

Forhøjede vandstande og store bølger i Grønland 14-15. november 2019

Af Mads Hvid Ribergaard
og Jesper Eriksen, DMI

Indledning

I forbindelse med en passage af et kraftigt lavtryk oplevede Paamiut og specielt Ilulissat usædvanlige vandstande i dagene 14. og 15. november 2019. I Paamiut var dele af havnen oversvømmet tidligt torsdag morgen den 14. november (KNR, 2019a, figur 1). Langt værre stod det til i Ilulissat den efterfølgende dag, hvor 3 huse blev evakueret på grund af en kombination af høj vandstand og kraftige bølger (KNR, 2019b, figur 2+3+4). Drivkraften bag begge hændelser var et kraftigt lavtryk, som også lagde det meste af luftfarten ned. Vandstandene blev ekstraordinære høje, da vindstuvningen og specielt bølgerne uheldigvis faldt sammen med højvande og springflod. Det er således en kombinationen af kraftigt tidevand (springflod), vindstuvning og høje bølger,

der resulterede i kraftigt forhøjet vandstand lokalt i byerne Paamiut i Sydvestgrønland og Ilulissat i Diskobugten med 1 dags mellemrum.

I dag varsles ikke for forhøjet vandstand og/eller kraftige bølger for grønlandske kystbyer. Den præcise vandstand og bølgehøjde kendes ikke, eftersom der i dag ikke udføres kontinuerte vandstandsmålinger i de pågældende grønlandske kystbyer og derudover kun enkelte lokaliteter til forskningsbrug. Analysen af nærværende højvandssituationer indikerer, at et varslingsystem er muligt for grønlandske kystbyer baseret på modelresultater for vandstand og bølger. Det anbefales, at studere højvandsstatistik baseret på historiske data, hvis kvaliteten tillader dette.

Meteorologiske forhold

Onsdag eftermiddag den 13. no-

vember ankom et kraftigt lavtryk til det sydvestlige Labradorhav. I løbet af torsdag den 14. november bevægede det sig op langs Grønlands vestkyst gennem Davisstrædet og videre nordover i Baffinbugten den 15. november. Modelresultater for ECMWFs deterministiske vejrmudel HRES er vist i figur 5. Kraftige lavtryk og ekstreme vinde er ikke usædvanlige i Grønland i vinterhalvåret. Men lavtrykket, der havde et centertryk på lidt under 960 hPa, var usædvanligt omfattende i sin geografiske udbredelse (se figur 6).

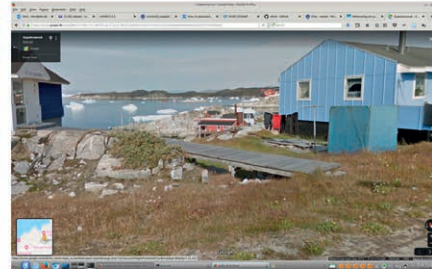
Som konsekvens heraf blev flyningerne indstillet i størstedelen af det store land inklusive den internationale lufthavn i Kangerlussuaq, hvilket er usædvanligt og ikke sker hvert år (DMI, 2019; Sermitsiaq, 2019). Ydermere strakte systemet sig tværs over indlandsisen, hvor vindhastighe-



Figur 1. Området omkring Paamiut havn om morgenen den 14. nov. 2019 (foto: Arne Hermansen / KNR, 2019a) og Google Maps foto.



Figur 2. Ilulissat fotograferet mod nord den 15. nov. 2019 (foto: Niels Pedersen / KNR, 2019b) og Google Maps foto.



Figur 3. Ilulissat fotograferet mod nord den 15. nov. 2019 (foto: Kathrine Kruse / KNR, 2019b) og Google Maps foto.



Figur 4. Ilulissat fotograferet mod nord den 15. November 2019 (fotos: Kathrine Kruse / KNR, 2019b)

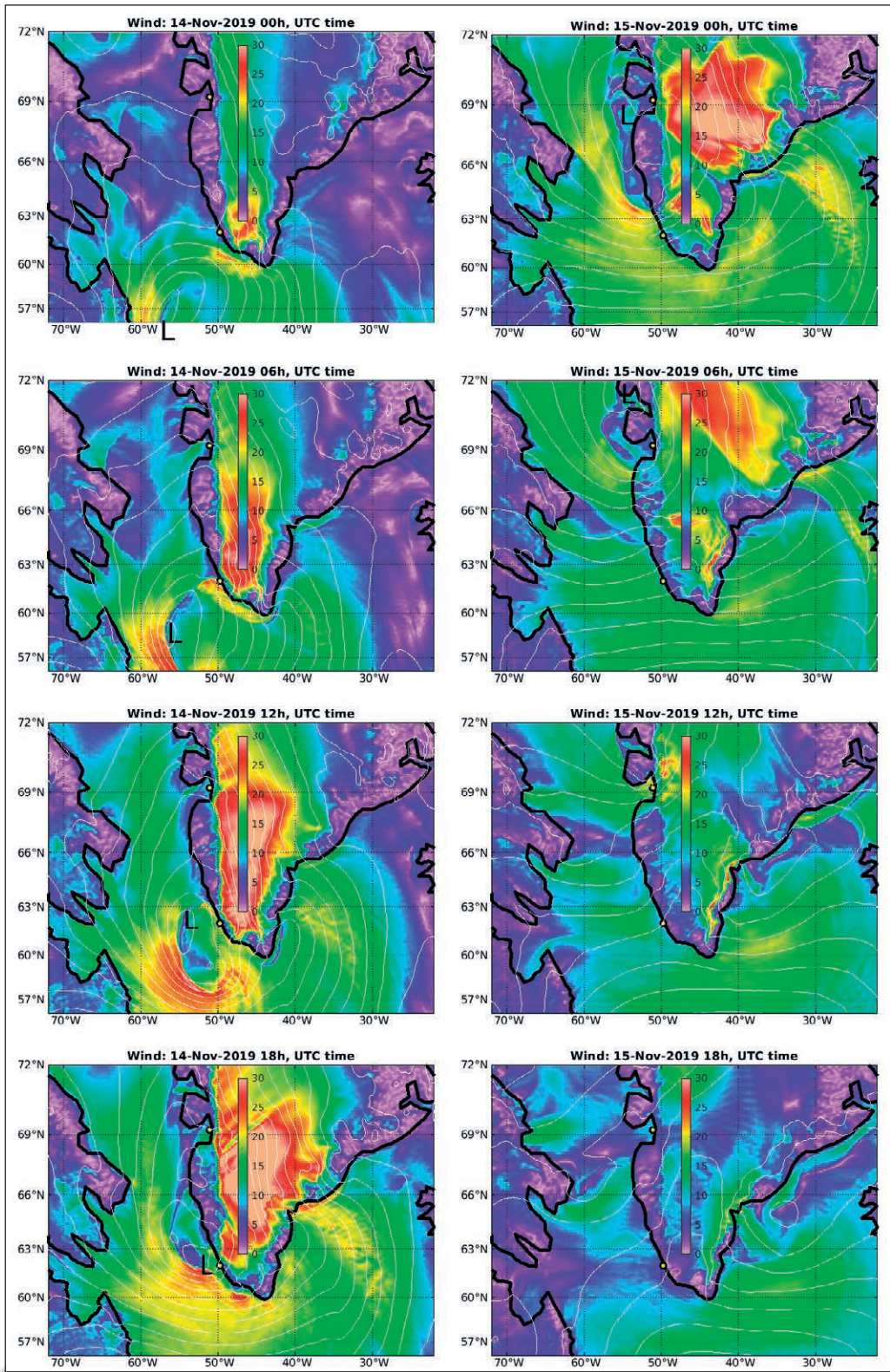
derne over store områder ifølge DMI's vejrmødeller var særdeles høje, nærmende sig orkanstyrke.

Ved Paamiut lufthavn var vindforholdene mere moderate og langt fra ekstraordinære (figur 7). Fra tidlig torsdag morgen 06utc og dagen igennem var vinden hård til

hård kuling, mest med vindstød af hård til stormende kuling, men også i en kort periode omkring 16utc med vindstød af stærk storm i forbindelse med lavtrykets passage.

Middelvindene over havet nåede flere steder stormstyrke, men

holdt sig et stykke fra orkanstyrke (figur 5). Natten til torsdag den 14. november og indtil middag ca. 12utc var kystvinden i de sydvestlige farvande fra Kap Farvel til Paamiut kraftige omkring 20-25 m/s. Vindretningen startede ud med at være langs kysten fra sydøst mod nordvest, men fik hurtigt



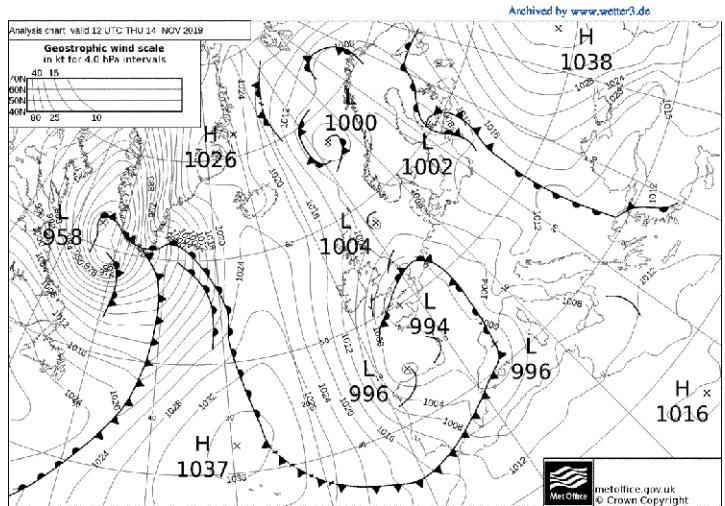
en komponent mod kysten, hvorved der opstod en topografisk betinget vindstuvningseffekt.

Blæst fra en usædvanlig retning i Ilulissat

Lavtrykket fortsatte nordover og nåede Diskobugten fredag den 15. november om morgenen lokal tid. På dette tidspunkt har lavtrykket en centerværdi på ca. 962 hPa (figur 8). Undervejs drejer vinden om i vest, hvorved meget af kyststrækningen oplever kraftig pålandsvind. Denne form for lavtryksbane er meget normal for Vestgrønland, men det er usædvanligt at lavtrykket ved ankomst til Diskobugten stort set ikke er blevet svækket. Normalt plejer frontlavtryk fra syd at miste styrke op langs Vestgrønland.

Fredag formiddag lokal tid (Vestgrønland er 3 timer bagud i forhold til UTC) er det blevet Ilulissats tur til at mærke vindens direkte effekt fra havet. Lavtrykkets center har passeret Diskobugten og er på vej mod nord og vil efterhånden svækkes, men de kraftigste vinde forekommer lige syd for lavtrykket. Det fremgår også af målingen af vinden fra lufthavnen i Ilulissat (figur 9). Vinden tiltager om morgenen lokal tid først fra syd, men går ud på formiddagen om i sydvest og når sin maksi-

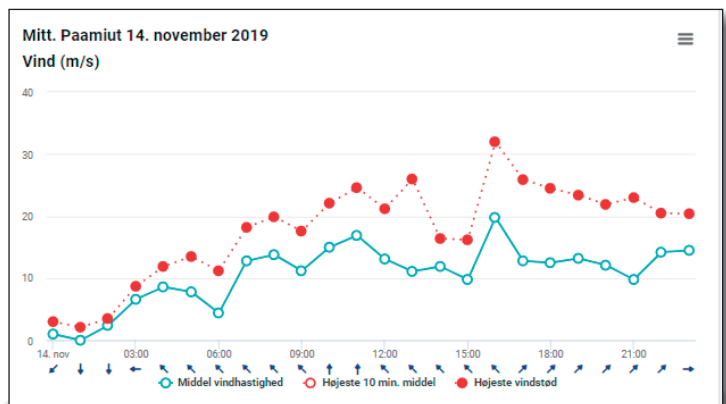
Figur 5 på side 42. Modellerede vindhastigheder [m/s] vist med farve og tryklinier (SLP) som konturer med 5 hPa interval beregnet af ECMWF deterministisk vejrmodel så tæt på analysen som muligt. Røde prikker angiver henholdsvis Paamiut i syd og Ilulissat i Diskobugten. "L" angiver position for laveste tryk.



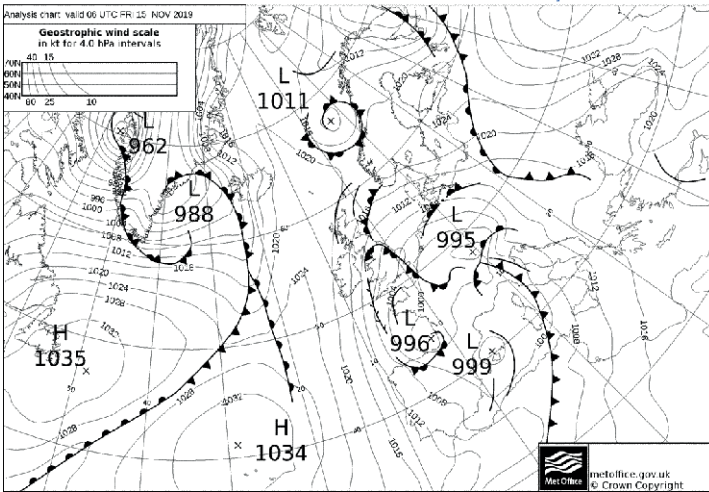
Figur 6. Analyse fra torsdag den 14. november 2019 kl. 12 utc lavet af UK Met Office. Det fremgår, at lavtrykket på 958 hPa er så omfattende at dets vindsystem påvirker en meget stor del af den beboede del Grønland.

male værdi på en 17-18 m/s med vindstød lige under stormstyrke. Fra vejrmødder vurderes det, at vinden over en 7 timers periode fra 09 til 16 utc blæser uhindret fra en vestlig retning gennem Diskobugten. Der er således et stort vindtræk fra Baffinbugten drejende ind i Diskobugten med direkte kurs mod Ilulissat og kysten syd herfor.

Grønland er generelt hjemsted for Rigsfællesskabets kraftigste målte vinde, så 17-18 m/s lyder umiddelbart ikke af meget. Men en vindrose med historiske vinde fra Ilulissat lufthavn afslører, at der stort set aldrig kommer kraftig blæst fra vest eller sydvestlig retning i Ilulissat (figur 9 indlejret). De kraftigste vinde i Ilulissat optræder normalt, når vinden er i



Figur 7. Vindhastigheder og vindstød målt ved Paamiut lufthavn den 14. november 2019. Kilde: dmi.dk.



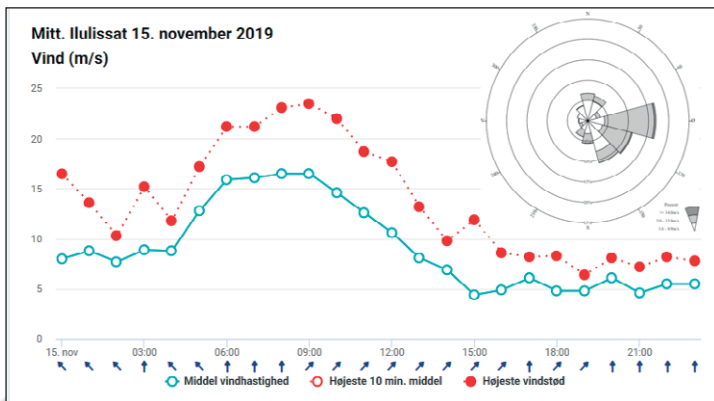
Figur 8. Analyse fra fredag den 15. november 2019 kl. 06 utc lavet af UK Met Office. Det fremgår at lavtryk på 962 hPa befinder sig ved Diskobugten.

øst, men det giver ikke bølger der slår ind mod byen, fordi østenvinden er lig fralandsvind.

Bølger

Kraftige vinde over åbent hav skabte også særdeles store bølger. Store åbne havområder med stor vindtræk muliggør akkumu-

lering af bølgeenergi. Er vinden samtidigt kraftig, kan bølgerne således bygge sig rigtig store. Den signifikante bølgehøjde er defineret som middelhøjden af den højeste tredjedel af bølgerne (bølgedal til bølgetop) og svarer omtrent til en visuel observation. Modelresultater af bølgehøjden



Figur 9: Vindmålinger fra Ilulissat lufthavn den 15. november 2019. Middelvinden er med blå og vindstødene med rød. Pilene i bunden angiver vindretninger. Lufthavnen ligger få hundrede meter fra havet. Indlejret er vindroseplot baseret på 20 års data (Boas, 2011). Vindintervaller er (1.6-4.9), (5.0-13.9), (>14.0) m/s. Kilde: dmi.dk.

er vist i figur 10 og tilsvarende er bølgeamplituden, her defineret som den halve signifikante bølgehøjde, vist for Paamiut og Ilulissat i figur 11c. Modeldata stammer fra DMI's semi-operationelle bølgemodel WAM for grønlandske farvande i 5 km opløsning (setup tilsvarende NSB-nesting beskrevet i Schmith et al, 2018).

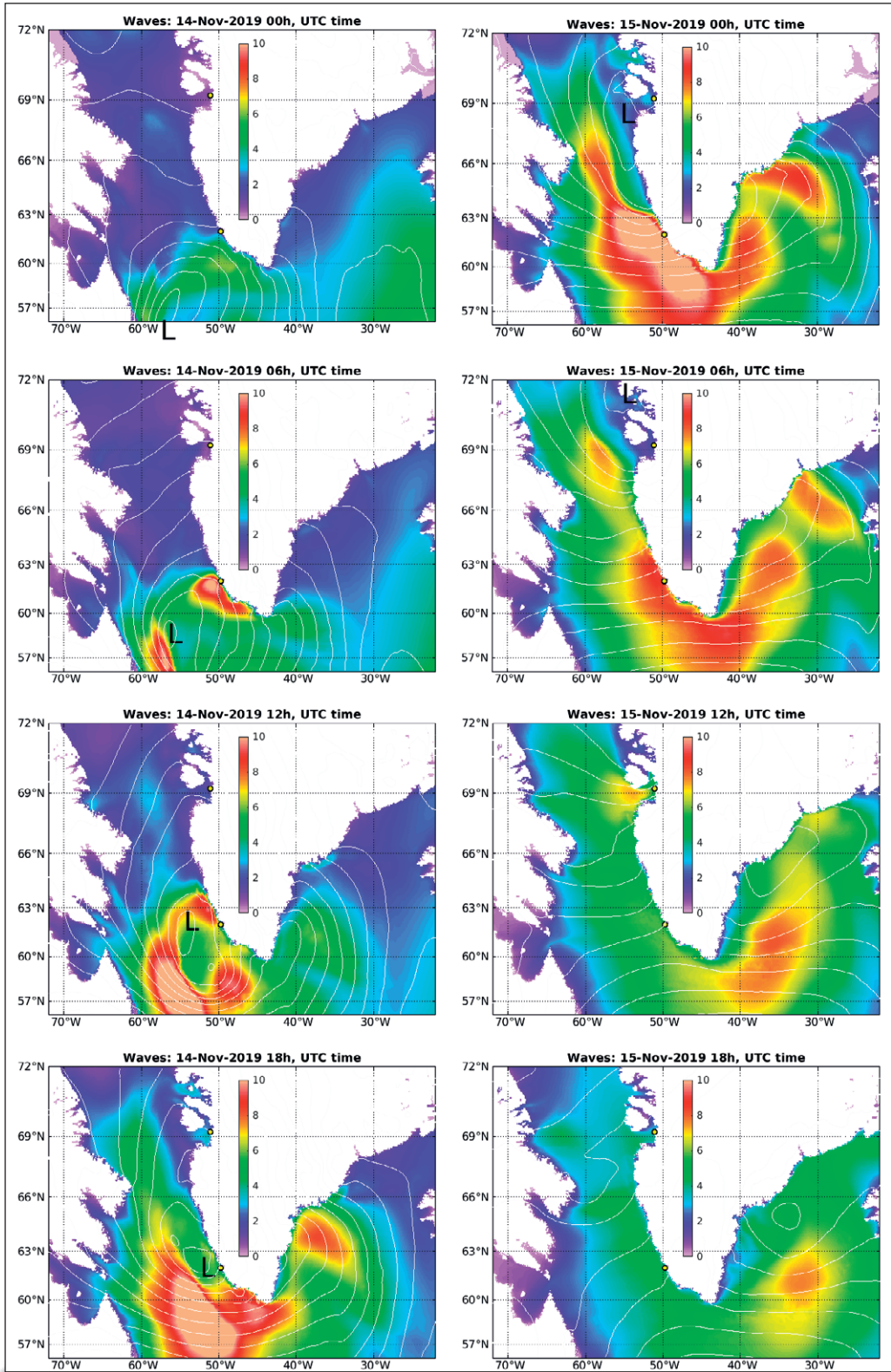
Torsdag morgen 06utc når bølgehøjderne op over 10 meter udenskærs for Paamiut, hvor bølgefeltet mest er nordvestgående. Kystnært ved Paamiut når bølgehøjden ca. halv højde, omkring 5 meter. Da vinden drejer til stik pålandsvind (vestlig) tidlig fredag morgen stiger bølgehøjden til omkring 10 meter. Heldigvis ligger de fleste grønlandske byer i læ bag øer!

Dette er ikke tilfældet for den vestlige del af Ilulissat. Fredag formiddag begynder blæsten at gå i stik vest og der er åbent vindtræk fra Baffinbugten, gennem Diskobugten til Ilulissat. Til trods for, at vinden er aftaget, så bygges bølgerne op til 6 meter kulminerende kl. 13utc (10h lokal tid) jf. modelresultater.

Tidevand

I de grønlandske farvande er tidevandet generelt meget kraftigt

Figur 10 på side 45. Modelleret signifikant bølgehøjde [m] vist med farve og tryklinier (SLP) som konturer med 5 hPa interval som vist i figur 5. Bemærk det vindgenerede bølgefelt fra vest strækkende fra Baffin Bugten, gennem Diskobugten og direkte mod Ilulissat fredag den 15. nov. 12z. Det kulminerer en time senere.



med udsving over 5 meter ved Nuuk. Udover halvdagligt tidevand, så antager tidevandet en markant 14-dages cyklus (figur 11a). Forskellen i tidevandsamplituden ved springflod (omkring nymåne og fuldmåne) og nipflod (ved halvmåne) er en faktor 2-3 eller mere hvis man medtager den daglige ulighed i tidevandet. Ved Paamiut er tidevandsamplituden ved springflod godt 2 meter svarende til et halvdagligt udsving over 4 meter. Ved Ilulissat er amplituden en anelse mindre omkring 1.7 meter.

Tidevandstabeller for Paamiut og Ilulissat findes i Ribergaard (2018). Tidevandet for nærværende artikel er genberegnet vha. MATLAB programmet UTide (Codiga, 2011), baseret på vandstand udtrukket fra den operationelle hav- og havismodel HYCOM-CICE i 10 km opløsning (Madsen et al., 2016) for november måned. Dette skyldes, at gamle tidevandsberegninger uden reference til datagrundlag erfaringsmæssigt er for svage. Det genberegnete tidevand er som forventet kraftigere end det i tabellerne, mens faserne er stort set identiske.

I de danske farvande overstiger den vindgenererede vandstand (vindstuvning) oftest tidevandskomponenten i forbindelse med stormvejr. Dette er ikke tilfældet for grønlandske farvande. Da tidevandet er kraftigt, så er tidevandskomponenten som oftest den dominerende faktor for vandstanden, selv ved kraftig vindstuvning.

Vandstand

Figur 11a-b viser den modellede vandstand. Det bemærkes, at begge forhøjede vandstandssituationer er sket sammenfaldende med springflod.

Vandstanden i Paamiut når sit maksimum på godt 3 meter torsdag morgen 10-11 utc (07-08h lokal tid), sammenfaldende med højvandet lokalt kl. 07:34 (Ribergaard, 2018). Det har blæst kraftigt udenskærs for Sydvestgrønland siden torsdag kl. 00utc, hvilket har presset vandet mod kysten samt nordover. Denne vindstuvning fortsatte eftermiddagen ud.

Figur 12c viser det beregnede residual, som er forskellen mellem beregnet vandstand og beregnet tidevand, altså vindstuvningen.

For Paamiut er residuallet ca. 0.8 meter ved morgendagens højvande (2.24 m) torsdag den 14. november, og stiger yderligere til knap 1 meter de følgende timer, for derpå at begynde at aftage kort før eftermiddagens højvande. Samlet når vandstanden i Paamiut op på godt 3 meter, hvilket var sammenfaldende med springflod højvande. Vandstanden vedbliver høj den efterfølgende time, hvorefter vandstanden igen aftager som følge af aftagende tidevand, til trods for residuallet stadigvæk er højt. Få timer inden næste højvande kl. 22:49utc er residuallet (vindstuvningen) begyndt at aftage, og vandstanden er kun lettere forhøjet i forhold til maksimal tidevand.

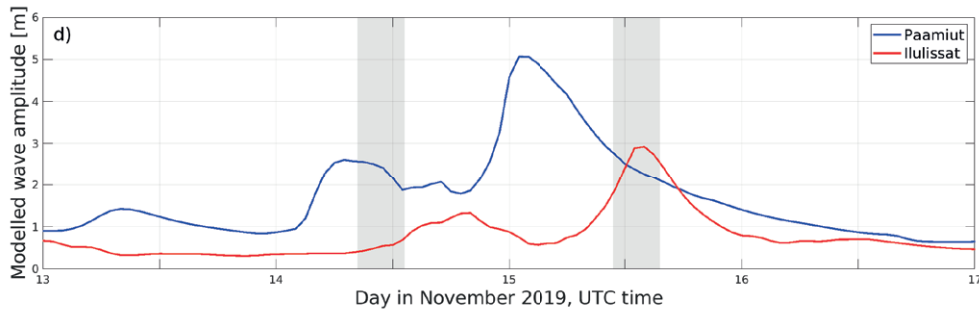
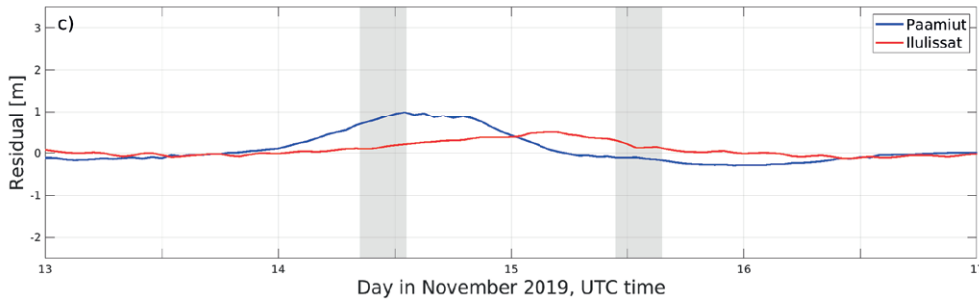
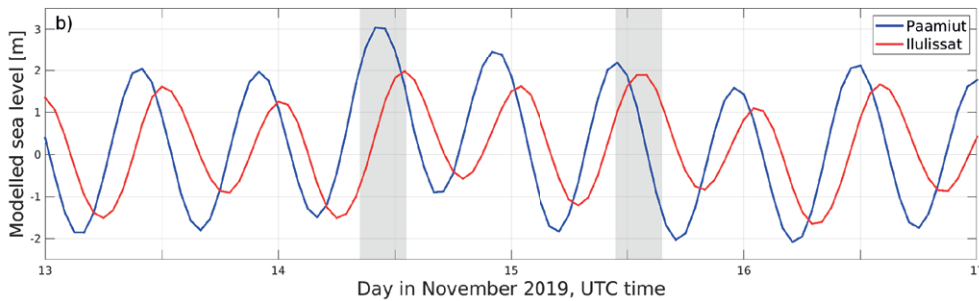
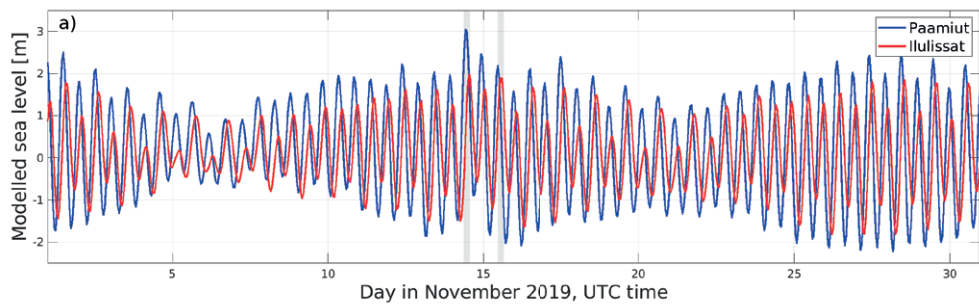
Ved Ilulissat rammer vinden

omkring et døgn senere fredag formiddag den 15. november omkring tidsperioden 09-16utc. Interessant nok, så følger residuallet ikke dette mønster. Residuallet stiger derimod jævnt fra torsdag middag/eftermiddag kulminerende på en halv meter fredag morgen kl. 04utc. Dette skyldes sandsynligvis vindstuvningen op langs den grønlandske sydvestkyst, som forplanter sig som en Kelvinbølge nordover på samme måde som tidevandsbølgen, men med svækket amplitude efterhånden som den når frem til Ilulissat. Ilulissat havde således lettere forhøjet vandstand gennem det meste af et døgn. Trods større residual, så bevirker den daglige ulighed i tidevandet, at den samlede vandstand ved højvandet fredag nat kl. 01:05utc var lavere end det foregående højvande torsdag den 14. nov. kl. 13:18utc. Sidstnævnte vandstand var faktisk få centimeter højere end den modellerede vandstand "i stormens øje" fredag den 15. nov. 13:54utc. Dette stemmer ikke overens med de rapporterede evakueringer i Ilulissat, men her tales der også om store bølger.

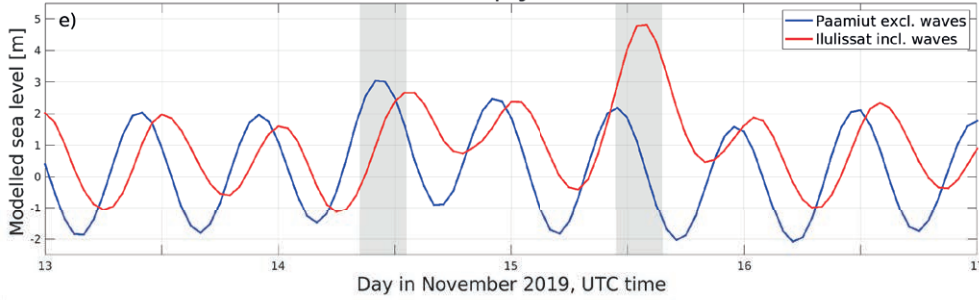
Samlet vandstand og bølger

Modsat Paamiut, så ligger dele af

Figur 11. Modelresultater for Paamiut (blå) og Ilulissat (rød) for hele november og 13.-17. november 2019. a) og b) modelleret vandstande, c) beregnet residual (vandstand minus tidevand), d) modelleret bølgeamplitude, e) bedste estimat af vandstanden (se tekst). Bemærk, at der er springflod ved begge hændelser samt at maksimal bølgehøjde for Ilulissat er sammenfaldende med højvande.



"DMI prognose"



Ilulissat ikke i læ for vind og bølger bag øer og fjeld. Man har derimod et smukt syn udover Diskobugten med de store isbjerge og smukke Disko Ø. Prisen for herligheden er, at kysten er langt mere sårbar overfor havets bølger fra vest, som kan ramme kyststrækningen med fuld styrke. Figur 11d viser halvdelen af den signifikante bølgehøjde, hvilket er et overslag over bølgernes amplitude. Bølgehøjden når op nær 6 meter fredag den 15. nov. kl. 13-14utc (10-11h lokal tid), hvilket svarer til en ekstra vandstand på 3 meter plus/minus bølgernes opskyl på land. Vindfeltet gennem Diskobugten og genereringen af store bølger fra vest falder uheldigvis tidlig præcis sammen med springflod højvandet og lettere vindstuvning på totalt set 1.9 meter. Vandstanden inklusive bølger når således op nær 5 meter over daglig normal vandstand. Dette er vist i figur 11e på side 47.

I Paamiut kunne situationen potentielt have været endnu mere voldsomt end i Ilulissat, da bølgehøjden tidligt 15. nov. nåede op over 10 meter svarende til en samlet vandstand og bølgehøjde på hele 6.4 meter. Så er det ikke ligegyldigt, hvor man har fortøjet sin båd, hvis man har besøgt en nærliggende ø.

De to højvandshændelser er grafisk fremstillet i figur 11e side 47.

Diskussion

Der er ikke nogen tvivl om, at det var et kraftigt og vidtrækkende lavtryk der ramte Vestgrønland og som lagde stort set hele flytrafikken ned. Det er meget sjældent,

at det fører til kraftige vestenvinde i Ilulissat, men det skete her og medførte store bølger fra vest. Ydermere var det særdeles uheldigt, at disse store bølger præcis var sammenfaldende med springflods højvande i Ilulissat. Så man må formode, at situationen er meget sjældent forekommende. Ellers ville man næppe bygge bolig så tæt ved kystlinjen på pågældende lokalitet.

Når naturen således har vist sig fra sin slemme side, så er det naturligt at reflektere over, om det er noget der vil ske igen, har det noget at gøre med klimaforandringer og kan man forudsige sådanne situationer, og hvad skal der i givet fald til?

Kan det ske igen?

Om sommeren blæser det sjældent særligt meget i Baffinbugten og Davisstrædet. Dette er mere et vinterfænomen. Havde der været havis til stede ville bølgehøjden have været reduceret, da vindtrækket er mindre. Tilsvarende ville tilstedeværelse af havis i Diskobugt havde dæmpet bølgerne.

Vestisen plejer at vinde frem i løbet af november eller december, men de årlige variationer i dannelsen af dette etårs havis er meget stor og uden hukommelse fra år til år. Hvis vi går ind i et varmere klima med kortere tilstedeværelse af vestis må man forvente, at sandsynligheden for en gentagelse øges, da perioden med mulighed for dannelse af store bølger øges. Det skal dog understreges, at den årlige variation i vestisens ankomst er sær-

deles stor. Således er der ingen grund til at tro, at det ikke er sket før og ej heller grund til at tro det ikke vil gentage sig.

Den forhøjede vandstand i Paamiut vurderes derimod som noget, der sagtens kunne gentage sig og som vil optræde langt mere hyppigt. Der er kun sjældent havis udenskærs for Paamiut, og ydermere så blæser det oftere og kraftigere jo længere sydover man bevæger sig. Vindene var stærke, men det er ikke unormalt på denne årstid. Det er uheldigt, at vindstuvningen faldt sted ved springflod højvande. Omvendt var residualet omkring en meter over en længere periode af 6 timer. Sammenholdt med de oftere forekommende lavtrykspassager er det noget man vil kunne forvente vil ske igen og også er sket før.

Kan man udvikle en "stormflodsvarsling" for Grønland? Nogle tanker...

Baseret på nærværende modelanalyse virker det realistisk, at man kan udvikle varslinger for forhøjet vandstand og bølger for kystnære grønlandske byer i stil med hvad der gøres for danske kystbyer. Dog bør disse suppleres med en bølgemodel.

Et eksempel på en varsling for de to højvandshændelser er vist i figur 11e på side 47. Her er vist "worst case scenario" som summen af vandstand og bølger gældende for udsatte steder i Ilulissat, mens en mere traditionel prognose er vist for Paamiut, der ligger godt beskyttet for bølger. Afhængigt af formål kan det være

formålstjenstligt både at gengive "worst case" og vandstand alene begge steder. F.eks. er havnen i Ilulissat beskyttet mod bølger, så her er det en mere traditionel vandstandsvarsling der er relevant. Omvendt, bor man i Paamiut og planlægger at besøge en nærtliggende ø, der ligger mindre godt beskyttet mod bølger, vil adgang til en "worst case" prognose være særdeles nyttig.

Der er flere forhold man skal have med i overvejelserne. Først og fremmest skal der være et ønske om en sådan varsling, eftersom det ikke er gratis at holde modelværktøjer kørende 24/7, og ditto opstille et varslingsystem baseret på modelresultater. I skrivende stund er det kun vejmodellen der bruges operationelt. Denne viste dog sit værd ved i god tid at varsle omfattende storm, således at fly kunne blive i sikkerhed på landjorden.

Dernæst bør man foretage en egentlig validering af modelsystemet. I den givne case var der kun billeder til rådighed, men ingen direkte målinger. Optimalt bør man opstille vandstandsstationer som i danske havne, men i praksis vil de nok være for dyre at servicere – specielt i Grønland, hvor transport er dyrt og hvor havis og isbjerger kan drille instrumenterne. Man har dog tidligere haft vandstandsmålere opsat i flere større grønlandske byer.

Disse ældre tidsserier vil være oplagte at analysere statistisk for returperioder (2-års, 5-års, 10-års hændelser). Dette kan give et praj om nødvendigheden af et varslingsystem og til bestemmelse af varslingskriterier i tæt samarbejde med lokale ønsker.

Selvom en by er godt beskyttet kan det være relevant med flere varslingskriterier. Man skal huske på, at Grønland er et fiskersamfund, hvor havet ofte er landevejen.

Referencer

Boas, L., 2011. Vindrosen for 13 grønlandske lufthavne. DMI Intern rapport 11-11.

Codiga, D.L., 2011. Unified Tidal Analysis and Prediction Using the UTide Matlab Functions. Technical Report 2011-01. Graduate School of Oceanography, University of Rhode Island, Narragansett, RI. 59pp. <ftp://www.po.gso.uri.edu/pub/downloads/codiga/pubs/2011/Codiga-UTide-Report.pdf>

DMI, 2019. Stort stormlavtryk lukker flytrafikken i Grønland. <https://www.dmi.dk/nyheder/2019/stort-stormlavtryk-lukker-flytrafikken-i-gronland/>

KNR, 2019a. Usædvanligt højvande oversvømmer næsten havnen i Paamiut. <https://knr.gl/da/nyheder/us%C3%A6dvanligt-h%C3%B8jvande-oversvømmer-næsten-havnen-i-paamiut>

oversvømmer næsten havnen i Paamiut

KNR, 2019b. Tre huse er evakueret i Ilulissat: Politiet beder folk om at holde sig væk fra havet. <https://knr.gl/da/nyheder/tre-huse-er-evakueret-i-ilulissat-politiet-beder-folk-om-afholde-sig-v%C3%A6k-fra-havet>

KNR, 2019c. Meteorolog om usædvanlige bølger og højvande: Det vil ske igen. <https://knr.gl/da/nyheder/meteorolog-om-us%C3%A6dvanlige-b%C3%B8lg-og-h%C3%B8jvande-det-vil-ske-igen>

Madsen, K.S., Rasmussen, T.A.S., Ribergaard, M.H., and Ringgaard, I.M., 2016. High resolution sea ice modelling and validation of the Arctic with focus on south Greenland waters, 2004-2013. *Polarforschung* 85 (2), 101-105, doi:10.2312/pol-for.2016.006.

Ribergaard, M.H., 2018. Tide tables for Greenlandic waters 2019. DMI report 18-14.

Sermitsiaq, 2019. DMI: Usædvanligt at så store dele af landet rammes af storm. <https://sermitsiaq.ag/node/217443>

Schmith, T., Nielsen, J. W., Rasmussen, T. A. S., and Feddersen, H., 2018. Better Baltic Sea wave forecasts: improving resolution or introducing ensembles?, *Ocean Sciences* 14, 1435-1447, <https://doi.org/10.5194/os-14-1435-2018>.