

# **GEUS Notat om risiko for fjeldskred og tsunamibølger i Karrat Fjorden – status for faglig viden oktober 2020**

## **Sammendrag**

Fredag d. 25. september 2020 kontaktede Departement for Natur og Miljø GEUS og bad om en opdateret vurdering af risiko for fjeldskred og tsunamibølger i Karrat Fjorden, og om det observerede i givet fald kan have indflydelse på risikovurderingen.

GEUS ser fortsat stor bevægelsesaktivitet ved InSAR analyser af Sentinel-1 radardata og Sentinel-2 satellitbilleder for både 2019 og 2020. GEUS vurderer, at de kritiske områder stadig udgør en uændret meget høj risiko for alvorlige fjeldskred og dermed ligeledes en uændret meget høj risiko for tsunamier. Aktiviteten i fjeldsiden bekræftes ligeledes af registreringer af ikke-tektoniske signaler i de seismologiske data. Feltarbejdet i sommeren 2019 viste, at der er strukturelt betinget potentiale for fjeldskred langs hele den sydvendte kyst ved Karrat.

Det er ikke muligt at forudsige hvornår eller præcist hvor, de næste større fjeldskred vil forekomme i Karrat Fjord-området. Da der er flere kritiske områder med meget høj risiko, må det ligeledes fortsat forventes, at der også efter næste større fjeldskred stadig vil være meget høj risiko for nye fjeldskred.

## **Baggrund**

Karrat Fjorden ligger i det centrale Vestgrønland (figur 1 – se figurer vedlagt) med de nærmeste bygder Nuugaatsiaq ca. 30 km væk og Illorsuit ca. 60 km væk.

## **Notater**

Ved anvendelse af en række forskellige metoder, primært vurdering af geologiske data, geologiske kort, topografiske kort, historisk såvel som nyere billedmateriale, seismologiske data samt optiske og radar-satellitdata, udarbejdede GEUS i juni 2018, opdateret august 2018, et notat med en vurdering af risiko for fjeldskred og tsunamibølger i Karrat Fjorden.

Undersøgelserne bekræftede den store geologiske ustabilitet af fjeldsiderne i Karrat Fjorden. Med den bevægelsesaktivitet, der blev dokumenteret med flere forskellige og uafhængige metoder, var det GEUS' vurdering, at området havde en meget høj risiko for alvorlige fjeldskred, og dermed uændret i forhold til juni 2017, hvor den beredskabsfaglige vurdering var, "at Nuugaatsiaq og Illorsuit under de nuværende betingelser fortsat bør betragtes som fareområde". Nærværende notat er en opdatering af den viden, der blev præsenteret i de seneste notater fra sommeren 2018.

## Screeningsundersøgelse og identifikation af kritiske lokaliteter

I august 2017 blev der igangsat en screeningundersøgelse af risiko for større fjeldskred i hele Grønland med GEUS som projektleder. Dette arbejde afsluttedes ved udgangen af 2018, og denne undersøgelse identificerede 18 kritiske lokaliteter på den grønlandske vestkyst, som på daværende tidspunkt blev inddelt i tre kategorier, der fordeler sig som følger:

<b>Kategori 1</b>	Meget høj risiko for alvorlige fjeldskred	Karratfjorden	Tre lokaliteter Nr. 3, 4, 5
<b>Kategori 2</b>	Høj risiko for alvorlige fjeldskred	Vaigatområdet	Seks lokaliteter Nr. 11, 12, 13, 14, 15, 16
<b>Kategori 3</b>	Mulig høj risiko for alvorlige fjeldskred	Øvrige områder	Ni lokaliteter Nr. 1, 2, 6, 7, 8, 9, 10, 17, 18

	Nr.	Navn	Afstand af vandvej	Område
<b>Kat. 1</b>	3	Karrat 1	Nuugaatsiaq 35 km, Illorsuit 60 km	Karrat
	4	Karrat 2	Nuugaatsiaq 35 km, Illorsuit 60 km	Karrat
	5	Karrat 3	Nuugaatsiaq 30 km, Illorsuit 55 km	Karrat
<b>Kategori 2</b>	11	Aamaruutissakassak	Qullisat 35 km, Saqqaq 70 km	Nuussuaq
	12	1952 skreddets bagvæg	Qullisat 30 km, Saqqaq 65 km	Nuussuaq
	13	Paatuut V	Qullisat 25 km, Saqqaq 50 km, Qeqertaq 75 km	Nuussuaq
	14	Paatuut Ø	Qullisat 25 km, Saqqaq 50 km, Qeqertaq 75 km	Nuussuaq
	15	Umiusat	Qullisat 22 km, Saqqaq 25 km, Qeqertaq 55 km	Nuussuaq
	16	Illorsuaasaq	Qullisat 35 km, Saqqaq 25 km, Qeqertaq 45 km	Disko
<b>Kategori 3</b>	1	Tulukkat	Siorapaluk 3 km, Qaanaaq 55 km	Thule
	2	Tupersuakassaat	Sdr. Upernavik 9 km	Svartenhuk
	6	Tinumaneq	Illorsuit 6 km, Nuugaatsiaq 40 km, Niaqornat 45 km	Ubek. Ejland
	7	Qaarsorsuup Qaqqaa	Ukkusissat 40 km, Illorsuit 50 km	Karrat
	8	Taateraata Inaat	Ukkusissat 50 km	Karrat
	9	Qaarsua	Niaqornat 0 km, Qaarsut 35 km, Illorsuit 55 km	Nuussuaq
	10	Uingajaarsuaq	Niaqornat 5 km, Qaarsut 35 km, Illorsuit 55 km	Nuussuaq
	17	Aqqutikitsoq		Sisimiut
	18	Qaarusuup Qaqqaa	Nuuk 25 km, Qoornoq 30 km	Nuuk

De tre lokaliteter i Karrat Fjorden (figur 2) er i nærværende notat benævnt Karrat 1, 2 og 3, hvilket dermed er de samme navne, som i de to notater fra sommeren 2018. De ligger alle i kategori 1 "meget høj risiko for alvorlige fjeldskred".

Screeningundersøgelsen konkluderede ligeledes, at der i dette område fortsat var en uændret meget høj risiko for alvorlige fjeldskred i forhold til juni 2017. Anbefalingerne fra afslutningen af screeningundersøgelsen i 2018 var; at igangsætte yderligere undersøgelser af de 18 kritiske lokaliteter, hvilket i løbet af 2019 blev besluttet, og der blev ligeledes sikret bevilling til et 3-årigt projekt med overskriften "*Undersøgelse af risiko for alvorlige fjeldskred i Grønland*".

Som en del af projektet blev der i 2019 planmæssigt udført et større feltarbejde, hvor 17 af de 18 lokaliteter blev besøgt, herunder blev der indsamlet data på de tre lokaliteter i Karrat Fjorden. Der er samtidig løbende nedtaget og analyseret data fra de to europæiske satellitter Sentinel-1 og Sentinel-2 til undersøgelserne af de 18 lokaliteter samt planlægning af feltarbejde.

I 2020 var der tilsvarende planlagt feltarbejde af samme størrelse med base i Saqqaq. Det måtte desværre udskydes til 2021 på grund af COVID 19-situationen, de skiftende restriktioner og de deraf følgende usikkerheder for om feltarbejdet reelt kunne udføres. Udskydelsen forårsager også, at den endelige afrapportering er udskudt og først foreligger i sommeren 2022. I år er der derfor heller ikke indsamlet in situ data ved de tre lokaliteter i Karrat Fjorden. Nye satellitdata blev anvendt i planlægningen af feltarbejdet først på året og i forbindelse med denne besvarelse er de seneste satellitdata fra Karrat Fjorden også analyseret.

## **Analyserede data**

Denne besvarelse af nærværende henvendelse baserer sig hovedsagelig på data og analyser frembragt i forbindelse med det pågående projekt "*Undersøgelse af risiko for alvorlige fjeldskred i Grønland*".

### **Analyse af seismologiske data**

Inden naturkatastrofen i 2017 blev kun tektoniske jordskælv rutinemæssigt lokaliseret i den seismiske tjeneste, men databasen indeholder mange markeringer af andre ikke-tektoniske rystelser, der kan stamme fra gletsjerkælvning og skred. I løbet af 2018 blev de historisk registrerede seismologiske signaler fra de seismografiske stationer på den centrale del af Grønlands vestkyst undersøgt og lokaliseret. Både de tektoniske og ikke-tektoniske registreringer fra stationerne i området undersøges, klassificeres og lokaliseres nu løbende umiddelbart efter de er registreret. For alle stationer er data tilgængelige på GEUS' server umiddelbart efter registrering.

I 2017 blev der opsat en ekstra seismografisk station i Uummanaq og i 2019 blev det seismologiske net i det centrale Vestgrønland opgraderet med yderligere tre nye målestationer i Niaqornat, Saqqaq samt Qeertarsuaq, og stationen i Uummanaq blev samtidigt flyttet til Saattut. De nye stationer muliggør en bedre lokalisering af rystelser i det

centrale Vestgrønland, inklusiv Karrat Fjord området. Figur 3 viser fordelingen af stationerne i området og to eksempler på lokalisering af rystelser.

Figur 4 viser fordelingen mellem tektoniske og ikke-tektoniske rystelser registreret i Karrat Fjord området fra de seneste år. Som det ligeledes kan ses i figur 4, bliver langt flere rystelser i området registreret og lokaliseret efter de nye stationer kom i drift og efter 2017 skredet, hvor opmærksomheden på selv meget små rystelser i området blev skærpet.

I perioden efter de seneste tre stationer medio august 2019 kom i drift, er der registreret 93 rystelser i Karrat Fjord området, hvilket her er afgrænset af følgende bredde og længdegrader (71-72N/50-55W). Af disse er 39 bestemt som mulige glaciale skælv, 9 som mulige skredhændelser, 33 som ikke-tektoniske men uklart af hvilken type og 12 som tektoniske jordskælv.

### ***Analyse af satellitdata (optiske, radar)***

ESA's Sentinel-2 satellitter overflyver området cirka hver anden dag og affotograferer fjeldsiden multispektralt med 10 m pixelopløsning. Billederne er for grove til, at man kan se detaljerede strukturer såsom sprækker og mindre stenfald, men især når fjeldsiderne er dækket med sne, fremstår bevægelser i fjeldpartier tydeligt som øget stenfaldsaktivitet (mørke nuancer) oven på den hvide sne (figur 5 og 6).

ESA's Sentinel-1 satellitter har optaget synthetic aperture radar (SAR) data fra Karrat Fjorden fra både nordgående og sydgående retning siden fjeldskredet 17. juni 2017. GEUS har i samarbejde med DTU processeret interferogrammer (InSAR data) til og med 17. september 2020. Interferogrammerne har en pixelopløsning på ca. 20 meter og viser, hvor der sker bevægelse på overfladen.

Ved hjælp af de optiske og InSAR satellitdata samt analyse af højdemodeller er en række områder med stærk aktivitet hen over de sidste år blevet udpeget, og det er kendetegnende, at det er de samme områder, der gang på gang viser aktivitet. Disse er beskrevet i afsnittet "Identificerede risikoområder i Karrat Fjord" herunder. Desuden er to større skred i 2009 og 2016 identificeret.

### **Identificerede risikoområder i Karrat Fjorden**

På Karrat Fjordens sydvendte kyst mellem længdegraderne 52,1°V og 52,6°V er der identificeret tre ustabile områder (figur 2), benævnt Karrat 1, 2 og 3 (svarende til nr. 3, 4 og 5 af de 18 kritiske lokaliteter), som anses for at udgøre en meget høj risiko for alvorlige fjeldskred. Det er de samme områder, som blev fremhævet i notatet fra juni og august 2018. Derudover ses der fortsat skredaktivitet langs bagvæggen og i aflejringer fra 2017 fjeldskredet, samt flere mindre markante bevægelser langs hele den sydvendte kyst.

Nedenstående vurdering er baseret på analyse af Sentinel-2 billeder og InSAR data til og med september 2020, højdemodel (ArcticDEM), feltobservationer fra feltarbejdet i 2019 samt data fra tidligere GEUS-notater lavet i forbindelse med 2017 fjeldskredet med efterfølgende opdateringer.

**Karrat 1:** Dette område (figur 2), som ligger ca. 1 km vest for skredområdet fra 17. juni 2017, viser fortsat stor aktivitet. Området har siden september 2015 været helt dekorreleret i InSAR pga. stor bevægelse på mere end ca. 1 cm om ugen (figur 7). Overfladen er meget opbrudt, og det var i første omgang uklart om ustabiliteten også involverer fast klippe. På grund af risikoen ved at færdes i området er det ikke besøgt til fods, men overflyvninger med drone ved feltarbejdet i 2019 viste, at fast klippe er blottet ved bagvæggen, hvilket tyder på, at volumen af ustabiliteten kan være større end først antaget.

Derudover viser et Sentinel-2 billede fra 20. april 2019 (figur 5), samt nylige Sentinel-2 billeder (figur 6), at der er fortsat aktivitet i området. Under feltarbejdet i sommeren 2019 blev området 1,5 km fra skredet besøgt og en næsten konstant stenfaldsaktivitet fra det aktive område blev observeret (figur 8). Et konservativt skøn ud fra dimensionerne af området i bevægelse og højden af bagvæggen viser, at volumen er mindst  $13 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

**Karrat 2:** Dette område (figur 2) ligger mellem område 1 og skredområdet fra 2017 skredet. Det ser ud til at være afgrænset mod nord af det samme lineament, der udgjorde den vertikale frigørelsesflade for 2017 skredet. Området har siden juni 2017 været dekorreleret i InSAR, hvilket tolkes til stor bevægelse på mere end ca. 1 cm om ugen (figur 7). I Sentinel-2 billederne ses jævnlig stenfaldsaktivitet fra den østlige afgrænsning af området, ind mod skedarret fra 2017 skredet. F.eks. viser nylige Sentinel-2 billeder, at der mellem 12. og 14. september 2020 skete et stenfald fra den østlige side af ustabiliteten ned i skedarret fra 17. juni 2017 (figur 6). Området måler ca. 800 x 500 m og antager man at bevægelserne sker over den samme skredflade som 2017 skredet fås et volumen på  $11 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

**Karrat 3:** Mod vest ligger et område (figur 2), som har vist tegn på bevægelse gennem mange år. Området er meget stort, ca. 2000 x 1600 meter, og har en veludviklet bagvæg på op til 120 meter og veludviklede frigørelsesflader til begge sider. InSAR data viser, at der er bevægelse over hele området, som strækker sig fra havniveau til fjeldplateauet i 1000 meters højde (figur 7). Den største bevægelse ses i to områder i den nederste halvdel af ustabiliteten, som dekorrelerer i InSAR, hvilket viser, at bevægelsen sandsynligvis er større end ca. 1 cm om ugen. Det anses for sandsynligt, at det ustabile område fortsætter under havniveau. Området er meget opbrudt med adskillige sprækker og buler og en generelt ujævn overflade. Ustabiliteten ses tydeligt i flyfoto fra 1953, hvilket viser, at området har været aktivt i meget lang tid, muligvis hundreder eller tusinder af år.

Baseret på dimensionerne af ustabiliteten og højden af bagvæggen estimeres volumen over havniveau til at være mindst  $380 \times 10^6 \text{ m}^3$ , hvilket i sig selv er ti gange så stort som volumen

af 17. juni 2017 skreddet. Det er ikke muligt at forudsige, om ustabiliteten vil fortsætte sin jævne nedadgående bevægelse, eller om den vil udvikle sig til et fjeldskred. Hvis der sker fjeldskred fra området, er det ligeledes heller ikke muligt at forudsige, om det vil involvere hele ustabiliteten eller dele af den.

**17. juni 2017 skredarret:** Sentinel-2 billeder og InSAR viser, at der fortsat sker mindre skred fra bagvæggen af 2017 skreddet. Bevægelserne ses primært langs den vestlige del af bagvæggen, dvs. ind mod Karrat 2, samt i et område på ca. 500 x 600 meter med skredaflejringer neden for den vestlige del af bagvæggen (figur 5). Aktivitet fra bagvæggen sås for nylig i form af et stensked på 200-300 meters bredde, som skete i mellem 14. og 21. september 2020 (figur 6).

### ***Vurdering af risikoen for fjeldskred i regionalt perspektiv***

Den sydvendte kystskråning af Karrat Fjorden mellem 52,1°V og 52,6°V skiller sig ud fra de omkringliggende kystskråninger i kraft af den høje skredaktivitet. Undersøgelserne af området har vist, at der skete to mindre fjeldskred i 2009 og 2016, som optakt til det katastrofale fjeldskred 17. juni 2017. Ved feltarbejdet i 2019 blev der øst for de tidligere fjeldskredsområder observeret løse aflejringer med store blokke, som sandsynligvis er blevet dannet ved fjeldskred længere tilbage i tiden.

Det geologiske kort viser, at lagdelingen af de palæoproterozoiske metasedimenter generelt hælder mod kysten. Dette blev bekræftet ved feltarbejdet i 2019, hvor det kunne ses, at metasedimenterne let brydes langs lagdelingen, som hælder 10° til 30° mod kysten. Lagdelingens hældning mod kysten er sandsynligvis den afgørende årsag til den høje skredaktivitet. Som sådan kan hele den sydvendte kystskråning i Karrat Fjorden (figur 2) fra Karrat 3 i vest til ca. 2 km øst for 2009 fjeldskreddet betragtes som et risikoområde med det samme strukturelle potentiale for at skride. Det er i tidligere notater blevet beskrevet, hvordan området mellem de tre identificerede risikoområder viser lokal bevægelse i InSAR (figur 7) og jævnlig stenfallsaktivitet, som korrelerer med den seismiske aktivitet i området. Baseret på de ovennævnte observationer anses det for sandsynligt, at nye ustabile områder vil kunne udvikle sig med tiden. Fremtidige fjeldskred fra området kan også være med til at destabilisere områder, som i dag ikke er i bevægelse. Desuden kan ændringer i permafrosten pga. klimaforandringerne i området have en indflydelse på risikoen for fjeldskred. Det skal dog påpeges, at der endnu ikke er evidens for om og hvordan klimaforandringerne påvirker stabiliteten af kystskråninger som ved Karrat.

### ***Samlet risikoniveau for Karrat Fjord området***

Baseret på de observerede bevægelser og volumen af ustabiliteterne vurderes risikoniveauet for hele Karrat Fjord området til at være uændret i forhold til tidligere, og dermed til at der er meget høj risiko for alvorlige fjeldskred. Deraf følger, at risikoen for tsunamier i området forårsaget af fjeldskred i Karrat Fjord området ligeledes er uændret.

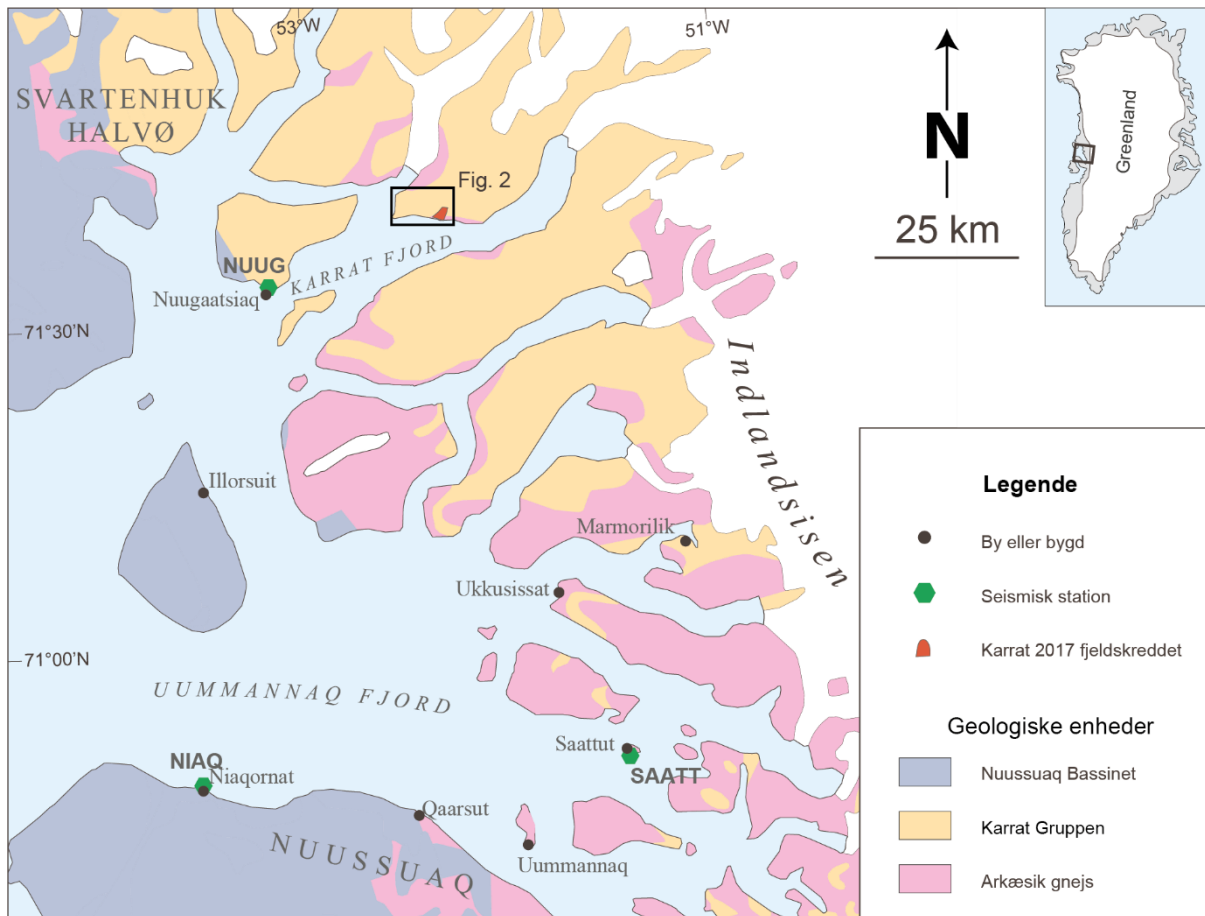
## Afsluttende kommentarer og konklusioner

De nyeste undersøgelser bekræfter den store geologiske ustabilitet i fjeldsiderne i Karrat Fjord området.

Med den bevægelsesaktivitet, der er dokumenteret med flere forskellige – og uafhængige metoder – siden 17. juni 2017 skreddet og frem til september 2020, er GEUS' vurdering, at der i Karrat Fjorden er meget høj risiko for alvorlige fjeldskred, hvilket dermed er uændret i forhold til tidligere, hvor den beredskabsfaglige vurdering var "at Nuugaatsiaq og Illorsuit under de daværende betingelser fortsat burde betragtes som fareområde".

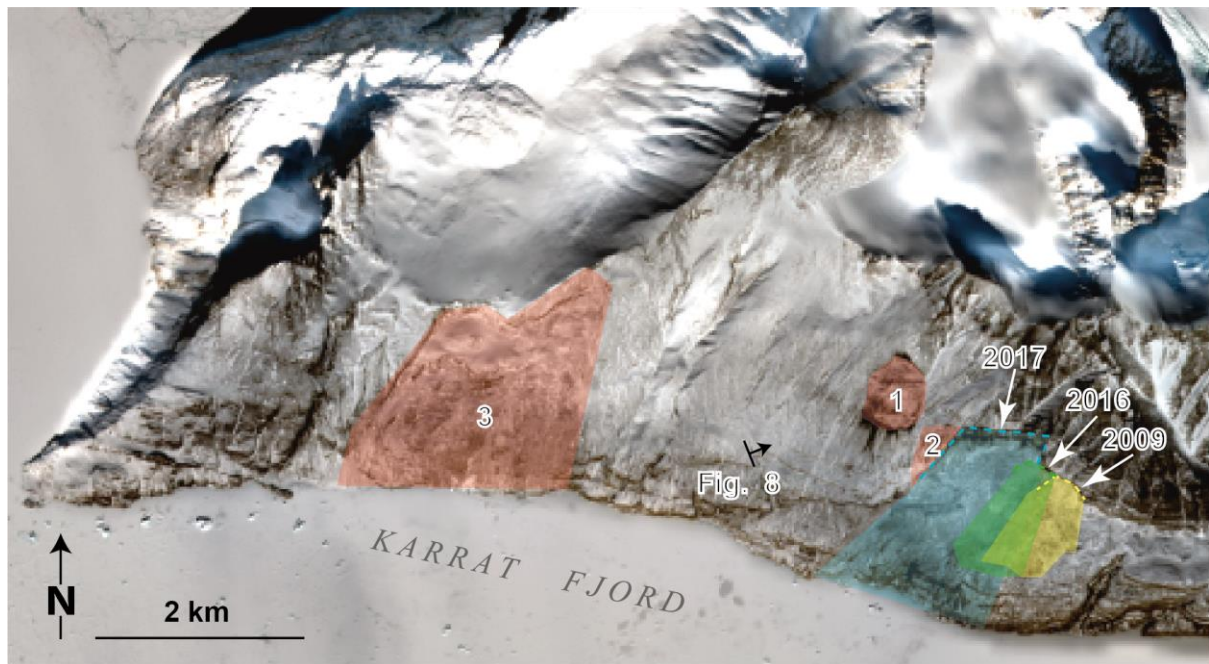
Det skal understreges, at det med de undersøgelser, som GEUS er bekendt med, stadig ikke er muligt at forudsige, hvornår eller præcist hvor de næste større fjeldskred vil forekomme i Karrat Fjord området. Det må ligeledes forventes, at der efter et fremtidigt større fjeldskred stadig vil være meget høj risiko for nye fjeldskred.

## Figurer

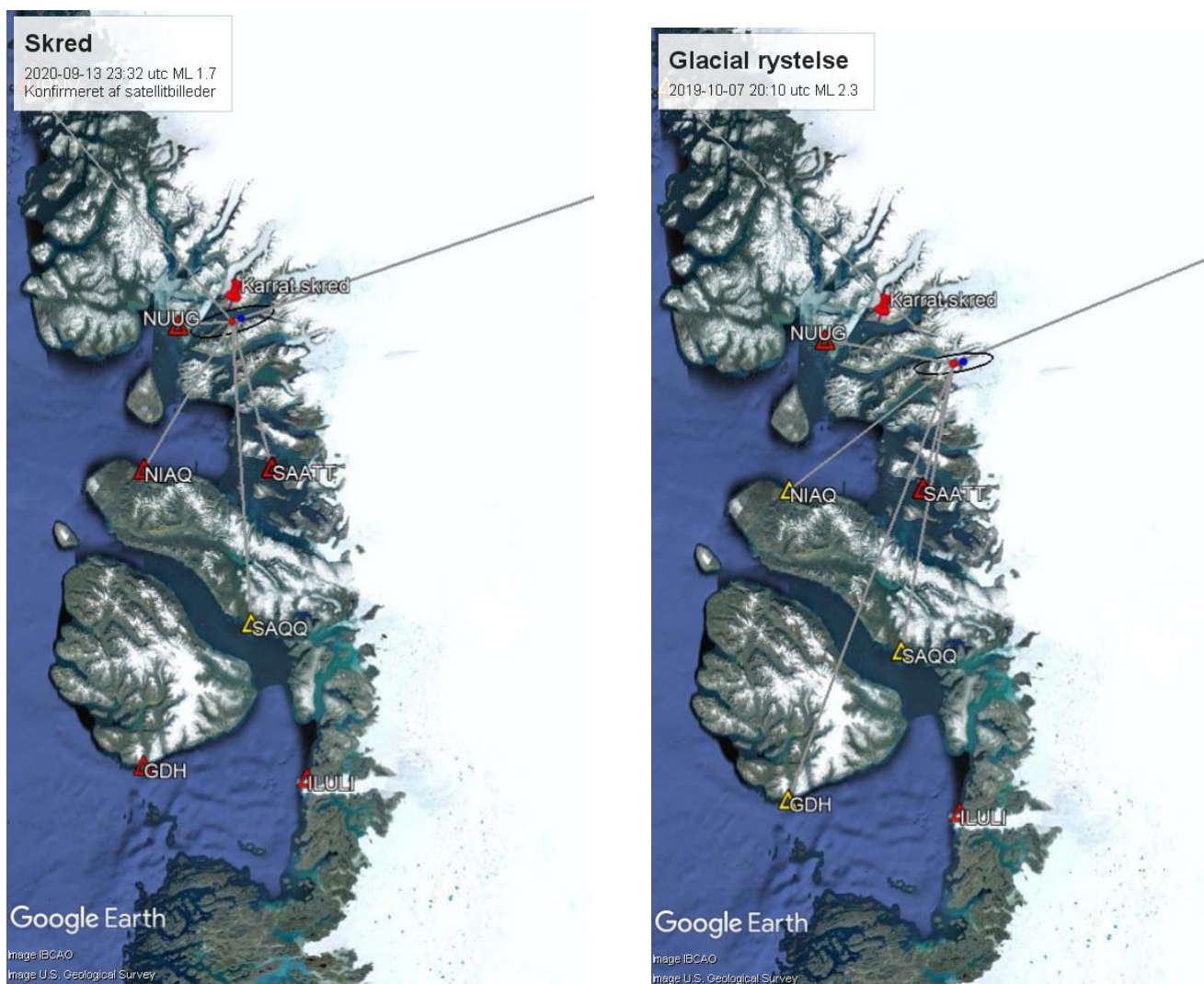


Figur 1. Oversigtskort over Uummannaq Fjorden med 2017 skredet og udsnittet i figur 2 markeret.

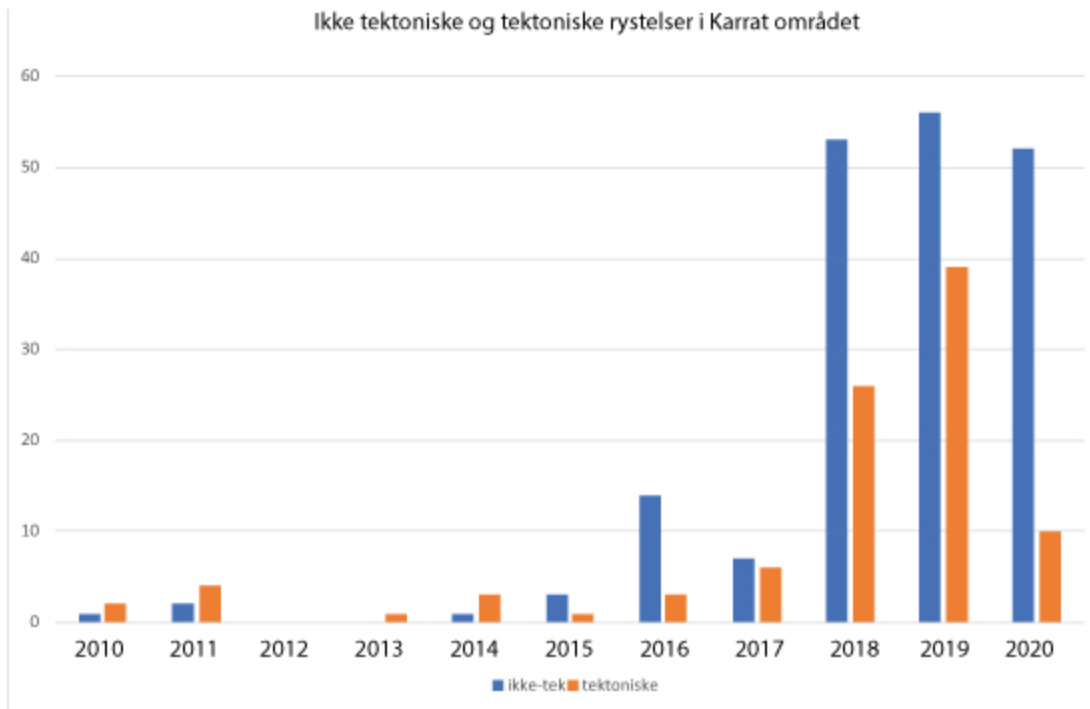




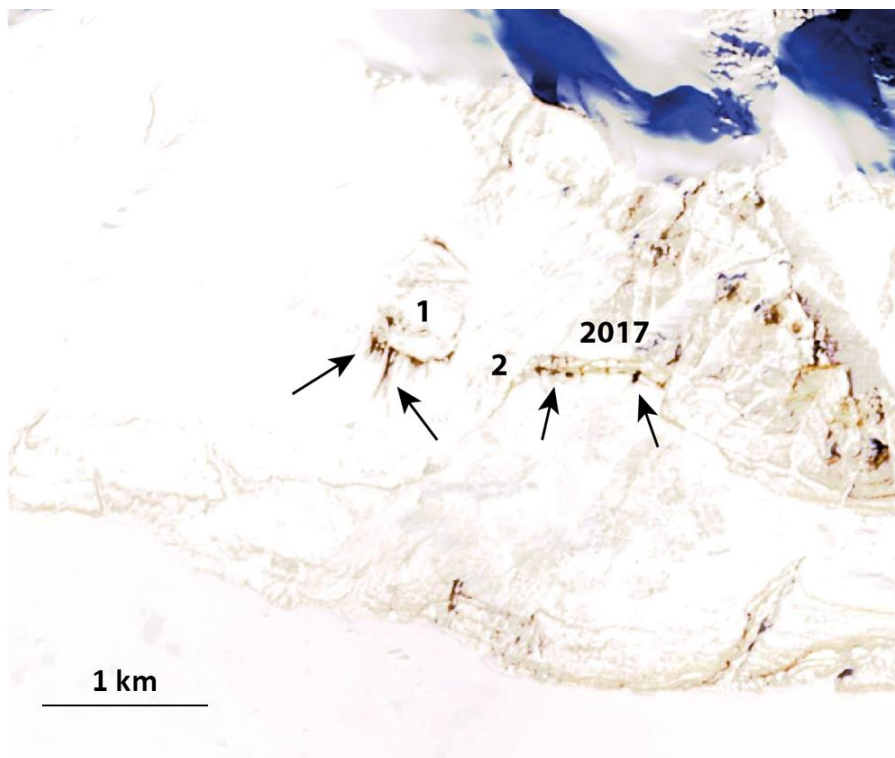
Figur 2. Sentinel-2 satellitbillede med de tre skred fra 2009, 2016 og 2017 vist, samt de stabile skråninger Karrat 1, 2 og 3. Positionen og retningen på feltfoto (figur 8) er vist.



Figur 3. Eksempler på skred (13/9-2020 kl. 23:32 utc; set på satellitbilleder) og glacial rystelse (7/10-2019 kl. 20:10 utc). De nye stationer SAATT, NIAQ, SAQQ og GDH muliggør en lokalisering, der hjælper med at bestemme typen af rystelse. Usikkerheden for lokaliseringen er markeret med en ellipse. Trekkanterne er målestationer. De grå streger er fra rystelsen ud til de målestationer, der har registreret rystelsen. Mod højre er det mod SUMG-stationen inde på indlandsisen.



*Figur 4. Histogrammet viser antal tektoniske jordskælv (orange) og ikke-tektoniske rystelser (blå) i Karrat Fjord området. Mange af de ikke-tektoniske rystelser vil være glaciale skælv, der opstår ved kælvninger fra de store gletsjere i området. Disse rystelser har en seismologisk signatur, der minder om fjeldskred. Fordelingen afspejler både en ændring med tiden, men også i antallet af målestationer, idet flere stationer muliggør, at der kan lokaliseres flere og mindre rystelser.*



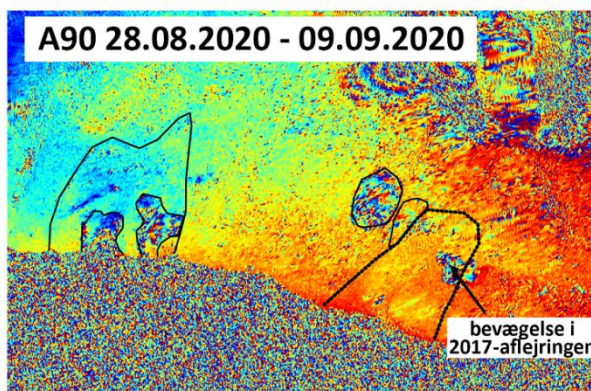
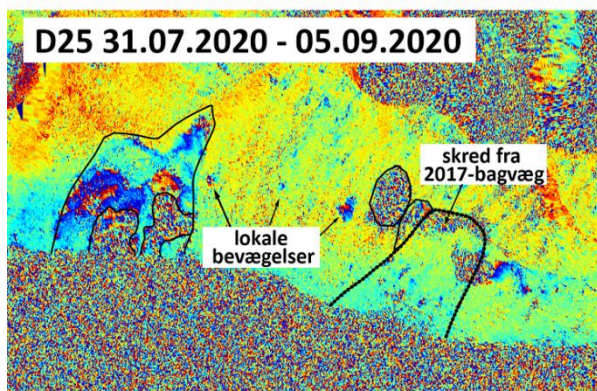
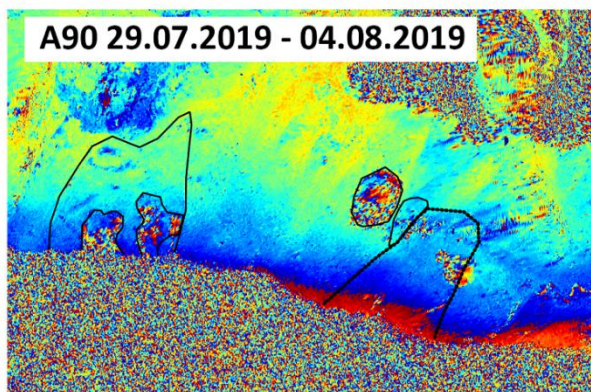
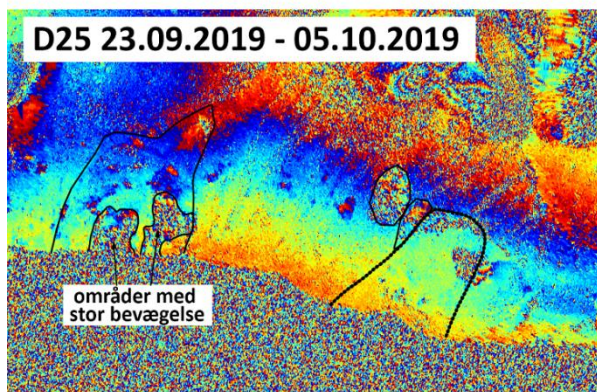
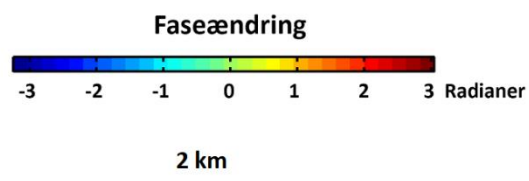
Figur 5. Sentinel-2 satellitbillede fra 20/04 2019, der viser nylig aktivitet (stenfald) ved pilene langs bagvæggen af 2017 skreddet samt i tåen af Karrat 1. Stenfaldet ses som sorte striber og plamager på den ellers sneklædte skråning. Farverne i billedet er forstærket for at gøre det nemmere at se stenfaldet.



Figur 6. Sentinel-2 satellitbilleder fra september 2020, som viser aktivitet fra bagvæggen af 2017 skreddet. Mellem 12. og 14. september 2020 var der et stenfald i den vestlige del af skredarret ind mod Karrat 2. Nogle dage senere, mellem 14. og 22. september, skete et lidt større stenfald eller skred langs ca. 150 meter af bagvæggen. Ingen af disse stenfald eller skred ramte dog fjorden.



D25 - sydgående satellitspor  
A90 - nordgående satellitspor



Figur 7. Eksempler på interferogrammer fra 2019 og 2020. Farverne angiver de registrerede faseændringer mellem to optagelser. Mindre bevægelse ses som faseændringer i f.eks. den øvre del af Karrat 3 og de små lokale områder mellem Karrat 3 og Karrat 1. Stor bevægelse ses som afgrænsede støjfyldte (dekorrelerede) områder i f.eks. Karrat 1 og nedre del af Karrat 3.



*Figur 8. Feltfoto fra sommeren 2019. I baggrunden, 1,5 km væk, ses støvskyer (ved pilen) fra konstante stenfald fra Karrat 1 og 2 samt bagvæggen fra 2017 skreddet. Optageretningen af billedet er mod øst, se figur 2 for placering.*