

A photograph of a person with a red and grey backpack, wearing a blue plaid shirt and blue jeans, standing on a rocky, reddish-brown ground. They are looking towards a large, dark, conical volcano in the background. A thick, light-colored plume of ash or smoke is rising from the base of the volcano, partially obscuring its lower slopes. The sky is clear and blue.

TEMANUMMER

Geologiske naturkatastrofer

– Fjeldskred i Grønland

Fjeldskred ved Paatuut – Flodbølge i Disko Bugten

Lotte Melchior Larsen
Trine Dahl-Jensen
Stig A. Schack Pedersen

Midt på eftermiddagen den 21. november 2000 blev kysten ved bygden Saqqaq på sydsiden af Nuussuaq-halvøen i det centrale Vestgrønland oversvømmet af en voldsom flodbølge. Ti både blev ødelagt, men heldigvis omkom der hverken mennesker eller hunde.

Begivenheden skabte en del forvirring og frygt, og den næste dag besigtigede politiet fra Ilulissat området fra helikopter. De kunne herefter berette at årsagen til flodbølgen skulle søges i Paatuut-området på sydkysten af Nuussuaq 40 km vest for Saqqaq, hvor der var sket et stort fjeldskred. Skreddet dannede en stor tunge af sort materiale der strakte sig ud i havet, og det fremstod meget tydeligt på baggrund af de hvide, snedækkede omgivelser. Desuden så sporene af flodbølgen tydeligt, idet områderne langs kysten på hver side af skreddet var vasket rene for sne i op til 50 m's højde.

Der var sket omfattende skader på den forladte kulmineby Qullissat på nordkysten af Disko lige over for Paatuut. Her måtte flodbølgen være nået over hundrede meter ind i land i en højde af adskillige meter, og hvis byen havde været beboet ville det have kostet mange mennesker livet.

Flodbølgen forvoldte også skader i bygden Qeqertaq, og den nåede helt til Ilulissat 135 km borte med et lille, men måleligt udsving i vandstanden på 10-20 cm.

Hvad er fjeldskred?

Fjeldskred og jordskred finder sted overalt på Jorden og er en del af den almindelige geologiske nedbrydningsproces. Da skred omfatter en hurtig flytning af store mængder materiale kan de forvolde stor skade på deres omgivelser og er frygtede mange steder i verden, især i tætbefolkede bjerg-egne. I de tilfælde hvor skredmasserne kan nå ud i havet, kan de desuden forårsage flodbølger (tsunamier) som kan sprede ødelæggelser over meget store områder.



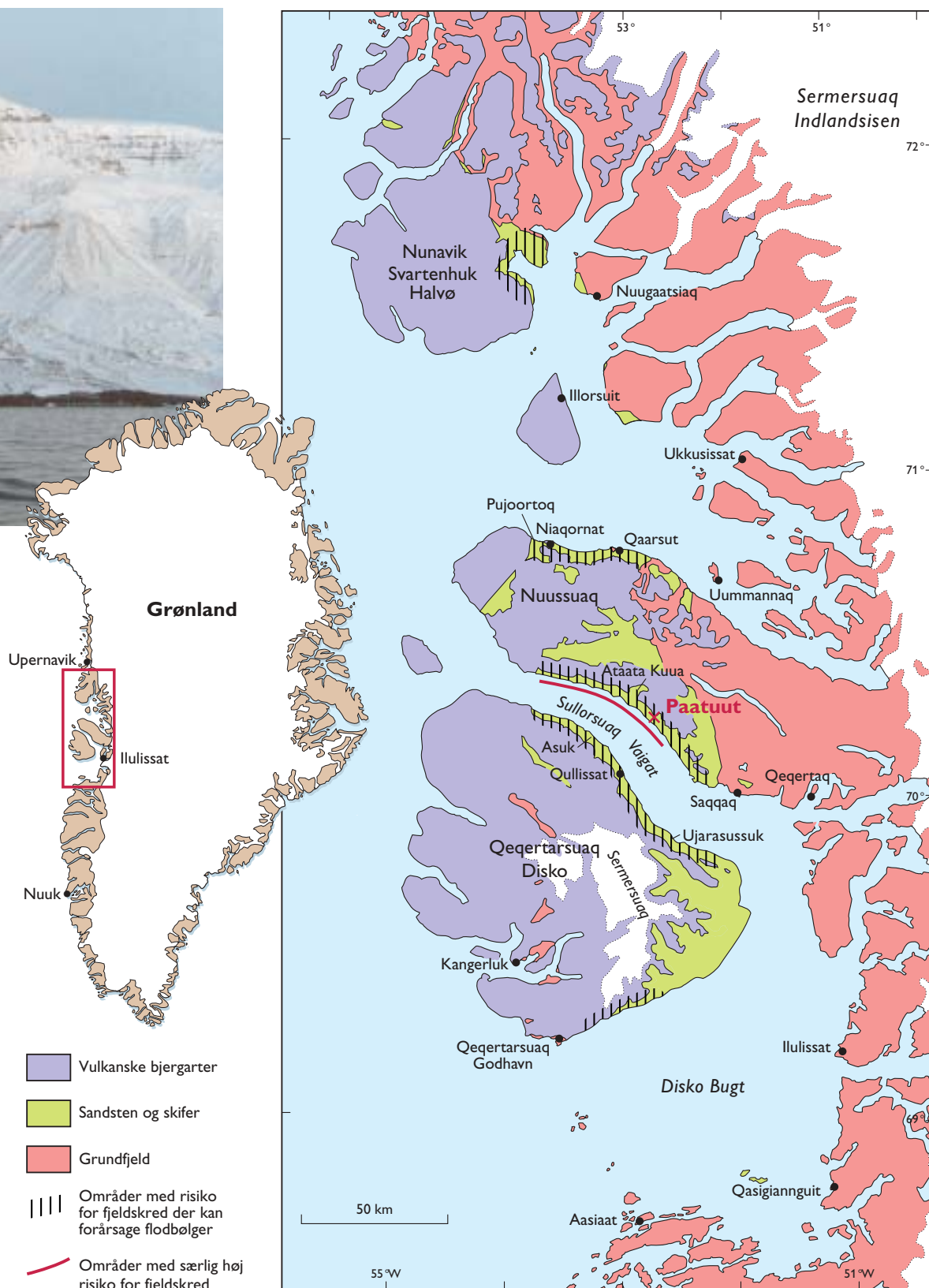
Fjeldskreddet ved Paatuut fotograferet få dage efter det blev udløst den 21. november 2000. Det nedskredne materiale tegner sig tydeligt som mørke partier mod den hvide sne. Det er styrtet ned fra højder mellem 900 m og 1400 m, hvor man kan se den stejle bagvæg der begrænser det nydannede indhak i fjeldsiden. Herfra er materialet kanaliseret ned igennem nogle eksisterende kløfter og har spredt sig ud i vifteform og er aflejret på det laveliggende forland under 300 m's højde. Dele af skreddet er fortsat ud i havet og har forårsaget flodbølgen. Bemærk at sneen på begge sider langs kysten er skyllet bort. Bjergtoppene er op til 2000 m høje, og den sorte bræmme viser tydeligt at flodbølgen var ca 50 m høj.

Foto: Christoffer Schander, Arktisk Station.

Fjeldskred og flodbølger i Grønland

Fjeldskred kan forekomme alle steder hvor terrænet har en vis stejlhed. Grundfjeldets gnejser og granitter, som udgør store dele af Grønland, er dog i praksis yderst solide og skrider meget sjældent. Men regionen fra Disko over Nuussuaq til Svartenhuk Halvø har en geologisk set stor hyppighed af fjeldskred. Dette skyldes de geologiske forhold i området, hvori vi finder bjergarterne fra det såkaldte Nuussuaq-bassin. Disse bjergarter består af relativt bløde, kun svagt hærdnede sediment (sandsten med skifre og kullag) overlejret af tunge massive lag af den vulkanske bjergart basalt. Denne kombination af bløde bjergarter i bunden og tunge bjergarter ovenpå fører ofte til ustabile forhold, f.eks. i forbindelse med sprækkedannelse og erosion. Store dele af Disko, Nuussuaq og Svartenhuk Halvø er stærkt præget af fjeldskred, især langs kysterne og på hele det østlige Disko.

I de kystnære områder kan fjeldskred nå ud i havet og forårsage flodbølger der kan nå vidt omkring. Faren i forbindelse med flodbølger er betydeligt større end faren for at personer eller bebyggelser bliver ramt direkte af nedfaldende klippestykker. Områder hvor fjeldskred kan forårsage flodbølger, er vist på kortet side 3. Skredene kan foregå med forskellig hastighed, og de langsomme skred i form af roligt flydende strømme er ufarlige. Flodbølgerne dannes i forbindelse med hurtige skred ved den pludselige forskubning af vandmasserne i havet, og risikoen for pludselige hændelser er større, jo stejlere kysten er. Risikoen er derfor særligt stor på Nuussuaqs stejle sydkyst, hvor erosionen er kraftig og bevirker at der stedvis samles store mængder af løst materiale højt oppe på fjeldsiden. Dette område er angivet med rødt på kortet. Ydermere vil flodbølger opstået på Nuussuaqs sydkyst ikke kunne brede sig frit i havet men vil opstaves i det snævre Vagatstræde og reflekteres fra kyst til kyst.



Geologisk kort over de skredudsatte områder i Vestgrønland. Fjeldskred forekommer især i områder hvor tunge vulkanske bjergarter (basalter) ligger oven på bløde sandsten og skifer.

Paatuut efter skreddet

Geologien ved Paatuut

Fjeldet ved Paatuut består af to meget forskellige enheder. Nederst findes sandsten med skifre og kullag; denne enhed kaldes Atane Formationen og ses meget tydeligt som en lysegul, stedvis mørk-stribet lagserie, der træder frem i mange kløfter i op til 900 m's højde. Over Atane Formation bliver fjeldsiden stejlere, og her ligger de mørke vulkanske bjergarter (basalter) fra 900 m's højde til fjeldtoppene i op til 2000 m's højde. Vulkanismen fandt sted i begyndelsen af Paleocæn tiden for ca. 60 mill år siden.

Den nederste del af den vulkanske lagserie ved Paatuut, fra ca. 900 m til 1160 m's højde, består af vulkanske breccier. Disse er dannet ved at den varme, flydende lava er løbet ud i et dybt søbassin og er blevet lynafkølet så voldsomt, at materialet splintredes i større og mindre stykker, som aflejredes som usorterede, dårligt lagdelte løsmasser i bassinets kant. Med tiden fyldtes søbassinet ud, og lavastrømmene fra 1160 m og opefter flød derfor ikke i vand, men spredte sig over land som 10–20 m tykke strømme. Hver strøm består af en massiv nedre del og en blæret, porøs topzone. Lavaserien får derved et karakteristisk, bænket udseende, hvor hver bænk er den massive del af en enkelt lavastrøm.

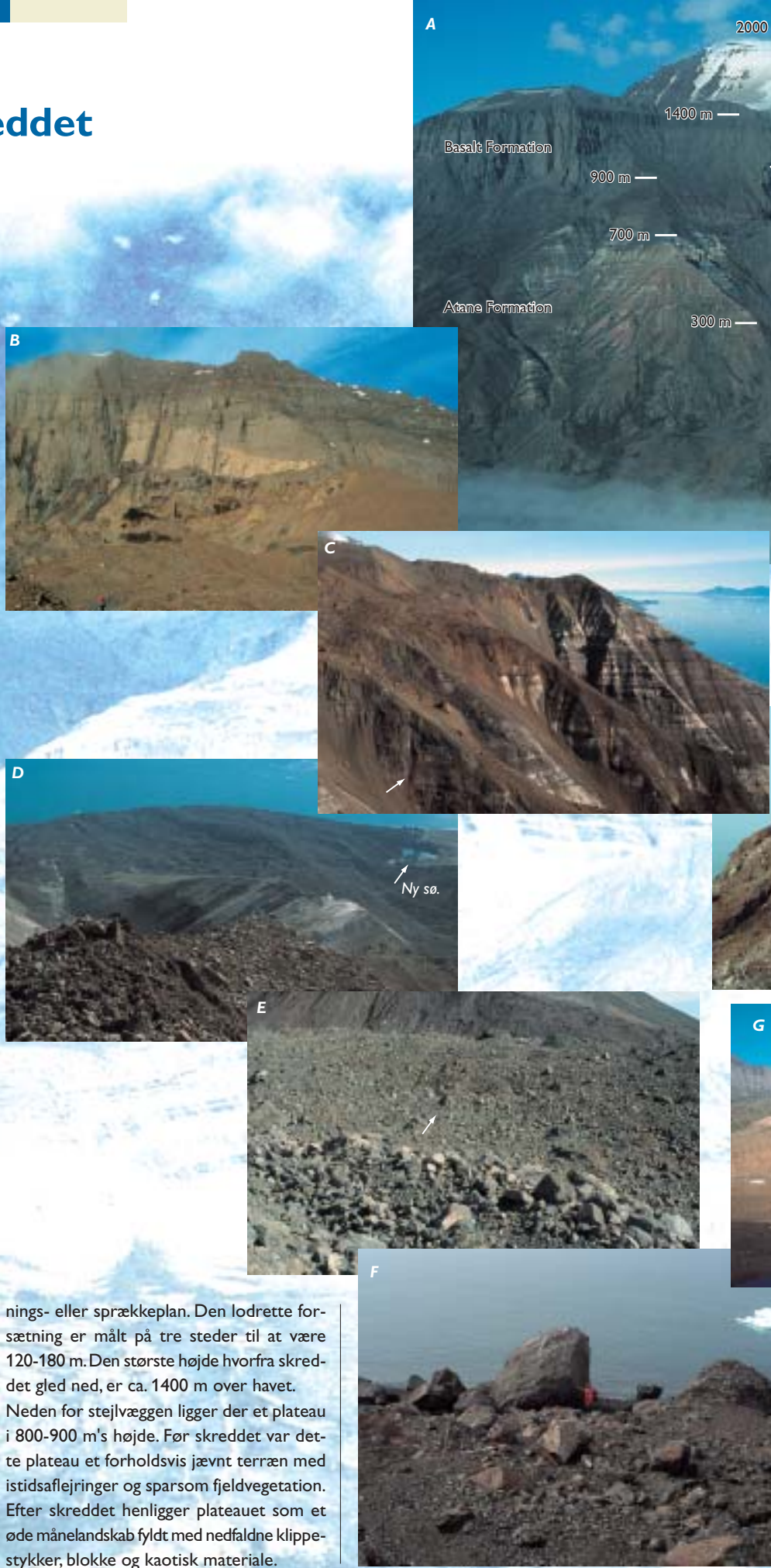
Skreddet ved Paatuut

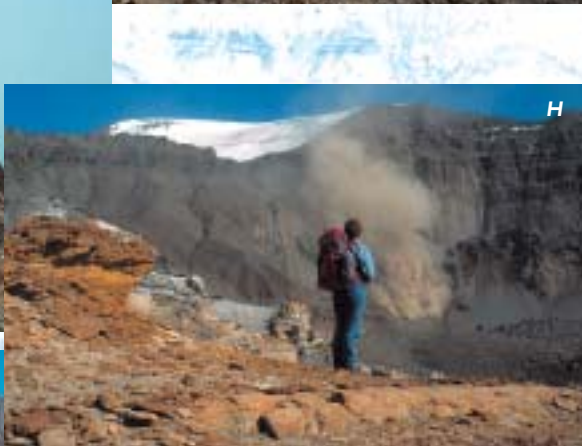
Skreddets top i 900-1400 m's højde er det område hvorfra stenmasserne, overvejende basalt, er styrtet ned. Mellemdelen 300-900 m o.h. er en transportzone hvor materialet er kanaliseret ned gennem eksisterende kløfter i Atane Formationens sandsten og skifre. I skreddets fod under 300 m's højde ligger skredmasserne nu i en vifteformet aflejringskegle. Desuden er dele af skreddet fortsat ud i havet.

A Toppen af skreddet består af en meget høj stejlvæg, langs hvilken materialet er rutsjet ned. Stejlvæggen består af to partier som mødes i en stump vinkel i det dybeste indhak i fjeldet. Hovedmassen af skreddet er udløst fra den østre lyse del af stejlvæggen (højre side på billedet). På den vestre væg ses tydelige spor efter en transport langs væggen. Langs den lyse del af stejlvæggen er der sket en næsten lodret forsætning langs med et gammelt forkast-

nings- eller sprækkeplan. Den lodrette forsætning er målt på tre steder til at være 120-180 m. Den største højde hvorfra skreddet gled ned, er ca. 1400 m over havet.

Neden for stejlvæggen ligger der et plateau i 800-900 m's højde. Før skreddet var dette plateau et forholdsvis jævnt terræn med istidsaflejringer og sparsom fjeldvegetation. Efter skreddet henligger plateauet som et øde månelandskab fyldt med nedfaldne klippestykker, blokke og kaotisk materiale.





B De to stejlwægge ved toppen af skreddet. Hovedmassen af skreddet er udløst fra den lyse stejlwæg. Her er den største lodrette forsætning målt til 182 m.

C Den centrale del af skreddet hvor Atane Formationens sandsten og skifre næsten er upåvirket af de store stenmasser, som er skredet ud over kløfter og rygge. Pilen peger på en række skrå striber på den nær-

meste fjeldvæg, der viser sporerne efter lavinens skuring mod kløftens sider.

D Udsigt oppe fra ned over aflejringskeglen. Aflejringerne består af langsgående rygge af blokke adskilt af dybe grøfter. Det er vanskeligt at opfatte størrelsen af skreddet, men grøfterne der kan ses i aflejringskeglen, er op mod 50 m dybe. Ryggen i billedets mellemgrund er en sandstensryg der

er en del af overfladen før skreddet. Til højre i billedet, på flanken af aflejringskeglen, ses en lille nydannet sø.

E Overfladeformen midt på aflejringskeglen. Pilen peger på en person der står inde mellem blokkene. Overfladen er yderst ustabil og vanskelig at færdes på.

F Et eksempel på en af de største blokke som er nået helt ud til kysten. Det formodes at flere blokke på denne størrelse er nået ud i havet og har kunnet skabe store bølger.

G Ved kysten opbyggede skredmasserne en halvø ud på den stejle havbund. Et efterfølgende undersøisk skred fik halvøen til at bryde sammen, hvilket startede flodbølgen. Bagvæggen af dette skred markeres i terrænet af en op til 25 m høj, stejl kystskrænt. Denne formodes at gå over i en lige så stejl undersøisk skrænt ude i Vaigattet.

H Et fænomen som stadig var meget synligt i sommeren 2001, mere end et halvt år efter skreddet, er forekomsten af røg-lignende støvskeyer. Når sten og blokke falder ned fra den ustabile skredvæg hvirvles en mængde støv op, både fra selve væggen og ved faldet ned på skråningen. Disse støvskeyer kan ses på lang afstand. Under feltarbejdet var det klart en fornemmelse at hypigheden af støvudviklende blokfald tiltog ud på dagen. Dette tolkes som et resultat af solens varmepåvirkning på fjeldet, der får permafrosten i de nyblottede områder til at tø og derved løsner materialet fra den stejle fjeldvæg.

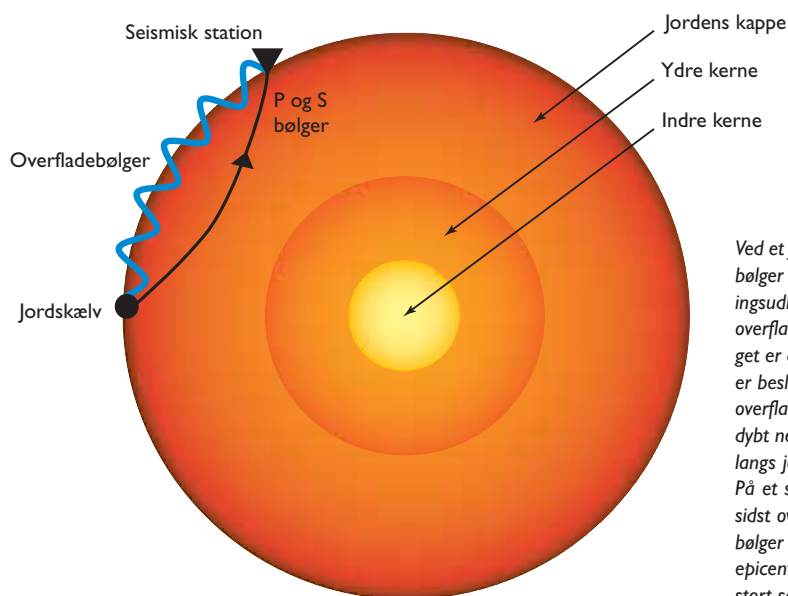
I Både oppe ved toppen af skreddet og især ved foden er der efterfølgende opstået en stor mængde kegleformede frosthøje. Hvis man graver ind i disse kegler er der is inde i midten. De er opstået efter skreddet ved at vand er sivet igennem det meget blandede skredmateriale. Der er permafrost i hele området, hvilket betyder at jorden er frosset et stykke under overfladen hele året rundt. På grund af frosten trækker vandet op i kegler. Lignende fænomener ses i tundraområder med permafrost – her opbygges gennem årene store høje der kaldes pingoer.

Seismiske målinger af skreddet

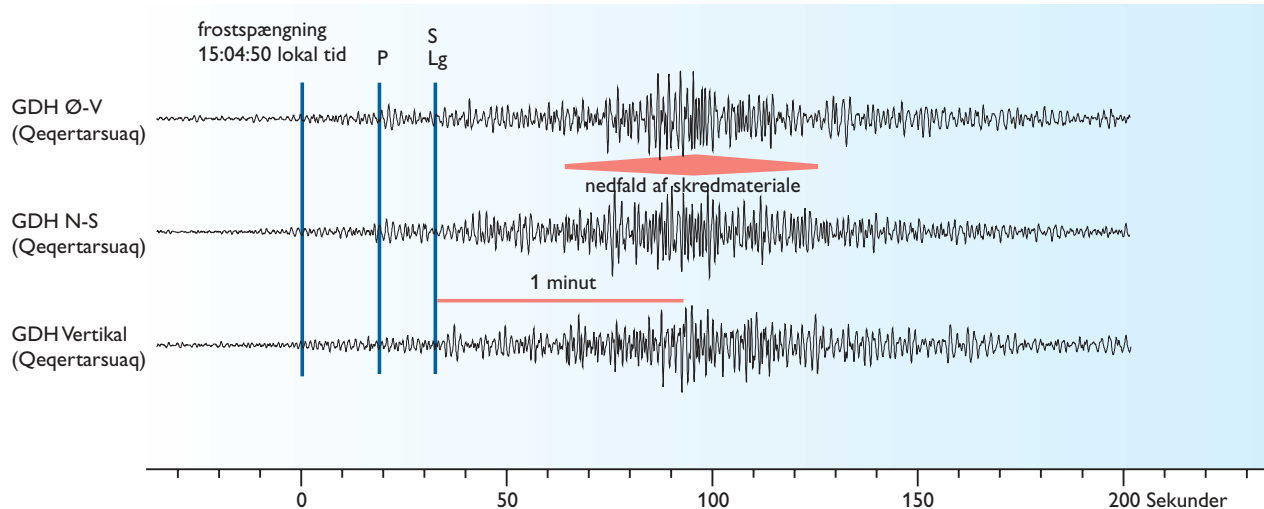
I efteråret 2000 stod der 10 stationer til måling af jordskælv rundt omkring på Grønland som en del af et igangværende forskningsprojekt. På tre af disse stationer blev der opfanget tydelige signaler på tidspunkter, der passer med at der skete en

seismisk hændelse den 21. november 2000 ved Paatuut kl. 15:04:50. Den nærmeste station stod i Qeqertarsuaq/Godhavn, og det er også her rystelserne er tydeligst. Fra målingerne kan vi se at det er gået meget hurtigt. Fra skreddet begyndte til største-

parten af de 90 mill. kubikmeter sten var havnet ved kysten og i vandet er der kun gået ca. 80 sekunder. Da afstanden til kysten er 3 km, har stenmasserne bevæget sig med hastigheder på op til 200 km/timen ned over fjeldsiden!



Ved et jordskælv dannes flere forskellige slags rystelser der spreder sig som bølger ud i jordkloden fra selve epicenteret der er det sted, hvor spændingsudløsningen finder sted. De tre vigtigste er primære, sekundære og overfladebølger. Primære bølger (P bølger) er lydbølger. Når man hører noget er det P bølger i luften, der er selve lyden. Sekundære bølger (S bølger) er beslægtet med P bølgerne, men udbreder sig langsommere. Og endelig overfladebølger, der er endnu langsommere. P og S bølgerne udbreder sig dybt nede i jorden; i modsætning hertil udbreder overfladebølgerne sig kun langs jordoverfladen, lige som vandbølger kun findes nær vandoverfladen. På et seismometer vil P bølgerne komme først, derefter S bølgerne og til sidst overfladebølgerne. Tidsforskellen mellem ankomsten af de forskellige bølger hænger nøje sammen med, hvor langt væk jordskælvet er. Tæt på epicenteret, som ved Qeqertarsuaq, ankommer S og overfladebølgerne stort set samtidigt.



Seismogram fra Qeqertarsuaq. Der er målt tre forskellige slags rystelser: Primære bølger (P bølger), sekundære bølger (S bølger) og overfladebølger (Lg bølger). P bølger løber hurtigt gennem jorden, og S bølgen lidt langsommere. Overfladebølgen løber igen lidt langsommere end S bølgen. Fra Paatuut til Qeqertarsuaq tager det 18.6 sekunder for P bølgen at nå frem, 32.3 sekunder for S bølgen og næsten det samme for overfladebølgen, nemlig 32.4 sekunder. Seismogrammet viser at der dernæst ankommer yderligere en overfladebølge, som kulminerer ca. 1 minut efter den første. Dette er det kraftigste signal vi ser. De første signaler der ankommer (P og S/Lg bølgerne) stammer fra det tidspunkt da skreddet blev udløst. Det kraftige signal der kommer cirka et minut senere, er rystelser fra den store mængde sten der er styrket ned fra den stejle væg, væltet ned igennem kløfterne og er landet nede på kystområdet og i vandet. Størrelsen af den seismiske begivenhed i forbindelse med skreddet ved Paatuut er målt til 2.3 på Richter skalaen. Det er et lille jordskælv som normalt ikke vil kunne mærkes undtagen lige i nærheden. Men helt forsvindende er det ikke. Til sammenligning er sammenfaldet af World Trade Center, nordtårnet, d. 11 september 2001 også en seismisk begivenhed på 2.3 på Richter skalaen.

Jordskælv

Hvad er et jordskælv? Vi kender alle billeder fra aviser og fjernsyn af jordskælvsramte områder – sammenfaldne huse og mennesker i nød. Det er oftest såkaldt tektoniske jordskælv. De sker i reglen et stykke nede i jorden, i de øverste 40-50 km – og er udløsningen af spændinger opbygget i jordens indre. De kan være meget ødelæggende. Men ordet jordskælv betegner egentlig blot en begivenhed hvor jorden ryster eller skælver, og det kan skyldes mange ting. I Paatuut skælvede jorden, da 90 mill. kubikmeter eller 250 mill. tons materiale med stor fart faldt ned af en bjergside. En seismisk begivenhed kalder man den også, fordi det er noget der kan måles på et seismometer, et instrument der er følsomt over for rystelser.



Stenlavinen er væltet ned over fjeldsiden med meget stor hastighed. På sin vej ned gennem slugterne er materialet nået ca. 200 m op over bunden, men alt er løbet videre og tilbage sidder kun rester af jord som sæberanden på et badekar.

Typer af skred

Der skelnes mellem forskellige typer af skred alt efter de mekanismer der virker under processen. Ved at studere aflejringerne fra skredet kan man vurdere hvilken type skred, der er tale om.

Sammenhængende skred

Fast fjeld kan rutsje nedad som en eller flere store, samlede blokke. Sådanne hel- og halvsammenhængende skredkulisser der typisk er gledet 10–200 m nedad, ses f.eks. hyppigt i Østdisko, se kortudsnit side 13.

I andre tilfælde falder det løsnede materiale fra hinanden, og stykkerne glider eller styrter ned ad skråningen og aflejres på lavere niveauer, ofte efter en rejse på op til flere kilometer.

Mudderstrøm

En tyk 'grød' af mudder, sand og vand indeholdende sten og blokke (debris flow). Kan flyde på lavthældende skråninger.

Hastighed: Varierer fra langsom til hurtig.

Aflejring: Usorteret, rig på finkornet materiale som danner en mellemmasse mellem stenene og blokkene.

Stenstrøm

Sten der 'hopper' ned ad en skråning, omgivet af luft eller eventuelt vand (grain flow). Sker kun på skråninger med hældninger større end 25°.

Hastighed: Hurtig.

Aflejring: Blanding af sten og blokke sorteret med de groveste øverst, og med en kun ringe mængde finkornet materiale mellem stenene og blokkene.

Stenlavine

Ekstrem stenstrøm (rock avalanche). Starter med et stort set frit fald; det nedfaldne materiale rammer jorden og springer derefter ud i luften igen og suser nedad i en 'mellemmasse' af luft.

Hastighed: Ekstremt hurtig.

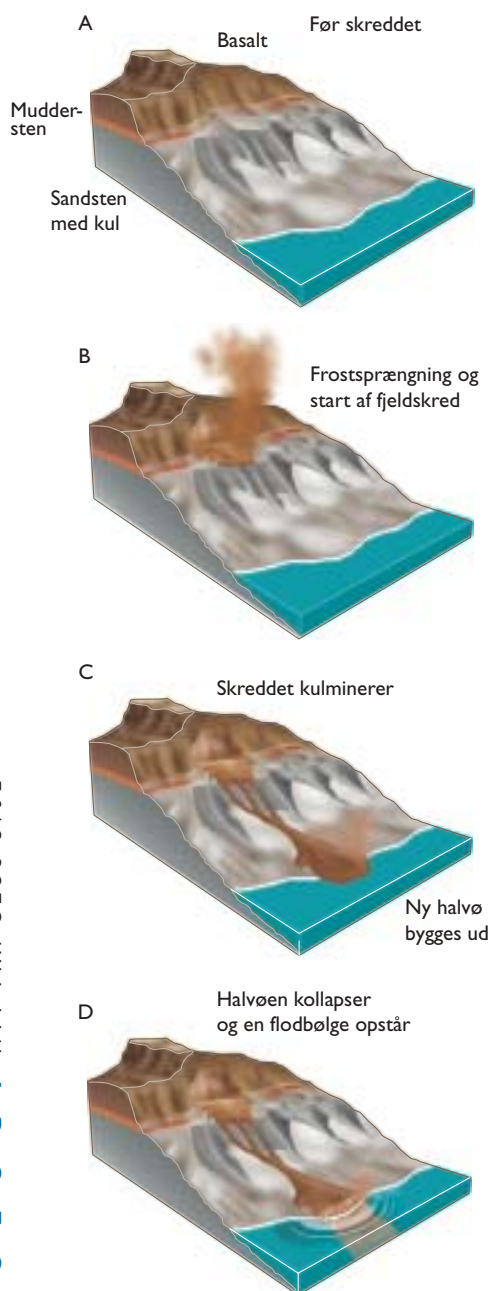
Aflejring: Som stenstrøm.

Skredet ved Paatuut er startet som en stenlavine og er på lavere højde overgået til at være en stenstrøm. Kun få steder har der været mudder nok til at virke som smøremiddel, som i en mudderstrøm.

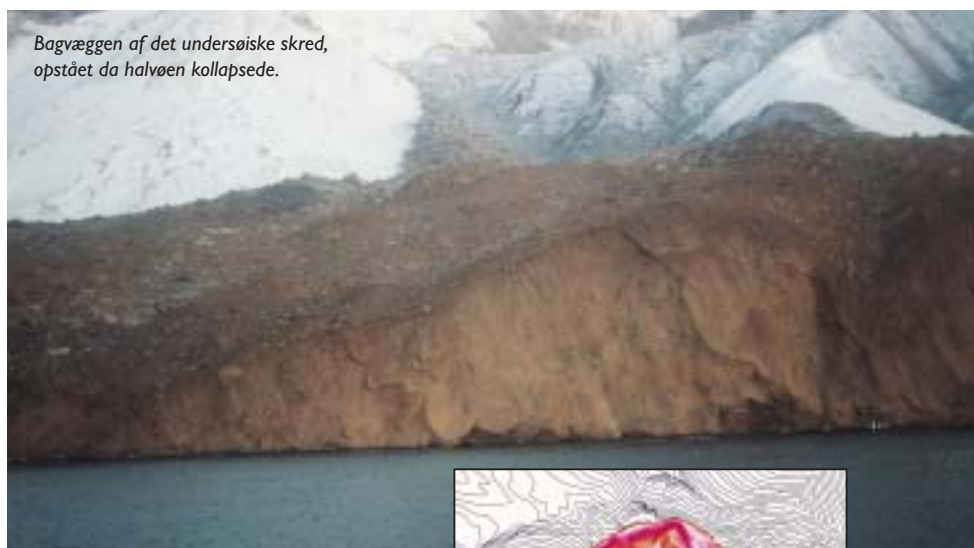
Udløsningen af skreddet ved Paatuut

Hvordan sker fjeldskred?

Fjeldskred og jordskred drives af tyngdekraften og udløses ved en pludseligt opstået ustabilitet på en skråning. Jordskælv kan forstørre eksisterende sprækker og skabe nye. Åbentstående sprækker kan fyldes med vand der ved frysning udvider sig og sprænger fjeldet løs; og regnskyl kan vandmætte en leret aflejring, så den mister sammenhængskraften.



Blokdiagramserie der viser fire stadier af udviklingen af skreddet ved Paatuut.



Området ved Paatuut er ustabil, idet de hårde og tunge vulkanske bjergarter ligger oven på de blødere og tildels uhardede sedimenter. Der er permafrost ned til flere hundrede meters dybde i området. Vi mener at der allerede inden skreddet havde dannet sig revner på det sted, hvor skreddet startede i fjeldvæggen i omkring 1000 – 1400 m's højde.

I november 2000 lå der et let snelag over fjeldene i området. Fire dage før skreddet skete var der koldt, det frøs ca. 10 grader, og der blæste en hård vind fra nord. Tre dage før skreddet slog vejret om. Der kom en varm føhnvind fra syd, og temperaturen steg til 5-6 graders varme. Efter to dage med tøvejr blev det igen koldere, og temperaturen faldt til 2-3 graders frost. (Kilde: Afdelingsmeteorolog Stig Rosenørn, DMI)

Dagen efter skete skreddet. Der er sandsynligvis sket følgende: Da det blev tøvejr et par dage inden skreddet, smeltede sneen, og smeltevandet løb ned i de revner der allerede var dannet i det ustabile område. Da vandet nåede ned til områderne med permafrost, frøs det igen. Når vand fryser til is udvider det sig, og den nydannede is har fungeret som en kile, der blev sat ned i revnerne. Det har været nok til at de store stenmasser har løsnet sig og skreddet er startet. I alt 90 mill. kubikmeter sten er væltet ned over fjeldsiden med en hastighed på op til 200 km/timen. En tredjedel er fortsat ud i ha-



Forskellene i terrænoverfladen før og efter skreddet er blevet opmålt fra flyfotografier taget før og efter. Derved kan skreddets massebalance beregnes. I alt 90 mill. kubikmeter er fjernet fra højder over 900 m (røde kurver); heraf er 60 mill. kubikmeter 'genfundet' i aflejringerne på skråningen (blå og grønne kurver). De manglende 30 mill. kubikmeter må være forsvundet ud i havet.

En stenlavine omfattende 90 mill. kubikmeter er en stor hændelse på verdensplan, men ikke ekstrem. Den største kendte stenlavine er forhistorisk og findes i Iran; den omfattede 20 milliarder kubikmeter.

vet, hvor det dannede en ny halvø. En kollaps af denne halvø er formentligt den direkte årsag til flodbølgen (tsunamien) der skyllede over kysterne i Vaigat om eftermiddagen d. 21. november 2000.

Flodbølgen - Tsunamien



I Saqqaq 40 km fra Paatuut kunne man dagen efter skreddet se en overskyllt bræmme langs kysten. Omkring de huse der ligger nærmest kysten, var bølgen ca. 1.5 m høj, men husene står stadig. I Saqqaq kom der faktisk en hel serie bølger. Der blev formentlig kun dannet en eller måske to bølger ved skreddet, men disse blev reflekteret flere gange langs kysterne i det snævre Vaigat stræde inden de nåede til Saqqaq.

Foto: Jan Jacobsen, Ilulissat Politi.

Den 21. november 2000 kl. 15:53 blev politiet i Ilulissat alarmeret fra Saqqaq om "... at der formentlig var sket en eksplosion, idet der var kommet en kæmpebølge, og væltet flere både i Saqqaq ...". Dette var det første der kom frem om, at der var sket noget voldsomt. Fotos taget af politiet den efterfølgende dag viser da også det imponerende skred og effekterne af det – sort mod den hvide sne.



Lige ved skreddet havde bølgen sin største højde. Vi ved at bjergtoppene lige over skreddet ligger i 1786 m's højde, og derefter kan vi regne ud at den sorte bræmme langs kysten, hvor flodbølgen har skyllet sneen bort, er op til 50 m over havniveau. Dette blev bekræftet den følgende sommer, hvor man kunne finde opskyllet is og vraggods som fiskekasser der lå tilbage efter den store bølge. Foto taget få dage efter skreddet af Christoffer Schander, Arktisk Station.



Fangsthytten ved Asuk i august 1988.



Resterne af fangsthytten ved Asuk i juli 2001.

Ved Asuk på Diskos nordkyst, 40 km vest for Paatuut (se kort s. 3), lå i mange år en fangsthytte, og på skrænten bag hytten var der grave af adskillige hundrede års ælde. Efter flodbølgen er hytten stort set væk, og gravene er stærkt forstyrrede. Hytten lå i en højde af 7 m o.h., og flodbølgen var her mindst 15 m høj.



Qullissat før og efter tsunamien. Bemærk det grønne hus på begge billeder – det ene billede er taget i 1985, det andet i 2001. Det ligger lige i randen af det store område der blev raseret af tsunamien. Bemærk også de store mængder sammenskyllt tømmer.

Qullissat

Den forladte mineby Qullissat ligger 40 km fra Paatuut på den anden side af Vaigat. Den lå lige i 'skudlinjen' for tsunamien. Allerede i dagene efter skredet stod det klart fra fotografier taget af politiet i Ilulissat at der var sket ganske betydelige ødelæggelser i byen. Besøg den følgende sommer viste at tsunamien her havde en maksimal højde på 30 m over havniveau og nåede op til 250 m ind på land.

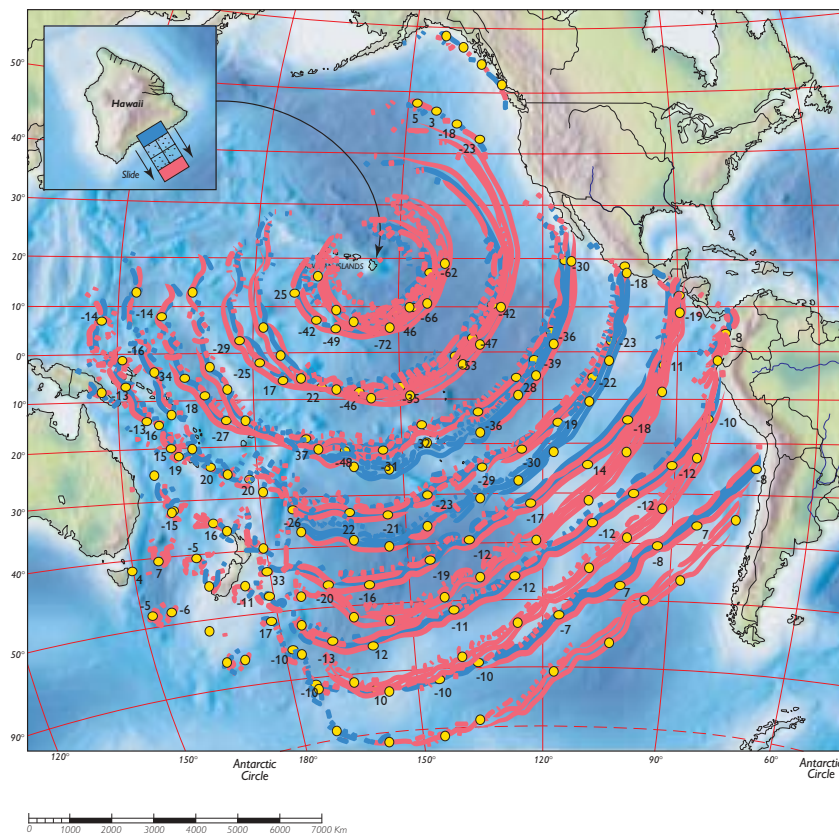


Værkstensbygninger nær kysten i Qullissat fotograferet i 1985, og samme område efter tsunamien, fotograferet i juli 2001.



Hvad er en tsunami?

En tsunami er en bølge på havoverfladen, dannet af et jordskælv eller et undersøisk skred. Tsunami er japansk og betyder kæmpebølge. Japan ligger i et jordskælvsområde og bliver ofte ramt af tsunamier, og ordet bruges nu internationalt. En tsunami dannes ved at 'havbunden flytter sig'. Dette skaber en bule, eller en hulning, på vandoverfladen, ofte over et stort areal, men med en forholdsvis lille højdeforskel. Denne forstyrrelse – tsunamien – spredte sig ud i alle retninger fra oprindelsesstedet med meget stor hastighed – op til mange hundrede km/time. Når tsunamien nærmer sig en kyst, og vanddybden falder, opstaves vandet til en meget høj bølge der skyller ind over kysten med store ødelæggelser til følge. Store tsunamier kan brede sig meget langt. Nogle kan nå tværs over Stillehavet. Tsunamien dannet ved Paatuut hører til de større i moderne tid. Bølger af tilsvarende størrelse har skabt store ødelæggelser i Alaska i 1957 og 1964. Vi må i denne sammenhæng være taknemmelige for at Quillissat i dag er forladt, og at byggerne ved Vaigat ligger beskyttet bag vige der har spredt tsunamien til mange mindre bølger i stedet for én kæmpestor.



I USA er der bekymring over de mulige virkninger af den tsunami der vil kunne opstå, hvis sydflanken af Hawaii-øen kollapse. Begyndende revnedannelse tyder på at dette vil kunne ske. Billedet viser en computersimulering af en tsunami opstået ved at en blok på 40 km x 20 km x 2 km skrider 60 km ned ad øens undersøiske flanke med en hastighed på 70 m/sek. Tsunamien bølgefronter er indtegnet med 2-timers intervaller fra 2 til 14 timer efter skredet. Røde og blå bølgefronter er henholdsvis bølgekamme og bølgedale, og tallene er bølgehøjder i meter. Tsunamien vil ramme det meste af Stillehavet. Modellen forudsiger at USA's vestkyst vil blive ramt af ca. 30 m høje bølger ca. 5 timer efter skredet, og Sydamerikas vestkyst vil blive ramt af ca. 10 m høje bølger 12-15 timer efter skredet. Der vil altså være en vis tid til evakuering.

Reproduceret fra Nature 28/2 2002, med tilladelse fra Nature og Steven N. Ward.



Quillissat efter tsunamien. Hus nær kysten, juli 2001.

Tsunami ved Hawaii udløst af et jordskælv ved Aleuterne, Alaska. Tre på hinanden følgende billeder viser hvordan en tsunami ankommer og skyller ind over kysten ved Laie Point på Oahu, en af øerne i Hawaii øgruppen. Den 9. marts 1957 skete et jordskælv af størrelse 8.7 på Richter skalaen ved Andreanof Øerne i øbuen Aleuterne i Alaska. Jordskælvet udløste en 8 m høj tsunami som skabte store ødelæggelser på de omkringliggende øer. De største skader skete dog ved Hawaii øgruppen 4000 km længere sydpå. Den højeste bølge der ramte Hawaii øgruppen, var 10.4 m høj. Fotografier: Henry Helbush.

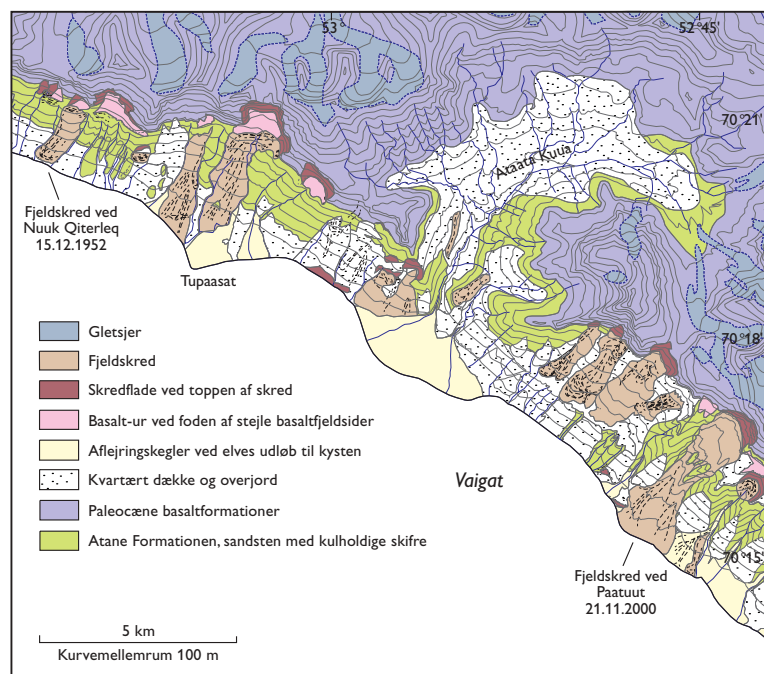
Tidligere skred i Vestgrønland: Vurdering af skredhyppigheden



Rødbrændte forhistoriske skredområder ved Paatuut ca 4 km øst for 2000-skredet.

Forhistoriske skred

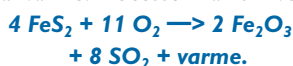
Hvis et skred indeholder sorte skifre vil disse ofte bryde i brand, hvorved de får en karakteristisk teglrød farve som er genkendelig på lang afstand. Gamle skredområder der er brændt, afslører sig derfor let ved deres iøjnefaldende farve. Sådanne 'brændte fjelde' er især udbredt på Nuussuaqs sydvestkyst omkring Paatuut og Ataataa Kuua og angiver en høj skredhyppighed i dette område. Skred der ikke er brændt, er mindre iøjnefaldende men afslører sig alligevel ved deres overfladeform. Skreddene ses tydeligt på flyfotografier og kan herudfra tælles og måles (se figur til højre). På sydvestkysten af Nuussuaq ses tydelige spor af mindst 20 større skred som må være dannet inden for de sidste ca 3000 år, da kystskråningerne før den tid var havdækkede. Dette giver en statistisk skredhyppighed på ét større skred mindst hver 150 år. Fire af skreddene er nået ud i havet, hvilket giver en (meget usikker) tsunamihyppighed på 1–2 hver tusinde år.



Udtegning fra flyfotografier af en del af Nuussuaqs sydvestkyst. Der ses spor af mindst 11 større og flere mindre skred. Med undtagelse af to er skreddene forhistoriske.

Brændte fjelde

Efter skred i sedimenter med skifre der er rige på organisk materiale bryder skredmasserne ofte i brand. Selvtændelsen sker ikke med det samme, men først efter nogle måneders forløb. Antændingsmekanismen er aldrig blevet nøjere undersøgt. En geologisk og kemisk sandsynlig forklaring er at luftens tilgang til nyblottet, opbrudt skifermateriale indeholdende mineralet pyrit (FeS_2) starter en iltningproces, hvorved pyritten nedbrydes under udvikling af varme. Processen kan skrives:



Hvis varmen ikke kan slippe væk vil temperaturen i skredmasserne stige, og efter et stykke tid kan antændelsestemperaturen for det organiske materiale nås, hvorefter fjeldbranden starter.

Det nye skred ved Paatuut er ikke brudt i brand. Dette var heller ikke forventeligt, da det nedfaldne materiale for langt størstedelens vedkommende består af basalt. Af samme årsag brød et stort skred i 1952 heller ikke i brand. Den yngste fjeldbrand startede i 1958 ved Pujoortoq.

Historiske skred

I historisk tid er der sket adskillige skred. Den ældste skriftlige beretning er K. J. V. Steenstrups beskrivelse af et skred nær



Udsnit af GEUS' geologiske kort i skala 1:100.000 Pingi, dækkende det østlige Disko. De grå områder er delvist sammenhængende kulliser af basalt, som er skredet ned ad fjeldsiderne både nord og syd for den nordvest-sydøst-gående højderyg af uforstyrrede basaltlavaer. Den mudderstrøm Steenstrup beskrev, må være den strøm med priksignatur, der når ud til kysten ved Amisut. Mellem Amisut og Uunartoq ses endnu en stor strøm med priksignatur; dette er en ganske langsomt flydende stenstrøm, en såkaldt stengletscher.

Ujarasussuk på nordkysten af Disko i 1870 (se herunder). Dette skred havde form af en mudderstrøm som medførte store basaltblokke i overfladen, og som byggede en lille halvø ud i havet, så man kun vanskeligt

(kun børn!) kunne passere til fods langs kysten. Steenstrup rapporterede intet om hverken flodbølge eller skader på mennesker, huse eller materiel i Ujarasussuk.

K. J. V. Steenstrups beskrivelse af et skred på nordkysten af Disko i 1870

"Da jeg, dette Aar, efter at være rejst Vajgat rundt, opholdt mig ved Ujarasugsuk for at gøre mig færdig til Hjemreisen, vilde jeg gaa langs Stranden til Amisut, da det blæste for stærkt til at gaa med Baad. Jeg bad derfor Udliggeren skaffe mig en Grønlænder til at vise mig Vej; men fik til min Forbavselse det Svar, at der var ingen, der vilde, da Vejen ikke var passabel. Det blev sagt, at en vældig Lerstrøm kort før min Ankomst var flydt ned fra Fjeldene og helt ud i Vandet og at den var saa blød, at den umuligt kunde bære os. Da denne Fortælling var mig ubegribelig, troede jeg, at det kun var et Paaskud for, at de ikke havde lyst til denne Tur; men uagtet jeg bød højere Betaling end sædvanlig, fik jeg stadig det samme Svar, at det var umuligt. Da jeg saa besluttede at gaa alene, tilbød Udliggeren, at et par

af hans Smaa børn maatte følge med, med den lidt ejendommelige Motivering, at de muligvis vare saa lette, at den stivnede Lerstrøms Overflade kunde bære dem. Da jeg kom til Stedet, fik jeg virkelig fuld Bekræftelse paa, at Grønlændernes Udsagn om Lerstrømmen var rigtig: En kaotisk Blanding af Ler og opblødt Basalttuf var som en "Dyndstrøm" brudt ned ad Fjeldet, medførende på sin Overflade vældige Basaltblokke og stod som et lille Forbjerg helt ude i Vandet, der i lang Afstand var farvet af Ler. Det havde sine Vanskeligheder med at passere denne Lerstrøm, idet vi maatte balancere fra Sten til Sten for ikke at synke ned i Leret. Børnene kom let over, medens jeg gjentagne Gange sank i til højt op paa Benene."

I 1932 skete et skred ved Pujoortoq på Nuussuaqs nordkyst ca 4 km vest for Niaqornat. Skreddet skete på lavt niveau (100–200 m's højde) og omfattede kun sedimenter, overvejende sorte skifre. Disse brød i brand i 1933. Et nyt skred skete på samme sted i 1957, og brand udbrød i 1958. Billedet er taget i august 1992, og de rødbrændte skifre ses tydeligt. Skønt skreddet gled ud i havet rejstes der ingen flodbølge, og der skete ingen skader i Niaqornat. Dette kan skyldes at skreddet skete på lavt niveau og at hastigheden var ringe.



Skreddet ved Pujoortoq i brand 7 juni 1933.
Foto: Pastor Otto Rosing, efter A. Rosenkrantz i
tidsskriftet Grønland nr. 12, 1967.



Skreddet fra 1952 ses i den venstre
side af dette foto taget juli 1987.



Et fjeldskred på sydkysten af Nuussuaq lige over for Qullissat skete 15. december 1952 og ses på dette fly-fotografi fra Geodætisk Institut taget juli 1953. Dette skred gled ud i vandet over en mere end 1 km bred front og rejste en flodbølge der forårsagede mindre materiel skade ved Qullissat. Men den krævede et menneskeliv, idet en person på en båd nær kulminen blev skyllet bort, da båden kæntrede.

1900-årene

I 1900-årene er der gentagne gange sket skred nær bygden Niaqornat på nordkysten af Nuussuaq. Nogle af disse skred er gledet ud i havet, som ved Pujoortoq, men øjensynlig uden at forårsage nogen flodbølge. Disse skred er ofte selvantændt nogle måneder senere. I 1978 blev huse i Niaqornat ramt af stenfald, og der er stadig risiko for flere fald.

På sydkysten af Nuussuaq er der flere steder sket skred i løbet af 1900-årene. Et af de største skete i 1952 lige over for Qullissat (se overfor).

Efter skreddet ved Paatuut



Paatuut, juli 1985.



Paatuut, samme område i juli 2001.



Nuussuaqs sydkyst ca 14 km nordvest for Paatuut. Et stort forhistorisk skred ses til højre i billedet. Stejle fæner af løse basaltblokke ansamlet på højt niveau viser at nye skred kan ventes i dette område – men måske først om nogle hundrede år.

Efter skreddet ved Paatuut i 2000 og den efterfølgende flodbølge var indbyggerne i Disko Bugt området naturligt nok bekymrede for gentagelser. GEUS har derfor, efter anmodning fra Råstofdirektoratet i Nuuk, undersøgt hvad der skete ved dette skred samt forsøgt at vurdere hyppigheden af større hændelser i det mest skredplagede område. En sådan vurdering er behæftet med meget stor usikkerhed. Mindre, ufarlige, skred sker jævnligt, mens store, farlige, skred måske kun sker et par gange hvert årtusinde. Beboerne i området kan roligt fortsat færdes der. Forudsigelse af fremtidige skred er yderst vanskeligt og som ved jordskælv er chancen for succes med forudsigelse ringe. Man kan kun sige at skred med sikkerhed også vil finde sted i fremtiden, og de er en påmindelse til os om Naturens stadigt virkende, umådeligt store kræfter.



Dette nummer af **GEOLOGI - NYT FRA GEUS** er baseret på arbejde af en gruppe bestående af:

Trine Dahl-Jensen
Hans F. Jepsen
Lotte Melchior Larsen
Tove Nielsen
Asger Ken Pedersen
Gunver Krarup Pedersen
Stig A. Schack Pedersen
Frants von Platen
Willy Weng

Yderligere læsning

World Wide Web rummer talrige sider om fjeldskred og tsunamier. Mulige søgeord til engelsksprogede sider er: landslide, tsunami, rock avalanche, debris avalanche og debris flow.

Følgende eksempler på netadresser er fundet ved hjælp af Explorers søgemuligheder og søgemaskinen Google (<http://www.google.com/>):

<http://landslides.usgs.gov/>
<http://www.planning.org/landslides/docs/main.html>
<http://www.geophys.washington.edu/tsunami/>
<http://www.usc.edu/dept/tsunami/>
<http://www.tsunamicommunity.org/>
<http://www.ldeo.columbia.edu/eesj/casestudies/EESjtsunami.html#read>
<http://www.ngdc.noaa.gov/seg/hazard/tsuintro.shtml>

Indvielse af det nye Geocenter København



Mandag den 16. september 2002 blev det nye Geocenter København inviet.

Dagen blev markeret med et omfattende program, både af geofaglig og mere underholdende karakter, hvor der var noget for øjet, øret og ganen.

Til indvielsen var inviteret alle husets samarbejdspartnere og interessenter. Formiddagens program bestod af fem foredrag om "Jorden - menneskenes planet".

Den officielle indvielse forgik ved Minister for Videnskab, Teknologi og Udvikling, Helge Sander; endvidere bød rektor Linda Nielsen, Københavns Universitet velkommen, og der var tale ved Departementschef Leo Larsen fra Miljøministeriet, Dekan Henrik Jeppesen, KU samt formanden for Geocentrets Chefkollegium Direktør Martin Ghisler, GEUS.

Ministeren klippede snoren over og slap kræfterne løs i en model af en vulkan der var opbygget på gulvet i Rotunden, se billedet. Derefter var der reception og rundvisning i de nyistandsatte lokaler.

Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS) er en forsknings- og rådgivningsinstitution i Miljøministeriet. Institutionens hovedformål er at udføre videnskabelige og praktiske undersøgelser på naturressourcer- og miljøområdet samt at foretage geologisk kortlægning af Danmark og Grønland.

GEUS udfører tillige rekvirerede opgaver på forretningsmæssige vilkår. Interesserede kan bestille et gratis abonnement på **GEOLOGI - NYT FRA GEUS**. Bladet udkommer 4 gange om året. Henvendelser bedes rettet til: Knud Binzer.

GEUS giver i øvrigt gerne yderligere oplysninger om de behandlede emner eller andre emner af geologisk karakter.

Eftertryk er tilladt med kildeangivelse.

GEOLOGI - NYT FRA GEUS

Er redigeret af geolog Knud Binzer (ansvarshavende) i samarbejde med en redaktionsgruppe på institutionen.

Skriv, ring eller mail:

GEUS

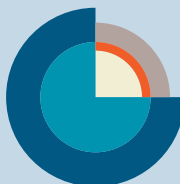
Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse
Øster Voldgade 10, 1350 København K.

Tlf.: 38 14 20 00

Fax.: 38 14 20 50

E-post: geus@geus.dk

Internetside: www.geus.dk



GEUS

GEUS publikationer:

Hos Geografforlaget kan alle GEUS' udgivelser købes.

Henvendelse kan ske enten på tlf.:

63 44 16 83 eller telefax: 63 44 16 97

E-post: go@geografforlaget.dk

Hjemmeside: www.geografforlaget.dk



Adressen er:

GEOGRAFFORLAGET, 5464 Brenderup

ISSN 1396-2353

Produktion: Annabeth Andersen.

Tryk: Schultz Grafisk A/S.

Forsidebillede: Stig A. Schack Pedersen.

Illustrationer: Carsten E. Thuesen, Helle Zetterwall, Lis Duegaard og Annabeth Andersen.