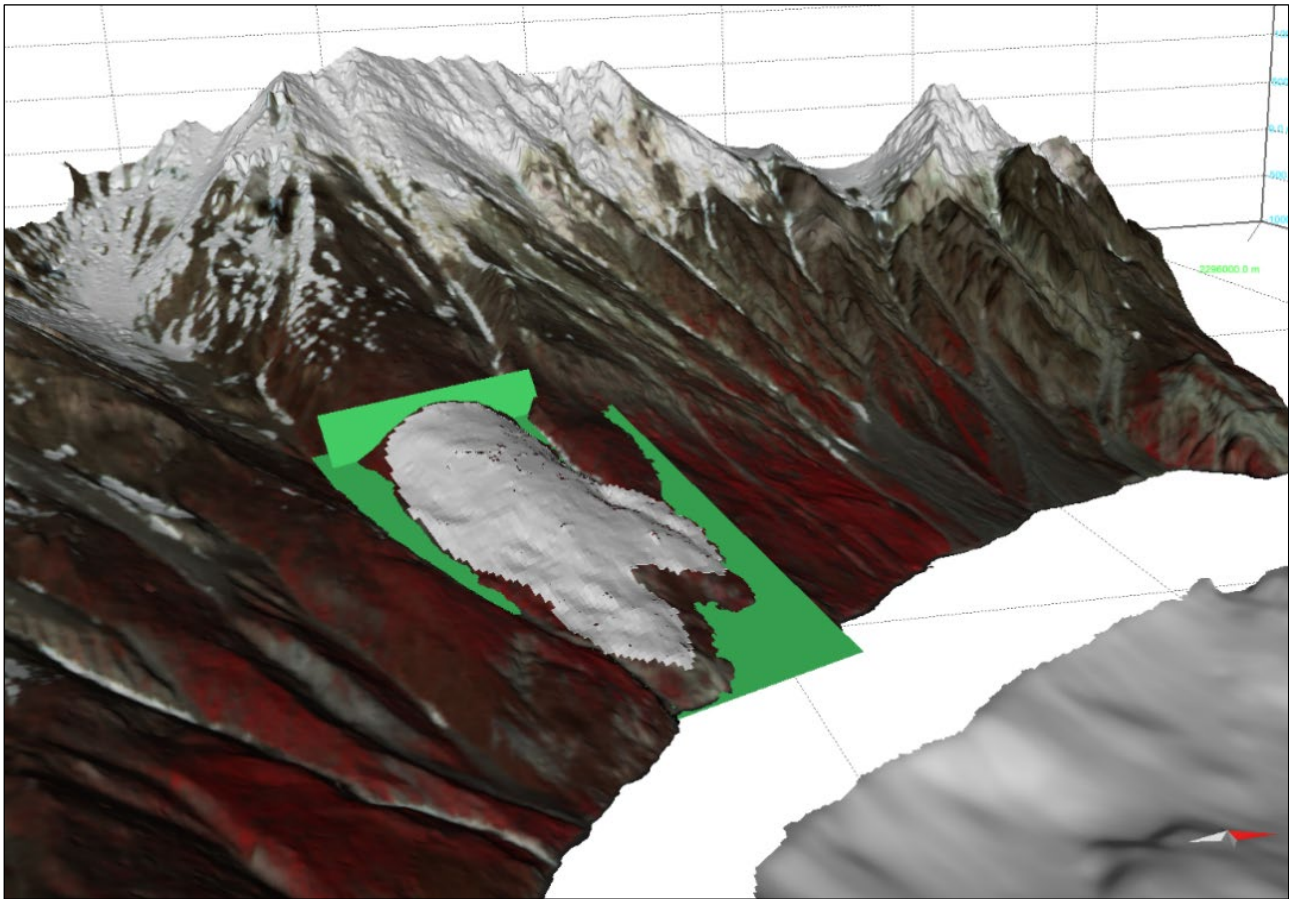
accelerere. Dette er den samme skredmodel som for fjeldskredet ved Karrat den 17. juni 2017 (Svennevig *et al.*, 2020). Det ustabile område er betinget af geologien og de strukturelle faktorer. Permafrostdegradering som følge af klimaforandringer kan være en dynamisk betingende faktor for bevægelsen der kan forklare, hvorfor bevægelsen er begyndt inden for de seneste år. Yderligere undersøgelser af permafrostens tilstand på skråningen er dog nødvendige for at kunne vurdere dette.



Figur 6: Geologisk tværsnit igennem Kigarsima. De stiplede linjer angiver bjergsidenes lagdeling, der hælder mod kysten. De røde linjer viser den tolkede brudflade for det store ustabile område i den øverste del af profilet og et lille område med hurtig bevægelse nær kysten. Den blå vandrette linje er havniveau.

## Volumen

Volumenet af det store ustabile område er beregnet til ca. 28 millioner m<sup>3</sup>. Dette er baseret på bagvæggens udbredelse og en modelleret brudflade, der hælder 23° i skråningens retning mod fjorden (Figur 7). Idet strukturerne endnu ikke er meget udviklede, og vi ikke kender brudfladens nøjagtige hældning, er der dog en vis usikkerhed på volumenestimatet. Volumenet af Kigarsima på ca. 28 millioner m<sup>3</sup> er større end både Karrat 1 og 2 på henholdsvis 13 millioner m<sup>3</sup> og 11 millioner m<sup>3</sup>, men betydeligt mindre end volumen af Karrat 3 på ca. 524 millioner m<sup>3</sup>. Det mindre område, der ligger tættere på havet, har et modelleret volumen på ca. 0,6 millioner m<sup>3</sup>.



*Figur 7: Volumenmodellering. De grønne flader er hhv. bagvæggen og den basale brudflade. Bagvæggen er modelleret ud fra, hvordan strukturen skærer terrænet samt sprækkesystemer kortlagt på skråningen nordøst for området. Den basale brudflade er modelleret ud fra laghældningen observeret på skråningen samt InSAR anomaliens udbredelse på skråningen. Det grå legeme er det modellerede volumen. Det er yderligere afgrænset af InSAR anomaliens udbredelse.*

#### Estimat af opskylshøjde

Et foreløbigt estimat af opskylshøjden fra en potentiel tsunami genereret af et 28 millioner m<sup>3</sup> fjeldskred fra Kigarsima er beregnet ved hjælp af den empiriske SPLASH-formel (Oppikofer *et al.*, 2018). Formlen beregner en simpel opskylshøjde ud fra volumen af skredmasserne, afstand ad vandvejen og afbøjning af tsunamibølgen rundt om forhindringer. Resultaterne af beregningerne er vist i Tabel 1. Heraf ses det, at især Niaqornat, Qaarsut og Ukkusissat vil være udsatte. Det understreges, at opskylshøjderne fra Kigarsima i Tabel 1 kun er et foreløbigt estimat, og at det er nødvendigt med en mere præcis modellering af opskylshøjde i de berørte bygder. Resultaterne indikerer dog, at et fjeldskred fra Kigarsima ikke vil generere højere opskyl i de beboede områder end de som er modelleret for Karrat 3.

Tabel 1: Estimeret opskylshøjde forårsaget af et potentielt fjeldskred på 28 millioner m<sup>3</sup> ved Kigarsima ifølge SPLASH formelen (Oppikofer *et al.*, 2018). Til sammenligning er der også angivet opskylshøjder forårsaget ved potentielle fjeldskred fra Karrat 1, 2 og 3 ifølge tsunamimodellering af NGI.

	Kigarsima (28 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )		Karrat 1 (13 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Karrat 2 (11 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Karrat 3 (524 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
	Afstand (km)	Opskylshøjde (m)	Opskylshøjde (m)	Opskylshøjde (m)	Opskylshøjde (m)
Illorsuit	63	2,5	3,7 m	3,9 m	20 – 43 m
Qaarssut	58	6	-	-	11 – 23 m
Niaqornat	73	5	-	-	11 – 17 m
Uummannaq	72	2,5	-	-	6 – 14 m
Sattut	70	3,5	-	-	5 – 10,5 m
Ukkusissat	29	7	-	-	5,5 – 7,5 m
Ikerasak	110	1,5	-	-	4,5 – 11 m

## Risikovurdering

På baggrund af den nylige og hurtige skredudvikling og de observerede strukturelle betingende faktorer for ustabiliteten vurderer GEUS, at der er meget høj sandsynlighed for et fjeldskred fra Kigarsima. GEUS vurderer, at der er betydeligt større sandsynlighed for et fjeldskred fra Kigarsima end fra Karrat 3. Til gengæld viser foreløbige estimater over opskylshøjde, at et potentielt fjeldskred fra Kigarsima vil have en lavere samlet konsekvens end en tsunami fra Karrat 3.

## Referencer

GEUS Notat om risiko for fjeldskred og tsunamibølger i Uummannaqs fjordsystem – status for faglig viden marts 2021, 29. marts 2021.

Oppikofer, T., Hermanns, R. L., Roberts, N. J., Böhme, M., 2018. SPLASH: semi-empirical prediction of landslide-generated displacement wave run-up heights. In: Lintern *et al.* (eds.): Subaqueous Mass Movements. Geological Society, London, Special Publications, 477. <https://doi.org/https://doi.org/10.1144/SP477.1>

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>.