

VARSKO: Varsling af oversvømmelse fra havet

Lavtliggende kystnære områder i Danmark har under de sidste store storme vist sig at være sårbare overfor oversvømmelse fra havet. Da lignende eller større storme også vil ramme landet i fremtiden og havniveau ydermere forventes at stige vil stadig flere områder blive påvirket. I et nyt samarbejde mellem DHI og Danmarks Meteorologiske Institut udvikles et nyt system til at varsle sådanne oversvømmelser.

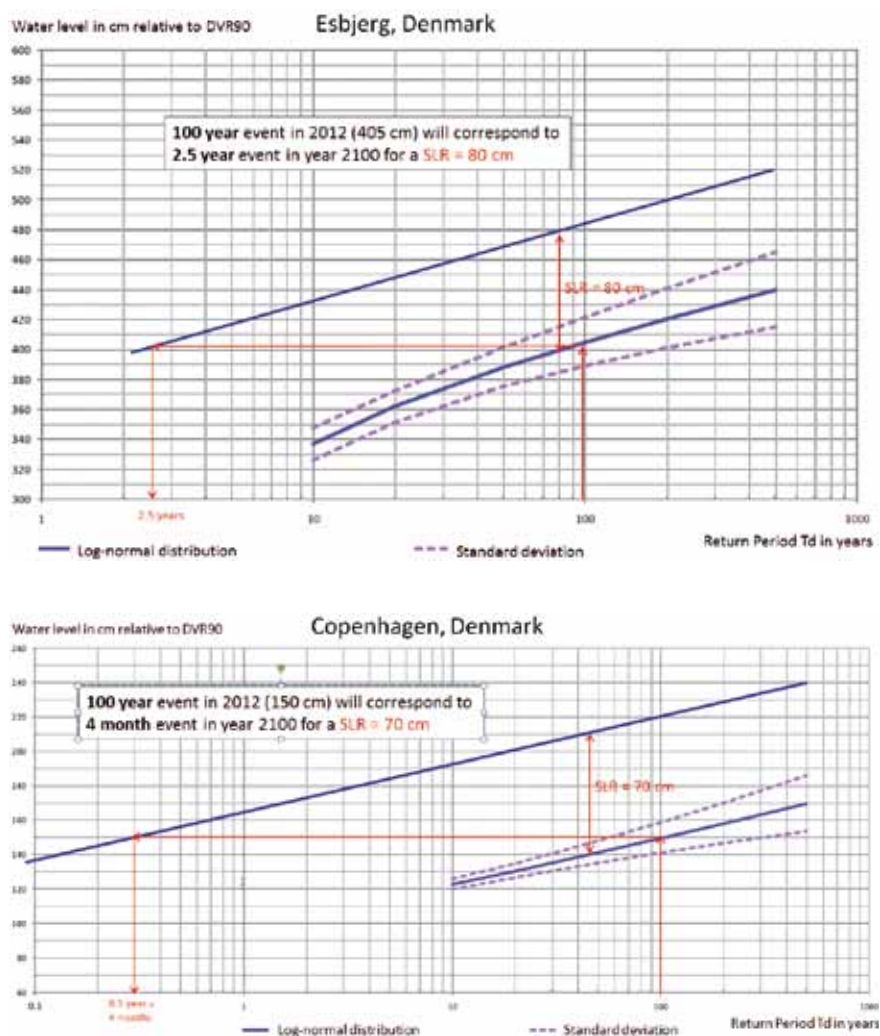
NILS DRØNEN &
KRISTINE SKOVGAARD MADSEN

Stormfloder overrasker

Oversvømmelser fra havet sker under ekstreme stormhændelser, hvor vandstanden ved kysten under stormen bliver høj nok til, at havet kan strømme ind i baglandet. I tilfælde, hvor kyster er beskyttet af diger, vil oversvømmelsen kunne ske ved overløb af digerne og/eller brud på samme. I Danmark er der flere steder bebyggede arealer ved lavtliggende kystområder. Der er her tale om alt fra spredt beboelse til større byer som København, Odense, Roskilde eller Frederikssund.

Oversvømmelser er generelt set et resultat af kombinationen af den lokale topografi og højvandet under stormflod. Dertil kan lægges, at uheldige sammenfald af begivenheder kan forekomme såsom højt tidevand og stormflodsvandstand, eller sammenbrud af underdimensionerede eller dårligt vedligeholdte diger. I Danmark er det historisk set de lavtliggende områder i Sønderjylland, der oftest har oplevet, hvordan stigningen i havniveau under storme kan forårsage oversvømmelse inde i landet med større eller mindre skade på huse, infrastruktur og mennesker til følge. Dette betyder dog langt fra, at andre dele af landet er fredede.

Analyserer man de historiske oversvømmelser nærmere, danner der sig hurtigt et billede af nogle fælles karaktertræk ved en del af hæn-

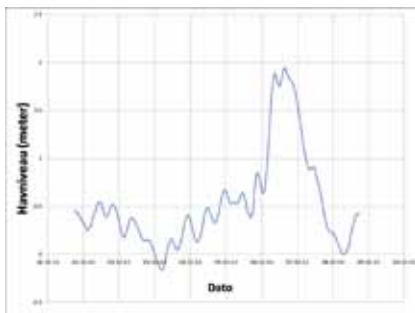


Figur 1 To eksempler på ændringen af returperioden forårsaget af havniveaustigninger. Esbjerg og København. Fra /5/.

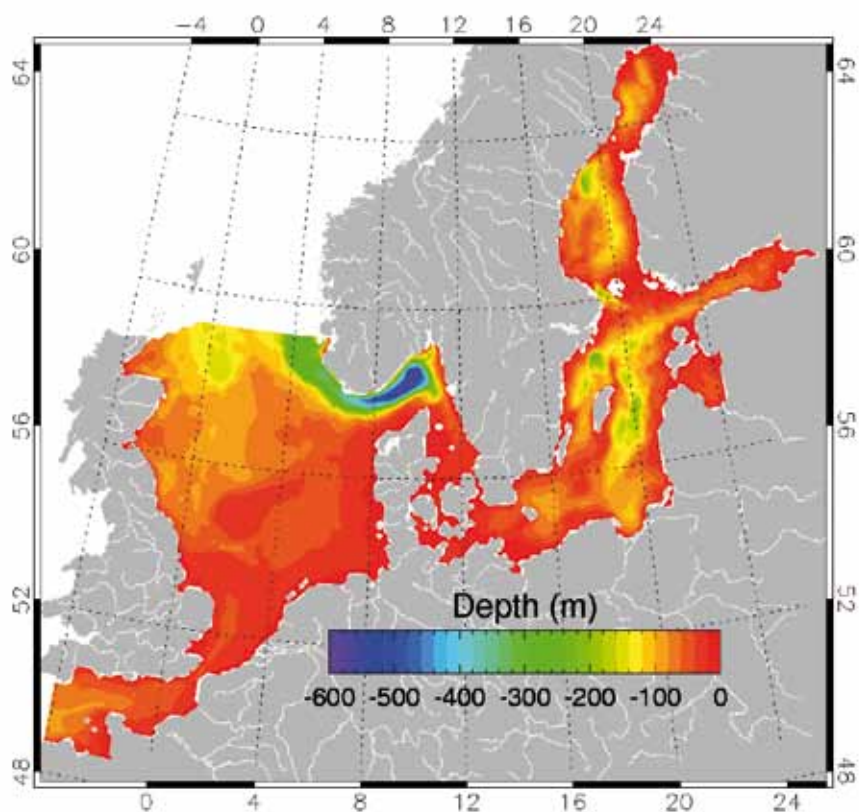
delse. Et af de vigtigste forhold her er det faktum, at den pågældende stormflod i en eller anden forstand har været usædvanlig. Med dette menes usædvanlige vind og vejrforhold og eventuelt i en usædvanlig tidlig udvikling – altså storme hvis type og styrke ikke har været set i mange år og derfor ikke er indregnet i byplanlægningen (oversvømmelsesbeskyttelsen) på det pågældende sted /1/. Nye – men allerede klassiske – eksempler er stormene Allan og Bodil, der hærgede landet i vinterhalvåret 2013. Disse to storme tilsammen forårsagede skader, der i alt beløb sig til mindst 4,2 mia. kroner, især ved oversvømmelser i Roskilde Fjord /2/, og gav mange mennesker en voldsom – for nogle traumatiserende – oplevelse.

Havniveaustigninger og ekstremhændelser

Efterhånden som havene ved de danske kyster stiger, vil vandstande under stormflod, som vi i dag betragter som ekstreme, blive hyppigere forekommende. En illustration af dette kan opnås ved at tage udgangspunkt i de allerede eksisterende statistikker for ekstremvandstand som funktion af returperioden, som de f.eks. er tilgængelige på Kystdirektoratets hjemmeside /3/. Ved at lægge den forventede vandstandsstigning til for et givent år, løftes disse kurver til et andet niveau svarende til den forventede statistik for det pågældende år. I nedenstående figurer ses statistikkerne for Esbjerg og København med et tillæg svarende til sandsynlige stigninger i år 2100 /4/. De nye kurver illustrerer, at hændelser, der i gennemsnit har en gentagelsesperiode på 100 år (returperiode), vil være reduceret til en 7 års hændelse for Esbjergs vedkommende og hændelse med en returperiode under 1 år for København. På den måde kan man sige, at København er mere følsom end Esbjerg over for ændringer i havniveauet, idet der er en større naturlig variabilitet i havniveauet ved Esbjerg. Lignende analyser kan laves for andre steder i landet, og man vil i alle tilfælde indse,



Figur 3 Udtræk af vandstanden fra DMI's stormflodsmodel ved simuleringspunkt tæt på Kulhuse. Omkring stormen Bodil 2013.



Figur 2 DMI's HBM stormflodsvarslingsmodel.

at fremtidens scenarie vil blive påvirket af vandstandsstigningerne.

DHI og DMI udvikler varslingssystem

DMI har varslingsmyndigheden for forhøjet vandstand i Danmark. Varslingerne giver informationer om hvor i landet, der kan forventes et pres på kysten, og hvor man derfor må forvente en eventuel oversvømmelse. De faktiske oversvømmelser er dog ikke blevet modelleret. Derfor er projektet VARSKO blevet formuleret, idet DMI og DHI i samarbejde vil udvikle og demonstrere et varslingssystem med netop denne funktion. Systemet bygger på de to organisationers computermodeller og spidskompetencer indenfor varsling (DMI) henholdsvis kystteknisk viden (DHI). I fremtiden vil de forventede vandstandsstigninger som f.eks. forudses i IPCC's rapporter – se DMI's rapport over danske forhold /6/ – øge presset på kysterne, og mere detaljerede informationer om de eventuelle trusler på land vil blive efterspurgt.

Det forventes, at lokale digelag og kommuner for fremtiden i en eller anden form vil kunne tilgå et sådant system og forberede tiltag mod oversvømmelse 3-5 dage, før stormen rammer og iværksætte passende beredskabsplaner.

DMI's stormflodsmodel

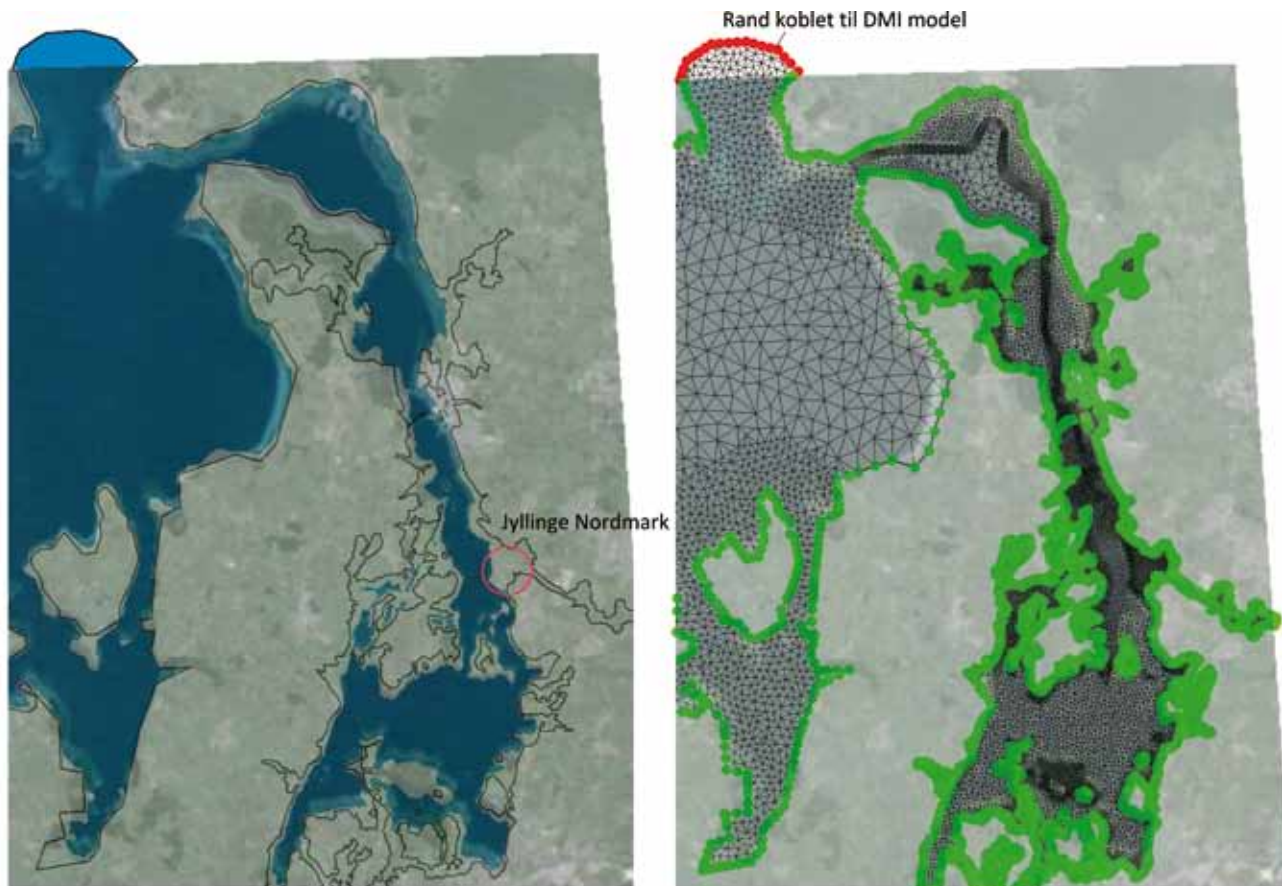
DMI benytter sig til daglig varsling af vand-

stande i de danske farvande af computermodellen HBM til at beregne strømme og vandstande i et net strækkende sig fra det vestligste af Nordsøen til det østligste af Østersøen /7/.

Modellen er udviklet i samarbejde mellem DMI, tyske BSH og andre institutter omkring Østersøen og beregner, hvordan havet interagerer med atmosfæren. Således forudsiger modellen, baseret på meteorologiske modeldata, havets tilstand i form af vandstande inklusiv tidevand, strømme, temperatur, saltkoncentration og is. Modellen er beregningsmæssigt meget effektiv og optimeret til at køre på en supercomputer og kan derfor dække større havområder i relativ høj opløsning. Den aktuelle opsætning dækker Nordsøen og Østersøen og har i sin seneste udgave et beregningsnet med en opløsning af vandsøjlen med 52 beregningspunkter og 10.000-100.000 punkter i de 2 horisontale retninger. Beregningsnettets størrelse går ned til ca. 400 m for de mest højt opløste områders vedkommende - se også /1/. Modellen bruges til den operationelle stormflodsvarsling i Danmark og leverer blandt andet forecasts for Østersøen til EU's Copernicus Marine environment monitoring service /8/.

DHI's strømningsmodel MIKE 21/3

DHI er leverandør af softwarepakken MIKE 21/3 til fleksible beregninger af strømninger og oversvømmelse. Modelsystemet er typisk



Figur 4 DHI's model MIKE 21/3 for strømninger og oversvømmelser sat op for Roskilde Fjord.

brugt af rådgivende ingeniører til løsning af en bred vifte af problemstillinger bl.a. inden for den marine sektor herunder oversvømmelser fra havet. Det er i samme software også muligt at medtage strømninger i byer (overfladeafstrømning, kloakker og grundvand) og strømninger i åer/floder inde i landet. Modellen kan i princippet også beregne større cirkulationsstrømme i oceanerne men benyttes ofte i sammenhænge, der afviger fra DMI's modelanvendelse.

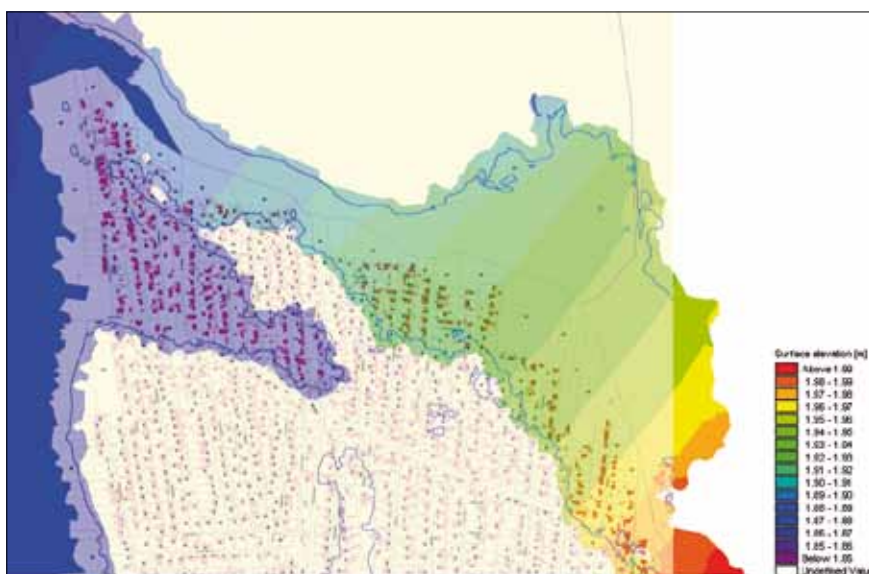
I marine problemer (som havoversvømmelse jo er et eksempel på) har MIKE 21/3 den fordel, at beregningsnettet kan konstrueres meget fleksibelt, således at detaljer i landskabet og bundens udformning, placering af broer og sluser mv. kan inkluderes til den deltalje, der ønskes. Dog vil en mere detaljeret beskrivelse af strømningerne kræve et mere finmasket net, hvilket forøger beregningstiden. Da beregningstiden kan være en begrænsning i forhold til anvendelser til varsling, har et af formålene i VARSKO projektet været at teste, hvorvidt det er realistisk at udføre meget detaljerede beregninger inden for den tid, der er til rådighed i en virkelig varslingssituation.

For de anvendelser som undersøges i VARSKO bruges beregningsnet ned til 50 m og mellem 1 og 10 beregningpunkter over vandsojlen.

Topografiske data

En essentiel faktor ved beregning af strømninger i lavvandede områder (dybder under f.eks. 20 m) og oversvømmelser af kystnære områder er dybdedata og de topografiske data, dvs. højdekoterne for landskabet. Især for topografiens vedkommende vil enhver unøjagtighed eller manglende information spille direkte ind på forudsigelsen af vand-

standen ved oversvømmelsen. I Danmark er dette et mindre problem, da der i dag findes endog meget højt opløste topografiske data fra Geodatastyrelsen. Seneste kortopdatering har data ned til 40 cm opløsning og udgør den primære kilde til de topografiske overflader i modellejerne.



Figur 5 Computersimuleret maksimal vandstand (farvede konturer) sammenholdt med ejendomme med indberetninger af stormflodsskader til forsikringselskaber (mørke røde huse).

Kobling af modeller

DHI's modelsystem for detaljerede strømninger og oversvømmelse MIKE 21/3 kobles til resultaterne fra HBM modellen. Dette gøres ved at sætte vandstanden fra DMI-modellen som randbetingelse for DHI-modellen, samt påtrykke vandoverfladen den samme vind og det samme lufttryk som DMI's model benytter.

Roskilde Fjord under Bodil

I perioden mellem d. 5. og d. 8. december 2013 passerede et forholdsvis usædvanligt lavtryk langsomt Danmark. Dette lavtryk gav anledning til opstuvninger af havvandet og strømninger i de indre Danske farvande, som ved maksimum forårsagede en række oversvømmelser i Roskilde Fjord. DMI's stormflodsmodel varslede med stor succes de forhøjede vandstande. I nedenstående figur ses forløbet af vandstanden som forudsagt af DMI's stormflodsmodel i et beregningspunkt tæt ved Kulhuse (tæt ved indgangen til Roskilde Fjord). At DMI's forudsigelse var god betyder ydermere, at man ved at koble en nøjagtig model dedikeret til at beregne oversvømmelsen på land med en vis sandsynlighed vil kunne forudsige hvor, hvornår og hvordan oversvømmelserne vil forløbe under en sådan hændelse. Vi spoler derfor tiden tilbage og lader som om, vi havde det nye system på det tidspunkt, hvor Bodil ramte landet.

I figur 4 nedenfor ses et udsnit af beregningsnettet for oversvømmelsesmodellen. Det ses, hvordan beregningsnettet medtager mange forskellige grader af "tæthed" i nettet og snoninger langs fjorden. For eksempel opløser modellen Roskilde Fjord mere end de ydre dele (Isefjorden mv.), og inde i fjorden er beregningsnettet over de dybeste dele, hvor meget vand passerer særlig godt opløst, sammenlignet med mere brede strøg. Endelig er områder, der under normale omstændigheder er tørre, opløst meget fint, således at det er muligt at erkende, hvilke huse der eventuelt vil blive oversvømmet. Ved Frederikssund er der en række forhindringer (broer, sluser), som er medtaget i modellen i form af ekstra modstande for vandets løb.

Jyllinge Nordmark

I den første fase af projektet fokuseredes på

oversvømmelsen i Jyllinge Nordmark, hvor mange huse efterfølgende meldte skader forårsaget af stormfloden.

I nedenstående figur ses resultatet fra det koblede system som et konturplot lagt over et kort for de huse, der indberettede skader på grund af oversvømmelse. Det ses, at der er en endog meget god overensstemmelse mellem computersimuleringernes "forudsigelse" af, hvor det vand der løb ind i området fra fjorden befandt sig på stormens højeste, og de indberettede skader.

Det er nu meningen i den nærmere fremtid at eftervise modellens evne til at give gode resultater for alle andre dokumenterede områder i Roskilde Fjord, der blev ramt af oversvømmelse under Bodil og således forventeligt kunne demonstrere, at det udviklede simuleringssystem kan danne grundlaget for et varslingsystem, der giver kommuner, borgere og beredskab værdifuld information og tid til at tage de forholdsregler, der måtte være fornuftige for den pågældende situation.

Hvis dette lykkes, vil det udviklede simuleringssystem også kunne bruges til at fremskrive, hvad virkningerne vil være, hvis en storm af samme karakter rammer området om f.eks. 100 år. Her vil vandstanden som nævnt være en del højere end i dag og graden af oversvømmelser tilsvarende større.

Københavns havn

I VARSKO arbejdes der også med København som case. Her skete der ikke væsentlige oversvømmelser under de pågældende storme, men man observerede, at vandet nåede højt ved kajkanten inde i Københavns havn. København forventer selv (ud over denne advarsel) i fremtiden, at det stigende havniveau generelt vil skabe problemer for byen i en grad, at det kommer til at overskygge problemer med voldsom nedbør /9/. Formålet med at gentage simuleringsovelsen for København er at eftervise, at simuleringssystemet giver det samme resultat og vise, at man ligesom i tilfældet Roskilde Fjord vil kunne anvende systemet til at forudsige, hvor problemerne vil opstå, og hvordan forskellige enten lokale eller regionale indgreb vil kunne ændre forløbet til det bedre.

Med en varsling af oversvømmelsens karakter med så stor detalje som det her er påtænkt, åbner der sig en række muligheder.

Først og fremmest vil man kunne iværksætte handlingsplaner, og beredskabet vil få meget bedre mulighed for at agere. Man vil derudover kunne nå at beregne oversvømmelsen i et nyt scenarie, hvor forskellige tiltag som sandsække, mobile mure, åbning eller lukning af sluser er aktiveret og dermed kunne tjekke, hvordan tiltagene for den givne storm virker. Endelig vil man kunne anvende systemet til at beskrive nye scenarier herunder indføre forskellige tiltag i modelsystemet til at undersøge hvilke tiltag, der vil være de mest effektive over for fremtidens udfordringer fra havet.

Tak

DHI og DMI ønsker at takke Miljøstyrelsen for at støtte arbejdet med at udvikle og demonstrere varslingsystemet under projektet VARSKO. Projektet løber mellem 2015 og 2017.

Referencer

- /1/ DMI's temaside om stormfloder og stormflodsvarsling. <http://www.dmi.dk/laer-om/temaer/hav/stormflod/stormflod-i-danmark/>
- /2/ <http://politiken.dk/indland/ECE2216023/stormen-allan-og-bodil-kostede-42-milliarder/>
- /3/ <http://www.kyst.dk>
- /4/ Grinsted, A., Jevrejeva, S., Riva, R., og Dahl-Jensen, D. (2015). Sea level rise projections for northern Europe under RCP8.5. *Climate Research* 64, 15–23. doi:10.3354/cr01309
- /5/ Mangor, K., Deigaard, R. og Drønen, N. (under udarbejdelse. Udgivelse: DHI - Dec. 2015), *Shoreline Management Guidelines* (engelsk)
- /6/ Fremtidige klimaforandringer i Danmark, Danmarks Klimacenter rapport nr. 6 2014
- /7/ Berg, P. og J. Poulsen (2012). Implementation details for HBM. DMI Technical Report 12-11, Danish Meteorological Institute, Copenhagen, Denmark.
- /8/ <http://marine.copernicus.eu/>
- /9/ Københavns Klimaplan, 2012

NILS DRØNEN er forsknings- og innovationschef i afdelingen for kyster og estuarier på DHI. Nils er cand. polyt. og ph.d. fra DTU og arbejder med udvikling og anvendelse af numeriske modeller til kyst- og havstrømme, sedimenttransport, kystmorfologi, stormflodseffekter på kysten og klimaforandringer. (nkd@dhigroup.com)

KRISTINE SKOVGAARD MADSEN er oceanograf på Danmarks Meteorologiske Institut (DMI). Hun skrev sin ph.d. på Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet i samarbejde med DMI og arbejder med havmodellering, stormfloder og klimaforandringer. (kma@dmi.dk)