

Stormfloden forårsaget af orkanen den 3. december 1999

Af Jacob Woge Nielsen
og Mads Hvid Nielsen,
DMI/VO

Indledning

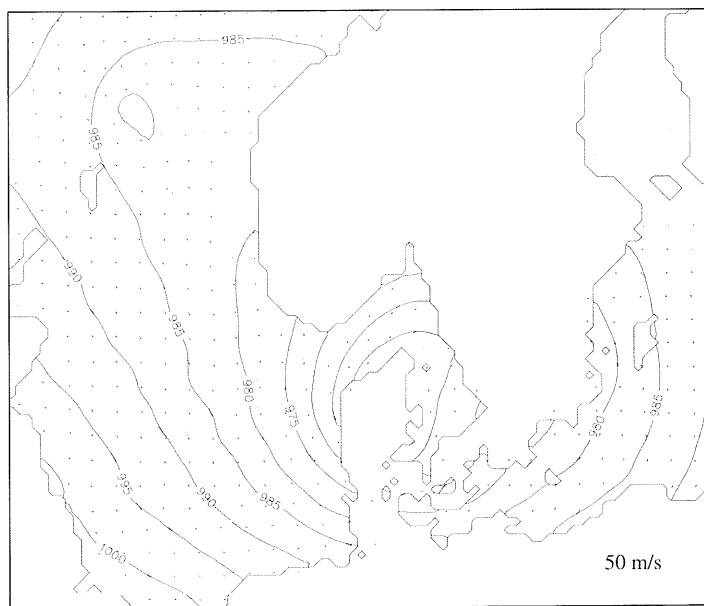
Under orkanen den 3. december 1999 blev Vadehavet ramt af den værste stormflod i mange år. Juvre diget på nordsiden af Rømø blev gennembrudt flere steder over en kilometerlang strækning, og adskillige kreaturer druknede. Den netop nyrestaurerede vej på dæmningen fra fastlandet til Rømø blev delvist ødelagt fra nordsiden, og befolkningen

måtte evakueres fra Mandø. I Vester Vedsted syd for Ribe var diget kun få cm fra at blive gennembrudt, og stumper af ødelagt bygningsværk fra Mandø skyllede ind over diget med bølgeslaget. Ved Esbjerg Havn forekom der ødelæggelser ved oversvømmelse af havnearealet. DMIs vandstandsmålere i Esbjerg og Vidå/Højer blev sat ud af drift da stormen var på sit højeste - og det samme skete for Kystinspektorets måler i Ribe.

Forløbet af stormfloden

Der var om morgenen den 3. december lettere forhøjet vandstand langs hele den

danske Nordsøkyst, med et generelt niveau på $\frac{1}{2}$ -1 m over det astronomiske tidevand. Fra middagstid gik det stærkt. Vinden fra vest-sydvest tiltog gradvist til orkanstyrke imens lavtrykket over Nordsøen gik i land lige ud for Limfjorden (Figur 1). Med en jævnt voksende vandstand på op til 0.35 m pr kvarter igennem de næste 6 timer stuvede vinden yderligere $3\frac{1}{2}$ m vand op i Vadehavet, således at vandstanden nåede op på 4-4 $\frac{1}{2}$ m over tidevandsniveauet kl. 18-19 om aftenen lokal tid - i Ribe endog 5 $\frac{1}{2}$ m. Selv under faldende tidevand fortsatte vandet med at stige i denne takt, og orkanen nåede sin maksimale virkning næsten samtidigt med ebbe. Det var - midt i al ulykken - meget heldigt, idet et sammenfald med astronomisk højvande kunne have givet 1-1 $\frac{1}{2}$ m ekstra vand med virkeligt katastrofale følger. Efter at have toppet faldt vandstanden lige så hurtigt igen, efterhånden



Figur 1: Hirlam analyse af vind og tryk gældende til den 3. december 1999 kl. 18 UTC (dansk tid minus 1 time). Analysen er optegnet sådan som DMIs stormflodsmodel ser den - kun vinden ude over havet har betydning. De største vindhastigheder ligger omkring 34-35 m/s.



Figur 2: Observeret højvande (cm) langs vestkysten under orkanen den 3. december 1999. Målerne og telefonforbindelserne havde svært ved at klare det hårde vejr - DMI mistede kontakten til vandstandsmålerne i Esbjerg og Vidå/Højer netop som orkanen var på sit højeste. Heldigvis fortsatte Kystinspektoratets (KIs) målere i samme havne med at virke, og restistreringer fra disse målere er anvendt her. KIs måler i Ribe blev sat ud af spillet kl. 17¹⁵. I Ribe har det virkelige maksimum derfor muligvis været endnu højere end de anførte 5.12m. Højden af diget i Ribe er 7m (kilde: Kystinspektoratet).

som orkanen drev videre øst-øst og lagde det meste af Sønderjyllands nåleskove ned på sin vej.

Længere nordpå langs vestkysten, fra Hvide Sande til Thyborøn, var vandstanden også kraftigt forhøjet, om end i mindre grad end i Vadehavet. Til gengæld var højvandet mere langvarigt. Vandstanden nåede et maksimum allerede midt på eftermiddagen, for så at falde brat under orkanens passage - kort efter at stormfloden kulminerede i Vadehavet. Inde i centrum af lavtrykket (orkanens øje) kan de store vindhastigheder ikke opretholdes - vinden løjer midlertidigt af og mister dermed kraft til at holde vandet presset op mod kysten. Efter lavtrykkspasagen (på bagsiden af lavtrykket) steg vindhastigheden igen og drejede fra sydvest over i

Station	Observation			Tidevand				Residual
	maximal vandstand	tid for maximum	returperiode	HW 1	LW	HW 2	Ved max res	maksimum
Thyborøn	1.90	00 ⁴⁵	2	+0.35	-0.11	+0.24	-0.01	1.68
Ferring	2.06	14 ³⁰	i. b.	intet tidevand beregnet				-
Torsminde	2.04	16 ¹⁵	3	+0.48	-0.21	+0.35	-0.14	2.18
Hvide Sande	2.75	15 ³⁰	9	+0.62	-0.13	+0.45	-0.12	2.86
Esbjerg	3.98	17 ³⁰	~50	+1.10	-0.53	+0.95	-0.44	4.37
Ribe	> 5.12	17 ¹⁵	>196	+1.14	-0.38	+1.01	-0.37	>5.49
Havneby	3.56	19 ¹⁵	5	+1.08	-0.77	+0.92	-0.48	3.81
Ballum	4.35	17 ¹⁵	25	+1.19	+0.24	+1.04	+0.24	4.11
Vidå/Højer	4.53	18 ³⁰	43	+1.25	-0.38	+1.10	-0.17	4.64

Tabel 1: Observeret vandstand (m), returperiode (år), tidevand og residual langs den danske Nordsøskyst. Tider i UTC. HW1=1. højvande, LW=lavvande, HW2=2. højvande.

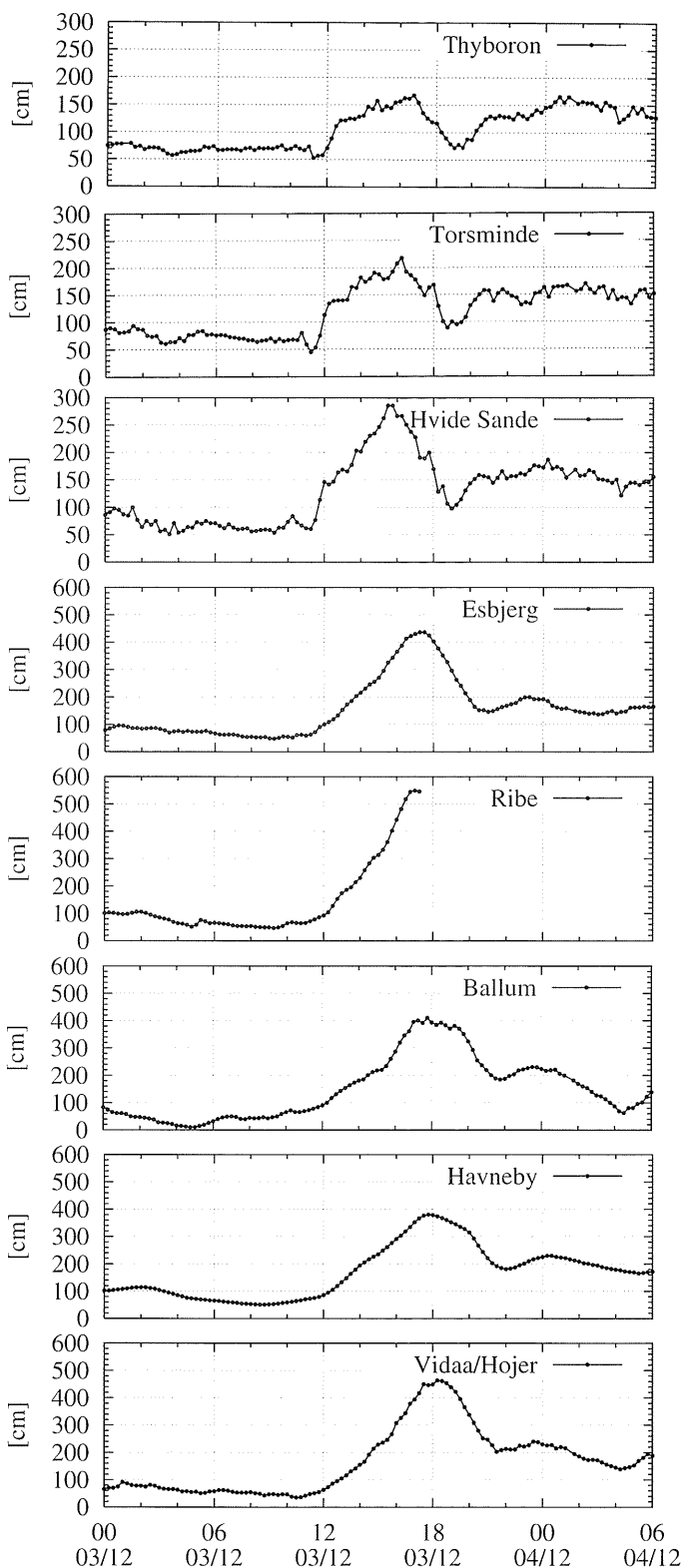
nordvest, og man fik endnu et højvande kort efter midnat, som varede ved til ud på formiddagen.

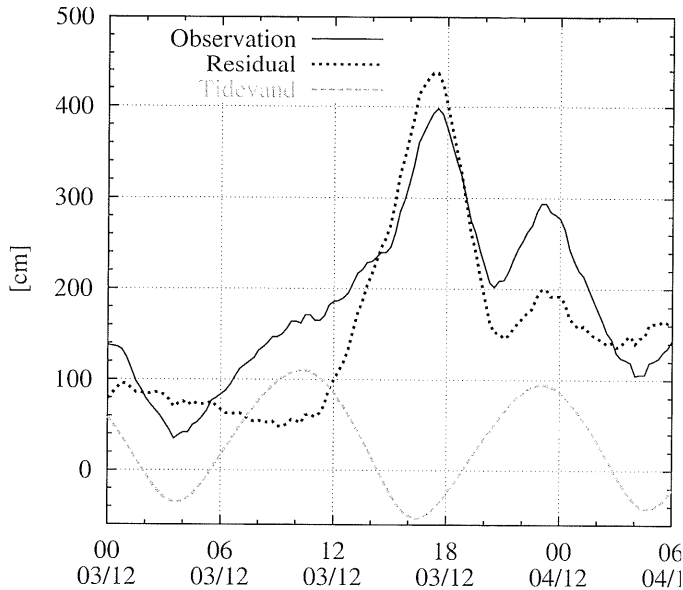
Vandstand, tidevand og residual

Man skelner mellem den aktuelle vandstand og residualen, som er vandstand minus tidevand. Den aktuelle vandstand er naturligvis af størst umiddelbar interesse, mens residualen, som angiver vindens bidrag til vandstandsstigningen, er mere egnet til at undersøge stormflodens forløb. Den højeste målte vandstand under orkanen langs den danske Nordsøkystr er vist i Figur 2 og Tabel 1.

Det første astronomiske højvande på 1.1-1.3m indtrådte i Vadehavet ca. kl. 11 UTC. Langs Vestkysten ankommer tidevandet 1-2 timer senere, og højvandet er mindre kraftigt, 0.4-0.6m. Det astronomiske lavvande indtrådte kl. 16³⁰-17³⁰ UTC i Vadehavet, dvs. omtrent 1 time før orkanen kulminerede. Størrelsen

Figur 3: Residualer (vandstand minus tidevand) for stationer langs Vestkysten under orkanen 3. december 1999. Tider i UTC, som er dansk tid minus 1 time. For Ferring er tidevand ikke analyseret - og derfor er der heller ikke beregnet residualer. Bemærk at skalaen er halveret nord for Vadehavet.





Figur 4: Observeret vandstand, tidevand samt beregnet residual ved Esbjerg. Bemærk at tidspunktet for ebbe næsten falder sammen med det maksimale residual.

af lavvandet er noget mindre end højvandet, idet den laveste vandstand er -0.4m til -0.6m i Vadehavet, og -0.1m til -0.2m langs Vestkysten. En undtagelse er Ballum Sluse, hvis lavvande aldrig går under nul. Det andet astronomiske højvande indtrådte kort før midnat. Dette højvande var noget lavere, 0.9-1.1m i Vadehavet og 0.25-0.45m langs Vestkysten. Tabel 1 angiver maksimal vandstand, maksimale residualer og astronomisk tidevand ved højvande, lavvande samt ved tiden for maksimalt residual.

Figur 3 viser residuallets forløb ved 9 stationer for 30 timers perioden 3/12 kl. 00 UTC til 4/12 kl. 06 UTC, hvor det værste var drevet over for Vadehavets vedkom-

mende. Residuallet i Esbjerg og Vidå nåede op på ca. 4½m, hvilket i en højvandssituation ville have givet en vandstand op mod 5½m. I Ribe nåede residuallet 5½m, hvilket ved højvande ville have givet en vandstand på over 6½m. I Ballum og Havneby toppede residuallet omkring 4m, og også ved de nordligere stationer nåede residuallet kritiske højder.

Residuallet toppede tidligst ved Vestkyststationerne fra Thyborøn til Hvide Sande, hvor stormen nåede sit maksimum midt på eftermiddagen. Et par timer senere, mellem kl 17-18 UTC, toppede residuallet i Vadehavet. I Havneby og Vidå kulminerede residuallet 1-2 timer før den aktuelle vandstand, således at kulmi-

nationen af vandstanden ved disse stationer skete under opvoksende tidevand og aftagende vind.

Figur 4 viser den observerede vandstand, tidevandet og det beregnede residual for Esbjerg.

Klassifikation af stormfloden

Stormfloden kan klassificeres ved returperioden af vandstanden (Tabel 1), som angiver middel ventetiden i år mellem to hændelser af mindst denne styrke (jvf. ekstremværdianalyser af DMI og Kystinspektoratet (KI)). Den observerede vandstand svarer omtrent til en 200-års hændelse i Ribe, en 50-års hændelse i Esbjerg og Vidå, en 25-års hændelse i Ballum, en 5-års hændelse i Havneby og en 10-års hændelse i Hvide Sande. Længere nordpå er der blot tale om en 2-3 års hændelse. Rekord for højvande i Esbjerg, hvor vandstanden har været registreret systematisk siden 1880'erne, stammer fra stormfloden i 1981 og lyder på 4.31m. Højvandet i forbindelse med orkanen er det 4. højeste der endnu er målt i Esbjerg.

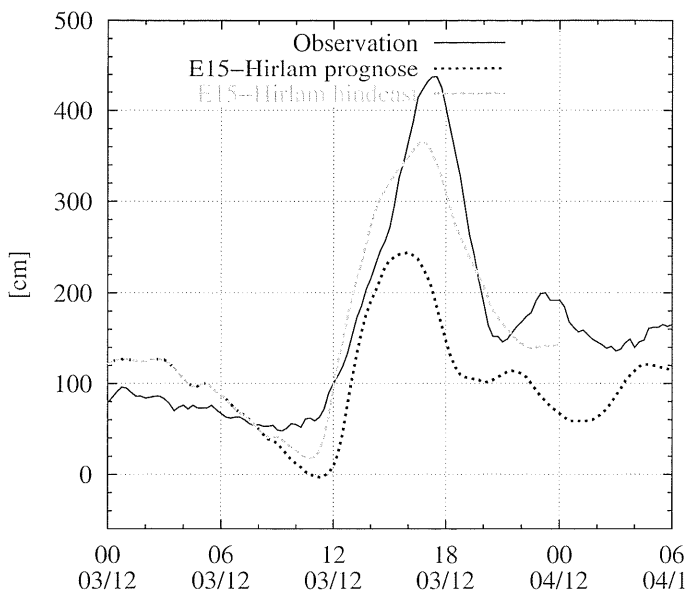
Mens Vadehavsstationerne Esbjerg, Ballum og Vidå, samt (især) Havneby på læsiden af Rømø, i nogen grad lå i læ af Vadehavsøerne Sylt, Rømø og Fanø, fik kysten omkring Ribe orkanens fulde styrke at mærke. Med vind fra VSV havde orkanen frit løb fra Nordsøen ind mod kysten

omkring Ribe, og det gav anledning til den helt ekstreme vandstand på 5.12m - mere end 1m højere end i Esbjerg, der blot ligger 20 km væk. Der kan altså konstateres store lokale forskelle i vandstanden inden for det ret lille område, som Vadehavet udgør.

Beregnet vandstand

DMIs operationelle prognoser for højvandet var ualmindeligt ringe. Figur 5 viser prognoserne for Esbjerg, og Tabel 2 viser prognoser for højvandet ved alle stationerne. Højvandet blev slet ikke fanget af morgenprognoserne den 3/12 00Z, idet den beregnede vandstand var op til 2½m for lav. For Vadehavet generelt lød vandstandsprognosen på 2-2½m, hvilket var en nedjustering i forhold til prognoserne fra dagen før (ikke vist), som lød på 2½-3m for det samme område. For vestkyststationerne lød prognosen på 1-1½m. Det førte desværre til at der ikke blev udsendt rettidige varsler - nye prognoser udgør ellers normalt en forbedring.

Efterfølgende undersøgelser har vist, at prognosernes dårlige kvalitet delvist skyldes mangelfuld Hirlam analyse dagen før orkanen. Man havde ikke haft den sædvanlige adgang til det fulde net af meteorologiske observationer, og derfor levede startgættet på vejr-situationen ikke op til den kvalitet DMIs prognoser normalt har. Det fik en uheldig indflydelse på vejrprognosen,



Figur 5: Esbjerg: Observeret og beregnet vandstand. Prognose fra 03/12-99 kl. 00 UTC.

der gav en lavtrykspassage der var for tidlig og 30-50 km for sydlig. Denne forskydning er af mindre betydning ved normale stormfloder, hvor lavtrykket følger en mere nordlig

bane, men i denne situation med en nærmest eksplosiv udvikling af lavtrykket og en meget hurtig, ret sydlig passage viste det sig at være af afgørende betydning.

Station	3/12 00Z prognose		Hindcast	
	E15	Fejl	E15	Fejl
Thyborøn	1.12	-0.78	1.59	-0.31
Ferring	1.18	-0.88	1.87	-0.19
Torsminde	1.26	-0.78	2.06	+0.02
Hvide Sande	1.42	-1.33	2.29	-0.46
Esbjerg	2.12	-1.86	3.15	-0.83
Ribe	2.58	-2.54	3.81	-1.31
Havneby	2.25	-1.31	3.36	-0.20
Ballum	2.57	-1.78	3.60	-0.75
Vidå/Højer	2.47	-2.06	3.84	-0.69

Tabel 2: Beregning af højvandet under orkanen 3. december 1999, foretaget med DMIs stormflodsmodel Mike21 (udviklet af Dansk Hydraulisk Institut) samt DMIs vejrmodel Hirlam E15.

En hindcast kørsel (hvor man anvender analyserede vindfelter i stedet for prognoser) viser, at med en mere realistisk beskrivelse af vindfeltet under orkanen beregner stormflodsmodellen et højvande i den sydlige del af Vadehavet på 3½-4m (Tabel 2), og ved Torsminde og Hvide Sande over 2.0m. Dette er stadig ikke en god prognose (kriteriet for en god prognose er en fejl på ikke over 0.2m - dette opnås kun i Ferring, Torsminde og Havneby) men dog acceptabelt i en varslings-situation - og en forbedring på op til 1.4m i forhold til prognosen. Den resterende del af fejlen må hovedsagelig tilskrives mangler ved stormflodsmodellen, og DMI har sat initiativer i gang for at udbedre dette.

Tiden for højvandet forudsiges rigtigt inden for 1 time i Vadehavet (Figur 5), mens højvandet er beregnet til at indtræde 1-2 timer for tidligt langs Vestkysten. Det skal dog bemærkes at vandstandsmaksimum er meget 'fladt' i dette område og derfor sværere at tidsfæste.

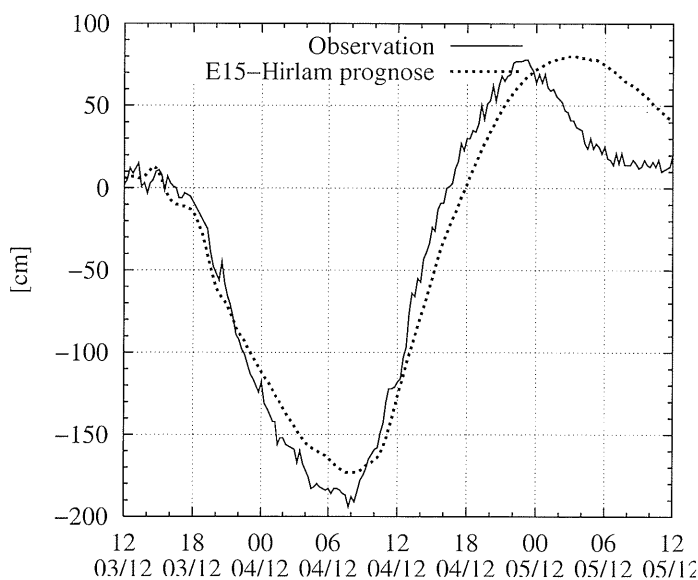
Lavvande i den vestlige Østersø

En af orkanens følger der har fået mindre opmærksomhed, er den meget lave vandstand den forårsagede i den vestlige Østersø. Samtidigt med at orkanen fyldte Vadehavet op med vand blev store lavvandede områder i den vestlige Østersø på det nærmeste tørlagt. Vandstanden nåede her

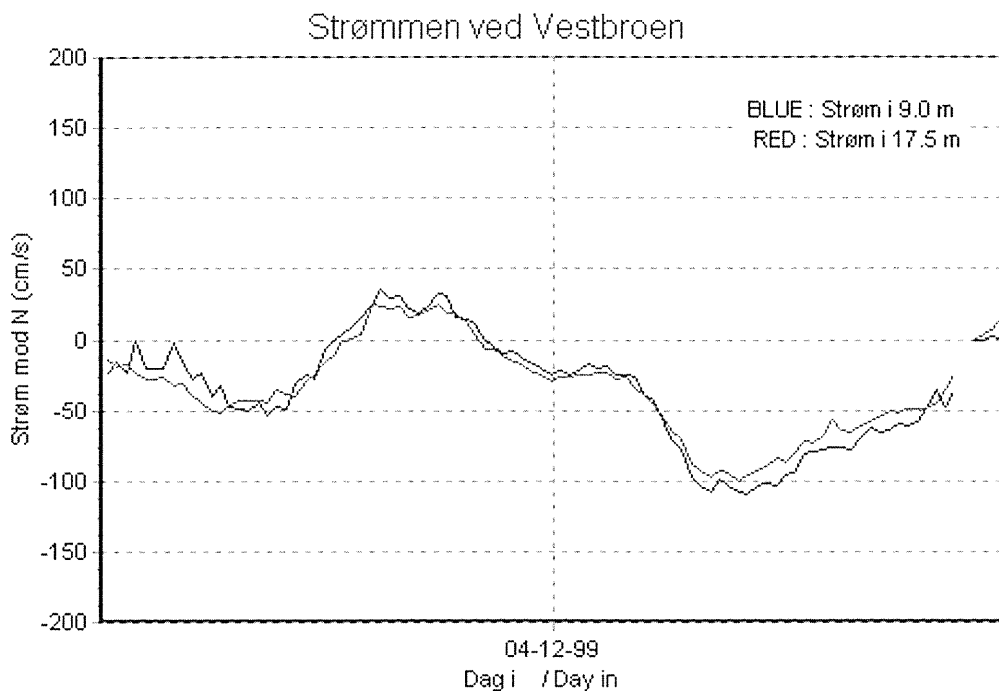
flere steder under -2m hvilket ikke er set tidligere i de 120 år med systematisk registrering. Således blev adskillige af vandstandsmålerne tørlagt. Dette var dog ikke tilfældet for Rødby (Figur 6), hvor vandstanden nåede ned på -194 cm, hvilket er hele 34 cm lavere end den hidtidige bundrekord. Vandstanden nåede her sit minimum ved kl. 7-8 UTC om morgenen den 4/12.

Strømmålinger fra Storebælt foretaget af Farvandsvæsenet (Figur 7) viser en svag transport af vand nordpå, ud gennem bælteerne, mens orkanen rasede langs Vestkysten. Derved er den vestlige Østersø blevet tappet for vand ad to veje - dels den direkte vej østpå og dels den mere besværlige vej gennem de snævre danske sunde og bælte. Den 3/12 kl. 21 vendte strømmen, og herefter strømmede vandet ind gennem Storebælt - først langsomt, men fra 4/12 kl. 6-12 med op til 1 m/s.

Da orkanen var drevet over, trængte vandet fra den østlige og centrale Østersø tilbage mod vest, omtrent som i et badekar. Dette svingningsfænomen, kendt som seiching, gav anledning til lettere forhøjet vandstand i farvandet



Figur 6: Rødby: Observeret og beregnet vandstand. Prognose fra 03/12-99 kl. 12 UTC.



Figur 7: Strøm målt i 2 dybder ved Vestbroen i Storebælt 3-4/12 1999. I den originale figur bruges rødt og blå til at skelne de to kurver. I denne gengivelse fremtræder den blå kurve en anelse mørkere end den røde. I begyndelsen løber den blå kurve i hovedsagen over er den røde, senere mest under. Kilde: Farvandsvæsenet.

syd for Bælterne ca. et døgn efter lavvandet under orkanen (Figur 6).

Konklusion

Stormfloden i forbindelse med orkanen den 3. december 1999 blev en af de værste i mands minde. Området omkring Ribe og Rømø var særlig hårdt ramt. Vandstanden i Ribe nåede op over 5 meter hvilket ikke er set tidligere i dette

århundrede. Men også i resten af Vadehavet nåede vandstanden op i et niveau man kun ser ganske få gange på 100 år. Ved et rent tilfælde kulminerede orkanen i dette område samtidigt med astronomisk lavvande, og derved undgik man en endnu større katastrofe.

DMI's prognoser for højvandet lod meget tilbage at ønske. Prognoserne var generelt alt for lave, og først meget sent stod det klart hvor alvorlig en situation man stod over-

for. Det kan for en stor dels vedkommende tilskrives problemer med vindprognoserne, men selv med nær perfekt beskrivelse af vinden er DMI's vandstandsmodel ikke i stand til at forudsige højvande af denne størrelse - i det mindste ikke ved alle stationer.

Referencer

Kystinspektoret 1997. Højvandsstatistikker '97.