

GEUS Notat om risiko for fjeldskred og tsunamibølger i Vaigat

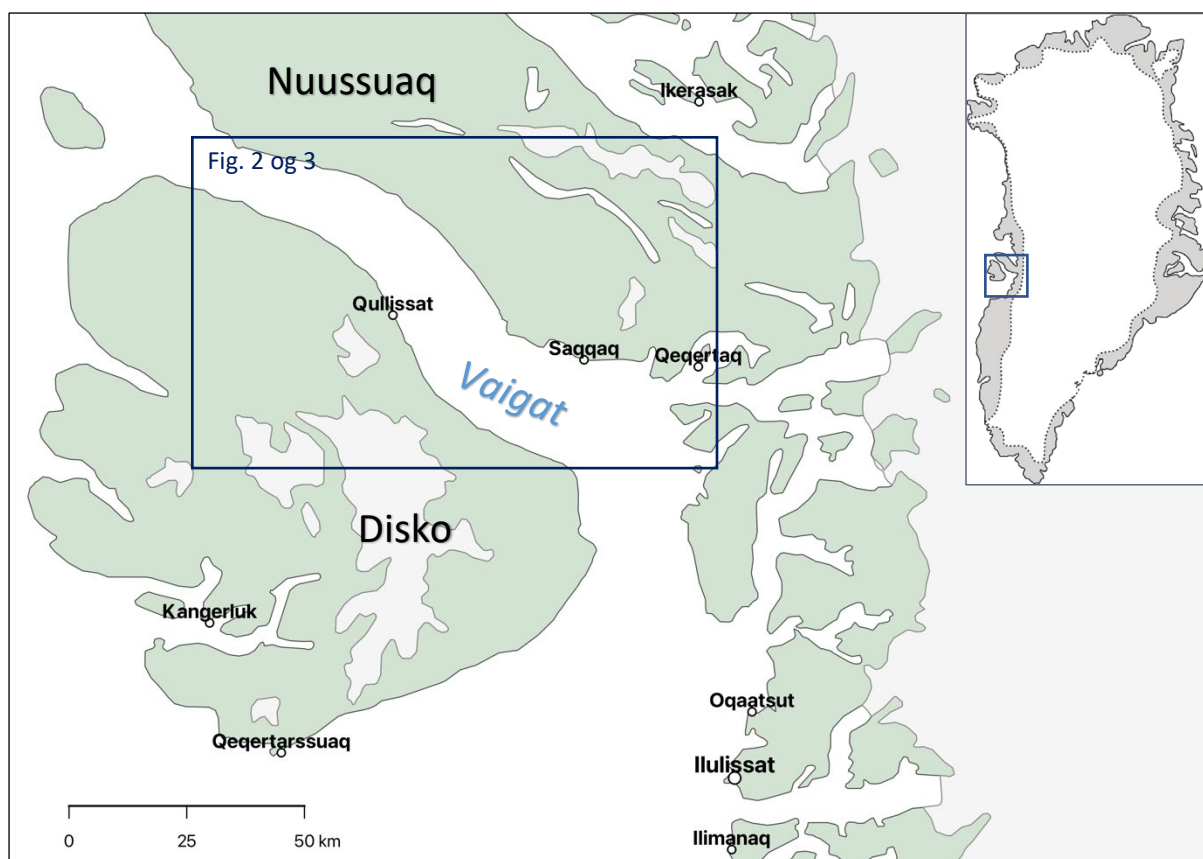
Indholdsfortegnelse

Indledning	2
Sammendrag	3
Forhistoriske megafjeldskred.....	4
Historiske fjeldskred	5
Tsunamimodellering af historiske tsunamier	8
Metode.....	8
Resultater	8
Nuværende ustabile områder i Vaigat.....	9
Sydkysten af Nuussuaq	9
Nordkysten af Disko	13
Vurdering og modellering af potentielle fjeldskred og tsunamier	16
Konklusioner og anbefalinger	16
Referencer.....	18

Indledning

Nærværende notat beskriver ustabile områder, tidligere fjeldskred samt resultater af tsunamimodellering af historiske fjeldskred og et potentielt skredscenarie i Vaigat strædet (Figur 1). Tsunamimodelleringerne er udført af Norges Geotekniske Institut (NGI Rapport af 2. september 2022). Notatet er en del af projektet "Undersøgelse af risiko for alvorlige fjeldskred i Grønland".

Efter et stort fjeldskred ved Paatuut i år 2000 blev sydkysten af Nuussuaq udpeget som en kyststrækning med stor sandsynlighed for fremtidige fjeldskred (Pedersen et al., 2002; Dahl-Jensen et al., 2004). Undersøgelserne i nærværende fjeldskredsprojekt har bekræftet denne vurdering. Langs både sydkysten af Nuussuaq og nordkysten af Disko er der mange tegn på dels tidligere fjeldskredskredsaktivitet og dels nuværende ustabilitet. Nedenfor beskrives først forhistoriske megafjeldskred i Vaigat, dernæst historiske fjeldskred og tsunamimodelleringen af disse, og til sidst de nuværende ustabile områder i Vaigat.



Figur 1: Oversigtskort over Vaigat.

Sammendrag

Kystskråningerne i Vaigat strædet i det centrale Vestgrønland er præget af betydelig fjeldskredsaktivitet. Dette gælder både i forhistorisk (tusinder af år siden) samt i historisk tid (de sidste 100 år). Der vil højst sandsynligt også i fremtiden ske fjeldskred i Vaigat.

Grønlands mest skredaktive kyststrækninger findes i dag her. Både sydkysten af Nuussuaq og nordkysten af Disko har adskillige aktive områder, herunder mange ustabile skråninger i talus og colluvium. Langs en strækning på bare 20 km af Nuussuaqs sydkyst er der inden for de seneste ca. 100 år sket ikke mindre end fem fjeldskred, hvoraf de tre har genereret en tsunami i Vaigat. Det er også her størstedelen af de nuværende ustabile skråninger findes.

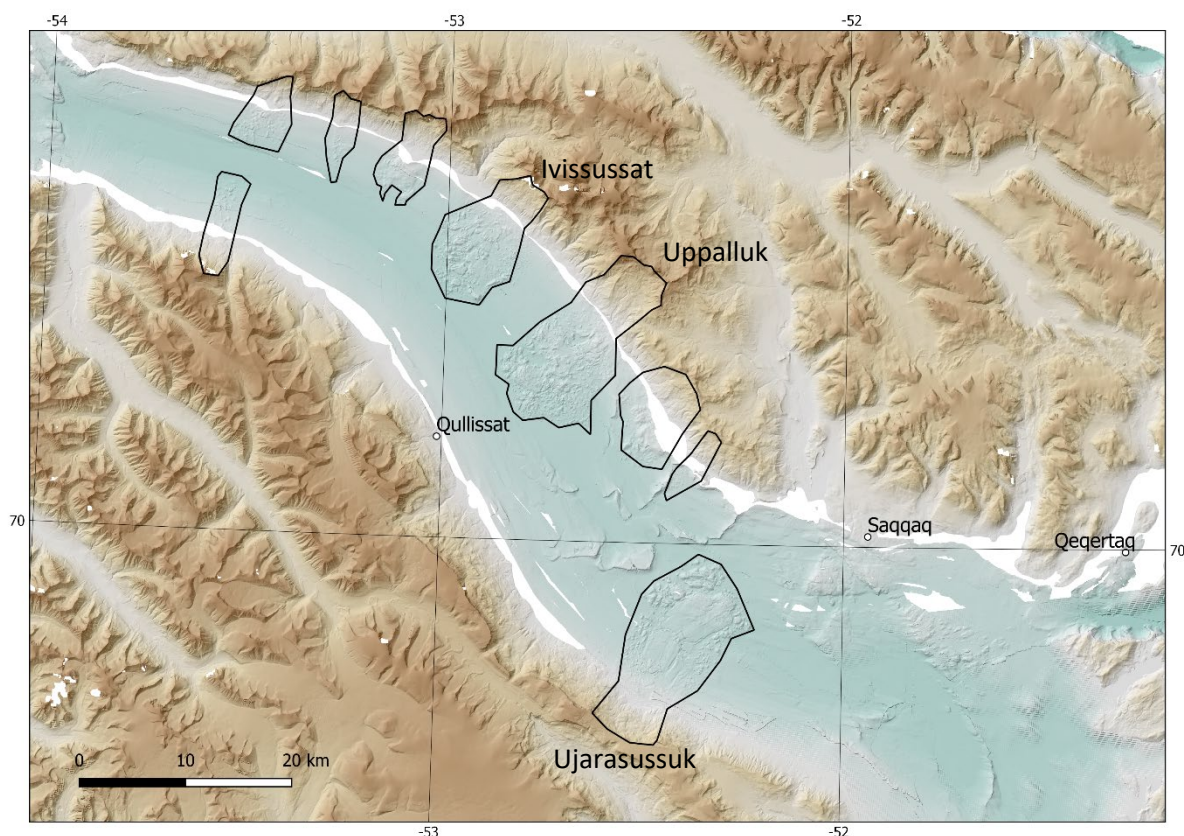
Den største tsunami i Vaigat i historisk tid blev genereret af fjeldskreddet ved Paatuut i november 2000 og ramte Qullissat og Saqqaq med opskyl på henholdsvis 12 m og 3 m. Ingen af de ustabile områder som er identificerede i dag, har en størrelse eller en geometri, som indikerer, at et potentielt fjeldskred vil generere en større tsunami end den i 2000, som ikke forårsagede nogen skade på land i Saqqaq.

Det understreges, at risikoen forbundet med fjeldskred i Vaigat vil kunne ændre sig i løbet af kort tid. Der er flere tegn på, at kystskråningerne i Vaigat befinder sig i et ustabil stadie pga. permafrostdegradering, og der er flere ustabile skråninger som potentielt kan accelerere eller udvide sig til at omfatte større områder.

GEUS anbefaler derfor, at der for alle kystskråninger i Vaigat udføres periodisk screening hvert 1–2 år vha. InSAR-data og optiske satellitbilleder for alle kystskråninger i Vaigat for at vurdere, om der er nye ustabile fjeldpartier under udvikling, samt for at monitorere udviklingen af allerede kendte ustabile skråninger eller skredområder. Screeningen bør sammenholdes med opsamlet viden om de geologiske processer og skredhistorikken i området. Hvis screeningen viser en øgning af faren fra specifikke lokaliteter, anbefales det, at der følges op med feltbesøg og yderligere undersøgelser for at bestemme mulige skredscenarier og deres risiko.

Forhistoriske megafjeldskred

På havbunden i Vaigat er der kortlagt ni meget store fjeldskredsafløjninger (Figur 2). På skråningerne ovenfor ses ar efter fjeldskreddene (Svennevig 2019), som i volumen langt overstiger volumen af de største ustabile fjeldpartier i Grønland i dag. De tre største fjeldskredsafløjninger kaldes Ujarasussuk (8 400 millioner m^3), Uppalluk (5 200 millioner m^3) og Ivissussat (1 700 millioner m^3). Igangværende undersøgelser ved GEUS tyder på, at megafjeldskredet på 8 400 km^3 ved Ujarasussuk kan være sket i én hændelse (Svennevig et al., in prep. 2022a). Disse fjeldskred har haft en størrelse som har kunne generere meget store tsunamier i Vaigat med over 100 m høje opskyl på kysten over for megaskreddene.



Figur 2: Forhistoriske megafjeldskredsafløjninger i Vaigat.

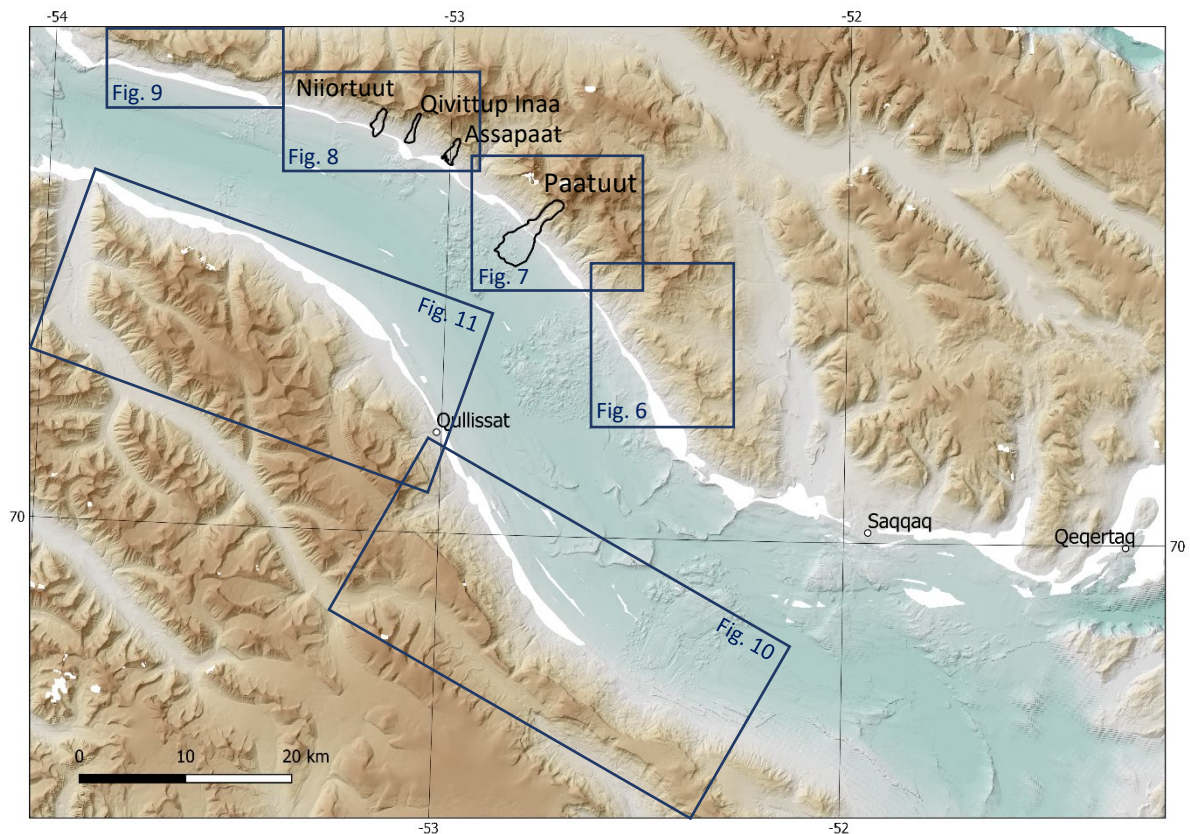
GEUS har undersøgt spor efter tidligere tsunamier ved hjælp af borer i søer nær Saqqaq (Korsgaard et al., in prep. 2022). De ældste sedimenter i bunden af søerne er 9 000 år gamle. I søkernerne blev der fundet mindst to tsunamifløjninger. Disse er dateret ved hjælp af C-14-metoden, som viser, at tsunamierne er sket for 7 200–7 600 år siden. Den højeste tsunami har haft en ekstrem opskylshøjde på mindst 40–45 m ved Saqqaq. Ifølge den empiriske SPLASH-formel, som beregner opskylshøjde som funktion af fjeldskredsvolumen og afstand (Oppikofer et al., 2018), vil det kræve et fjeldskred midt i Vaigat på minimum 400 til 500 millioner m^3 for at generere en tsunami af den størrelse. Der er ikke fundet tegn på tsunamier som er yngre end 7 200 år. Det kan derfor konkluderes, at de ni megafjeldskred i Vaigat er sket for mere end 7 200 år siden, men efter deglaciationen af Vaigat, som skete for 10 000–11 000 år siden (Weidick og Bennike, 2007). Det kan tænkes, at der har været flere

end de to meget store tsunamier, som er dateret i søkerne, men disse må i så fald være sket for mere end 9 000 år siden, hvor de ældste sedimenter i søerne blev aflejret.

Det er bemærkelsesværdigt, at der ikke er fundet spor af kæmpetsunamier yngre end 7 200 år. Det taler imod, at der skulle kunne ske megafjedskred i Vaigat under de nuværende geologiske og klimatiske forhold.

Historiske fjeldskred

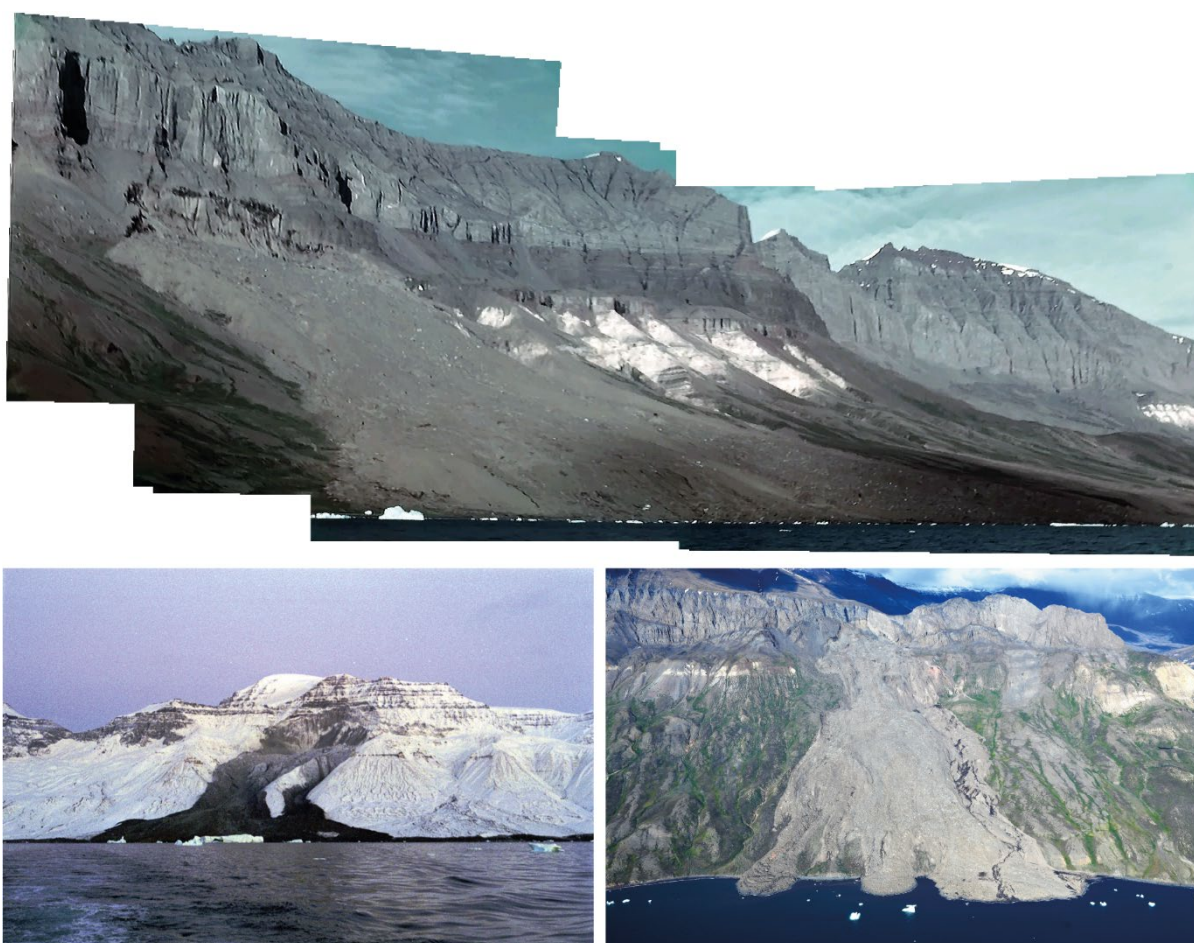
Langs en strækning på bare 20 km af Nuussuaqs sydkyst er der inden for de seneste ca. 100 år sket ikke mindre end fem fjeldskred (Figur 3 og 4). Tre af disse er beskrevet for første gang i forbindelse med fjeldskredsprojektet. Fjeldskreddene er sket i henholdsvis den tidlige del af 1900-tallet, formentlig 1920'erne (Qivittup Inaa), 1952 (Niortuut), 1996 (Paatuut), 2000 (Paatuut) og 2021 (Assapaat) og er sammenfattet i Tabel 1. Fjeldskreddene ved Paatuut i 1996 og Qivittup Inaa er ikke tidligere beskrevet. Fjeldskreddet ved Assapaat i 2021 er beskrevet af Svennevig et al. (2022).



Figur 3: Historiske fjeldskred i Vaigat samt omrids af Figur 6–11.

Tabel 1: Historiske fjeldskred i Vaigat

Navn	Dato	Koordinater	Kilde- område (m højde)	Materiale	Volumen totalt (mio. m ³)	Volumen i Vaigat (mio. m ³)	Tsunami
Qivittup Inaa	Formentlig 1920'erne	(70°21'00"N, 53°04'40"V)	600–900	Talus	4	0	Nej
Niortuut	15.12.1952	(70°21'15"N, 53°10'20"V)	500–700	Talus	7	1,8	Qullissat 2–2,5 m
Paatuut 1996	Sen maj- tidlig juni 1996	(70°16'50"N, 52°43'40"V)	700–1000	Talus	ca. 50	ca. 30	Qullissat ca. 2 m
Paatuut 2000	21.11.2000	(70°16'50"N, 52°43'40"V)	700–1400	Talus og vulkanske bjergarter	ca. 50	ca. 45	Qullissat 12 m Saqqaq 3 m
Assapaat	13.06.2021	(70°19'55"N, 52°59'00"V)	700–900	Talus	20	4	Nej



Figur 4: Foto af tre af de historiske fjeldskred i Vaigat, optaget kort efter de er sket. Øverst: fotomosaik af Niortuut fjeldskredet i 1952 lavet ud fra en smalfilm optaget i 1953, et halvt år efter fjeldskredet skete. Nederst til venstre: Paatuut fjeldskredet i 2000. Billedet taget af Christoffer Schander et par dage efter fjeldskredet skete i november 2000. Der findes ikke feltbilleder af 1996 Paatuut fjeldskredet. Nederst til højre: Assapaat fjeldskredet der skete i juni 2021. Billedet er taget af GEUS en måned efter fjeldskredet skete.

Tre af de historiske fjeldskred har genereret tsunamier: Niiortuut fjeldskredet i 1952 skabte en tsunami på 2–2,5 m i Qullissat og tog livet af en fisker som befandt sig på Nuussuaqs sydkyst ca. 10 km sydøst for fjeldskredet. Paatuut 1996 fjeldskredet skabte en tsunami på ca. 2 m i Qullissat og kraftige bølger i Saqqaq, mens Paatuut 2000 fjeldskredet skabte en ødelæggende tsunami på 12 m i Qullissat og op til 3 m i Saqqaq. På tidspunktet for tsunamien i 2000 var Qullissat ubeboet. Store dele af bygden blev ødelagt (Figur 5), men der var ingen tab af menneskeliv. Tsunamien på 3 m i Saqqaq ødelagde nogle både i havnen, men forårsagede ingen skade på land, selvom den nåede fundamentet på flere bygninger.



Figur 5: Foto fra Qullissat taget dagen efter tsunamien i 2000. Kystlinjen er lige udenfor bunden af billedet. På grund af sneen i billedet ses det tydeligt, hvilken del af bygden som blev overskyldet af tsunamien. Opskyldet nåede maksimalt 12 m højde. De nederste huse blev totalt ødelagte, mens det grønne hus, som står netop på opskylslinjen, kun har mindre skader. Foto fra Politiet i Ilulissat.

Tsunamien fra Paatuut 2000 fjeldskredet var usædvanligt stor (12 m i Qullissat) i forhold til den i 1996 (2 m i Qullissat). En genanalyse af volumenerne fra fjeldskreddene fra Paatuut i 1996 og 2000 viser, at de begge initialt var på ca. 50 millioner m³. Begge blev udløst fra omtrent samme kildeområde og blev fokuseret gennem en kløft ud mod Vaigat, hvilket øgede begge fjeldskreds potentiale for at generere en tsunami. Fjeldskredet i 2000 blev udløst fra en større højde (op til 1400 m) end det i 1996 (op til 1100 m), men det alene synes ikke at kunne forklare forskellen mellem størrelserne på de to tsunamier.

Fjeldskredet fra Niiortuut i 1952 havde et relativt lille volumen på bare 6 millioner m³, hvoraf ca. 2 millioner m³ nåede ud i Vaigat. Fjeldskredsaflejringeren i Vaigat er kortlagt i batymetrien, som viser, at der skete en tydelig fokusering af fjeldskredet ned gennem en kløft, hvilket har øget dets potentiale for at generere en tsunami. Til sammenligning blev der

ikke genereret nogen tsunami fra Assapaat fjeldskredet i 2021, selv om 4 millioner m³ antages at have nået Vaigat. Årsagen til dette er sandsynligvis, at Assapaat fjeldskredet spredte sig ud over skråningen og ramte Vaigat i tre separate skredløber, samt at hastigheden af fjeldskredet aftog i den nedre del af skråningen (Svennevig et al., 2022).

Baseret på analyser af ældre billedmateriale og skråningernes nutidige morfologi er der ikke fundet tegn på andre historiske fjeldskred langs sydkysten af Nuussuaq. For 100 år siden var der altså ingen tegn på nylige fjeldskred i Vaigat. Dette indikerer en bemærkelsesværdig acceleration i hyppigheden af fjeldskred inden for de seneste 100 år. GEUS vurderer, at dette skyldes, at permafrosten befinder sig i en ustabil tilstand som følge af klimaforandringerne langs de sydvendte skråninger på Nuussuaqs sydkyst (Svennevig et al., 2022, Svennevig et al. in prep. 2022b). GEUS vurderer yderligere, at opvarmningen af permafrosten må antages at accelerere i takt med klimaforandringerne, og at man derfor i fremtiden kan forvente øget fjeldskredsaktivitet generelt i Grønland og navnlig i Vaigat (GEUS Notat af 4. oktober 2022e).

Tsunamimodellering af historiske tsunamier

Norges Geotekniske Institut (NGI) har modelleret de tre historiske tsunamier i Vaigat baseret på data sammenstillet af GEUS. Formålet med tsunamimodelleringerne af historiske tsunamier var at øge forståelsen af de involverede processer for at kunne bruge denne viden i vurderingen af potentielle fremtidige fjeldskred og tsunamier i Vaigat.

Metode

Tsunamimodelleringen er udført i fire trin: 1) numerisk modellering af fjeldskreddets dynamik, 2) modellering af den tsunami som skabes, når fjeldskredet rammer vandet, 3) numerisk modellering af tsunamienes udbredelse i Vaigat og 4) modellering af opskylshøjde i Qullissat, Saqqaq og Qeqertaq samt andre kyststrækninger med kortlagt opskyl. Detaljerne i de anvendte modelparametre er beskrevet i NGI Rapport af 2. september 2022.

Datagrundlaget for tsunamimodelleringen udført af NGI har været: a) batymetriske data for Vaigat (kompileret af GEUS), b) detaljerede topografiske kort af Saqqaq og Qeqertaq (fra Asiaq), c) volumen og konfiguration af Paatuut og Niortuut fjeldskreddene (kvantificeret af GEUS) og d) observationer af opskyl fra tidligere tsunamier i Vaigat (kompileret af GEUS).

Modellernes inputparametre er desuden sammenholdt med data, som GEUS har indsamlet for tidligere grønlandske fjeldskred vedr. forholdet mellem faldhøjde og udløbslængde. Faldhøjden og udløbslængden er henholdsvis den vertikale og den horisontelle distance, som et fjeldskred bevæger sig. Forholdet mellem faldhøjde og udløbslængde er beskrevet ved hjælp af friktionsvinklen, som er en vigtig parameter i modelleringen af fjeldskreddets dynamik: jo lavere friktionsvinklen er, des højere hastighed får fjeldskredet og des større bliver tsunamien.

Resultater

En af de vigtigste formål med tsunamimodelleringen af de historiske fjeldskred var at kaste lys over, hvorfor de stort set ens volumener i Paatuut 1996 og 2000 fjeldskreddene kunne generere så forskellige størrelser på tsunamierne. En del af forskellen kan forklares med den større faldhøjde af Paatuut 2000 fjeldskredet, men tsunamimodelleringerne viser, at det

ikke kan forklare hele forskellen. Der er derimod muligt at reproducere de observerede opskyl i Qullissat, Saqqaq og Qeqertaq fra Paatuut 2000 ved at give fjeldskredet en lav friktionsvinkel på 5° og en høj volumenfaktor på 1,5 (sidstnævnte er et mål for hvor meget volumen af fjeldskredet øges undervejs pga. fragmenteringen af materialet samt inkorporering af ekstra materiale fra skråningen). Til sammenligning kan de observerede opskyl fra Paatuut 1996 reproduceres ved at give fjeldskredet en friktionsvinkel på 10° og en standard volumenfaktor på 1,25 (Hung and Evans, 2004). Tsunamimodelleringerne indikerer således, at forskellen mellem de to tsunamier, udover forskellen i faldhøjde, kan forklares med en usædvanligt lav friktion samt tilførsel af ekstra materiale i Paatuut 2000 fjeldskredet.

GEUS og NGI vurderer, at friktionen på Paatuut skråningen i 2000 har været lav, fordi den nedre del af skråningen var dækket af den endnu vandmættede fjeldskredsafløjring fra 1996. Denne har virket som smøremiddel og har haft en accelererende virkning på det efterfølgende fjeldskred i 2000. Derudover vil den endnu umodne fjeldskredsafløjring fra 1996 have været let at mobilisere og inkorporere i 2000 fjeldskredet, hvilket sandsynligvis vil have haft en yderligere accelererende virkning samt øget det samlede volumen af materialet som nåede Vaigat. Dette indikerer, at tsunamien kun blev så stor i 2000, fordi fjeldskredet skete samme sted som og få år efter fjeldskredet i 1996.

Tsunamimodelleringen af Niiortuut giver et mere usikkert resultat. Udløbsmodelleringen kan ikke helt reproducere den observerede fokusering af fjeldskredet gennem kløften på skråningen. Tsunamimodelleringen giver for lavt opskyl i Qullissat, både med friktionsvinkel på 5° og 10°, og kan kun fås til at passe nogenlunde, hvis man antager, at der var maksimalt højvande på tidspunktet for fjeldskredet. Ifølge historiske kilder var det dog tæt på ebbe, da skredet skete, hvilket betyder, at havniveauet sandsynligvis var ca. -1 m under middelvandstand (Svennevig et al., in prep. 2022b). På grund af den større usikkerhed i modelleringen af Niiortuut er det vanskeligt at vide, om de estimerede skredparametre for dette fjeldskred er en realistisk gengivelse af de faktiske forhold.

Nuværende ustabile områder i Vaigat

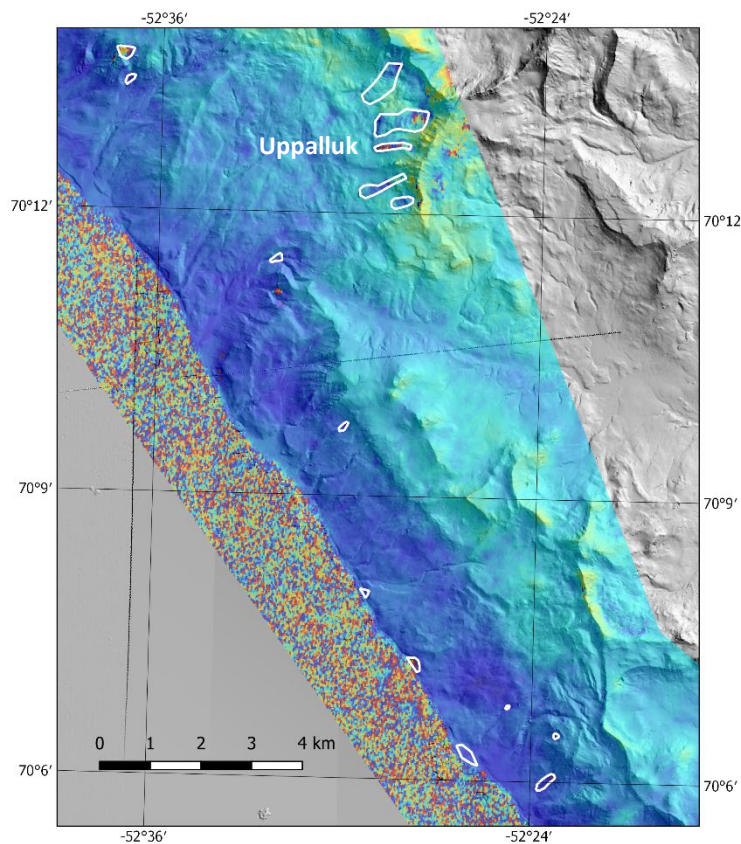
Grønlands mest aktive kyststrækninger findes i dag på begge sider af Vaigat, langs sydkysten af Nuussuaqs og nordkysten af Disko. Begge kyststrækninger har adskillige ustabile områder i bevægelse, kortlagt vha. InSAR-data og beskrevet nedenfor. De aktive områder er enten ustabile skråninger i talus og colluvium eller blokgletsjere (sidstnævnte er gletsjertilignende afløjninger af isholdigt materiale, der glider ned over skråningen).

Sydkysten af Nuussuaq

Sydkysten af Nuussuaq er kendetegnet ved relativt stejle skråninger. Neden for stejlvæggene bestående af vulkanske bjergarter som hyaloklastitter og basalter er der skråninger med afløjninger af talus og colluvium, som hælder op til 30°–32° mod kysten. Der ses adskillige steder bevægelse i talus eller colluvium samt i et antal blokgletsjere.

I den østlige del af Nuussuaqs sydkyst (Figur 6) er der flere ganske små områder med bevægelse, som vurderes at være for små til at udgøre nogen risiko. Fra den øvre del af

kildeområdet for megaskredet Uppalluk i 1100 m højde er der fem blokgløtsjere, som viser tydelig bevægelse (se Figur 6).

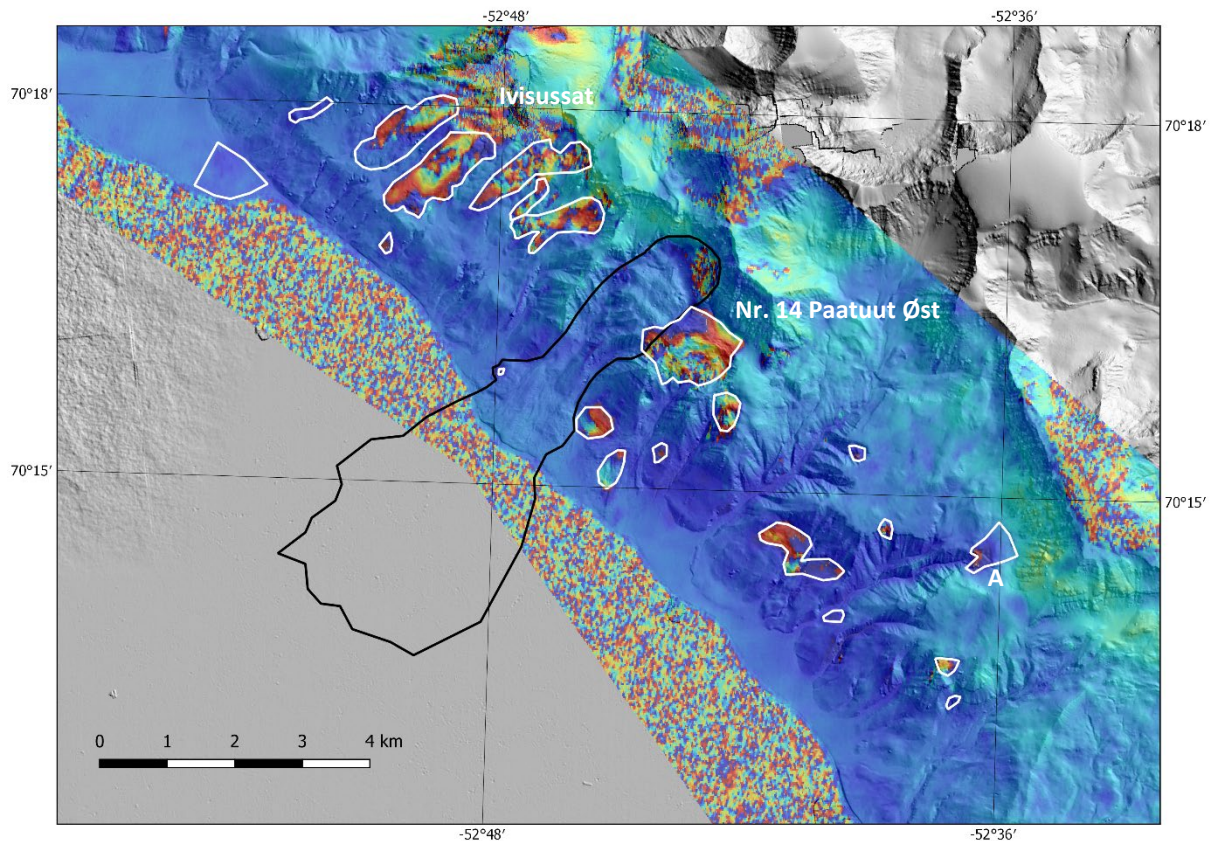


Figur 6: Udsnit af interferogram fra 24. – 30. august 2020 (sydgående sport 25) for den østlige del af Nuussuaqs sydkyst. Områder med bevægelse i InSAR er markeret med hvide omrids. Interferogrammet er plottet oven på en hillshade af ArcticDEM.

Øst for Paatuut er der et større område med bevægelse i en talusskråning i 850–950 m højde (markeret A i Figur 7), samt flere aktive områder på lavere højde.

På Fjeldskredsprojektets lokalitet nr. 14 Paatuut Øst er der et stort volumen (op til 55 millioner m³) af løse sedimenter, som er i hurtig bevægelse. Bevægelsen i Paatuut Øst begyndte i midten af 1970'erne, og området er i dag kendetegnet ved et opbrudt og kaotisk udseende og jævnlig aktivitet af småskred. Det vurderes, at sedimentpakken vil kunne kollapse i et fjeldskred, hvorfor det anbefales, at lokaliteten monitoreres periodisk ved hjælp af satellitdata (især optiske) hvert 1–2 år (se Faktablad nr. 14).

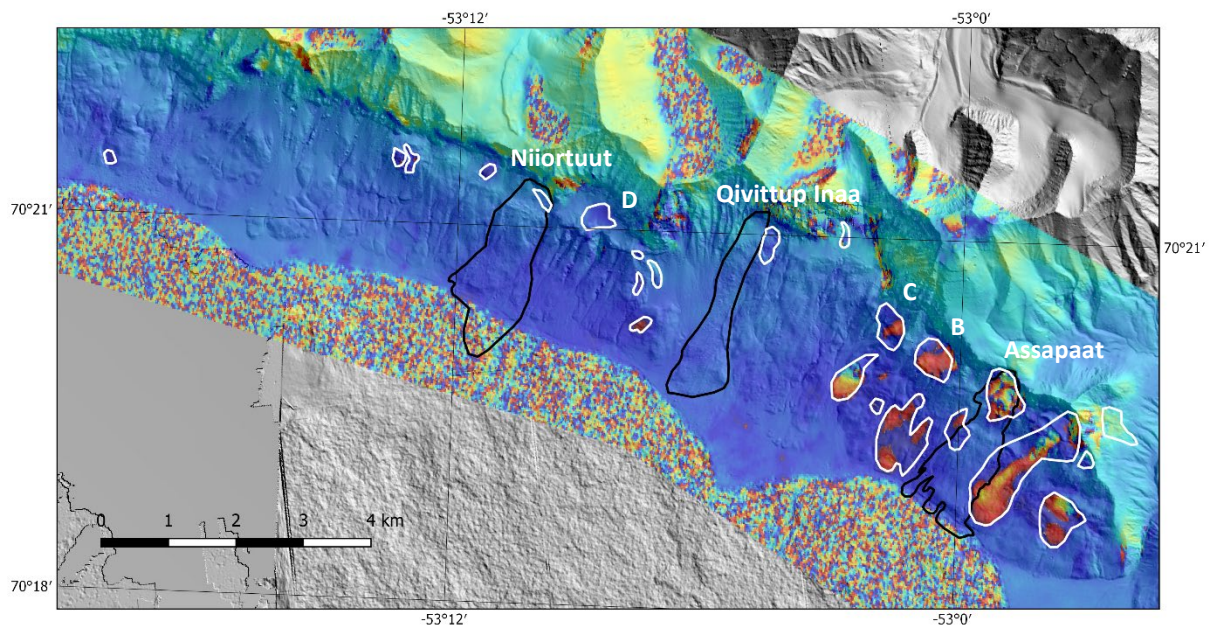
Omkring Paatuut Øst er der flere mindre områder i bevægelse. Neden for fjeldtoppen Ivisussat vest for Paatuut er der fire store blokgløtsjere på op til 2 km længde.



Figur 7: Udsnit af interferogram fra 24. – 30. august 2020 (sydgående sport 25) for området omkring Paatuut i den centrale del af Nuussuaqs sydkyst. Områder med bevægelse i InSAR er markeret med hvide omrids. Paatuut fjeldskredet i 2000 er markeret med sort omrids.

På skråningen omkring Assapaat er der flere blokgletsjere og talusskråninger i bevægelse (Figur 8). Et kollaps af en af disse talusskråninger ledte til Assapaat fjeldskredet den 13. juni 2021 (Svennevig et al., 2022). Umiddelbart vest for kildeområdet for Assapaat fjeldskredet er der to ustabile talusskråninger i ca. 800 m højde (markeret B og C i Figur 8), som vurderes at ville kunne kollapse i fjeldskred.

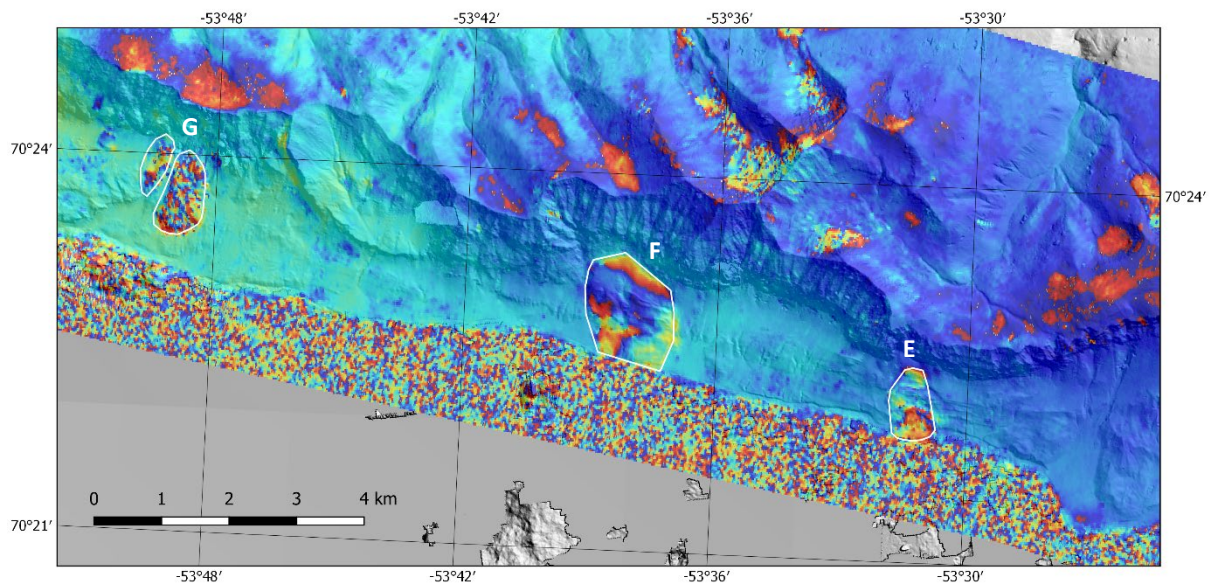
Vest herfor findes aflejringerne af de ældre fjeldskred Qivittup Inaa og Niortuut, som begge skete ved kollaps af talusskråninger (Svennevig et al., 2022). I nærheden af de to tidligere fjeldskredsafljæringer er der flere mindre talusskråninger og områder af colluvium i bevægelse (f.eks. området markeret D i Figur 8).



Figur 8: Udsnit af interferogram fra 24. – 30. august 2020 (sydgående sport 25) for den centrale del af Nuussuaqs sydkyst. Områder med bevægelse i InSAR er markeret med hvide omrids. Tre historiske fjeldskred er markeret med sorte omrids. Bemærk den tydelige InSAR-anomali i kildeområdet for Assapaat fjeldskredet i 2021.

På den vestlige del af Nuussuaqs sydkyst (Figur 9) er der to skredområder, som afviger fra de ustabile skråninger længere mod øst på samme kystskråning. Det ene skredområde (markeret E i Figur 9) strækker sig fra kysten op i 280 m højde og består af tre store blokke af vulkanske bjergarter og colluvium. Bevægelsen af den nederste blok har skabt en forskydning af kystlinjen 250 m ud i Vaigat, hvilket viser, at der er et betydeligt element af rotation i bevægelsen. Det andet skredområde (markeret F i Figur 9) strækker sig fra kysten op til 500 m højde og er op til 1400 m bredt og består ligeledes af store blokke af vulkanske bjergarter og colluvium. De to skredområder er meget store, men de er af en anden type end de historiske skred og ligger lavt på skråningen, så GEUS vurderer, at der er meget lav sandsynlighed for, at de vil udvikle sig til fjeldskred. Det kan dog ikke udelukkes, at dette vil ændre sig, hvis skredområderne udvikler sig yderligere.

Længst mod vest er der to flydestrukturer i meget hurtig bevægelse (markeret G i Figur 9). Flydestrukturene består af løst, isholdigt materiale, som glider oven på skråningen. Den største af de to flydestrukturer er 1300 m lang og ligger mellem 80 m og 400 m højde. Kortlægning af bevægelsesvektorer ud fra fotos fra forskellige år viser, at den bevæger sig mere end 10 m om året. De to flydestrukturer vil potentielt kunne udvikle sig til fjeldskred, men deres volumener er små og deres beliggenhed så langt mod vest i Vaigat, at GEUS vurderer, at de ikke udgør nogen risiko for beboede områder.



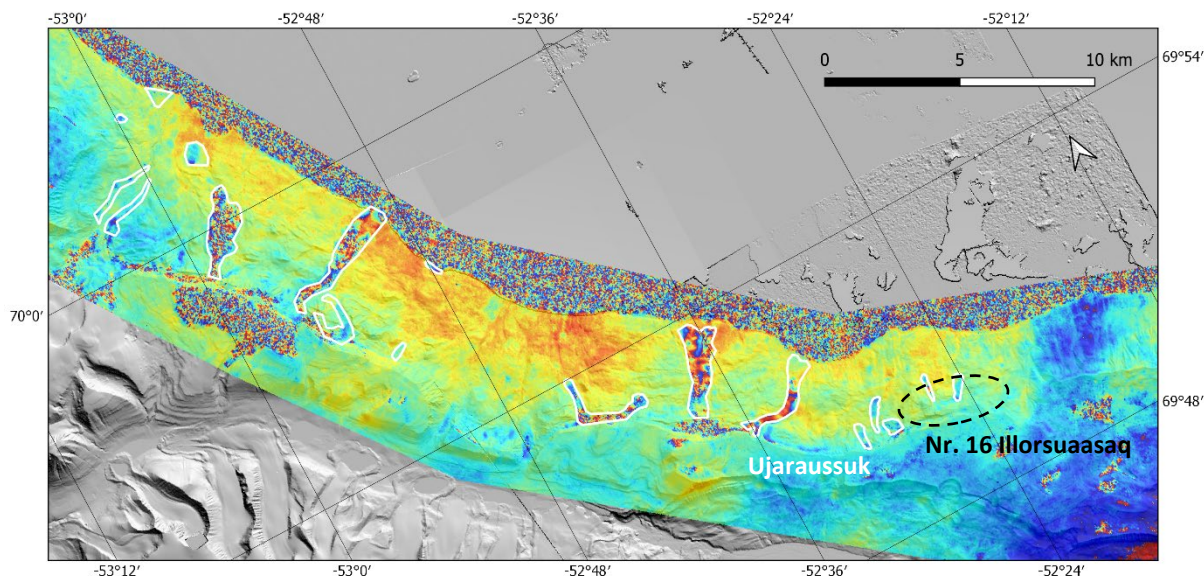
Figur 9: Udsnit af interferogram fra 30. juli – 4. september 2021 (sydgående spor 171) for den vestlige del af Nuussuaqs sydkyst. Områder med bevægelse i InSAR er markeret med hvide omrids.

Nordkysten af Disko

Nordkysten af Disko er mindre stejl end den modsatte kyst på Nuussuaq og er kendetegnet ved et stort antal blokgletsjere af imponerende størrelse. De største blokgletsjere er 5 km lange og når helt ned til kysten og ud i Vaigat. Enkelte steder ses også bevægelse i colluvium.

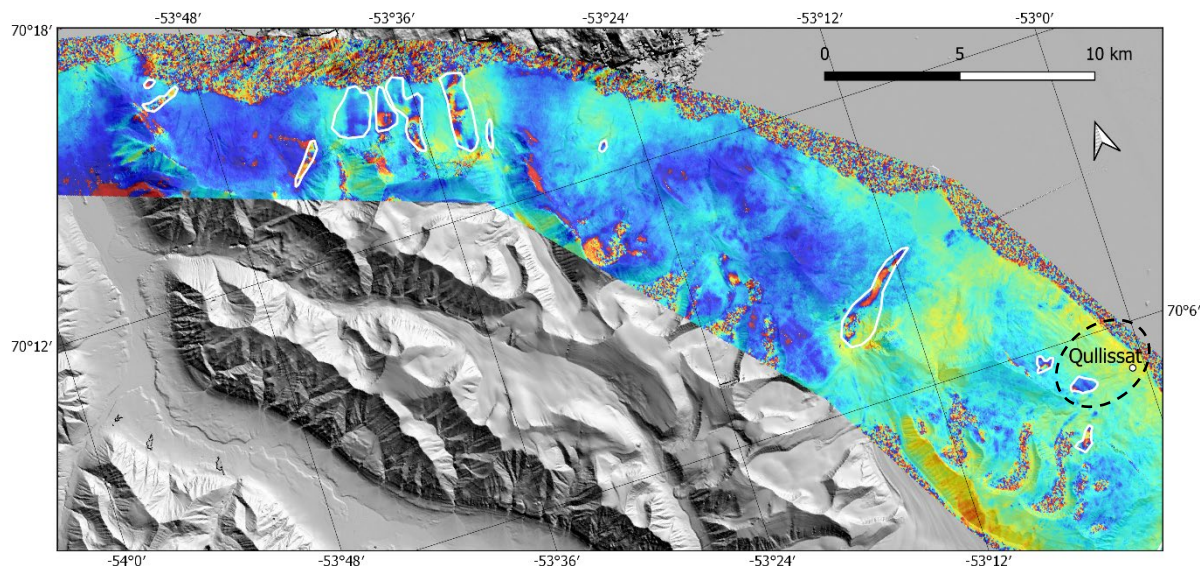
I den østlige del af Diskos nordkyst (Figur 10) ligger Fjeldskredsprojektets lokalitet nr. 16 Illorsuaasaq. Her er der øverst en 3,5 km bred, næsten helt fritstående blok af basalt, samt flere andre store blokke længere nede ad skråningen. Blokkene har sandsynligvis løsnet sig i forbindelse med det forhistoriske megaskred ved Ujarasussuk. InSAR viser, at der ikke er nogen bevægelse i blokkene i dag, men strukturerne er så veludviklede, at GEUS anbefaler, at lokaliteten monitoreres periodisk med nogle få års mellemrum (se Faktablad nr. 16).

I skredarret fra megaskreddet Ujarasussuk er der flere store og små blokgletsjere. Vest herfor er der både blokgletsjere og mindre områder med bevægelse i colluvium langs den nedre del af skråningen.



Figur 10: Udsnit af interferogram fra 24. juli – 5. august 2021 (nordgående sport 90) for den østlige del af Diskos nordkyst. Områder med bevægelse i InSAR er markeret med hvide omrids. Det drejer sig hovedsageligt om blokgletsjere. Lokalitet nr. 16 Illorsuaasaq er markeret med sort stiptet omrids.

I den vestlige del af Diskos nordkyst (Figur 11) er der flere store og små blokgletsjere og mindre områder med bevægelse i colluvium. Umiddelbart oven for Qullissat ligger et lidt større område af colluvium, som bevæger sig (Figur 12). Skråningen hælder kun ca. 20°, hvilket er den nedre grænse for, at et skred kan udløses. Feltobservationer fra området viser ingen tegn på, at der er et fjeldskred under udvikling.



Figur 11: Udsnit af interferogram fra 24. juli – 5. august 2021 (nordgående sport 90) for den vestlige del af Diskos nordkyst. Områder med bevægelse i InSAR er markeret med hvide omrids. Qullissat og ustabiliteten ovenfor, som ses i Figur 12, er markeret med sort stiptet omrids.



Figur 12: Skråfoto taget fra helikopter af skråningen ved Qullissat med angivelse af området som bevæger sig (hvidt stiptet omrids).

Vurdering og modellering af potentielle fjeldskred og tsunamier

GEUS' undersøgelser har vist, at der er adskillige ustabile områder i Vaigat, særligt på sydkysten af Nuussuaq, men også på Diskos nordkyst. Acceleration i hyppigheden af historiske fjeldskred inden for de seneste 100 år indikerer, at der er høj sandsynlighed for, at der vil ske nye fjeldskred i Vaigat. Det er dog ikke muligt at sige præcis, hvor eller hvornår det næste fjeldskred vil ske i Vaigat.

De historiske tsunamier fra Niiortuut 1952, Paatuut 1996 og 2000 giver en god indikation for potentielle fremtidige tsunamier fra den centrale del af Nuussuaqs sydkyst. GEUS' detaljerede undersøgelser og tsunamimodelleringerne udført af NGI viste, at Paatuut 2000 tsunamien var en usædvanlig hændelse, som formentlig kun blev så stor, fordi fjeldskredet skete samme sted som og kun nogle få år efter fjeldskredet i 1996. Baseret på kortlægningen af de nuværende ustabile skråningsers størrelse og geometri i den centrale del af Nuussuaqs sydkyst (se Figur 7 og 8), vurderer GEUS, at det ikke er sandsynligt, at der på nuværende tidspunkt skulle blive genereret større tsunamier end den fra Paatuut i 2000. Tsunamien i 2000 generede opskyl på 3 m i Saqqaq, men forårsagede ingen skade på land.

For Diskos nordkyst er der ingen historiske fjeldskred og tsunamier, som kan give en indikation af risikoen forbundet med potentielle fjeldskred fra de kortlagte ustabile skråninger. GEUS bad derfor NGI om at modellere et "worst case" fjeldskred og tsunami for Diskos nordkyst, eksemplificeret ved et fjeldskred fra den ustabile skråning oven for Qullissat (Figur 11 og 12). Dette er den største nuværende ustabile skråning på Diskos nordkyst, og ligger bare 40 km i direkte linje fra Saqqaq. Skråningen hælder dog kun ca. 20°, hvilket er den nedre grænse for, at et skred kan udløses. Under forudsætning af at der kan blive udløst et skred, viste NGI's modellering, at fjeldskredet sandsynligvis ikke vil nå kysten og dermed ikke generere en tsunami (NGI Rapport af 2. september 2022). Hvis fjeldskredet modelleres med et ekstremt langt udløb (7,5° friktionsvinkel), vil det nå ud over kysten og generere tsunamiopskyl på 0,5–1,5 m i Saqqaq og under 0,5 m i Qeqertaq. Dette viser, at selv med et meget usandsynligt skredscenarie for lokaliteten, vil der ikke blive genereret en større tsunami end den fra Paatuut 2000. Et fjeldskred fra den ustabile skråning vil udgøre en fare for folk som opholder sig i Qullissat, men det understreges, at det er usikkert, om der overhovedet kan udløses et skred på den svagt hældende skråning.

Selvom der ikke for nuværende er kortlagt nogen akut risiko forbundet med de mange ustabile skråninger i Vaigat, skal det understreges, at dette vil kunne ændre sig med tiden, især fordi permafrosten i skråningerne efterhånden vil degradere yderligere i forbindelse med klimaforandringerne.

Konklusioner og anbefalinger

På grund af de mange ustabile områder på Nuussuaqs sydkyst og den observerede øgning i hyppighed af fjeldskred inden for de seneste 100 år må det forventes, at der også i fremtiden vil ske fjeldskred i Vaigat, og at frekvensen eventuelt vil stige. Fremtidige fjeldskred vil sandsynligvis ske ved kollaps af ustabile talusskråninger og kan have størrelser på tital millioner m³. GEUS vurderer, at der er meget lav sandsynlighed for, at der under de nuværende geologiske og klimatiske forhold vil ske megafjeldskred fra basaltplateauet, som de der skete for 7 000–11 000 år siden.

De største ustabile talusskråninger ligger i den centrale del af Nuussuaqs sydkyst. Ingen af de ustabile områder som er identificerede i dag, har en størrelse eller en geometri, som indikerer, at kommende fjeldskred vil blive større end fjeldskredet fra Paatuut i 2000. Dertil kommer, at det alvorlige fjeldskred i 2000 sandsynligvis blev accelereret, fordi det gled på skredaflejringen fra 1996, hvilket gjorde, at tsunamien blev usædvanligt stor med opskyl på henholdsvis 12 m i Qullissat og 3 m i Saqqaq. Det er derfor GEUS' vurdering, at en potentiel tsunami genereret af fjeldskred fra de nuværende ustabile områder i Vaigat sandsynligvis vil være mindre eller i hvert fald ikke større end tsunamien i 2000, som ikke forårsagede nogen skade på land i Saqqaq.

Potentielle tsunamier kan udgøre en risiko for folk som opholder sig nær kysten eller i både i Vaigat. Det anbefales, at der er en generel opmærksomhed på skredaktivitet og usædvanlig bølgeaktivitet i området. Det anbefales ligeledes, at der ved ophold i Qullissat er opmærksomhed på, om der sker en øgning i aktivitet i form af stenfald eller småskred fra den ustabile skrånning over bygden.

Det understreges, at risikoen forbundet med fjeldskred i Vaigat vil kunne ændre sig i løbet af kort tid. Der er flere tegn på, at kystskråningerne i Vaigat befinder sig i et ustabil stadie pga. permafrostdegradering, og der er flere ustabile skrånninger som potentielt kan accelerere eller udvide sig til at omfatte større områder. Et fremtidigt fjeldskred vil ligeledes kunne medføre ny ustabilitet med øget tsunamifare, svarende til situationen som ledte til den ekstreme tsunami i 2000 fra Paatuut.

GEUS anbefaler derfor, at der for alle kystskrånninger i Vaigat udføres periodisk screening hvert 1–2 år vha. InSAR-data og optiske satellitbilleder for alle kystskrånninger i Vaigat for at vurdere, om der er nye ustabile fjeldpartier under udvikling, samt for at monitorere udviklingen af allerede kendte ustabile skrånninger eller skredområder. Screeningen bør sammenholdes med opsamlet viden om de geologiske processer og skredhistorikken i området. Hvis screeningen viser en øgning af faren fra specifikke lokaliteter, anbefales det, at der følges op med feltbesøg og yderligere undersøgelser for at bestemme mulige skredscenarier og deres risiko.

Det kan ikke helt udelukkes, at blokgljetsjere kan kollapse og dermed medføre store fjeldskred. Det er dog ikke noget som er kendt fra hverken Grønland eller udland. Der er behov for mere forskning på området for at vurdere, om blokgljetsjere vil komme til at udgøre en risiko i et klima i forandring.

Vurderingerne af de skredudsatte kystskrånninger i Vaigat er baseret på nuværende viden og data for bevægelser og skredstrukturer. Risikoniveauet for disse vil med tiden kunne ændre sig. Det er ikke muligt at forudsige, hvornår eller præcis hvor de næste fjeldskred vil forekomme. Det er ligeledes ikke muligt at forudsige præcis, hvor store kommende fjeldskred vil være, om de vil generere tsunamier, og hvilke konsekvenser de vil have. De præsenterede vurderinger er de bedst mulige ud fra nuværende data og viden.

Referencer

- Dahl-Jensen, T., Melchior Larsen, L., Pedersen, S. A. S., Pedersen, J., Jepsen, H. F., Pedersen, G. K., Nielsen, T., Pedersen, A. K., von Platen-Hallermund, F., Weng, W. 2004. Landslide and Tsunami 21 November 2000 in Paatuut, West Greenland. *Natural Hazards* 31, 277–287.
- GEUS Report on climate and bedrock permafrost degradation modelling, 4. oktober 2022e.
- Hungr, O., Evans, S. G. 2004. Entrainment of debris in rock avalanches: An analysis of a long run-out mechanism. *GSA Bull* 116:1240–1252. <https://doi.org/10.1130/B25362.1>.
- Korsgaard, N. J., Svennevig, K., Søndergaard, A., S., Oksman, M., K., Luetzenburg, G., Larsen, N. K., in prep. 2022. Tracking prehistoric landslide-generated tsunamis using lake records from Saqqaq, West Greenland.
- NGI Report 20210737-02-R. Tsunami hazard analysis in Greenland. Tsunami simulations in the Vaigat Sound. 2. september 2022.
- Oppikofer, T., Hermanns, R.L., Roberts, J., Böhme, M. 2018. SPLASH: semi-empirical prediction of landslide-generated displacement wave run-up heights. *Geol. Soc. Spec. Publ.* 477, 14.
- Pedersen, S. A. S., Melchior Larsen, L., Dahl-Jensen, T., Jepsen, H. F., Pedersen, G. K., Nielsen, T., Pedersen, A. K., von Platen-Hallermund, F., Weng, W. 2002. Tsunami-generating rock fall and landslide on the south coast of Nuussuaq, central West Greenland. *Geology of Greenland Survey Bulletin* 191, 73–83.
- Svennevig, K., 2019. Preliminary landslide mapping in Greenland. *GEUS Bulletin Vol 43*. <https://doi.org/10.34194/GEUSB-201943-02-07>.
- Svennevig, K., Hermanns, R. L., Keiding, M., Binder, D., Citterio, M., Dahl-Jensen, T., Mertl, S., Sørensen, E. V., Voss, P. H. 2022. A large frozen debris avalanche entraining warming permafrost ground- the June 2021 Assapaat landslide, West Greenland. *Landslides*. <https://doi.org/10.1007/s10346-022-01922-7>.
- Svennevig, K., Owen, M., Citterio, M., Nielsen, T., Rosing, S., Harff, J., Endler, R., Morlighem, M., Rignot, E., in prep. 2022a. Holocene giga-scale rock avalanches in the Vaigat strait, West Greenland.
- Svennevig, K., Keiding, M., Korsgård, N.J., Lucas, A., Morino, C., Owen, M., Poulsen, M.P., Priebe, J., Sørensen, E.V., in prep. 2022b. Uncovering a 70-year-old permafrost degradation induced disaster in the Arctic, the 1952 Niiortuut landslide-tsunami in central West Greenland.
- Weidick, A., Bennike, O., 2007. Quaternary glaciation history and glaciology of Jakobshavn Isbræ and the Disko Bugt region, West Greenland: a review. *GEUS Bulletin* 14, 80.