

GEUS Notat om risiko ved en tsunami udløst af et fjeldskred fra Karrat fjorden i Uummannaqs fjordsystem – opdaterede opskylskurver per august 2022

Indholdsfortegnelse

Indledning.....	2
Sammendrag	3
Lokaliteterne Karrat 1, 2 og 3	4
Tsunamimodellering.....	6
Metode og datagrundlag	6
Resultater	7
Nuugaatsiaq	8
Illorsuit	9
Qaarsut.....	10
Niaqornat	11
Uummannaq	12
Saattut.....	14
Ukkusissat	15
Ikerasak	16
Konklusion og anbefalinger	17
Referencer	18

Indledning

Nærværende notat præsenterer tsunamimodelleringer for de ustabile fjeldpartier Karrat 1, 2 og 3 beliggende i Karrat fjorden i Uummannaqs fjordsystem (Figur 1). Tsunamimodelleringerne er udført af Norges Geotekniske Institut (NGI rapport af 26. marts 2021), og resultaterne i nærværende notat omfatter en opdatering af tidligere resultater præsenteret i GEUS Notat af 29. marts 2021. Opdateringerne omfatter en genberegning af opskyl ved maksimalt højvande (på 1,3 m i stedet for som tidligere 2 m) samt en korrektion af topografien i Niaqornat. Selve tsunamimodelleringerne er ikke ændret. Notatet er en del af projektet "Undersøgelse af risiko for alvorlige fjeldskred i Grønland".



Figur 1: Oversigtskort over Uummannaqs fjordsystem. Områderne med ustabile fjeldpartier ved Karrat er markeret med sort ramme.

Sammendrag

Tsunamimodelleringen fra Norges Geotekniske Institut (NGI) viser tsunamiudbredelse i Uummannaqs fjordsystem dannet ved et potentielt fjeldskred fra de ustabile fjeldpartier Karrat 1, 2 og 3 i Karrat fjorden i Uummannaq fjordsystem. Der er beregnet opskylshøjder i Uummannaq og bygderne Nuugaatsiaq, Illorsuit, Qaarsut, Niaqornat, Saattut, Ukkusissat og Ikerasak.

Modelleringerne viser, at et fjeldskred fra Karrat 3 kan medføre meget store opskylshøjder i hele Uummannaqs fjordsystem (Tabel 1, Figur 4–11).

Tabel 1: Simulerede ankomsttider og opskylshøjder for tsunamier udløst af fjeldskred Karrat 1 og 2 samt de to skredscenarier for Karrat 3. Opskylshøjderne i tabellen er højeste estimater ved maksimalt højvande 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.

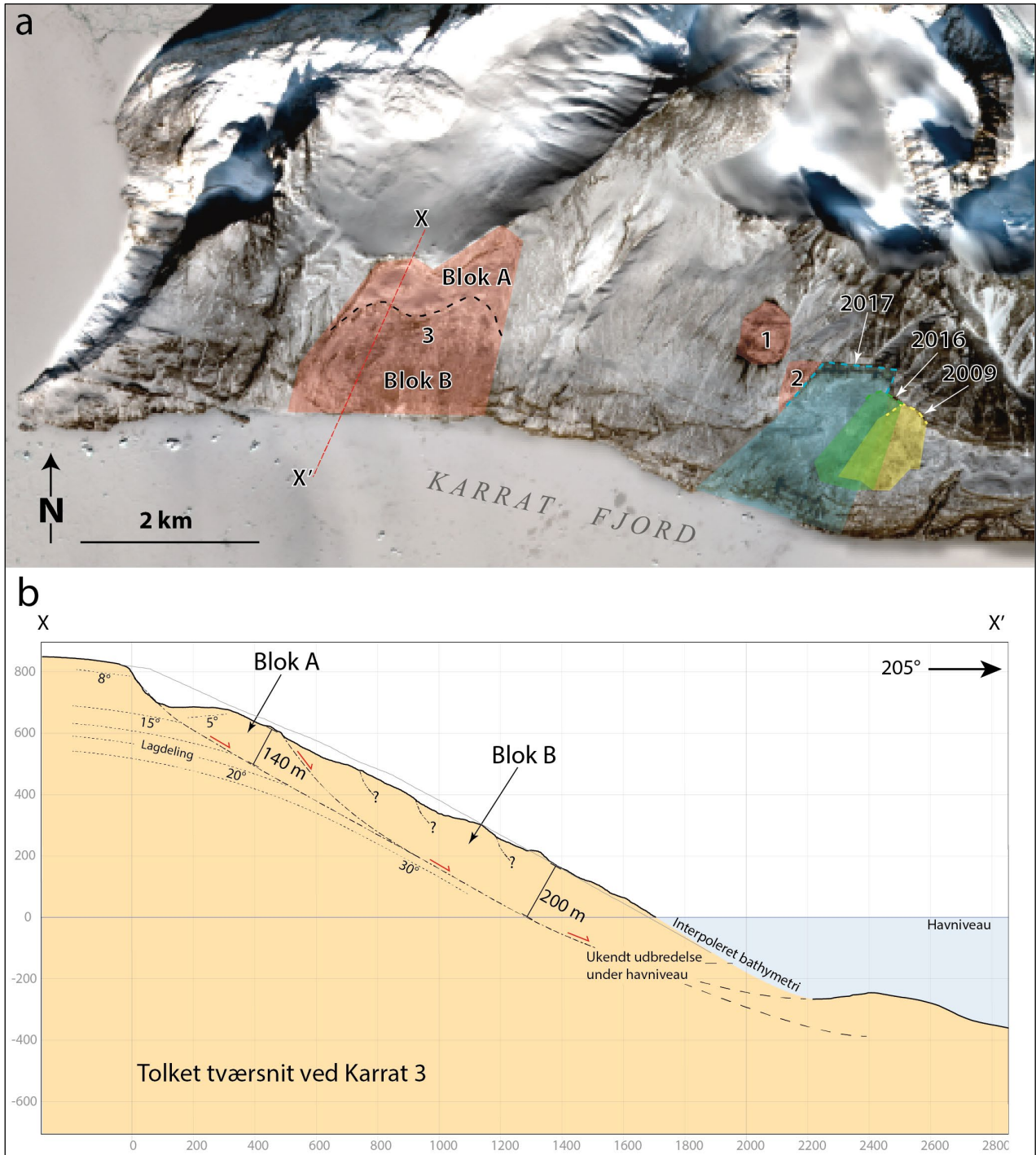
	Afstand (km)	Tid til ankomst af første bølge (min)	Opskylshøjde Karrat 1 ($13 \times 10^6 \text{ m}^3$) (m)	Opskylshøjde Karrat 2 ($11 \times 10^6 \text{ m}^3$) (m)	Opskylshøjde Karrat 3 Blok B ($412 \times 10^6 \text{ m}^3$) (m)	Opskylshøjde Karrat 3 Blok A+B ($524 \times 10^6 \text{ m}^3$) (m)
Nuugaatsiaq	30	7	3–6	3–6	31–71	36–73
Illorsuit	60	13	3	3	18–34	19–42
Qaarsut	116	26	-	-	7–20	10–23
Niaqornat	106	23	-	-	8–13	10–16
Uummannaq	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

Lokaliteterne Karrat 1, 2 og 3

Karrat Fjorden i det centrale Vestgrønland er en del af Uummannaqs fjordsystem. Den 17. juni 2017 skete der et fjeldskred på 43 millioner m³ fra den sydvendte kyst af Karrat fjorden, hvilket udløste en tsunami, der ramte de to nærliggende bygder Nuugaatsiaq og Illorsuit (Svennevig et al., 2020). Efterfølgende blev det klart, at der er yderligere tre ustabile fjeldpartier på samme sydvendte fjeldside, hvorfra fjeldskredet i 2017 blev udløst (Figur 2).

Umiddelbart vest for skredområdet fra 17. juni 2017 ligger de to mindre ustabile fjeldpartier, Karrat 1 og 2, som begge har haft en hurtig og accelererende skredudvikling siden 2015. Områderne er karakteriserede ved meget opbrudte overflader og hyppig stenfallsaktivitet. De bevæger sig flere meter om året og glider sandsynligvis på den samme type strukturer som fjeldskredet i 2017. GEUS vurderer, at der er meget høj sandsynlighed for fjeldskred fra Karrat 1 og 2. Volumen af Karrat 1 og 2 er estimeret til henholdsvis 13 og 11 millioner m³ (Svennevig et al., 2020).

Mod vest, ca. 3 km fra Karrat 1 og 2, ligger det ustabile fjeldparti Karrat 3, som viser tegn på mangeårig bevægelsesaktivitet. Området er meget stort, ca. 2000 x 1600 meter med en ukendt fortsættelse under havniveau, og det har en veludviklet bagvæg på op til 120 m og frigørelsesflader til begge sider. Karrat 3 ustabiliteten ses tydeligt i flyfoto fra 1953, hvilket var baggrunden for, at GEUS i notatet af 9. oktober 2020 vurderede, at området har været aktivt i meget lang tid, muligvis hundreder eller tusinder af år. Bevægelsen i Karrat 3 er heterogen. Den øvre del bevæger sig med ca. 10 cm/år, mens den nedre del bevæger sig hurtigere, op til 50 cm/år eller derover. På baggrund variationen i bevægelse samt strukturelle forskelle, er der for Karrat 3 defineret to skredscenarier: Fjeldskred fra den nedre del, dvs. fra Blok B alene, og fjeldskred fra hele Karrat 3, dvs. Blok A + B. Volumen for de to scenarier er henholdsvis 412 og 524 millioner m³.



Figur 2: Skredkysten ved Karrat. a) Sentinel-2 satellitbillede med angivelse af de tre fjeldskred fra 2009, 2016 og 2017, samt de ustabile fjeldpartier Karrat 1, 2 og 3. Afgrænsningen mellem Blok A og Blok B i Karrat 3 er vist med stiplede sorte linjer. Positionen af profilet i Figur 2b er vist med en rød streg og X-X'. b) Tolket tværsnit igennem Karrat 3, der viser det konstruerede forløb af brudfladen og opdelingen i to blokke A og B. De røde pile viser bevægelsesretningen. Udbredelsen under havniveau er ukendt, men det ses fra tolkningen, at denne kan fortsætte flere hundrede meter til havs.

Tsunamimodellering

Tsunamimodelleringen har haft til formål at modellere tsunamiudbredelse i Uummannaqs fjordsystem samt opskyl i Uummannaq og alle bygder i Uummanaq fjordsystem. Med opskylshøjde forstås den maksimale højde over havniveau, som overskylles af tsunamien. Med tsunami menes hele serien af tsunamibølger.

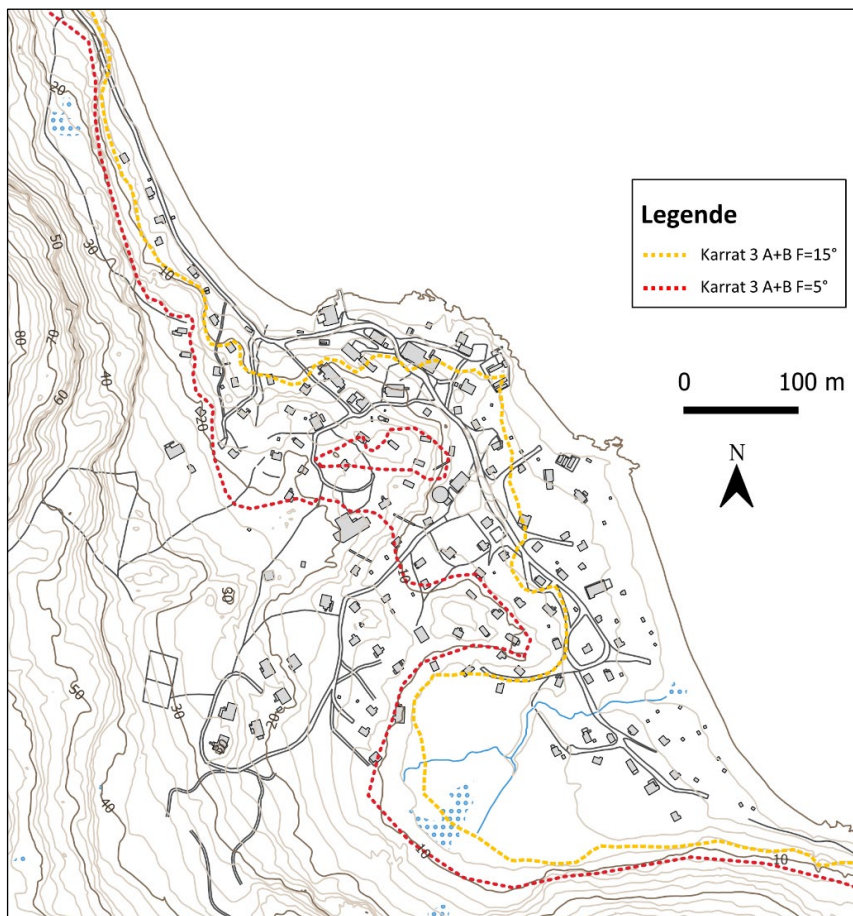
Metode og datagrundlag

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 tsunamiens udbredelse i Uummannaqs fjordsystem og 4) modellering af opskylshøjde i nærliggende beboede byer/bygder. Detaljerne i de anvendte modelparametre er beskrevet i NGI Rapport af 26. marts 2021.

Datagrundlaget for tsunamimodelleringen udført af NGI har været: a) batymetriske data for Uummannaqs fjordsystem (kompileret af GEUS), b) detaljerede topografiske kort af de inkluderede byer/bygder (fra Asiaq), c) volumen og konfiguration af Karrat skredområderne (kvantificeret af GEUS), og d) observationer fra modelleringen af tidligere skred i både Karrat fjorden og 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.

Der er en væsentlig usikkerhed knyttet til simuleringerne. Denne usikkerhed stammer til dels fra usikkerheden i skreddynamikken og batymetrien. NGI har derfor simuleret forskellige scenarier i modelleringen ved at benytte friktionsvinkel på 5°, 10° eller 15°. Effekten af at ændre friktionsvinklen er vist med eksemplet i Figur 3, som viser simulerede opskylshøjder for et potentielt fjeldskred fra Karrat 3 i Qaarsut med friktionsvinkel på henholdsvis 5° og 15°. Forskellen mellem de estimerede opskylshøjder i de modellerede scenarier afspejler usikkerheden i tsunamimodelleringen.



Figur 3: Simulerede opskylshøjder for et potentielt fjeldskred fra Karrat 3 (Blok A+B) i Qaarsut med friktionsvinkel på henholdsvis 5° og 15°. Forskellen mellem de opskylshøjderne i de to scenarier afspejler ifølge NGI usikkerheden relateret til i skreddynamik og batymetri i tsunamimodelleringen.

Resultater

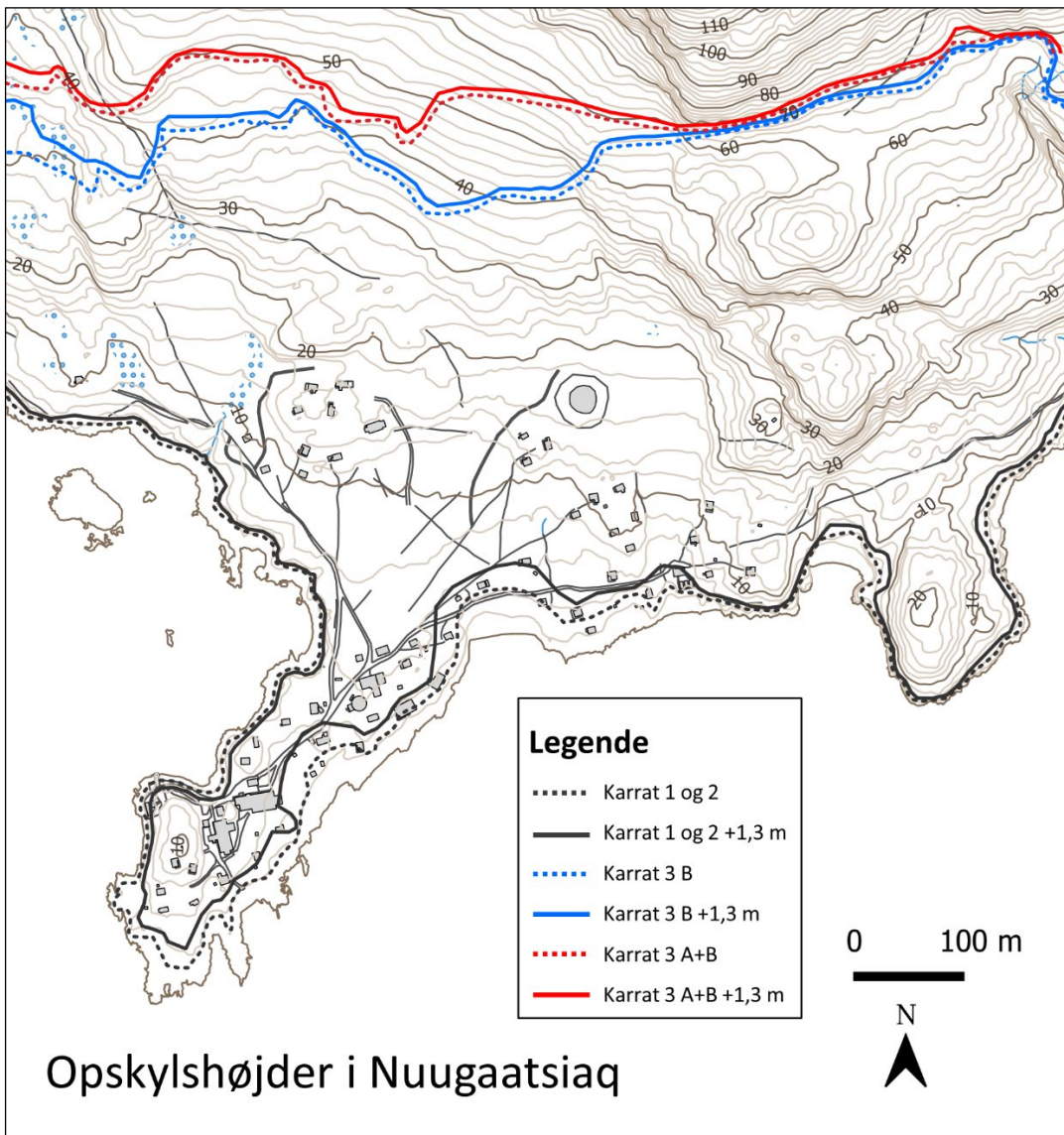
Tsunamimodelleringen er foretaget for potentielle fjeldskred fra Karrat 1 (13 millioner m³) og Karrat 2 (11 millioner m³) samt to scenarier for Karrat 3: fjeldskred fra Blok A+B, dvs. det samlede ustabile område over havniveau (524 millioner m³, kaldt "full" i NGI's rapport) og fjeldskred fra Blok B (412 millioner m³, kaldt "lower" i NGI's rapport). Efter aftale med Departementet for Landbrug, Selvforsyning, Energi og Miljø rapporteres herunder de højeste opskylsestimater (5° friktionsvinkel). I tillæg rapporteres opskylshøjder ved maksimalt højvande, dvs. 1,3 m over middelvandstand. For en nærmere illustration af sandsynlige spænd af opskylshøjder henvises til NGI's rapport.

Resultaterne af modelleringerne er vist med opskylshøjder i Tabel 1 og beskrevet herunder med udgangspunkt i de berørte byer/bygder. Opskylshøjderne er angivet i et interval, hvilket afspejler, at tsunamibølgerne når forskellige højder afhængigt af den lokale topografi og batymetri. For Karrat 1 og 2 er der ikke signifikant opskyl for Qaarsut, Niaqornat, Uummannaq, Saattut, Ukkusissat og Ikerasak. Opskylskort for hver by/bygd er vist i Figur 4–11.

Nuugaatsiaq

Opskylskortet for Nuugaatsiaq viser simulerede opskylshøjder for modelleringer af fjeldskred fra Karrat 1 og 2 samt to skredscenarier for Karrat 3 (Figur 4). Kurverne er vist ved middelvandsstand samt ved maksimalt højvande 1,3 m over middelvandsstand. I Nuugaatsiaq giver modelleringerne for Karrat 3 i værste fald ekstreme opskylshøjder på 36–73 m og bølger, der når over 500 m ind i land. Bygden vil dermed blive fuldstændigt oversvømmet. Karrat 1 og 2 modelleringerne giver opskyl på 3–6 m. Ankomsten af den første bølge er 7 minutter efter fjeldskredet.

Opskylshøjder ved højvande	Tid til ankomst af første bølge	Karrat 1 (13 x 10 ⁶ m ³)	Karrat 2 (11 x 10 ⁶ m ³)	Karrat 3 Blok B (412 x 10 ⁶ m ³)	Karrat 3 Blok A+B (524 x 10 ⁶ m ³)
Nuugaatsiaq	7 min	3–6 m	3–6 m	31–71 m	36–73 m

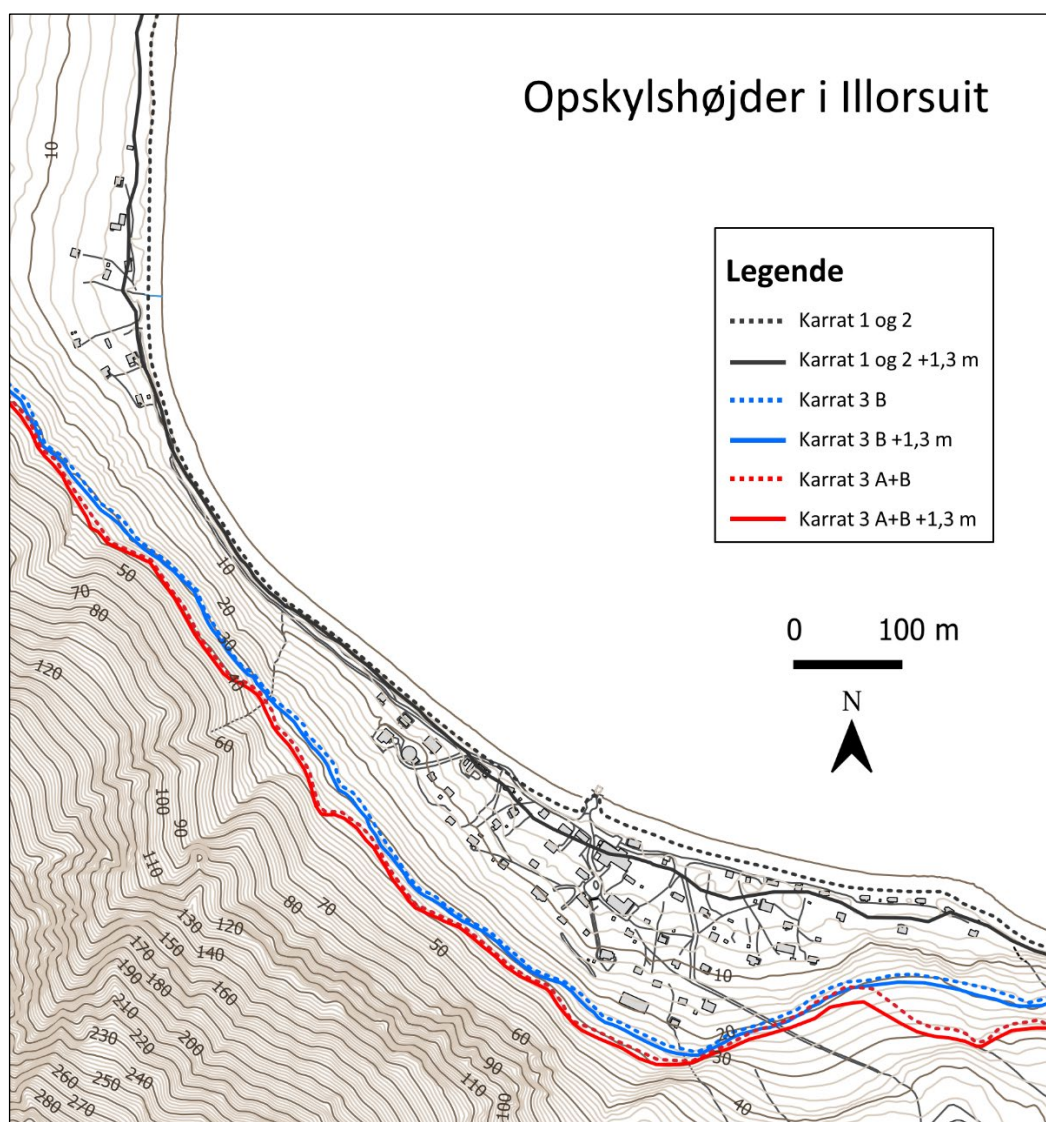


Figur 4: Opskylskort for Illorsuit med angivelse af tsunamimodellens estimater af opskylshøjde ved middelvandstand og maksimalt højvande (+1,3 m). Det underliggende topografiske kort er fra Asiaq.

Illorsuit

Opskylskortet for Illorsuit viser simulerede opskylshøjder for modelleringer af fjeldskred fra Karrat 1 og 2 samt to skredscenarier for Karrat 3 (Figur 5). Kurverne er vist ved middelvandsstand samt ved maksimalt højvande 1,3 m over middelvandsstand. De simulerede opskylshøjder for Karrat 1 og 2 er ens. For Illorsuit giver modelleringen af Karrat 3 i værste fald opskylshøjder på op til 19–42 m, som oversvømmer hele det bebyggede område. Karrat 1 og 2 modelleringerne giver opskyl på 3 m. Ankomsten af den første bølge er 13 minutter efter fjeldskredet.

Opskylshøjder ved højvande	Tid til ankomst af første bølge	Karrat 1 ($13 \times 10^6 \text{ m}^3$)	Karrat 2 ($11 \times 10^6 \text{ m}^3$)	Karrat 3 Blok B ($412 \times 10^6 \text{ m}^3$)	Karrat 3 Blok A+B ($524 \times 10^6 \text{ m}^3$)
Illorsuit	13 min	3 m	3 m	18–34 m	19–42 m

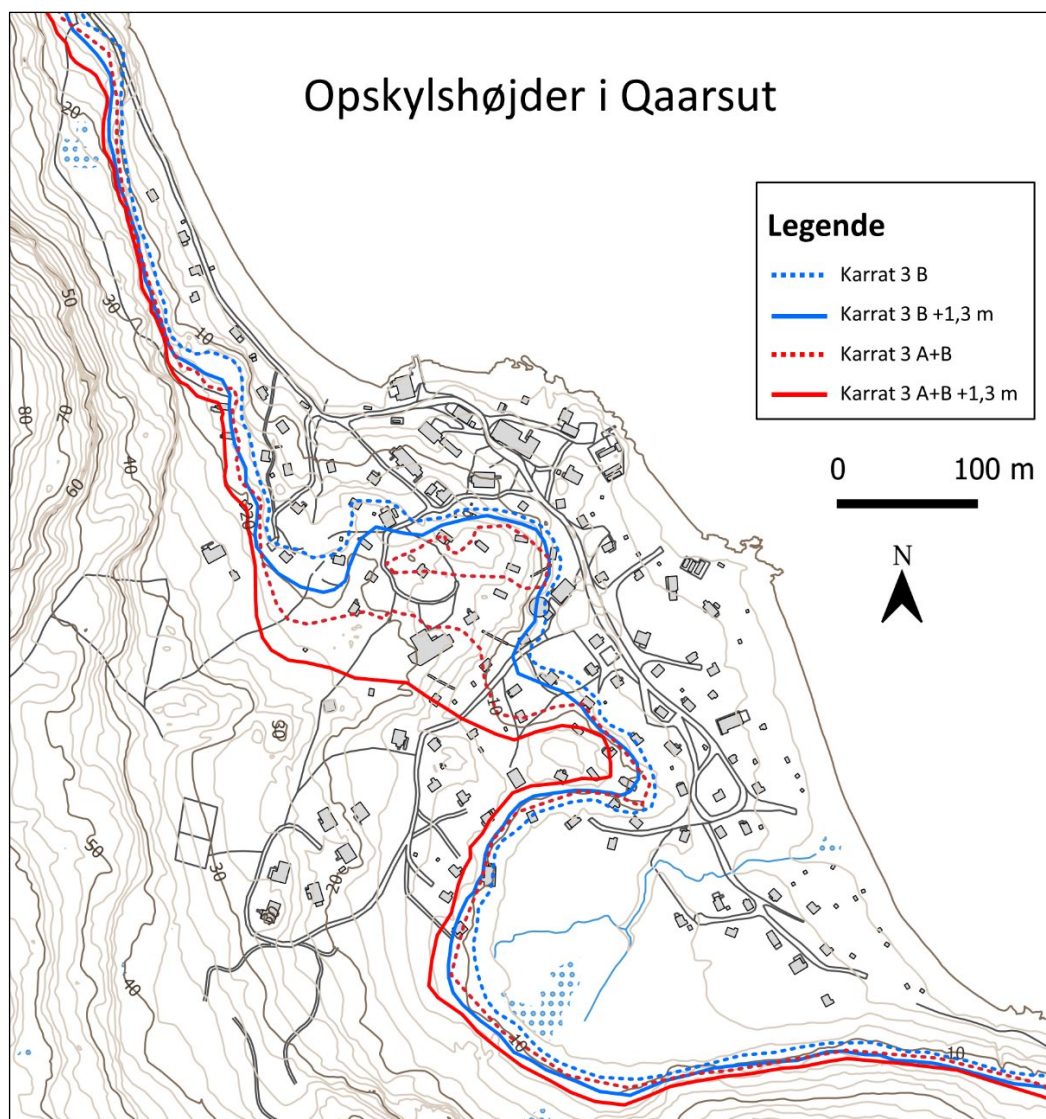


Figur 5: Opskylskort for Illorsuit med angivelse af tsunamimodellens estimater af opskylshøjde ved middelvandstand og maksimalt højvande (+1,3 m). Det underliggende topografiske kort er fra Asiaq.

Qaarsut

Opskylskortet for Qaarsut viser simulerede opskylshøjder for modelleringer af fjeldskred for to skredscenarier for Karrat 3 (Figur 6). Kurverne er vist ved middelvandsstand samt ved maksimalt højvande 1,3 m over middelvandsstand. For Qaarsut giver modelleringerne i værste fald ekstreme opskylshøjder på 10–23 m, og bølgen når op til ca. 300 m ind i land i den sydlige del af bygden. En betydelig del af bygden bliver dermed oversvømmet i dette scenarie. Ankomsten af den første bølge er 26 minutter efter fjeldskredet.

Opskylshøjder ved højvande	Tid til ankomst af første bølge	Karrat 1 ($13 \times 10^6 \text{ m}^3$)	Karrat 2 ($11 \times 10^6 \text{ m}^3$)	Karrat 3 Blok B ($412 \times 10^6 \text{ m}^3$)	Karrat 3 Blok A+B ($524 \times 10^6 \text{ m}^3$)
Qaarsut	26 min	-	-	7–20 m	10–23 m

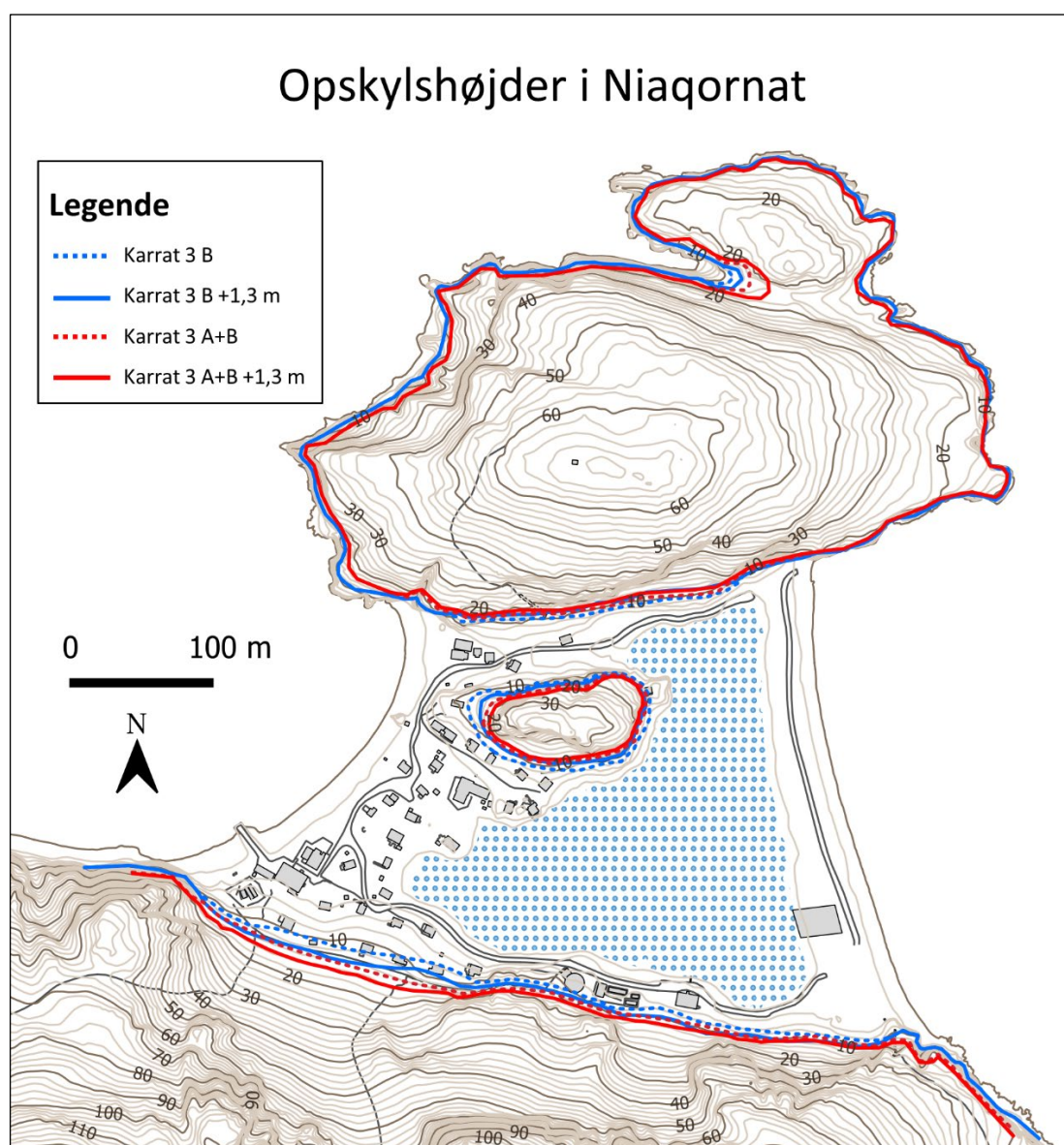


Figur 6: Opskylskort for Qaarsut med angivelse af tsunamimodellens estimater af opskylshøjde ved middelvandstand og maksimalt højvande (+1,3 m). Det underliggende topografiske kort er fra Asiaq.

Niaqornat

Opskylskortet for Niaqornat viser simulerede opskylshøjder for modelleringer af fjeldskred for to skredscenarier for Karrat 3 (Figur 7). Kurverne er vist ved middelvandsstand samt ved maksimalt højvande 1,3 m over middelvandsstand. Modelleringen giver i værste fald ekstreme opskylshøjder på 10–16 m, og hele bygden bliver dermed oversvømmet, da den ligger relativt lavt. Ankomsten af den første bølge er 23 minutter efter fjeldskredet.

Opskylshøjder ved højvande	Tid til ankomst af første bølge	Karrat 1 ($13 \times 10^6 \text{ m}^3$)	Karrat 2 ($11 \times 10^6 \text{ m}^3$)	Karrat 3 Blok B ($412 \times 10^6 \text{ m}^3$)	Karrat 3 Blok A+B ($524 \times 10^6 \text{ m}^3$)
Niaqornat	23	-	-	8–13	10–16

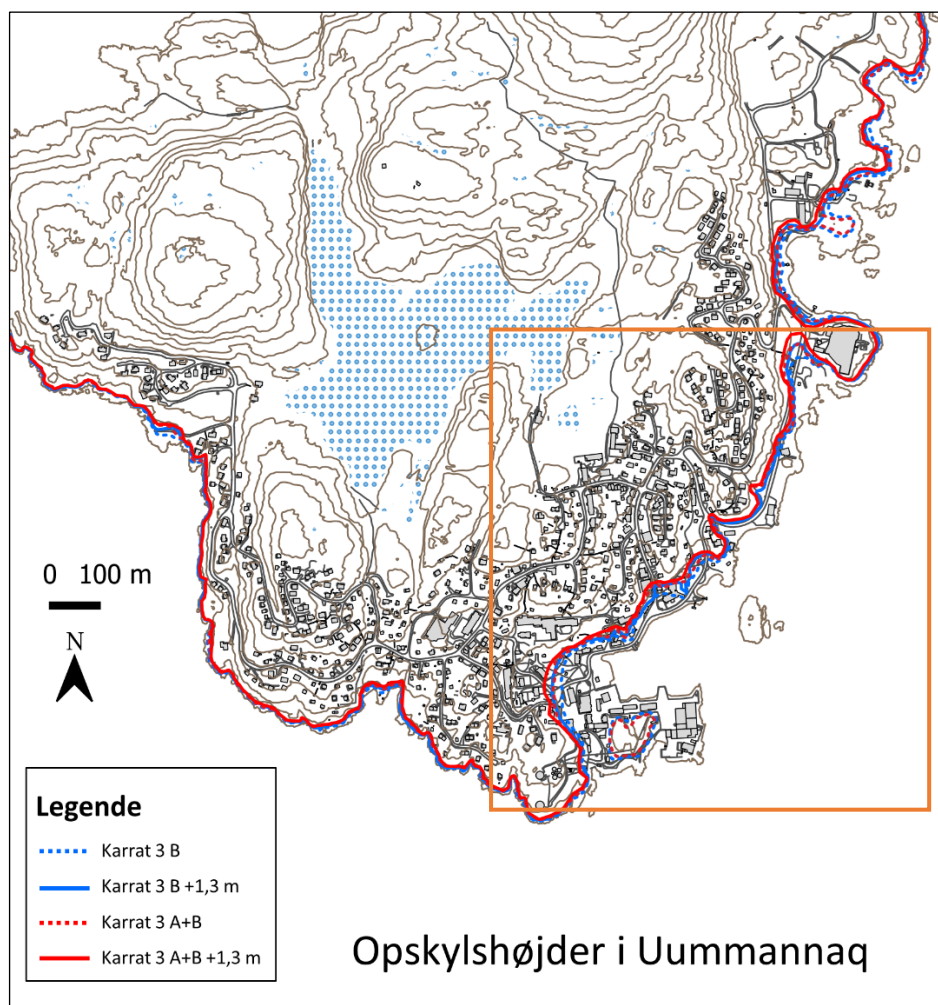


Figur 7: Opskylskort for Niaqornat med angivelse af tsunamimodellens estimater af opskylshøjde ved middelvandstand og maksimalt højvande (+1,3 m). Det underliggende topografiske kort er fra Asiaq.

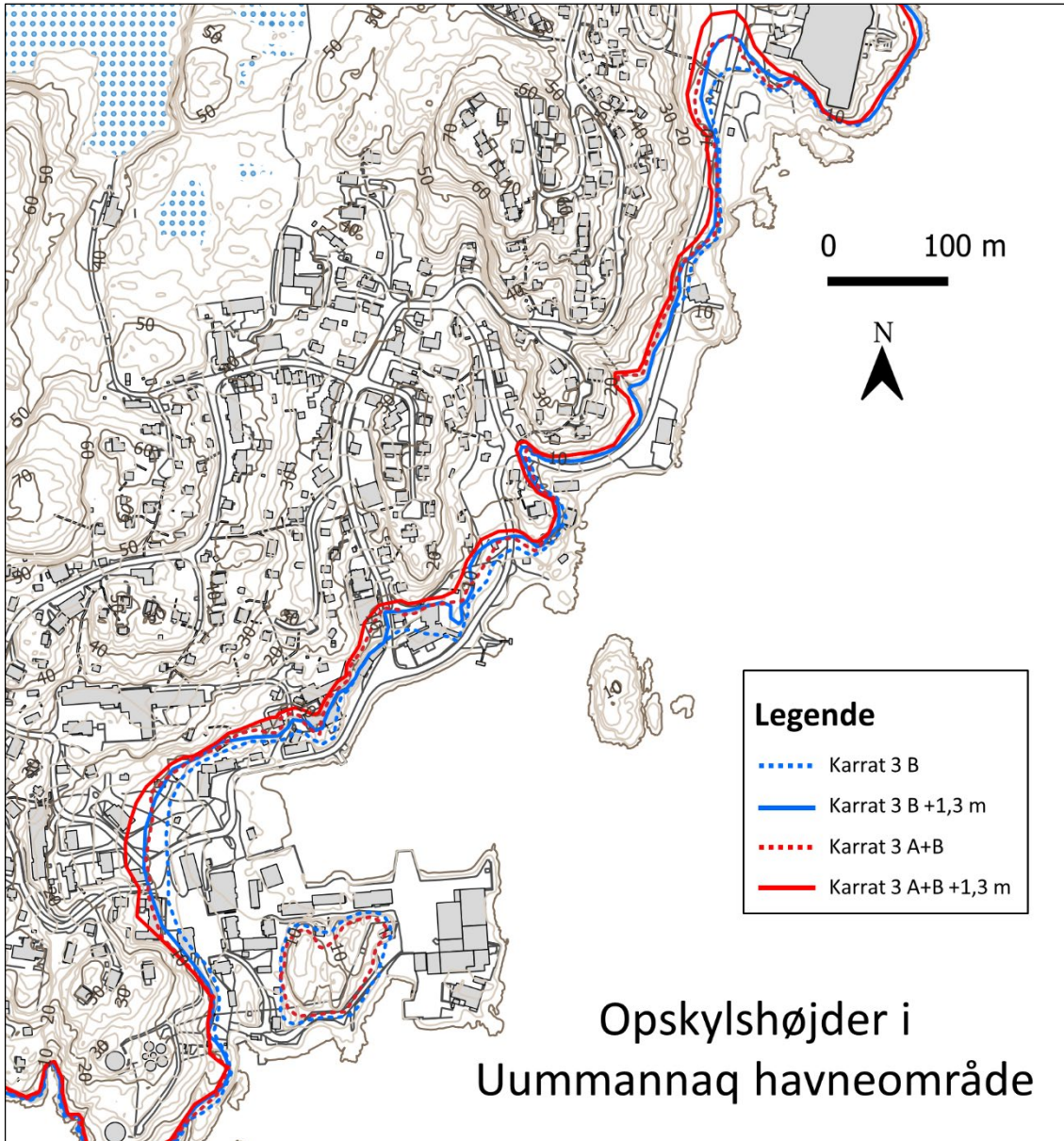
Uumannaq

Opskylskortet for Uumannaq viser simulerede opskylshøjder for modelleringer af fjeldskred for to skredscenarier for Karrat 3 (Figur 8a og 8b). Kurverne er vist ved middelvandsstand samt ved maksimalt højvande 1,3 m over middelvandsstand. Modelleringerne forudsiger høje bølger for dele af det beboede område fra havnen og nordpå. Der simuleres i værste fald 5–13 meters opskylshøjde, og bølgen kan nå mere end 100 m ind i land (Figur 9b). Hovedparten af Uumannaq ligger imidlertid uden for den oversvømmede zone (Figur 9a). Ankomsten af den første bølge er 30 minutter efter fjeldskredet.

Opskylshøjder ved højvande	Tid til ankomst af første bølge	Karrat 1 ($13 \times 10^6 \text{ m}^3$)	Karrat 2 ($11 \times 10^6 \text{ m}^3$)	Karrat 3 Blok B ($412 \times 10^6 \text{ m}^3$)	Karrat 3 Blok A+B ($524 \times 10^6 \text{ m}^3$)
Uumannaq	30 min	-	-	5–12 m	5–13 m



Figur 8a: Opskylskort for Uumannaq med angivelse af tsunamimodellens estimater af opskylshøjde ved middelvandstand og maksimalt højvande (+1,3 m). Højdekurveafstanden er 10 m. Den orange ramme viser udsnittet i Figur 8b. Det underliggende topografiske kort er fra Asiaq.

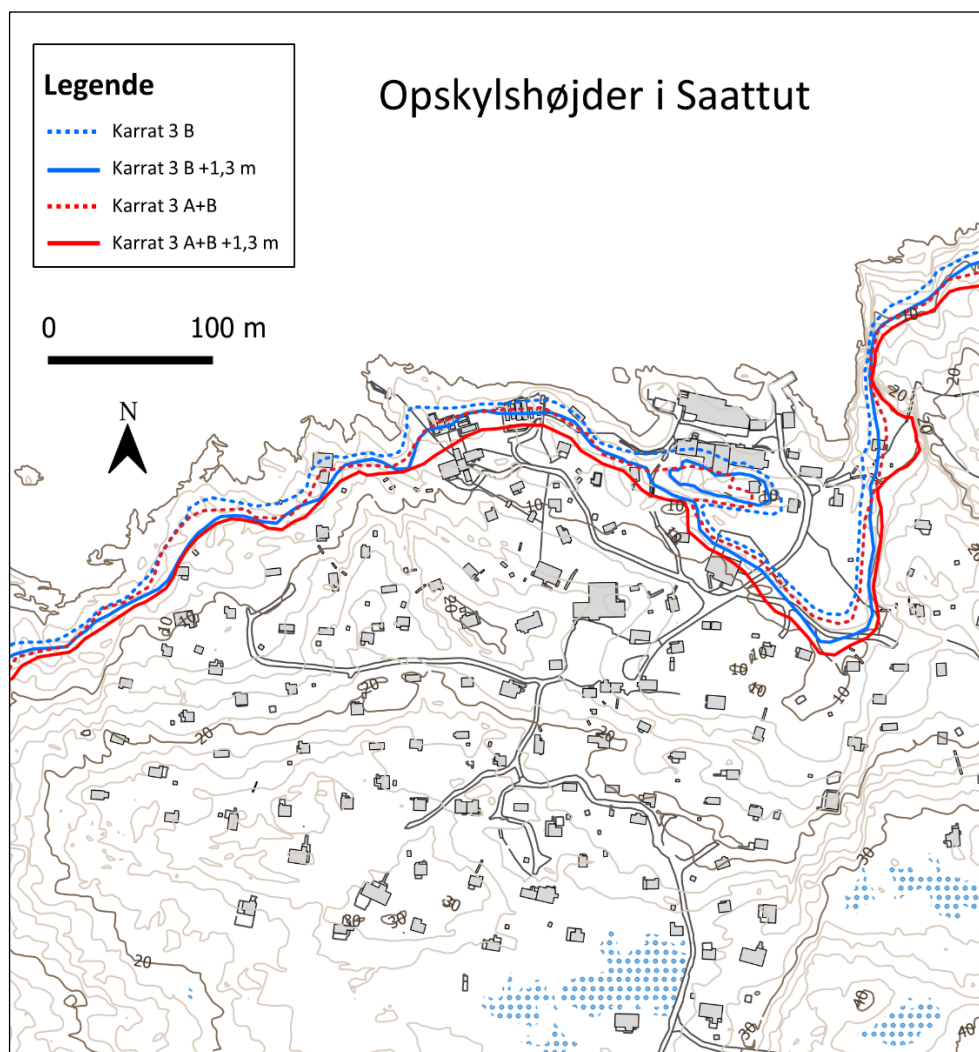


Figur 8b: Opskylskort for Uummannaq havneområde med angivelse af tsunamimodellens estimater af opskylshøjde ved middelvandstand og maksimalt højvande (+1,3 m). Det underliggende topografiske kort er fra Asiaq.

Saattut

Opskylskortet for Saattut viser simulerede opskylshøjder for modelleringer af fjeldskred for to skredscenarier for Karrat 3 (Figur 9). Kurverne er vist ved middelvandsstand samt ved maksimalt højvande 1,3 m over middelvandsstand. Modelleringerne viser i værste fald en begrænset lokal oversvømmelse med en maksimal opskylshøjde på 10 m, der løber ca. 100 m ind i landet omkring bugten ved havnen, hvor flere bygninger ligger. Bugtens form synes at forstærke oversvømmelsen på grund af fokusering af bølgerne. Langs resten af kysten er opskylshøjderne mere begrænsede, typisk maksimalt på 3–5 m, der løber 20–30 m ind i landet. Ankomsten af den første bølge er 35 minutter efter fjeldskredet.

Opskylshøjder ved højvande	Tid til ankomst af første bølge	Karrat 1 (13 x 10 ⁶ m ³)	Karrat 2 (11 x 10 ⁶ m ³)	Karrat 3 Blok B (412 x 10 ⁶ m ³)	Karrat 3 Blok A+B (524 x 10 ⁶ m ³)
Saattut	35 min	-	-	3–10 m	4–10 m

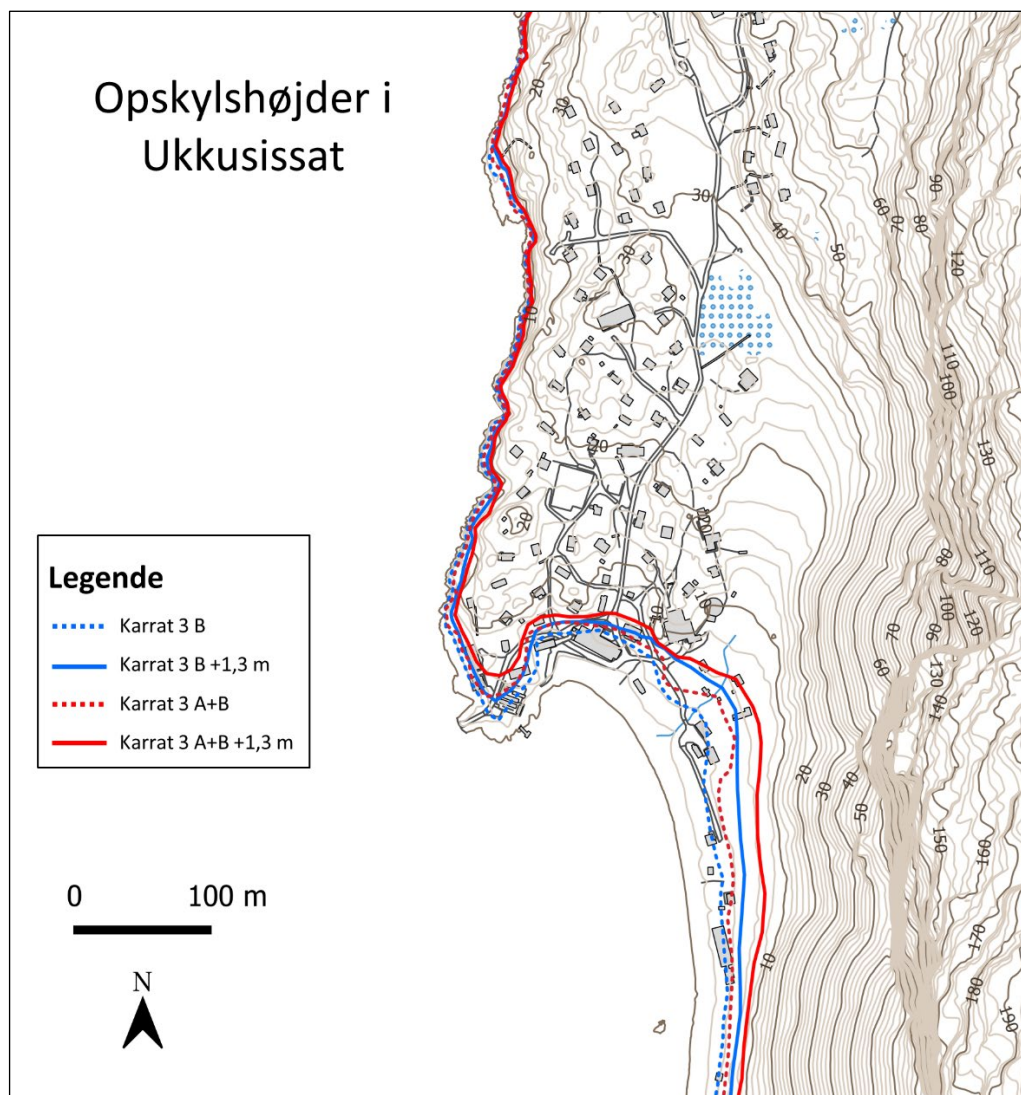


Figur 9: Opskylskort for Saattut havneområde med angivelse af tsunamimodellens estimater af opskylshøjde ved middelvandstand og maksimalt højvande (+1,3 m). Det underliggende topografiske kort er fra Asiaq.

Ukkusissat

Opskylskortet for Ukkusissat viser simulerede opskylshøjder for modelleringer af fjeldskred for to skredscenarier for Karrat 3 (Figur 10). Kurverne er vist ved middelvandsstand samt ved maksimalt højvande 1,3 m over middelvandsstand. Modelleringerne for Ukkusissat giver i værste fald maksimale opskylshøjder på op til 5–7 m, hovedsagelig i bugten hvor bølgen når ca. 50–75 m ind i land. Flere bygninger ligger indenfor denne zone. Ankomsten af den første bølge er 26 minutter efter fjeldskredet.

Opskylshøjder ved højvande	Tid til ankomst af første bølge	Karrat 1 ($13 \times 10^6 \text{ m}^3$)	Karrat 2 ($11 \times 10^6 \text{ m}^3$)	Karrat 3 Blok B ($412 \times 10^6 \text{ m}^3$)	Karrat 3 Blok A+B ($524 \times 10^6 \text{ m}^3$)
Ukkusissat	26 min	-	-	4–6 m	5–7 m

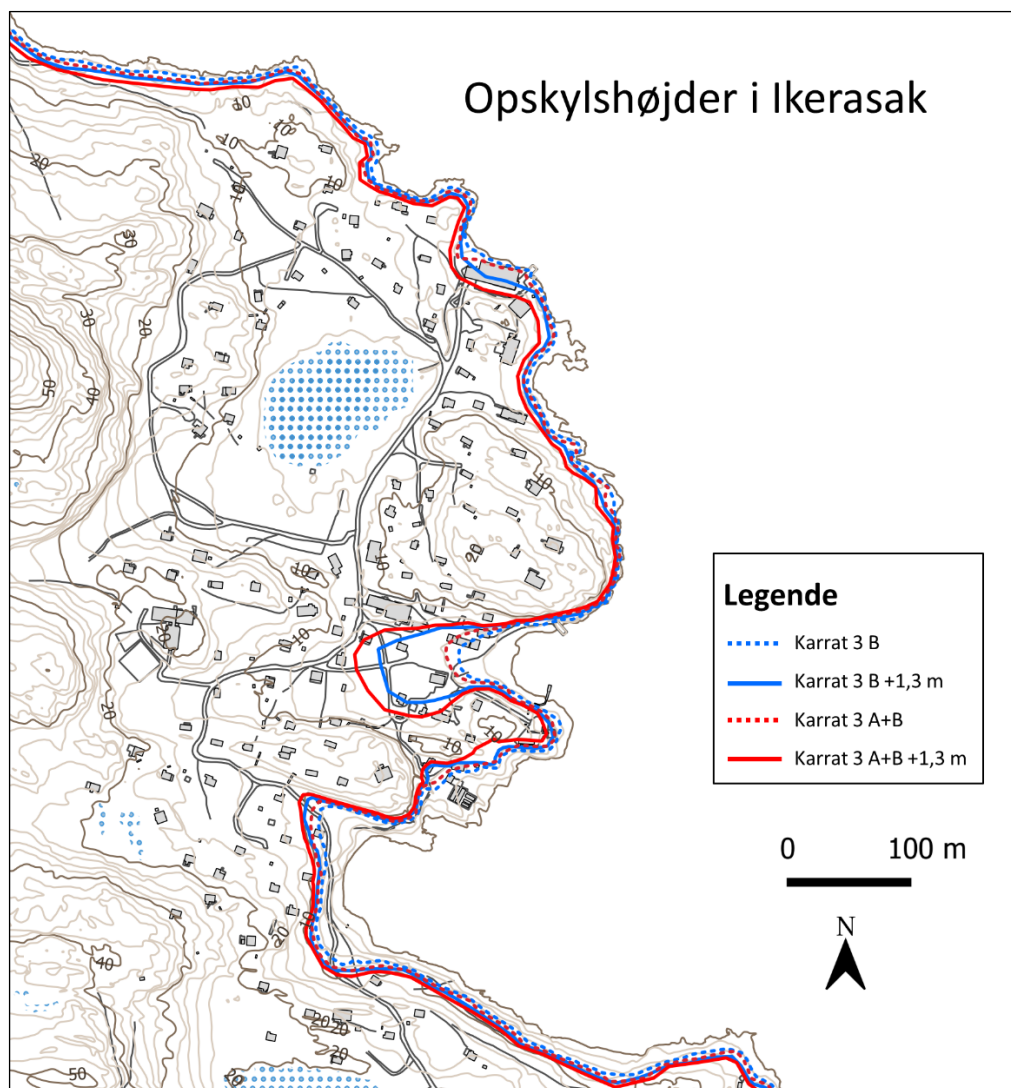


Figur 10: Opskylskort for Ukkusissat med angivelse af tsunamimodellens estimater af opskylshøjde ved middelvandsstand og maksimalt højvande (+1,3 m). Det underliggende topografiske kort er fra Asiaq.

Ikerasak

Opskylskortet for Ikerasak viser simulerede opskylshøjder for modelleringer af fjeldskred for to skredscenarier for Karrat 3 (Figur 11). Kurverne er vist ved middelvandsstand samt ved maksimalt højvande 1,3 m over middelvandsstand. Modelleringerne for bygden viser i værste fald opskylshøjder på op til 10 m i området omkring havnen, hvor flere bygninger ligger. De resterende områder får moderate bølger på 3–5 m højde. Ankomsten af den første bølge er 38 minutter efter fjeldskredet.

Opskylshøjder ved højvande	Tid til ankomst af første bølge	Karrat 1 ($13 \times 10^6 \text{ m}^3$)	Karrat 2 ($11 \times 10^6 \text{ m}^3$)	Karrat 3 Blok B ($412 \times 10^6 \text{ m}^3$)	Karrat 3 Blok A+B ($524 \times 10^6 \text{ m}^3$)
Ikerasak	38 min	-	-	3–9 m	4–10 m



Figur 11: Opskylskort for Ikerasak med angivelse af tsunamimodellens estimater af opskylshøjde ved middelvandsstand og maksimalt højvande (+1,3 m). Det underliggende topografiske kort er fra Asiaq.

Konklusion og anbefalinger

Tsunamimodelleringerne fra NGI viser, at et fjeldskred fra Karrat 3 vil medføre meget store opskylshøjder i Uummannaqs fjordsystem (Tabel 1). Den nærmeste bygd, Nuugaatsiaq, vil blive ramt af første bølge efter syv minutter og den fjerneste bygd, Ikerasak, 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. Hertil genereres der så store bølger, at det kan være til fare for både på det åbne vand selv langt fra fjeldskreddet. Fjeldskred fra Karrat 1 og 2 vil kun udgøre en fare for Nuugaatsiaq og Illorsuit, men kan medføre stærk strøm i havnene i andre byer/bygder.

NGI bemærker, at der er væsentlig usikkerhed knyttet til simuleringerne. Denne usikkerhed stammer til dels fra usikkerheden i skreddynamikken og batymetrien. Forskellen mellem de estimerede opskylshøjder i de modellerede scenarier afspejler denne usikkerhed. Forskellen er størst der, hvor der simuleres betydelige opløbshøjder og i fladt terræn som i Qaarsut.

Ved tsunamien 17. juni 2017 blev det observeret, at den første bølge ikke var den største, og modelleringerne indikerer, at det samme kunne blive tilfældet for en tsunami udløst af Karrat 3. Observationer af og viden om unormal bølgeaktivitet kan dermed potentielt give folk mulighed for at evakuere til højere terræn, men NGI påpeger, at der ikke er nogen garanti for, at dette er tilfældet.

På baggrund af bevægelseshistorikken og de aktuelle bevægelser i de ustabile områder vurderer GEUS, at der er større sandsynlighed for fjeldskred fra Karrat 1 og 2 end fra Karrat 3. Det er ikke muligt at forudsige hvornår eller præcist hvor, de næste større fjeldskred vil forekomme i Karrat fjorden. 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 høj risiko for nye alvorlige fjeldskred.

Referencer

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

GEUS Notat om risiko for fjeldskred og tsunamibølger i Karrat Fjorden – status for faglig viden oktober 2020, 9. oktober 2020.

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., Merryman Boncori, J.P., Larsen T. B., 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 detect and locate unstable rock slopes in a remote Arctic area. Earth Surface Dynamics.