

Stormfloden forårsaget af orkanen den 3. december 1999

Bidrag til "Vejret 2000 nr. 1"

af Jacob Woge Nielsen og Mads Hvid Nielsen

DMI/VO

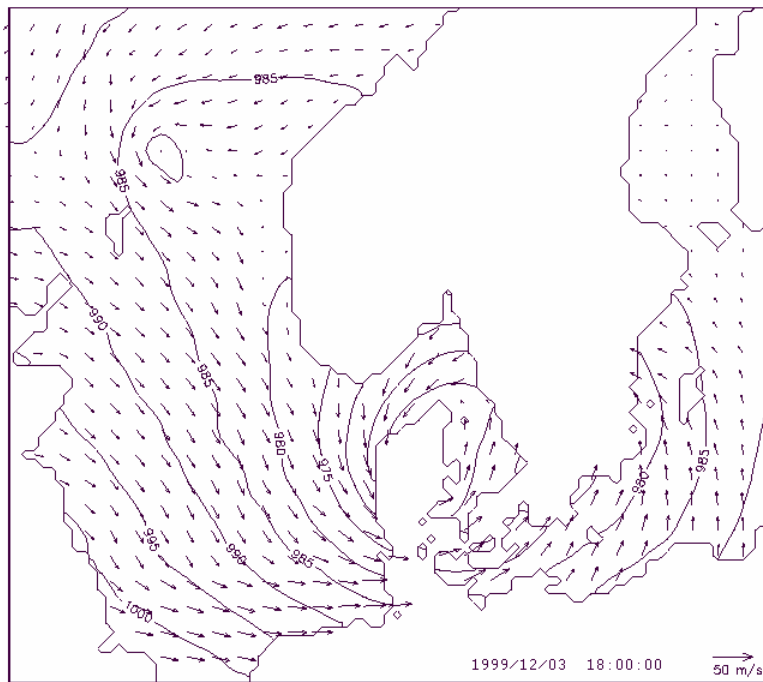
Indledning.

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 Kystinspektoratets 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 $\frac{1}{2}$ 1m 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 0.35m pr kvarter igennem de næste 6 timer stuede 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 som orkanen drev videre østover 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 lavtrykspassagen (på bagsiden af lavtrykket) steg vindhastigheden igen og drejede fra sydvest over i nordvest, og man fik endnu et højvande kort efter midnat, som varede ved til ud på formiddagen.



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.

Vandstand, tidevand og residual.

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



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).

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.

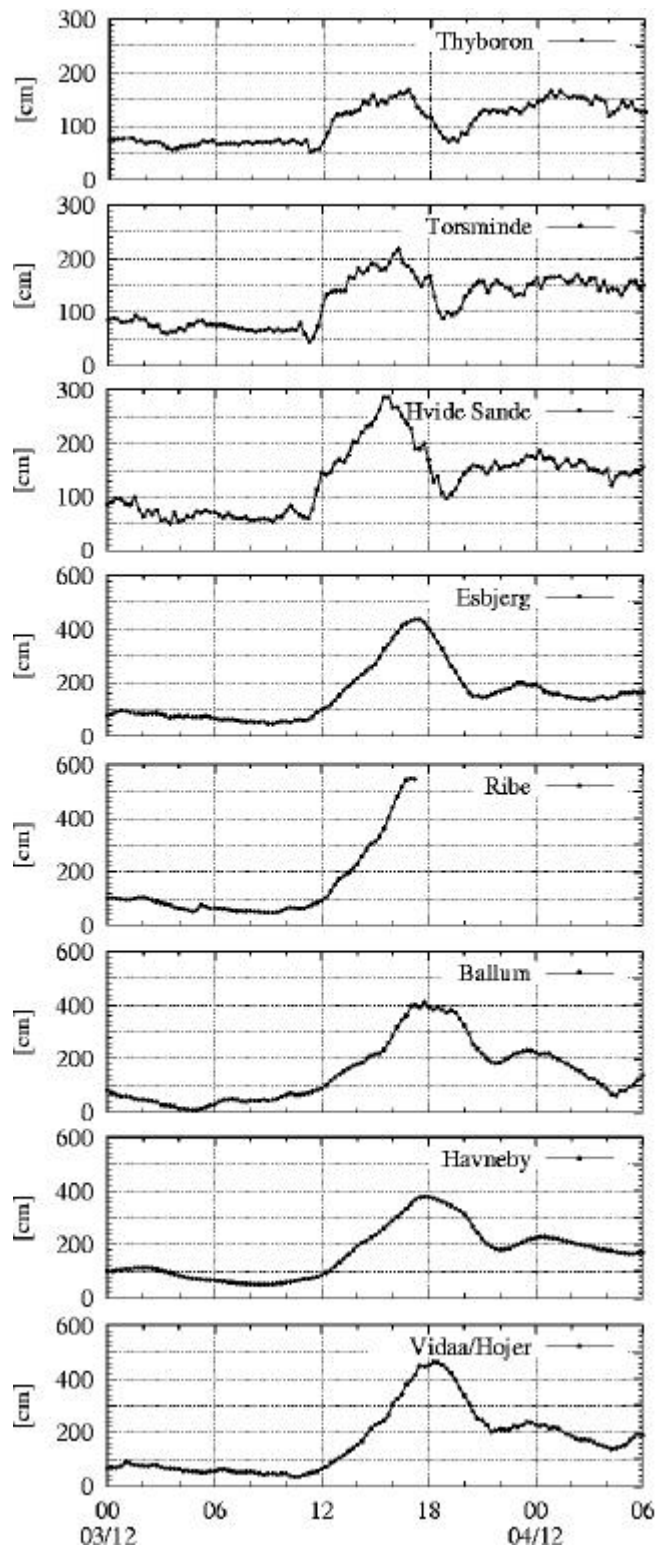
Størrelsen af lavvandet er noget mindre end højvandet, idet den laveste vandstand er -0.4m til -0.6m i Vadehavet, og -0.1m til -0.2m langs Vestkysten. En undtagelse er Ballum Sluse, hvis lavvande aldrig går under nul. Det andet astronomiske højvande indtrådte kort før midnat. Dette højvande var noget 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.

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 ⁴⁵	5	+1.08	-0.77	+0.92	-0.48	3.81
Ballum	4.35	17 ⁴⁵	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 Nordsøkyt. Tider i UTC. HW1=1. højvande, LW=lavvande, HW2=2. højvande.

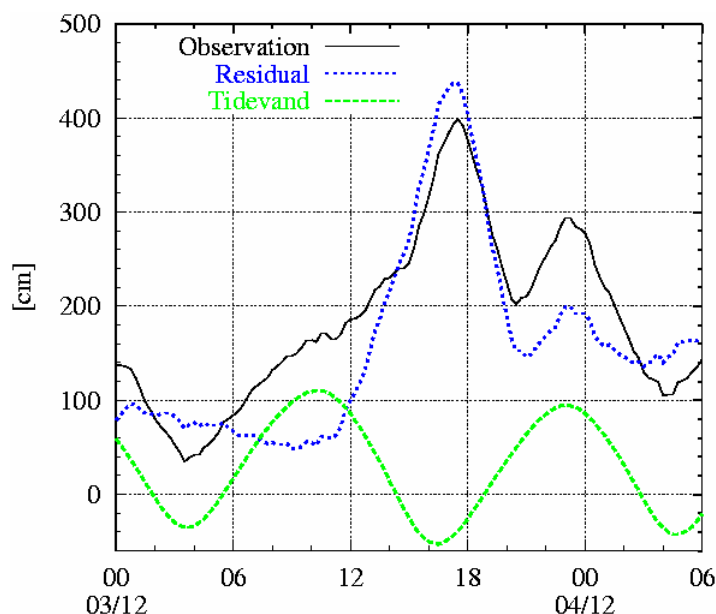
Figur 3 viser residuallets forløb ved 9 stationer for 30 timers perioden 3/12 kl. 00 UTC til 4/12 kl. 06 UTC, hvor det værste var drevet over for Vadehavets vedkommende. Residuallet i Esbjerg og Vidå nåede op på ca. 4½m, hvilket i en højvandssituation ville have givet en vandstand op mod 5½m. I Ribe 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 kulminationen af vandstanden ved disse stationer skete under opvoksende tidevand og aftagende vind.



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



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

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 rette 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.

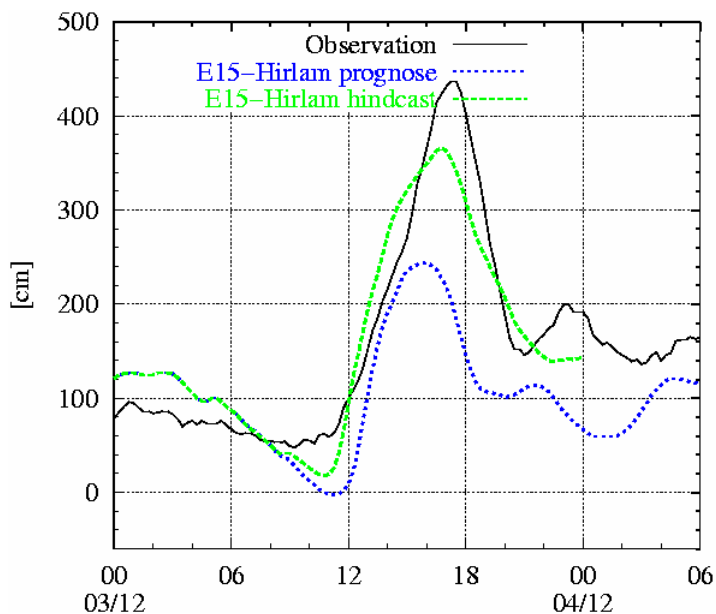
Station	3/12 00Z prognose		Hindcast	
	E15	Fejl	E15	Fejl
Thyborøn	1.12	-0.78	1.59	-0.31
Ferring	1.18	-0.88	1.87	-0.19
Torsminde	1.26	-0.78	2.06	+0.02
Hvide Sande	1.42	-1.33	2.29	-0.46
Esbjerg	2.12	-1.86	3.15	-0.83
Ribe	2.58	-2.54	3.81	-1.31
Havneby	2.25	-1.31	3.36	-0.20
Ballum	2.57	-1.78	3.60	-0.75
Vidå/Højer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

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, der gav en lavtrykkspassage 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.

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.

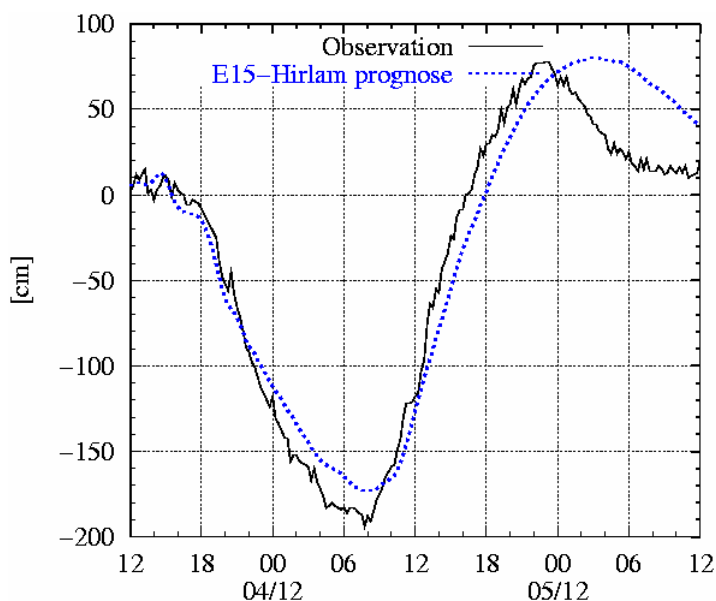
Tiden for højvandet forudsiges rigtigt inden for 1 time i Vadehavet (Figur 5), mens højvandet er beregnet til at indtræde 1-2 timer for tidligt langs Vestkysten. Det skal dog bemærkes at vandstandsmaksimum er meget 'fladt' i dette område og derfor sværere at tidsfæste.



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

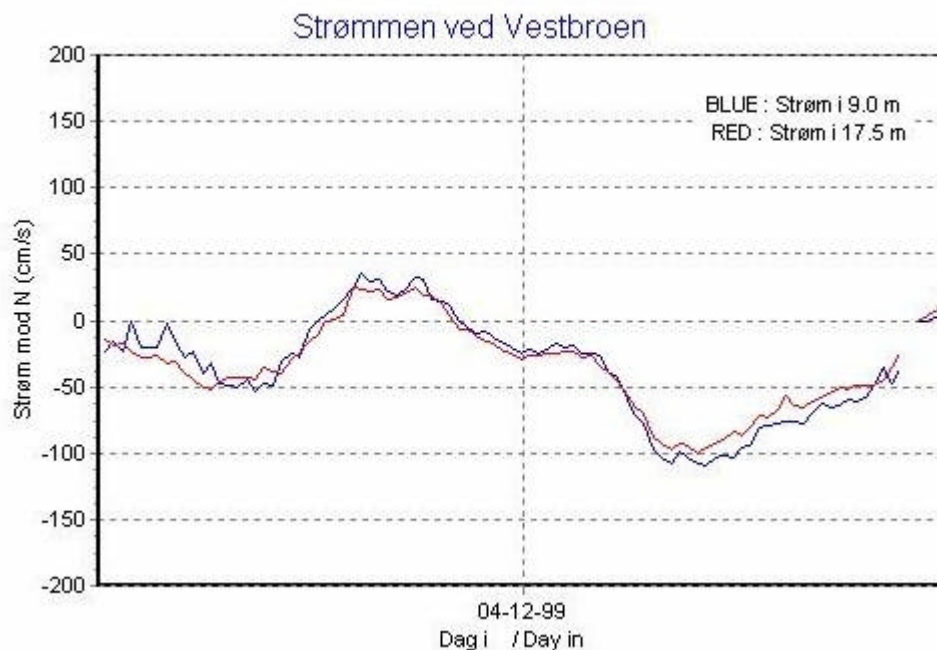
Lavvande i den vestlige Østersø.

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.



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

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 bælteer. 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.



Figur 7: Strøm målt i 2 dybder ved Vestbroen i Storebælt 3-4/12 1999. Kilde: Farvandsvæsenet

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 syd for Bælteerne 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 overfor. 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.

Kystinspektoratet 1997. Højvandsstatistikker '97.