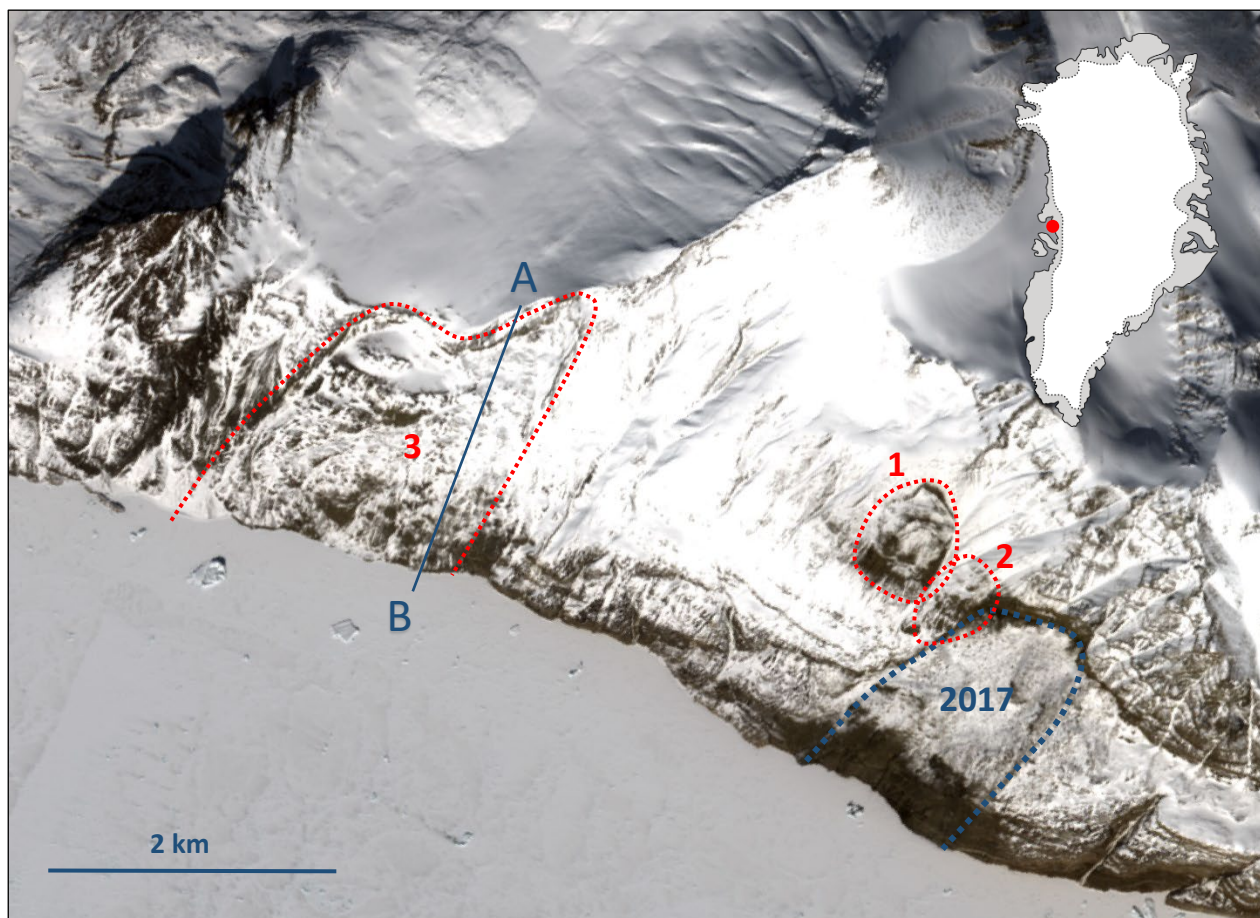


## Faktablad nr. 5: Vurdering af Karrat 3



Figur 1: Skredkysten ved Karrat. Mod øst ses arret fra fjeldskredet i juni 2017 (blå stiplede linje) og nordvest herfor fjeldpartierne Karrat 1 og 2 (1, og 2, røde stiplede omrids). På den vestlige del af fjeldsiden ses det store ustabile fjeldparti Karrat 3 (3, rød stiplede linje). Et tolket profil langs linjen AB ses i Figur 5. Karrat 1 er beskrevet i faktablad nr. 3 og Karrat 2 i faktablad nr. 4. Sentinel-2 satellitbillede fra 2018.

### Konklusion

Det ustabile fjeldparti Karrat 3 har veludviklede strukturer og betydelig bevægelse. Fjeldpartiet er meget stort, og tsunamimodellering viser, at et fjeldskred fra Karrat 3 vil medføre meget store opskylshøjder i Uummannaqs fjordsystem. Risikoen forbundet med en potentiel tsunami fra Karrat 3 klassificeres som høj.

Det anbefales, at Karrat 3 monitoreres vha. satellitdata samt bevægelsesdata og klimatiske data indsamlet i felten. Det anbefales desuden, at der iværksættes udvikling af et tsunamivarslingsystem 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

30 km øst for Nuugaatsiaq i den nordlige del af Uummannaq-bugten. 71°38'44"N, 52°28'19"V

## Afstand til infrastruktur ad vandvejen

Nuugaatsiaq	30 km
Illorsuit	60 km
Qaarsut	116 km
Niaqornat	106 km
Ukkusissat	110 km
Uummannaq	130 km
Saattut	135 km
Ikerasak	165 km

## Baggrund for risikovurderingen i screeningsundersøgelsen

Karrat 3 ligger ca. 4 km vest for 17. juni 2017 fjeldskreddet og strækker sig fra kysten op i en højde på ca. 1000 m. Det ustabile fjeldparti fortsætter formentlig under havniveau. Fjeldpartiet fremstår som et stort opbrudt og deformeret område afgrænset fra det faste fjeld af veludviklet bagvæg og laterale frigørelsesflader. Karrat 3 ses tydeligt i flyfoto fra 1953, hvilket viser, at området har været aktivt i meget lang tid, sandsynligvis hundreder eller tusinder af år (Svennevig et al., 2020).

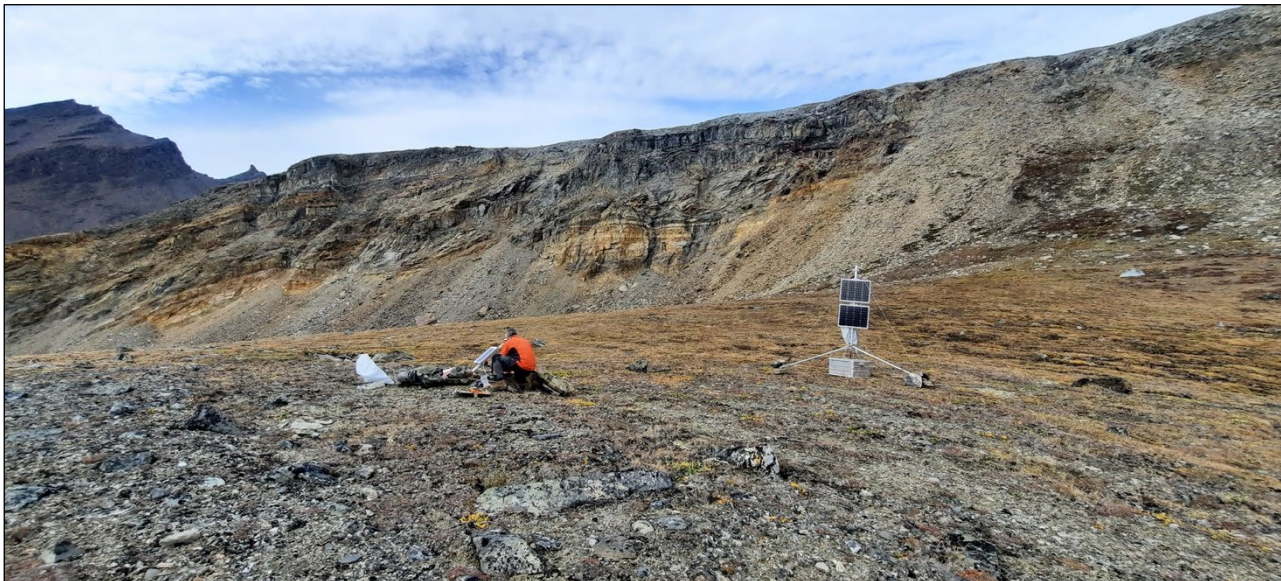
## Geologi

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

## Feltobservationer

Feltobservationerne bekræftede indtrykket fra fjernanalyserne: der er meget veludviklede strukturer, som er dannet i løbet af en lang bevægelseshistorik. I den øvre del af fjeldpartiet findes et plateau med en relativt udeformeret overflade (Figur 2). Længere nede ad skråningen er overfladen meget opbrudt og deformeret. Flere steder ses tegn på overfladenære flydestrukturer i

store blokfelter (Figur 3), som kan tænkes at indeholde kerner af is, selvom tilstedeværelsen af is ikke kunne bekræftes i felten. De metamorfoserede sedimenter som fjeldsiden består af, hælder 20°–30° mod fjorden og udgør formentlig glideplan for Karrat 3 (Figur 6).



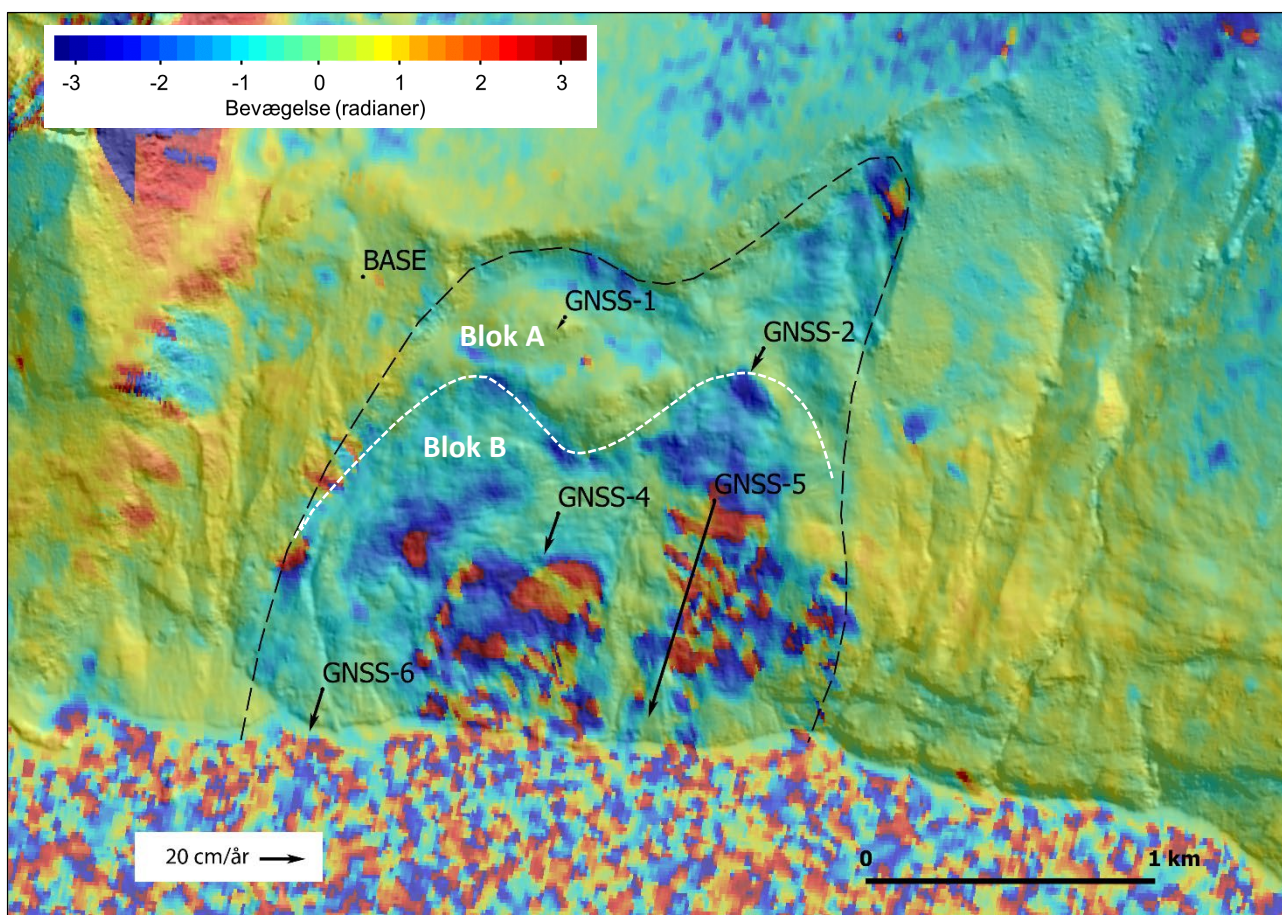
*Figur 2: Plateau i den øvre del af Karrat 3. Overfladen af plateauet ses at være relativt udeformeret. Bagvæggen, som ses i baggrunden, er 120 m høj.*



*Figur 3: Den nedre del af Karrat 3, hvor overfladen er meget opbrudt og deformeret. Flere steder ses tegn på overfladenære flydestrukturer i store blokfelter.*

## InSAR- og GNSS-analyse

Karrat 3 er dækket af Sentinel-1 radarbilleder fra både nordgående og sydgående geometri, men bevægelsen af det ustabile fjeldparti er alene opløst i den sydgående geometri (Figur 4). InSAR-analysen viser, at Karrat 3 kan opdeles i en øvre og nedre blok med forskellige bevægelsesmønstre (Figur 4). De to blokke er adskilt af en intern bagvæg i 600-700 meters højde. Der er indsamlet bevægelsesdata vha. GNSS-instrumenter i et år 2021–2022. Disse viser, at den øvre blok (A) bevæger sig ca. 5–10 cm/år, mens den nedre blok (B) bevæger sig med ca. 20 cm/år eller mere. Den hurtigste bevægelse er mere end 1 m/år og måles i et område, hvor InSAR-signalet dekorrelerer pga. høje hastigheder (GNSS-5 i Figur 4).

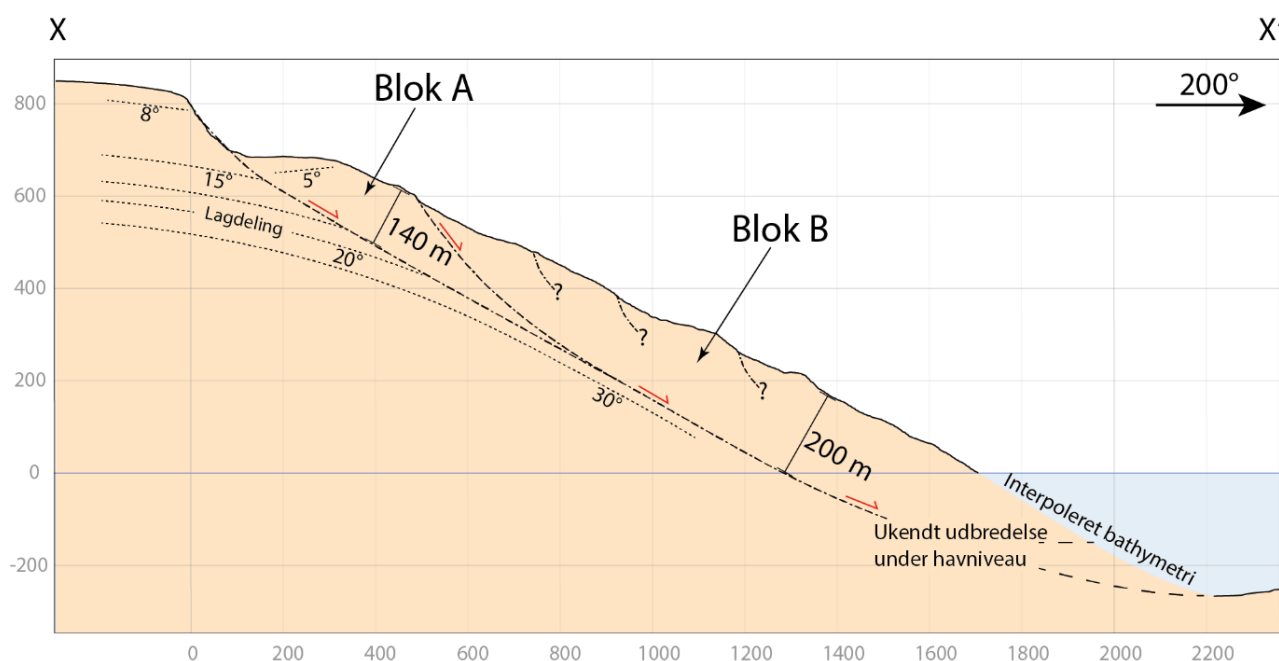


Figur 4: Interferogram for 21/7 – 2/8 2022 (Sentinel-1 sydgående spor 25, farverne viser bevægelse i satellittens synsretning målt i radianer). Bevægelsesmålinger fra fem GNSS-stationer i det ustabile fjeldparti er vist med sorte pile. Karrat 3 er markeret med sort omrids, og grænsen mellem blokkene A og B er markeret med hvidt stiptet omrids. De støjfyldte områder i den nedre del af Karrat 3 viser dekorrelation af InSAR-signalet pga. høje bevægeshastigheder. Interferogrammet er plottet oven på en hillshade fra ArcticDEM.

## Størrelse

Volumen af Karrat 3 er beregnet ved hjælp af en profilanalyse af brudfladens udbredelse inde i fjeldet. Denne indikerer, at Blok A er op til 140 m tyk og Blok B op til 200 m tyk. Analysen viser endvidere, at hele den centrale del af skredlegemet bevæger sig parallelt med lagdelingen i fjeldet. Dette betyder, at det ustabile område primært glider på en plan brudflade, og at skredet derfor skal klassificeres som et translationsskred med mindre elementer af rotationsbevægelse i toppen og måske i bunden. Translationsskred er som oftest mindre stabile end rotationskred, som glider på kurvede brudflader. Det ustabile fjeldparti har en ukendt udbredelse under havniveau (Figur 5).

Blok A får med den kortlagte udbredelse og estimerede tykkelse et volumen på 112 millioner  $m^3$  og Blok B 412 millioner  $m^3$ . Dvs. at det samlede volumen under disse forudsætninger for Karrat 3 bliver 524 millioner  $m^3$  over havniveau.



Figur 5: Tolket tværsnit igennem Karrat 3, der viser det konstruerede forløb af brudfladen og opdelingen i to blokke. De røde pile viser bevægelsesretningen. Udbredelsen under havniveau er ukendt, men det ses fra tolkningen, at denne kan fortsætte flere hundrede m til havs.

## Skredmodel

De geologiske lag i området hælder  $20^{\circ}$ – $30^{\circ}$  mod fjorden (dip-slope). GEUS' analyser tyder på, at et potentielt fjeldskred fra Karrat 3 kan ske langs svaghedszoner i lagdelingen, hvilket også var tilfældet for fjeldskredet den 17. juni 2017.

## 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. Karrat 3 er karakteriseret ved veludviklede strukturer og betydelig bevægelse, hvorfor sandsynligheden for, at der sker et fjeldskred, klassificeres som høj (Tabel 1).

Tabel 1: Fareklassificering for Karrat 3.

Kriterie		Point	Kommentar
1	Udviklet bagvæg	1	Veludviklet bagvæg på 120 meter højde.
2	Potentielle glidestrukturer	0,75	Lagdelling hælder 20°–30° mod kysten, parallelt med skråningen.
3	Laterale frigørelsesflader	0,75	Veludviklet lateral frigørelsesflade mod vest og en mere utydelig afgrænsning mod øst.
4	Kinematisk mulig	1	Skred er sandsynligvis mulig langs lagdeling og vertikale, kystparallelle sprækker.
5	Morfologisk manifestation af brudflade	0,5	Det vides ikke om brudfladen (den nedre afgrænsning af det ustabile fjeldparti) manifesteres i morfologien, da det i givet fald sker under havniveau, og det ikke har været muligt at kortlægge batymetrien så tæt på land. Der ses dog antydning af udbulning i morfologien lige over havniveau.
6	Hastighed	3	Fjeldpartiet har en heterogen bevægelse med 5–10 cm/år i den øvre del og mere end 20 cm/år i den nedre del. De hurtigste områder bevæger sig med mere end 1 m/år og dekorrelerer i InSAR.
7	Acceleration	0	Der er ikke observeret en acceleration i InSAR-data i perioden 2016–2022.
8	Stenfaldsaktivitet	1	Der er stenfaldsaktivitet i området.
9	Tidligere hændelser	0,5	Der er tidligere sket fjeldskred på samme bjergside i 2009, 2016 og 2017, og ældre fjeldskredaflejringer peger mod en endnu længere historie af fjeldskred på Karrat kysten. Der er dog ikke i Holocæn sket fjeldskred af samme størrelse som Karrat 3.
Sum point		8,5	Svarer til <b>høj</b> fareklasse

## Tsunamimodellering

Detaljeret tsunamimodellering er udført af Norges Geotekniske Institut og beskrevet i NGI Rapport af 26. marts 2021 og GEUS Notat af 4. august 2022. Tsunamimodelleringsene viser, at et fjeldskred fra Karrat 3 vil medføre meget store opskylshøjder i Uummannaqs fjordsystem (Tabel 2). Den nærmeste bygd, Nuugaatsiaq, vil blive ramt af første bølge efter syv minutter og den fjerneste efter 38 minutter. Nuugaatsiaq, Illorsuit og Niaqornat oversvømmes fuldstændigt, imens Qaarsut og Uummannaq vil opleve meget høje opskylshøjder. Oversvømmelserne er mere lokale i Saattut,

Ukkusissat og Ikerasak længere væk fra Karrat 3. Hertil genereres der så store bølger i fjordsystemet, at det kan være til fare for både på det åbne vand selv langt fra fjeldskredet.

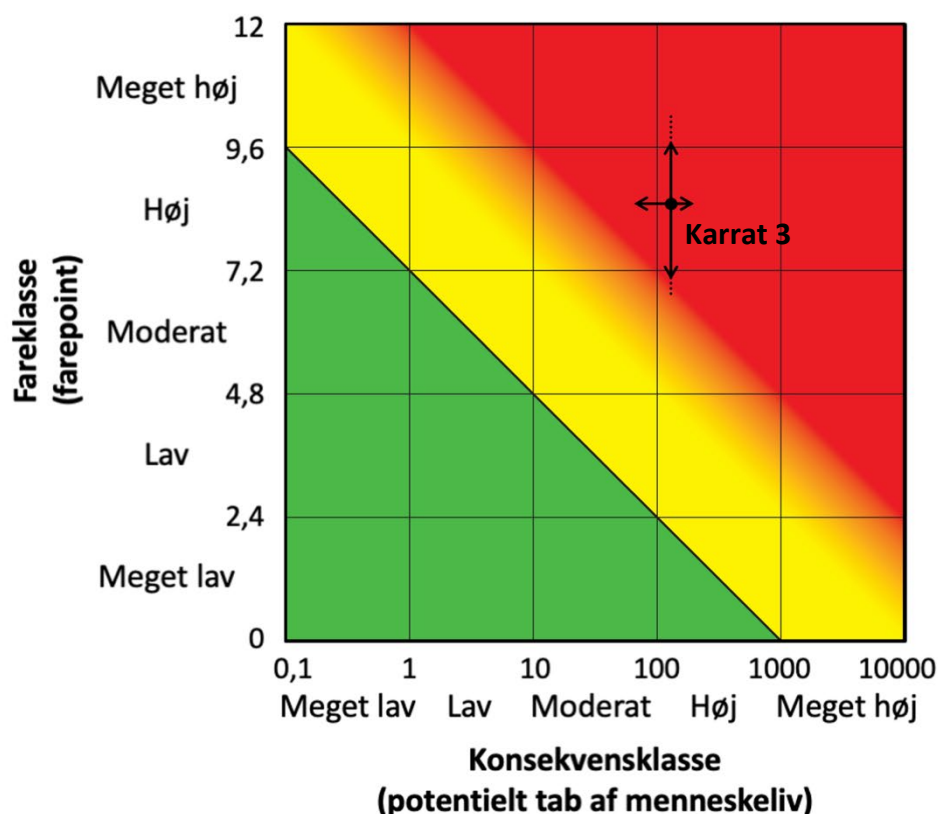
Konsekvensen af et fjeldskred fra Karrat 3 i form af det potentielle tab af menneskeliv er estimeret ved hjælp af befolkningstal fra Grønland til at være mellem 65 og 200. Intervallet afspejler spændet af realistiske skredscenarier, samt det at fjeldskredet kan ske både ved lavvande og højevande.

Tabel 2: Simulerede ankomsttider og opskylshøjder for tsunamier udløst af to skredscenarier for Karrat 3. Opskylshøjderne i tabellen er højeste estimeret ved maksimalt højevande på 1,3 m over middelvandstand. Opskylshøjderne er angivet i intervaller, som afspejler, at tsunamibølgerne når forskellige højder afhængigt af den lokale topografi og batymetri.

	Afstand (km)	Tid til ankomst af første bølge (min)	Opskylshøjde Karrat 3 Blok B ( $412 \times 10^6 \text{ m}^3$ ) (m)	Opskylshøjde Karrat 3 Blok A+B ( $524 \times 10^6 \text{ m}^3$ ) (m)
Nuugaatsiaq	30	7	31–71	36–73
Illorsuit	60	13	18–34	19–42
Qaarsut	116	26	7–20	10–23
Niaqornat	106	23	8–13	10–16
Uummanaq	130	30	5–12	5–13
Saattut	135	35	3–10	4–10
Ukkusissat	110	26	4–6	5–7
Ikerasak	165	38	3–9	4–10

## Risikovurdering

Med udgangspunkt i estimerne af fare- og konsekvensklasse er Karrat 3 plottet i risikomatricen i Figur 6. Heraf ses det, at Karrat 3 plotter i det røde felt for høj risiko. På baggrund af den høje risiko anbefales det, at Karrat 3 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 6: Risikomatrix for Karrat 3. 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 ved en tsunami udløst af et fjeldskred fra Karrat fjorden i Uummannaqs fjordsystem – opdaterede opskylskurver per august 2022, 4. august 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.

NGI Report no 20200823-01-R: Tsunami hazard screening for Uummannaq fjord system – Greenland. Hazard scenario simulations and 2017 event hindcast, 26. marts 2021.

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>.