

**DANISH METEOROLOGICAL INSTITUTE**

**—— TECHNICAL REPORT ——**

**00-25**

**Verifikation af vandstandsprognoser  
1999**

**Jacob Woge Nielsen  
Mads Hvid Nielsen**



**Copenhagen 2000**

**ISSN: 0906-897X**  
**ISSN: 1399-1388 (Online Version)**

# **Verifikation af vandstandsprognoser 1999**

**Jacob Woge Nielsen  
Mads Hvid Nielsen  
e-mail: jw@dmi.dk , mhn@dmi.dk**

**Danmarks Meteorologiske Institut, København, Danmark**

# Indhold

<b>1</b>	<b>Introduktion</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Stormflodsvarslingsystemet</b>	<b>4</b>
2.1	DKSS90 opsætning (indtil 1. sept 1999) . . . . .	5
2.2	DKSS98 opsætning (fra 1. sept 1999) . . . . .	5
2.3	Samlet oversigt . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Verifikationsdata</b>	<b>8</b>
3.1	Observationer . . . . .	8
3.1.1	Datadækning . . . . .	10
3.1.2	Ekstremvandstand . . . . .	10
3.1.3	Stormfloder . . . . .	11
3.2	Prognoser . . . . .	11
3.2.1	Datadækning . . . . .	12
3.2.2	Nulpunktskorrektion . . . . .	12
3.2.3	Filtrering . . . . .	12
<b>4</b>	<b>Fejlmål</b>	<b>13</b>
4.1	Residual . . . . .	13
4.2	Spidsfejl . . . . .	14
4.3	Resultatkontrakt . . . . .	15
<b>5</b>	<b>Resultater</b>	<b>16</b>
5.1	Hyppighedsfordeling og nøgletal . . . . .	17
5.2	Succesrate og resultatkontrakt . . . . .	18
5.3	Middelfejl (ME) . . . . .	19
5.4	Middel absolutfejl (MAE) . . . . .	20
5.5	RMS fejl (RMS) . . . . .	21
5.6	Maksimal fejl (MAX) . . . . .	22
5.7	Forklaret varians (EV) . . . . .	23
5.8	Middel spidsfejl (MPE) . . . . .	24
5.9	Middel absolut spidsfejl (MAPE) . . . . .	25
5.10	Maksimal spidsfejl (MXPE) . . . . .	26
5.11	Spidsfejl ved varslingsstationerne . . . . .	27
<b>6</b>	<b>Sammenligning med forudgående år</b>	<b>38</b>
<b>7</b>	<b>Konklusion</b>	<b>40</b>
<b>8</b>	<b>Appendix A - datadækning</b>	<b>41</b>
<b>9</b>	<b>Appendix B - ekstremvandstand</b>	<b>42</b>
<b>10</b>	<b>Appendix C - nulpunktskorrektioner</b>	<b>43</b>

# 1 Introduktion

I denne rapport verificeres DMIs operationelle vandstandsprognoser for 1999. Prognoserne, der løbende vises på DMIs Internetside <http://www.dmi.dk/vejr> under *Vandstand*, er beregnet med DMIs stormflodsvarslingssystem *DKSS90*, 1. september 1999 opgraderet til *DKSS98*.

Prognoser gældende for 12 timers tidsvinduet +06 timer til +18 timer sammenlignes med den observerede vandstand ved en række danske kyststationer. Der beregnes månedlige statistiske fejlmål for hver station, midlet over prognoselængden. Herudfra beregnes og præsenteres årlige fejlmål for hver station. Nøgletal beregnes ved at midle over samtlige stationer. Prognoser for ekstreme højvande undersøges særskilt, herunder beregnes en succesrate til brug for DMIs resultatkontrakt.

Stormflodsvarslingssystemet *DKSS90* har været i brug siden 1990. Imidlertid var systemets havmodel *System21* ikke år 2000-sikret og understøttes ikke længere af udvikleren DHI - Institut for Vand og Miljø (DHI). Et nyt system *DKSS98* er kalibreret på kalenderåret 1998, og blev taget i operationel brug 1. september 1999. Den nye havmodel *Mike21* (også udviklet af DHI) svarer til *System21*, dog med visse ændringer. *DKSS90* blev kørt parallelt med *DKSS98* indtil 3. november 1999. I denne verifikation anvendes *DKSS90* i måned 1-8, *DKSS98* i måned 9-12. For en sammenligning af de to systemer henvises til kalibreringsrapporten [9].

Udover opgraderingen til *Mike21* er der løbende ændret i de vejrmodeller, der leverer vindprognoserne til at drive modellen - primært Hirlam. Disse ændringer/forbedringer evalueres og dokumenteres af DMIs Hirlam gruppe og bliver ikke diskuteret nærmere her.

I det følgende beskrives det operationelle stormflodsvarslingssystem (kap. 2), vandstandsobservationer og prognoser, herunder returperioden for den højeste registrering i 1999 (kap. 3), og de statistiske fejlmål der bliver anvendt til at vurdere prognosernes kvalitet (kap. 4). I kap. 5 beskrives resultatet af verifikationen for 1999 i detaljer, og i kap. 6 sammenlignes med foregående år. Kap. 7 er en konklusion. Referencer, angivet i teksten med [ ], samt lister over figurer og tabeller findes bagest i rapporten sammen med Appendices.

Rapporten indgår i en serie af DMI rapporter om stormflodsverifikation, hvoraf den første omhandlede vintersæsonen 1993-94. Der udsendes i særlige tilfælde også rapporter over de enkelte stormfloder (se referencelisten bagest i rapporten). Tidligere rapporter er udfærdiget på engelsk, men fra og med denne rapport vil afrapporteringen ske på dansk.

## 2 Stormflodsvarslingssystemet

DMIs operationelle stormflodsvarslingssystem DKSS90 har været anvendt siden 1990. På grund af år 2000-skiftet var det nødvendigt at opgradere systemet i 1999; det nye system DKSS98 blev taget i brug 1. september - lige inden starten på stormflodssæsonen 1999-2000. Begge systemer beskrives i detaljer herunder.

Stormflodsvarslingssystemet består af tre komponenter:

- en dybdeintegreret hydrodynamisk model
- en numerisk vejrmodel
- information om tidevandet i Nordatlanten

Den hydrodynamiske model er udviklet af DHI og stillet til rådighed for DMI til operationel brug. Modellen løser de dybdeintegrerede ligninger for havets strømning under indflydelse af vind, lufttryk og tidevand, og de deraf følgende vandstandsstigninger og -sænkninger. En vigtig egenskab ved modellen er den s.k. *nesting* (se nedenfor), hvor flere beregningsnet er lagt inde i hinanden. På denne måde kan man anvende finere beregningsnet lokalt, hvilket er af stor betydning i Vadehavet og Bælthavet.

Vejrmodellen er DMIs limited area prognosemodel Hirlam-E (også kaldet D15), som anvendes til vejrudsigter for Danmark [18]. De løbende forbedringer, der foretages af Hirlam, kommer umiddelbart stormflodsvarslingen til gode. Et parallelt back-up system anvender i stedet prognoser fra den engelske vejrmodel UK-lam (UKM). Den atmosfæriske drivkraft består af prognoser for trykket i havoverfladens niveau (mslp) og vinden i 10m højde. Vind og tryk interpoleres til det mest grovmaskede hydrodynamiske modelnet, og 10m vinden omregnes til overfladestress ved brug af en vindhastighedsafhængig vindfriktionsparameter [19], [9].

Hirlam-E har en tidlig/rumlig opløsning på 1 time/16 km. Back-up opsætningen bliver drevet af den mere grovmaskede UK-lam, med tidlig/rumlig opløsning på 6 timer/1.25<sup>o1</sup>. Denne opsætning giver farvandsvagten ekstra information, og forfremmes til primær prognose i tilfælde af at Hirlam prognosen er forsinket, mangler helt, eller af forskellige årsager anses for fejlbehæftet. Begge opsætninger er fuldt operationelle, og begge bliver verificeret og sammenlignet i denne rapport.

Tidevandet foreskrives ved modellens afgrænsning mod resten af verdenshavet; hertil bruges en tidevandsanalyse udarbejdet af den tyske Kriegsmarine i 1943 [5] samt Admiralty Tables fra 1995 [10]. Sammenligning med nyere kort baseret på satellitaltimetri har vist en god overensstemmelse (Balthazar/KMS, pers. komm.).

Stormflodssystemet kører uinitialiseret, dvs. uden at inddrage vandstandsobservationer i selve modelberegningen. Som starttilstand anvendes en mellemregning fra den forrige kørsel, og vandstandsobservationer anvendes i stedet til løbende postprocessing af prognoserne (se afsnit 3.2).

Hver modelkørsel beregner kort over vandstand og vertikalt midlet strøm. Herudfra trækkes tidsserier for de lokaliteter hvor der står en vandstands- eller strømmåler. Tidsserien består af en *hindcast*, baseret på gårsdagens kendte vejr, efterfulgt af en *prognose*, baseret på den nyeste 1.5-2 døgn vejr-

<sup>1</sup>UKM har højere opløsning, men DMI modtager prognoserne i denne opløsning. Tidligere blev UKM vinden forstærket kunstigt med 10% over Nordsøen og med 1-2 m/s over Bælthavet, for at kompensere for grovheden. Denne korrektion er ikke længere i brug.

prognose<sup>2</sup>. Hvis denne vejrprognose er utilgængelig holdes systemet i gang ved brug af reserver i form af prognoser fra dagen før eller fra en global vejrmodel. Disse prognoser er af noget lavere kvalitet, og bruges ikke til varsling/verifikation.

## 2.1 DKSS90 opsætning (indtil 1. sept 1999)

DKSS90 anvender DHIs strømningsmodel *System 21* (dokumentation i [1]). Modelområdet består af 4 beregningsnet (fig. 1 øverst). Det groveste net dækker hele Nordsø-Østersø området med en maskevidde på 18520 m (10 sømil), og herefter øges opløsningen med en faktor 3 for hvert nyt net, således at Vadehavet og Bælthavet beskrives med en opløsning på 2058 m.

Tidevandsrandene er placeret langs 51°N og 59°N. Der anvendes 10 konstituentter til at beskrive tidevandet,  $M_2, S_2, N_2, K_2, \mu_2, K_1, O_1, P_1, M_4, MS_4$ . Konstituentterne er bestemt af DHI på basis af detaljerede tyske kort [5] samt anden, nyere information [19].

DKSS90 køres to gange dagligt, med analysetidspunkt 00 UTC og 12 UTC. Begge kørsler starter 00 UTC den forudgående dag, fra en starttilstand beregnet med gårsdagens 00 UTC kørsel. Der regnes frem til analysetidspunktet (hindcast), hvorefter der beregnes en 1.5 døgn prognose. For Hirlam opsætningen arkiveres hindcasten på tape for et døgn ad gangen. For begge opsætninger (Hirlam og UK-lam) sendes prognoser for vandstand for en række stationer til DMIs farvandsvagt og til arkiv<sup>3</sup>. Modeltidsskridtet er 10 min., og output tidsskridtet er 30 min. Se iøvrigt tabel 1.

## 2.2 DKSS98 opsætning (fra 1. sept 1999)

Det opgraderede system DKSS98 anvender DHIs strømningsmodel *Mike21* (dokumentation i [2]). Hydrodynamikken i Mike21 er kun ændret lidt fra den tidligere udgave, men modellen køres i en mere veldefineret geografisk projektion (UTM-32) og i højere rumlig og tidlig opløsning. Nye dybdekort er etableret som led i det EU-finansierede DYNOCs projekt hvor basis er et 1 sømils net. Der anvendes som tidligere 4 beregningsnet, med opløsning varierende fra 16668 m (9 sømil) i det groveste net til 1852 m i det fineste (fig. 1 nederst). Bælthavsnettet er udvidet østpå, bl.a. for at flytte numerisk instabilitet, knyttet til overgangen mellem de forskellige beregningsnet, længere væk fra de danske farvande. Modellens friktionsparametre er recalibreret ved at genkøre hele 1998 i hindcast mode. Bundfriktionen er gjort dybdeafhængig, vindfriktionsparameteren er øget ved vindhastigheder omkring 18-23 m/s, og sænket tilsvarende ved lave vindhastigheder, og den laterale friktion er gjort afhængig af det lokale strømningsfelt. For detaljer om kalibreringen henvises til [9]. Tidevandsrandene er flyttet og revurderet. I den Engelske Kanal anvendes tidekonstituentter fra Admiralty Tables 1995 [10] i Dungeness (England) og Wissant (Belgien), til erstatning for de tyske tidevandskort. Indstrømningen ved sydranden er drejet 37° fra N til NNE. Indstrømningen ved nordranden er uændret vinkelret på randen.

DKSS98 køres 4 gange dagligt, med analysetidspunkt 00, 06, 12 og 18 UTC. Prognoselængden er øget til 2 døgn. For back-up opsætningen er skeduleringen dog uændret. Tidsskridtet i modellen er halveret fra 10 min til 5 min. Output tidsskridtet er halveret fra 30 min til 15 min, hvorved tidsskridtet i prognosen svarer til observationsfrekvensen (se kap. 3).

---

<sup>2</sup>Prognoser ud til maksimalt 7 døgn kan beregnes til særlige formål, fx konstruktionsarbejder til søs, ved at supplere Hirlam/UK-lam med data fra en global vejrmodel hentet fra *ECMWF*.

<sup>3</sup>Prognoser for strøm for nogle få lokaliteter vises på DMIs Internetside <http://www.dmi.dk/vejr> under *Til søs*. Prognoseerne arkiveres, men verificeres ikke.

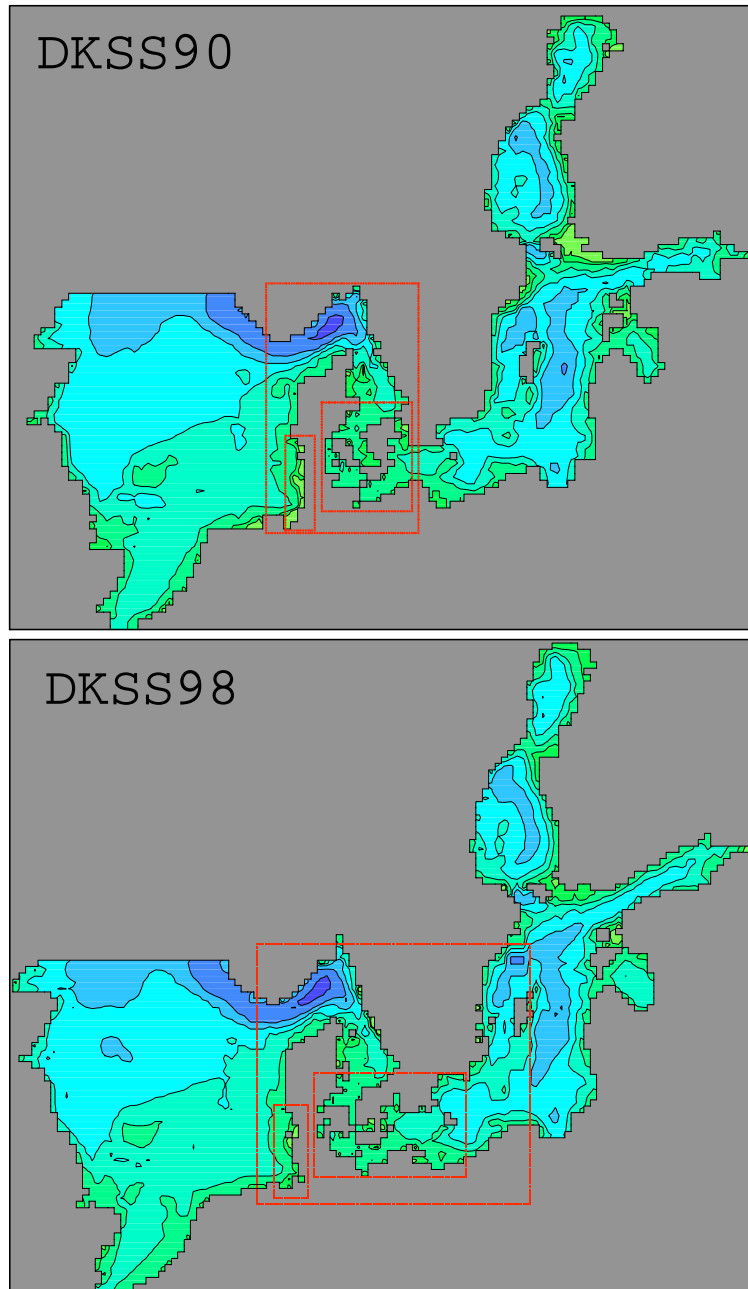
### 2.3 Samlet oversigt

En samlet oversigt over DMIs operationelle stormflodsvarslingssystem i 1999 ses i tabel 1.

System/periode	DKSS90 / jan-aug		DKSS98 / sep-dec	
	Primær	Back-up	Primær	Back-up
Opsætning	D15-HIRLAM	UK-LAM	D15-HIRLAM	UK-LAM
Atm. model	System 21	System 21	Mike 21	Mike 21
Hyd. model	00,12	00,12	00,06,12,18	00,12
Kørsler (UTC)	36 timer	36 timer	48 timer	36 timer
Prognoselængde	10 min.	10 min.	5 min.	5 min.
Model tidsskridt	30 min.	30 min.	15 min.	15 min.
Output interval				

**Tabel 1.** DMIs stormflodsvarslingssystem, 1999.





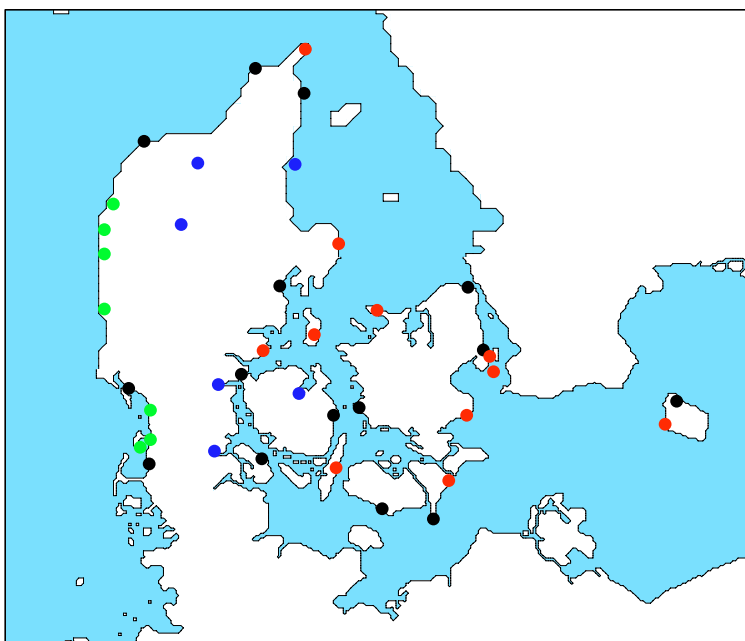
**Figur 1.** Øverst: DKSS90 model området, med fire beregningsnet anbragt inde i hinanden (nesting). Modelens åbne tidevandsrande er lagt langs snittene Shetland-Bergen ( $59^{\circ}\text{N}$ ), og Dungeness-Wissant i den Britiske Kanal ( $51^{\circ}\text{N}$ ). Nederst: DKSS98 modelområdet, anvendt siden 1. sept. 1999. Det næstgroveste beregningsnet er udvidet østpå til Gotland, mens Bælthavsnettet er udvidet til et stykke øst for Bornholm. De fintmaskede beregningsnet sikrer fri gennemstrømning gennem Bælterne og Øresund.

### 3 Verifikationsdata

Datagrundlaget er observeret vandstand i 1999 ved en række kyststationer, samt prognoser for vandstand gældende for de samme stationer, beregnet med DKSS90/98. Prognoser for strøm anvendes til beregning af oliespild og andet drivgods, men verificeres ikke p.t. af mangel på observationer.

#### 3.1 Observationer

DMI har via samarbejde med Farvandsvæsenet (FRV), Kystinspektoret (KI) og forskellige lokale myndigheder adgang til måling af vandstand i sand tid ved en række fuldautomatiske danske kyststationer (fig. 2 og tabel 2).



**Figur 2.** Placering af vandstandsmålere. Sort=DMI station, rød=FRV, grøn=KI, blå=lokal myndighed. On-line observationer, tidevand og 12 timers prognose for alle stationer findes på DMIs Internet side <http://www.dmi.dk/vejr> under *Vandstand*.

Kun stationer med en datadækning på mindst 75% anvendes til verifikation. Endvidere gøres der for hver station kun begrænset brug af data fra enkelte måneder med datadækning under 50%. I 1999 verificeres i alt 33 stationer, heraf

- 15 DMI stationer
- 10 FRV stationer
- 7 KI stationer
- 1 lokal station

Derudover indgår Kolding i varslingen siden 1. september 1999.

Station	Nummer	Position	Region	Ejer
1. Skagen	20002	57°43'N 10°36'E	Skagerrak	FRV
Hirtshals	20047	57°36'N 09°58'E	Skagerrak	DMI
Frederikshavn	20101	57°26'N 10°34'E	Skagerrak	DMI
Hals Barre **)	20252	56°58'N 10°26'E	Kattegat	AMT
Løgstør **)	20423	56°58'N 09°15'E	Limfjorden	AMT
6. Hanstholm	21009	57°07'N 08°36'E	Skagerrak	DMI
Skive **)	21191	56°34'N 09°03'E	Limfjorden	AMT
Grenå	22121	56°25'N 10°56'E	Kattegat	FRV
Århus	22331	56°09'N 10°13'E	Kattegat	DMI
Juelsminde **)	23132	56°43'N 10°01'E	Bælthavet	FRV
11. Fredericia	23293	55°34'N 09°45'E	Bælthavet	DMI
Kolding **)	23322	55°30'N 09°29'E	Bælthavet	AMT
Thyborøn	24006	56°42'N 08°13'E	Vestkysten	KI
Ferring	24018	56°32'N 08°07'E	Vestkysten	KI
Torsminde	24122	56°22'N 08°07'E	Vestkysten	KI
16. Hvide Sande	24342	56°00'N 08°08'E	Vestkysten	KI
Esbjerg	25149	55°28'N 08°26'E	Vadehavet	DMI
Ribe Sluse *)	25343	55°20'N 08°41'E	Vadehavet	KI
Havneby	26136	55°05'N 08°34'E	Vadehavet	KI
Åbenrå	26239	55°03'N 09°26'E	Vestlige Østersø	AMT
21. Ballum Sluse *)	26346	55°08'N 08°41'E	Vadehavet	KI
Vidå Sluse *)	26359	54°58'N 08°40'E	Vadehavet	DMI
Fynshav	26457	55°00'N 09°59'E	Vestlige Østersø	DMI
Ballen	27084	55°49'N 10°38'E	Kattegat	FRV
Odense Fjord **)	28086	55°43'N 10°42'E	Bælthavet	AMT
26. Slipshavn	28233	55°17'N 10°50'E	Bælthavet	DMI
Spodsbjerg	28582	54°56'N 10°50'E	Bælthavet	FRV
Odden	29002	55°58'N 11°22'E	Kattegat	FRV
Korsør	29393	55°20'N 11°08'E	Bælthavet	DMI
Hornbæk	30017	56°06'N 12°28'E	Kattegat	DMI
31. København	30337/6	55°41'N 12°30'E	Bælthavet	DMI
Nordre Røse	30346	55°38'N 12°41'E	Bælthavet	FRV
Drogden Fyr	30357	55°32'N 12°43'E	Bælthavet	FRV
Rødvig	31063	55°15'N 12°23'E	Vestlige Østersø	FRV
Hesnæs	31493	54°49'N 12°08'E	Vestlige Østersø	FRV
36. Rødby	31573	54°39'N 11°21'E	Vestlige Østersø	DMI
Gedser	31616	54°34'N 11°56'E	Vestlige Østersø	DMI
Tejn	32048	55°15'N 14°50'E	Østersø	DMI
39. Rønne	32096	55°06'N 14°41'E	Østersø	FRV

**Table 2.** Vandstandsstationer. Stationsnavn og -nummer, position, beregningsnet og ansvarshavende. DMI=Danmarks Meteorologiske Institut; KI=Kystinspektoret, FRV=Farvandsvæsenet, AMT=lokal myndighed. \*) = slusestation, kun til højvandsstatistik, \*\*) = ny station, verificeres ikke endnu. DMIs måler i København blev udskiftet 24/6 1999. Måleren blev samtidigt flyttet til et andet havnebassin. Sammenligning af målerne i en indkøringsperiode viste at de stemte godt overens. Den nye måler anvendes fra 1/7 1999. I Hvide Sande, Torsminde og Thyborøn anvendes kystmålerne, som står mindre beskyttet end de tilsvarende havnemålere.

Vandstanden registreres hvert kvarter relativt til DNN, med en præcision på 1 cm. FRVs målere registrerer på varierende minuttal, medens andre målere registrerer hvert hele kvarter. Tidsstemplet for FRVs målere afrundes til nærmeste hele kvarter, hvilket giver en fasefejl på op til 7 minutter.

Til verifikation af DKSS90 prognoser (jan-aug) anvendes vandstandsmålinger for hver halve time. Til verifikation af DKSS98 prognoser (sep-dec) anvendes vandstandsmålinger for hvert kvarter.

### 3.1.1 Datadækning

Middel datadækningen i 1999 (33 stationer, se Appendix A) var 96.6%. DMIs 15 målere har en datadækning på 98.6% i middel. 17 målere har en datadækning over 99%.

Adskillige målere var ude af drift under og efter orkanen 3.-4. december, hvilket gør verifikation af denne hændelse vanskelig. DMIs vandstandsmålere i Esbjerg og Vidå var kortvarigt ude af drift, og data fra Kystinspektoratets målere, placeret omtrent på de samme lokaliteter, er anvendt i stedet. Måleren i Fynshav fungerede ikke i et par uger efter orkanen. Kolding, som først kom on-line medio 1999, indgår ikke i verifikationen men der optegnes prognoser for ekstreme højvande.

Månederne angivet herunder indgår ikke i verifikationen.

- *Nordre Røse*: Ude af synkronisering april-juli, så der måles på 'skæve' tider.
- *Slipshavn*: Fejlbehæftede data det meste af marts.
- *Sjællands Odde*: Ikke nok data i april-maj.
- *Thyborøn*: Fejlbehæftede data det meste af maj.
- *Grenå*: Ikke nok data i marts.
- *Fynshav*: Ikke nok data i december.

### 3.1.2 Ekstremvandstand

Den højeste og den laveste vandstand registreret i 1999 ved hver station er vist i tabel 17 (Appendix B), se også [3]. Ved slusestationerne i Vadehavet (markeret med \*) i tabel 2), Vidå Sluse, Ribe Kammersluse, og Ballum Sluse, påvirkes registreringen ved lavvande af sluseportene og er dermed ikke repræsentativ for vandstanden i det frie hav. Dette reproduceres ikke af stormflodsmodellen, og disse stationer bliver derfor kun brugt til verifikation af højvande.

Returperioden for den højeste vandstand i 1999 er beregnet for en række af stationerne (tabel 17, se beregningsmetoden i [4],[8]). En retur periode under 2 år indikerer at den højeste vandstand var under middel størrelse.

1999 var et meget specielt år hvad angår ekstremvandstand. Orkanen d. 3.-4. december gav anledning til en 200-års hændelse i Ribe, hvor vandstanden nåede op over 5 meter. En så høj vandstand er ikke tidligere forekommet i den tid hvor DMI har bedrevet stormflodsvarsling. Også i resten af Vadehavet og videre nordpå til Hvide Sande blev vandstanden meget høj - i Esbjerg den 4. højeste stormflod på 120 år. Om morgenen den 4. december trængte højvandet videre ind i Skagerrak og Kattegat, hvor man havde en 5-10 års hændelse. Samtidigt blev vandstanden historisk lav syd for bælteerne, hvor store lavvandede områder nærmest blev tørlagt, da vandstanden nåede ned på -1.5 til -2 meter. Så lav vandstand er ikke registreret i løbet af de sidste 120 år.

### 3.1.3 Stormfloder

De mest alvorlige stormfloder i 1999 er angivet i tabel 3. I 1999 havde DMI varslingspligt for 9 stationer, idet Kolding blev føjet til listen 1. september 1999 (Gedser er backup station for Rødby). Varslingskriterierne og antal overskridelser i 1999 er angivet i tabel 4.

- 4.-5. februar Vadehavet
- 21. oktober Vestlige Østersø
- 14. november Vestlige Østersø
- 19.-20. november Vestlige Østersø
- 1. december Sydlige Kattegat
- 3.-4. december Vadehavet, Vestkysten, Skagerrak, Kattegat
- 17 december Vadehavet

**Tabel 3.** Stormfloder i danske farvande, 1999.

Orkanen den 3. december gav anledning til den værste stormflod i mange år, idet vandstanden nåede op over 5 meter i dele af Vadehavet. Varslingskriterier for prognosen og antal overskridelser i 1999 er angivet i tabel 4.

Station	Varlingsniveau	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Vidå Sluse	250	4	6	5	2	4	<b>3</b>
Esbjerg	250	3	1	2	2	3	<b>2</b>
Torsminde	200	0	0	0	1	3	<b>1</b>
Frederikshavn	90	0	2	2	2	2	<b>2</b>
Kolding	100	-	-	-	-	-	<b>1</b>
Aabenraa	100	-	-	-	2	4	<b>3</b>
Slipshavn	100	0	2	1	1	1	<b>0</b>
Korsør	100	0	2	0	1	1	<b>0</b>
Rødby	130	0	2	0	0	0	<b>0</b>
Gedser	130	0	2	0	0	0	<b>0</b>

**Tabel 4.** Antal overskridelser af prognose-varslingskriteriet, 1994-99. Kolding: kun 2. halvår 1999.

### 3.2 Prognoser

Stormflodssystemet beregner og arkiverer tidsserier for vandstand ved alle stationer i tabel 2<sup>1</sup>. Tidsserien består af en hindcast af variabel længde, samt en 36 timers (DKSS98:48 timer) prognose med 30 minutters tidsopløsning (DKSS98:15 min). 12 timers tidsvinduet analyse+06 timer til analyse+18 timer (som er det vigtigste i varslingsøjemed) stykkes sammen fra korttidsprognoserne til månedlige pseudo-tidsserier. Resten af prognosen bortkastes i denne sammenhæng. Der benyttes kun 00 UTC og 12 UTC prognoser, dvs 06 UTC og 18 UTC prognoser for perioden sep-dec 1999 indgår ikke i verifikaitonen.

Den beregnede vandstand efterbehandles i to trin: Nulpunktskorrektion og filtrering. Nulpunktskorrektionen foretages en gang for alle, mens filtreringen er en løbende proces.

<sup>1</sup>Prognoser for en række udenlandske stationer arkiveres men verificeres ikke.

Det skal bemærkes at der findes andre måder at efterbehandle prognosen på. Ved andre institutter (KNMI/Holland, BSH/Tyskland) beregnes i stedet højvandsprognoser ved at lade modellen beregne den maksimale vindopstuvning (dvs. uden tidevand) og hertil addere det astronomiske højvande (den s.k. *skew surge* metode). Det er ikke klart hvilken fremgangsmåde der er bedst.

### **3.2.1 Datadækning**

Der mangler 9 af D15 prognoserne, 11 af UKM prognoserne, dvs en dækningsgrad på næsten 99%. De manglende prognoser skyldes at vejrmodellen ikke har været afviklet rettidigt, så stormflodsmodellen er kørt på reserveprognoser.

### **3.2.2 Nulpunktskorrektur**

Der kan være en forskel i middelvandstand (bias) mellem beregnet og målt vandstand ved de enkelte stationer. Der korrigeres for en evt. bias ved brug af middelfejlen for 1994-96 prognoser (Appendix C, tv). For DKSS98 bruges middelfejlen for 1998 hindcast (Appendix C, th). Dette giver en mærkbar forbedring af prognoserne for stationer med en stor nulpunktsfejl, men det bemærkes at fejlen ikke er stabil fra år til år ved alle stationer [6]. I det videre forløb bruges nulpunktskorrigerede prognoser.

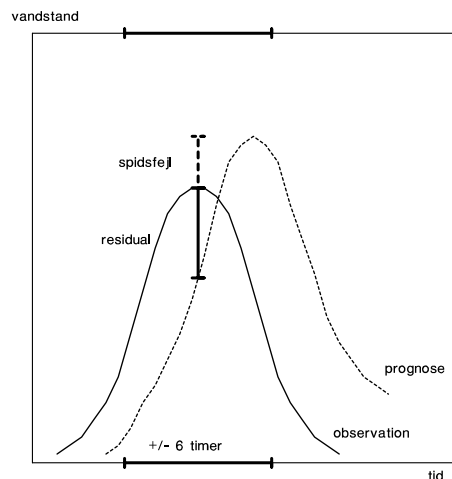
### **3.2.3 Filtrering**

Prognosen opdateres hver gang der modtages en ny observation, dvs optimalt hvert kvarter eller halve time. Fejlen på prognosen fremskrives statistisk i tid ved brug af et autoregressivt (AR) filter, og prognosen rettes op ved at fratække den fremskrevne fejl. De filtrerede prognoser arkiveres ikke, og verificeres derfor heller ikke. Begrundelsen for dette er at der beregnes en ny prognose for hvert kvarter, og datamaterialet bliver dermed for overvældende.

## 4 Fejlmål

Der opereres med to forskellige typer fejl, se figur 3.

- *residualet* er prognose minus observation til en given tid
- *spidsfejlen* er beregnet minus observeret vandstandsmaksimum



**Figur 3.** Definition af residualet og spidsfejlen. Prognosen er nulpunktskorrigeret inden fejlen beregnes.

Residualet er en almindelig tidsserie, mens spidsfejlen er en tabel, kun med værdier for hvert højvande. Ud fra disse to fejltypen beregnes for hver station månedlige fejlmål for de sammenstykede pseudo-tidsserier for prognosen, som beskrevet i kap. 3. Årlige middel- og maksimumsværdier beregnes for hver station, ved at midle over årets 12 måneder. Endelig beregnes der nøgletal ved at midle over alle stationer.

I modsætning til praksis for vejmodeller beregnes fejls afhængighed af prognoselængden ikke. Tidligere undersøgelser har vist at en sådan afhængighed ikke findes [11]. Det skyldes at stormflodsmodellen ikke initialiseres ved brug af observeret vandstand, men kører som et 'stand-alone' system - modellen beregner selv sin starttilstand, og dermed er starttilstanden selv fejlbehæftet.

### 4.1 Residual

Månedlige residual fejlmål

- $me$  = middel fejl
- $mae$  = middel absolut fejl
- $rms$  = rms fejl
- $max$  = maksimal fejl
- $ev$  = forklaret varians

beregnes på standard måde (se fx [7]) for hver station og for hver måned. De 4 første fejlmål skal være så små som muligt, mens den forklarede varians optimalt er 100%. Årlige fejlmål  $ME$ ,  $MAE$ ,  $RMS$ ,  $MAX$ ,  $EV$  beregnes for hver station som middelværdien over årets 12 måneder:

$$ME = \frac{1}{12}(me(jan) + me(feb) + \dots + me(dec))$$

og tilsvarende for de andre fejlmål. Bemærk at også den årlige maksimumsfejl beregnes på denne måde. Det tillades at der mangler højst 3 måneder i denne middelværdi, heriblandt højst 1 måned fra vinterhalvåret oktober-marts. Til sidst beregnes nøgletal, betegnet Average  $ME$  osv. ved at midle over alle stationer. Et ekstra nøgletal Average  $AME$  beregnes som stationsmiddel af absolut årlig middelfejl.

## 4.2 Spidsfejl

Prognoser for ekstreme højvande verificeres ved brug af spidsfejlen, som er forskellen mellem beregnet og observeret højvande (figur 3). Der ses bort fra fejl i tidspunktet for højvandets indtræden på indtil 6 timer, og fejlen i tidspunktet verificeres ikke i sig selv. Optræder der mere end 1 højvande inden for 6 timer, bortkastes de laveste. Er der forudsagt mere end 1 højvande svarende til et enkelt observeret højvande, vælges den højeste prognose.

For hver station tabuleres årets 10 højeste højvande med tilhørende spidsfejl. Årlige spidsfejlmål

- $MPE$  = middel spidsfejl
- $MAPE$  = middel absolut spidsfejl
- $MXPE$  = maksimal absolut spidsfejl

beregnes ved at midle over disse 10 højvande ( $MPE$ ,  $MAPE$ ), resp. som maksimum ( $MXPE$ ). Nøgletal betegnet Average  $MPE$  osv, beregnes ved at midle over alle stationer. Et ekstra nøgletal Average  $AMPE$  beregnes som stationsmiddel af absolut årlig middel spidsfejl.

Ud fra det samlede antal højvande, 10 pr. station, beregnes en *succesrate* som andelen af 'godt forudsagte' højvande. Der beregnes succesrater med tre succeskriterier:

- $PHIT10$  = succesrate 10 cm
- $PHIT20$  = succesrate 20 cm
- $PHIT30$  = succesrate 30 cm

Mens fejlmålene  $MPE$ ,  $MAPE$  og  $MXPE$  skal være så lave som muligt, skal succesraterne være så høje som muligt.

Der beregnes ikke fejlmål for ekstreme lavvande, ligesom der ikke er udarbejdet statistik over falske alarmer.



### **4.3 Resultatkontrakt**

Til brug for DMIs resultatkontrakt beregnes PHIT20 separat for Nordsøkysten (fra Vadehavet til og med Skagen), og for de indre danske farvande (resten af stationerne). Der anvendes kun stationer arkiveret i DMIs database. Fejlmålet til resultatkontrakten fås som middelværdien af disse to tal. Fejlmålet skal være så højt som muligt.

## 5 Resultater

På grund af maskinbelastning er DKSS90 og DKSS98 ikke systematisk kørt parallelt, og begge systemer verificeres her under et. DKSS90 dækker perioden januar-august og DKSS98 dækker september-december. For sammenligning af de to opsætninger henvises til [7].

Tabel 5 er en simpel hyppighedsfordeling af de forskellige fejlmål, med angivelse af hvor mange stationer der falder i hver af kategorierne 'lille', 'middel', og 'stor' fejl. Grænserne er valgt som runde tal ud fra hvad der skønnes at være rimeligt. Desuden er angivet de s.k. *nøgletal*, dvs. middelværdierne af hvert fejlmål.

Succesrater (*hit rates*) for 1999 er herefter angivet i tabel 6.

Årlige middelværdier af fejlmål for hver enkelt station er vist i tabellerne på de følgende sider. De to opsætninger, D15 og UKM, evalueres og sammenlignes. Tabel 7-11 viser residual statistik, mens tabel 12-14 viser spidsfejl statistik for hver station. Figur 6-13 viser spidsfejl ved de 8 varslingsstationer samt Gedser (back-up station for Rødby), og Kolding, som har indgået i varslingen siden september 1999.

## 5.1 Hyppighedsfordeling og nøgletal

I tabel 5 angives hyppighedsfordeling af samtlige fejlmål i kategorierne 'lille', 'middel', og 'stor', samt nøgletal dvs. fejlmål midlet over alle stationer.

ME	D15	UKM
lille 0-5 cm	24	21
middel 5-10 cm	4	8
stor >10 cm	2	1
middel	0.1	1.1
abs. middel	3.3	3.7

MAE	D15	UKM
lille 0-10 cm	7	8
middel 10-15 cm	19	19
stor >15 cm	4	3
middel	11.5	11.3

RMS	D15	UKM
lille 0-10 cm	1	4
middel 10-20 cm	26	23
stor >20 cm	3	3
middel	14.4	14.0

MAX	D15	UKM
lille 0-30 cm	1	1
middel 30-50 cm	17	18
stor >50 cm	12	11
middel	51.0	48.7

E.V.	D15	UKM
stor >75 %	6	12
middel 50-75 %	20	16
lille 0-50 %	4	2
middel	62.7	67.6

MPE	D15	UKM
lille 0-10 cm	17	7
middel 10-20 cm	9	7
stor >20 cm	7	19
middel	-10.7	-24.0
abs. middel	10.7	24.0

MAPE	D15	UKM
lille 0-15 cm	12	10
middel 15-30 cm	13	14
stor >30 cm	8	9
middel	20.7	26.0

MXPE	D15	UKM
lille 0-30 cm	8	7
middel 30-50 cm	12	5
stor >50 cm	13	21
middel	54.1	80.6

**Tabel 5.** Hyppighedsfordeling af fejlmål. ME = middel fejl (bias), MAE = middel absolut fejl, RMS = r.m.s. fejl, MAX = maksimal fejl, E.V. = forklaret varians, MPE = middel spidsfejl (peak bias), MAPE = middel absolut spidsfejl, MXPE = maksimal spidsfejl. Grænserne mellem de forskellige kategorier er fastlagt ud fra et subjektivt skøn.

Systemet har ingen eller lille bias, middelstor MAE/RMS fejl, og middelstor til stor maksimumsfejl, med meget lille forskel mellem de to opsætninger. Den forklarede varians er middelstor med D15 opsætningen, middelstor til stor med UKM opsætningen. UKM opsætningen er i middel 5%-points bedre end den operationelle opsætning i 1999. Middel spidsfejl (peak bias) er lille med D15 opsætningen, men stor med UKM opsætningen. Der sker en generel undervurdering af de højeste vandstande med begge opsætninger, men fejlen er mere end dobbelt så stor i middel med UKM opsætningen. Middel absolut spidsfejlen er lille til middelstor med begge opsætninger, men D15 fejlen er i middel 5 cm lavere end UKM fejlen. Endelig er maksimums spidsfejlen markant lavere med D15 opsætningen (middel til stor) end med UKM opsætningen (stor).

Residual fejlmål er omtrent lige store for begge opsætninger, dog har UKM opsætningen højere forklaret varians. D15 opsætningen er bedst til at forudsige ekstreme højvande.

## 5.2 Succesrate og resultatkontrakt

I Tabel 6 angives antal forudsagte højvande med tre forskellige succeskriterier, hhv. 10 cm, 20 cm og 30 cm. Der angives en generel succesrate for hver opsætning (primær=D15 og back-up=UKM), en succesrate for de 8 varslingsstationer, og succesrater hhv. for Nordsøkysten op til Skagen (Nordsø), og for de indre danske farvande fra Skagen til Bornholm (IDF). Succesrater for de separate områder er kun beregnet for den primære opsætning, og middelværdien anvendes til DMIs resultatkontrakt. Formålet med at dele op geografisk er at gøre succesraten mindre afhængig af hvilke stationer der er til rådighed et givet år, dvs. oprettelse/nedlæggelse af stationer mv. Til beregning af Nordsø/IDF succesrater anvendes kun stationer der er arkiveret i DMIs database, dvs. alle FRV stationer er udeladt (Tabel 2). I alt er anvendt 11 Nordsøstationer og 12 stationer i indre danske farvande.

Kriterium	D15	UKM	Varsling	Nordsø	IDF	Resultat
10 cm	40.9	32.1	36.3	20.2	49.5	34.9
20 cm	62.9	59.4	63.8	45.5	75.7	<b>60.6</b>
30 cm	78.5	73.4	76.3	58.6	89.2	73.9

**Tabel 6.** Succesrate for forudsigelse af de 10 højeste vandstande ved hver station, 1999. Det fremhævede resultat anvendes til DMIs resultatkontrakt. Af de 8 varslingsstationer ligger de 3 langs Nordsøkysten, de øvrige i de indre danske farvande.

Succesraten for den primære opsætning er generelt 3-8 %-point højere end for back-up opsætningen. Ekstremt højvande forudsiges med mindre præcision langs Nordsøkysten end i de indre danske farvande, hvilket skyldes at der generelt er langt større variationer i vandstanden langs Nordsøkysten. Med et 10 cm succeskriterium forudsiges under halvdelen af de ekstreme højvande. Med et 20 cm kriterium øges succesraten til ca. 60%, fordelt med 45% langs Nordsøkysten og 75% i de indre danske farvande. Med et 30 cm kriterium forudsiges ca. 3 ud af 4 højvande, fordelt med knap 60% langs Nordsøkysten og knap 90% i de indre danske farvande.

### 5.3 Middelfejl (ME)

Station	D15	UKM
Skagen	12.4	11.6
Hirtshals	-1.7	-2.6
Frederikshavn	1.2	0.3
Hanstholm	8.4	7.6
Grenå	0.0	-0.4
Århus	0.2	0.3
Fredericia	-3.4	-1.5
Thyborøn	-0.2	-1.5
Ferring	-2.4	-3.3
Torsminde	-0.8	-2.0
Hvide Sande	0.8	-0.4
Esbjerg	5.2	3.0
Havneby	-3.2	-5.5
Aabenraa	-12.2	-8.8
Fynshav	-2.6	0.9
Ballen	-0.9	-0.6
Slipshavn	4.1	5.1
Spodsbjerg	3.5	5.3
Odden	-3.8	-3.7
Korsør	-5.4	-3.9
Hornbæk	1.5	1.7
København	4.7	5.3
Nordre Røse	-5.5	-4.3
Drogden	-0.8	2.8
Rødvig	0.6	4.6
Hesnæs	-4.4	-0.6
Rødby	3.8	7.8
Gedser	-0.5	3.3
Tejn	-0.8	3.3
Rønne	4.6	8.7

**Tabel 7.** Middelfejl, 1999. D15/UKM = primær/backup opsætning.

Middelfejlen ME varierer mellem  $\pm 12$  cm. Nulpunktkorrekturen (Appendix C) fjerner en stor del af middelfejlen ved en række stationer, specielt Hirtshals, Frederikshavn, Hvide Sande, Fynshav og Rødby. Der anvendes samme nulpunktskorrektur for begge opsætninger. D15 opsætningen har stor nulpunktsfejl ( $>10$  cm) ved Skagen og Aabenraa, og middelstor nulpunktsfejl (5-10 cm) ved yderligere 4 stationer: Hanstholm, Esbjerg, Korsør og Nordre Røse. UKM opsætningen har stor nulpunktsfejl ved Skagen og middelstor nulpunktsfejl ved yderligere 8 stationer: Havneby, Hanstholm, Aabenraa, Slipshavn, Spodsbjerg, Rødby og Rønne. Den geografiske fordeling af ME er usystematisk, hvilket viser at fejlen har at gøre med den enkelte målers nivellement.

## 5.4 Middel absolutfejl (MAE)

Station	D15	UKM
Skagen	18.2	18.1
Hirtshals	11.1	11.1
Frederikshavn	11.3	11.3
Hanstholm	19.5	19.3
Grenå	10.6	11.0
Århus	11.2	11.5
Fredericia	10.0	9.4
Thyborøn	12.1	12.3
Ferring	12.4	12.6
Torsminde	13.3	13.0
Hvide Sande	14.0	13.7
Esbjerg	16.8	16.0
Havneby	15.5	14.9
Aabenraa	14.1	12.6
Fynshav	10.2	10.5
Ballen	10.4	10.5
Slipshavn	10.1	10.5
Spodsbjerg	10.0	10.2
Odden	11.6	11.9
Korsør	9.9	9.7
Hornbæk	9.5	9.5
København	11.1	11.0
Nordre Røse	11.9	11.9
Drogden	8.1	7.6
Rødvig	7.7	7.5
Hesnæs	7.9	7.1
Rødby	10.9	10.6
Gedser	7.4	8.1
Tejn	7.3	5.9
Rønne	11.4	10.5

**Tabel 8.** Middel absolut fejl, 1999. D15/UKM = primær/backup opsætning.

Middel absolut fejlen MAE varierer fra 6-7 cm i Tejn til knap 20 cm i Hanstholm og Skagen. Lille (0-10 cm) og middel (10-15 cm) MAE findes ved stationer i den vestlige Østersø, Bælthavet og Kattegat, mens stor MAE (>15 cm) findes i Vadehavet (Esbjerg og Havneby), i Skagerrak (Hanstholm), samt i Skagen på grund af den store nulpunktsfejl. Forskellen mellem de to opsætninger er meget lille.

## 5.5 RMS fejl (RMS)

Station	D15	UKM
Skagen	21.4	21.1
Hirtshals	14.4	14.0
Frederikshavn	14.5	14.3
Hanstholm	23.2	22.6
Grenå	13.7	14.3
Århus	14.3	14.6
Fredericia	12.9	12.1
Thyborøn	15.6	15.9
Ferring	15.6	15.9
Torsminde	16.8	16.6
Hvide Sande	17.8	17.4
Esbjerg	21.4	20.5
Havneby	19.4	18.6
Aabenraa	17.5	15.7
Fynshav	13.1	12.9
Ballen	13.3	13.4
Slipshavn	12.8	13.2
Spodsbjerg	12.4	12.8
Odden	14.2	14.4
Korsør	12.2	11.8
Hornbæk	12.1	12.0
København	13.9	13.6
Nordre Røse	14.5	14.4
Drogden	10.2	9.5
Rødvig	10.2	9.1
Hesnæs	10.6	9.0
Rødby	13.0	12.5
Gedser	10.0	10.0
Tejn	8.7	6.9
Rønne	12.8	11.5

**Tabel 9.** Middel RMS fejl, 1999. D15/UKM = primær/backup opsætning.

RMS fejlen varierer fra 7 cm (Tejn) til 23 cm (Hanstholm) begge opsætninger. RMS fejlen er 15-25% større end MAE, men følger ellers samme mønster.

## 5.6 Maksimal fejl (MAX)

Station	D15	UKM
Skagen	61.0	58.8
Hirtshals	51.4	47.3
Frederikshavn	48.8	48.2
Hanstholm	66.9	62.1
Grenå	50.9	56.0
Århus	52.8	53.8
Fredericia	46.9	45.8
Thyborøn	59.5	58.9
Ferring	60.9	59.1
Torsminde	69.7	66.7
Hvide Sande	74.8	68.8
Esbjerg	92.8	85.4
Havneby	69.2	69.0
Aabenraa	55.1	51.4
Fynshav	43.6	40.6
Ballen	45.9	47.3
Slipshavn	42.3	44.9
Spodsbjerg	45.3	46.2
Odden	42.7	47.2
Korsør	37.2	36.7
Hornbæk	43.7	41.9
København	47.0	42.0
Nordre Røse	45.8	41.8
Drogden	35.8	38.5
Rødvig	46.4	34.7
Hesnæs	44.1	37.2
Rødby	41.8	41.1
Gedser	47.1	35.6
Tejn	27.6	22.8
Rønne	34.4	30.4

**Tabel 10.** Middel maksimal fejl, 1999. D15/UKM = primær/backup opsætning.

MAX fejlen repræsenterer middelværdien af den største fejl for hver måned. MAX fejlen varierer fra ca 25 cm i Tejn til knap 1 m i Esbjerg. Disse tal er markant højere end forudgående år, hvilket skyldes meget dårlige prognoser under orkanen 3. december 1999.



## 5.7 Forklaret varians (EV)

Station	D15	UKM
Skagen	62.6	65.4
Hirtshals	65.5	69.2
Frederikshavn	57.8	59.8
Hanstholm	64.9	67.3
Grenå	67.9	65.3
Århus	56.5	55.0
Fredericia	45.3	51.8
Thyborøn	77.3	78.4
Ferring	78.8	79.6
Torsminde	78.4	79.9
Hvide Sande	81.3	82.4
Esbjerg	90.4	91.5
Havneby	93.4	94.0
Aabenraa	57.4	63.2
Fynshav	50.2	58.8
Ballen	59.0	58.8
Slipshavn	66.8	65.9
Spodsbjerg	58.4	57.8
Odden	56.9	58.0
Korsør	55.4	59.0
Hornbæk	66.0	66.0
København	32.2	39.9
Nordre Røse	11.0	20.2
Drogden	49.3	67.2
Rødvig	55.9	76.2
Hesnæs	65.8	78.7
Rødby	68.4	77.4
Gedser	64.7	76.6
Tejn	69.3	82.9
Rønne	73.1	82.2

**Tabel 11.** Forklaret varians, 1999. D15/UKM = primær/backup opsætning.

Den forklarede varians (E.V.) varierer fra kun 11% i Nordre Røse til 93% i Havneby. Lille forklaret varians findes især i Lillebælt og Øresund, hvor faseforholdene i de rolige sommermåneder beskrives meget dårligt. Der forekommer endog måneder med negativ forklaret varians, hvilket indikerer en fasefejl på over 3 timer. Høj forklaret varians (>75%) findes langs hele vestkysten, og for UKM opsætningen desuden i den vestlige Østersø. UKM prognosen er mærkbart bedre end D15 prognoser ved de fleste stationer.

## 5.8 Middel spidsfejl (MPE)

Station	D15	UKM
Skagen	-7.6	-15.5
Hirtshals	-9.2	-22.6
Frederikshavn	-15.3	-20.2
Hanstholm	-10.2	-20.4
Grenå	-21.1	-31.4
Århus	-26.5	-29.5
Fredericia	-12.0	-14.8
Thyborøn	-25.8	-44.8
Ferring	-21.3	-47.6
Torsminde	-21.7	-44.4
Hvide Sande	-7.4	-49.7
Esbjerg	-0.9	-41.6
Ribe K.sluse	0.1	-49.3
Havneby	0.2	-23.8
Aabenraa	-14.8	-14.8
Ballum Sluse	-14.9	-55.9
Vidå Slusen	-8.8	-34.9
Fynshav	-9.5	-9.2
Ballen	-21.1	-26.5
Slipshavn	-10.5	-6.8
Spodsbjerg	-20.3	-24.3
Odden	-15.1	-28.8
Korsør	-13.1	-13.1
Hornbæk	-2.6	-22.8
København	-8.7	-16.7
Nordre Røse	-17.5	-22.1
Drogden	-0.7	-9.3
Rødvig	1.1	-5.9
Hesnæs	-3.2	-10.2
Rødby	-2.2	-3.7
Gedser	-4.4	-10.0
Tejn	-4.7	-6.5
Rønne	-3.5	-6.5

**Tabel 12.** Middel spidsfejl, 1999. D15/UKM = primær/backup opsætning.

Ved dette og de øvrige spidsfejlmål er slusestationerne Vidå, Ballum og Ribe inkluderet. Begge opsætninger undervurderer generelt vandstanden ved de mest ekstreme højvande, med middelspidsfejl (peak bias) op til -26 cm (D15), resp. -56 cm (UKM). D15 opsætningen er markant bedre end UKM opsætningen ved næsten alle stationer.

## 5.9 Middel absolut spidsfejl (MAPE)

Station	D15	UKM
Skagen	22.4	19.9
Hirtshals	23.8	22.6
Frederikshavn	17.1	20.2
Hanstholm	15.2	20.4
Grenå	21.1	31.4
Århus	26.5	29.5
Fredericia	13.4	24.6
Thyborøn	30.0	46.2
Ferring	33.1	47.6
Torsminde	40.5	44.4
Hvide Sande	31.0	49.9
Esbjerg	40.7	45.6
Ribe K.sluse	49.5	59.1
Havneby	28.6	28.8
Aabenraa	20.0	19.6
Ballum Sluse	35.3	59.7
Vidaa Slusen	32.2	44.9
Fynshav	12.1	13.0
Ballen	21.7	26.5
Slipshavn	13.9	10.6
Spodsbjerg	20.3	24.3
Odden	16.3	28.8
Korsør	13.1	14.1
Hornbæk	23.4	22.8
København	13.9	17.5
Nordre Røse	22.3	25.7
Drogden	7.7	9.7
Rødvig	8.5	7.1
Hesnæs	6.8	10.8
Rødby	7.0	9.7
Gedser	7.6	11.8
Tejn	5.3	6.9
Rønne	3.7	6.5

**Tabel 13.** Middel absolut spidsfejl, 1999. D15/UKM = primær/backup opsætning

Middel absolut spidsfejlen varierer fra 5-10 cm i Østersøen, hvor vandstandsvariationerne er relativt små, til 50-60 cm ved slusestationerne i Vadehavet, hvor vandstandsvariationerne er store. Specielt i Vadehavet og videre nordpå langs Vestkysten til Thyborøn er MAPE uacceptabelt høj. Ved de fleste stationer er D15 opsætningen bedre end UKM opsætningen.

## 5.10 Maksimal spidsfejl (MXPE)

Station	D15	UKM
Skagen	63	71
Hirtshals	73	74
Frederikshavn	52	64
Hanstholm	45	58
Grenå	43	58
Århus	44	69
Fredericia	41	66
Thyborøn	64	95
Ferring	88	120
Torsminde	110	113
Hvide Sande	133	173
Esbjerg	114	184
Ribe K.sluse	131	269
Havneby	71	117
Aabenraa	45	55
Ballum Sluse	103	306
Vidaa Slusen	95	191
Fynshav	30	39
Ballen	45	54
Slipshavn	33	35
Spodsbjerg	33	80
Odden	42	40
Korsør	25	29
Hornbæk	64	54
København	34	40
Nordre Røse	47	50
Drogden	23	26
Rødvig	23	25
Hesnæs	21	30
Rødby	12	25
Gedser	18	23
Tejn	10	13
Rønne	9	17

**Tabel 14.** Maksimal spidsfejl, 1999. D15/UKM = primær/backup opsætning

Den maksimale spidsfejl MXPE angiver fejlen på den dårligste prognose (*worst case*) for de 10 højeste vandstande ved hver station. For D15 opsætningen varierer MXPE fra 10 cm ved Bornholm til mere end en meter ved flere Nordsøstationer. For UKM opsætningen er den maksimale spidsfejl i Vadehavet langt større, op til flere meter. Dette skyldes orkanen 3-4 december 1999, som ingen af opsætningerne var i stand til at forudsige bare nogenlunde præcist. D15 opsætningen er markant bedre end UKM opsætningen ved næsten alle stationer.

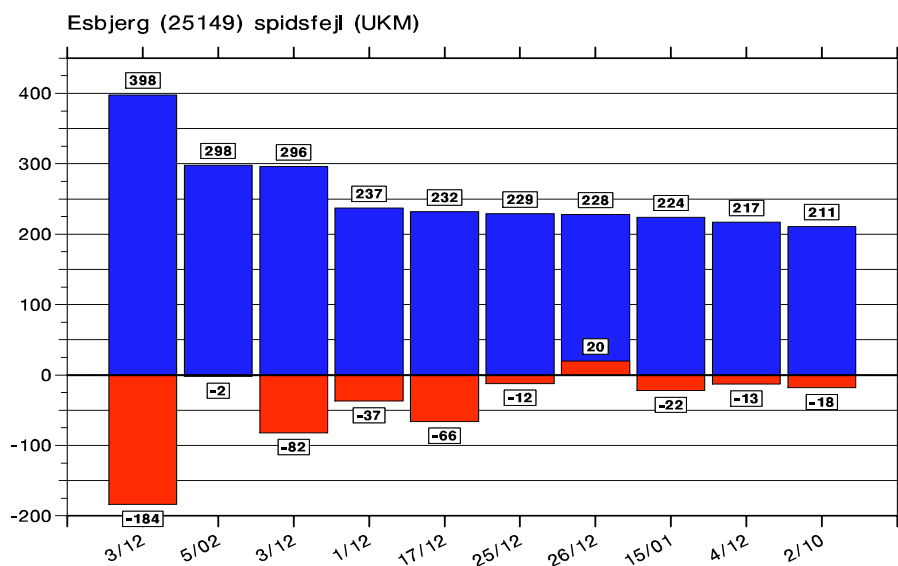
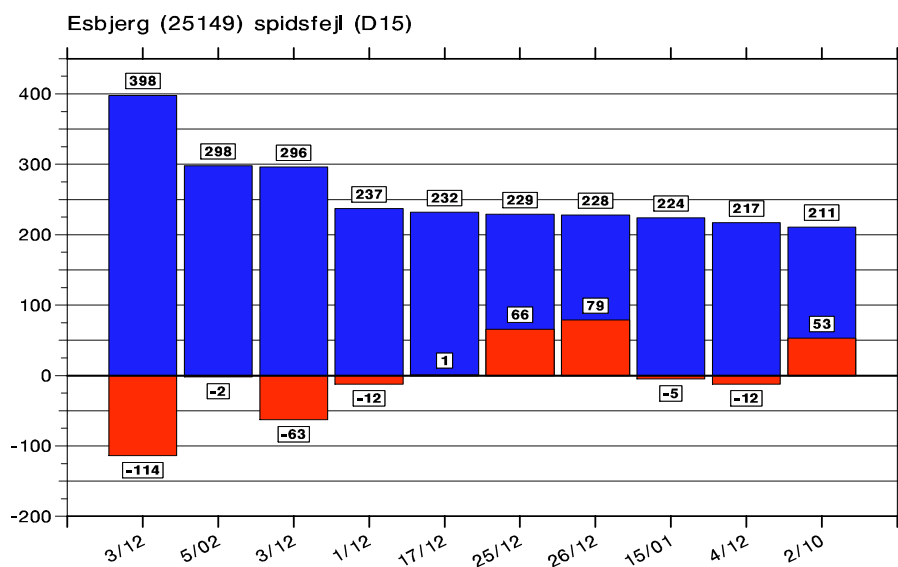
## 5.11 Spidsfejl ved varslingsstationerne

For de 8 varslingsstationer er på figur 6-13 vist de 10 højeste vandstandsmaksima samt tilhørende spidsfejl, i aftagende størrelsesorden. En positiv spidsfejl indikerer at prognosen var for høj. Resultaterne for D15 opsætningen er sammenfattet i tabel 15 herunder, med anvendelse af 10/20/30 cm succeskriterium. UKM resultater vises på figurene på de følgende sider, hvor også Kolding er inkluderet.

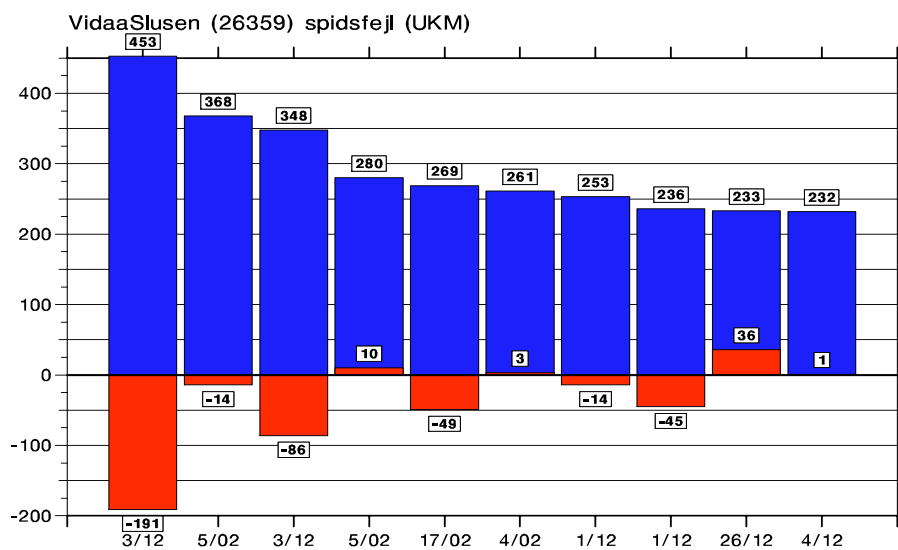
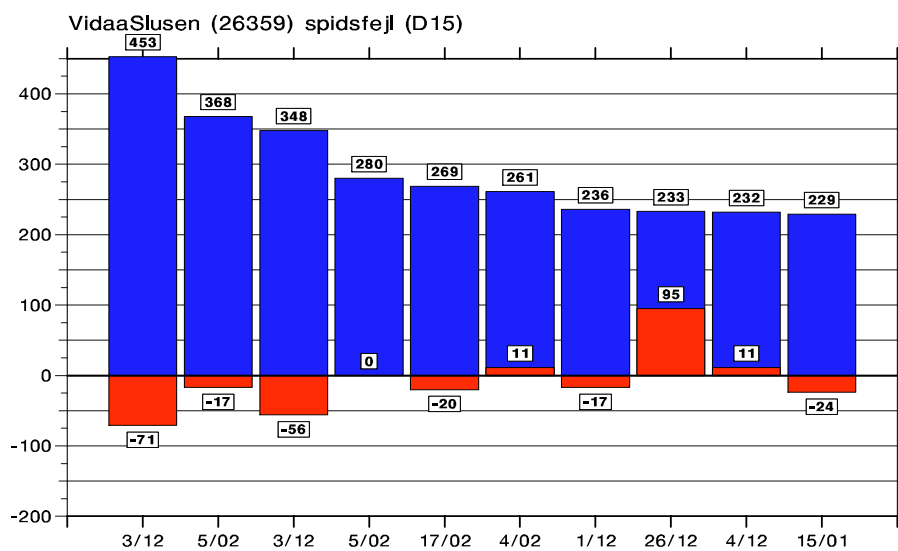
Station	<10cm	<20cm	<30cm	Under	Over
Torsminde	1	2	5	7	3
Esbjerg	3	5	5	6	4
Vidå	1	5	7	6	3
Frederikshavn	5	7	8	9	1
Aabenraa	2	6	8	7	3
Slipshavn	4	7	8	8	2
Korsør	4	9	10	10	0
Rødby	9	10	10	6	4
Total af 80	29	51	61	59	20

**Tabel 15.** D15 spidsfejl ved varslingsstationerne, 1999.

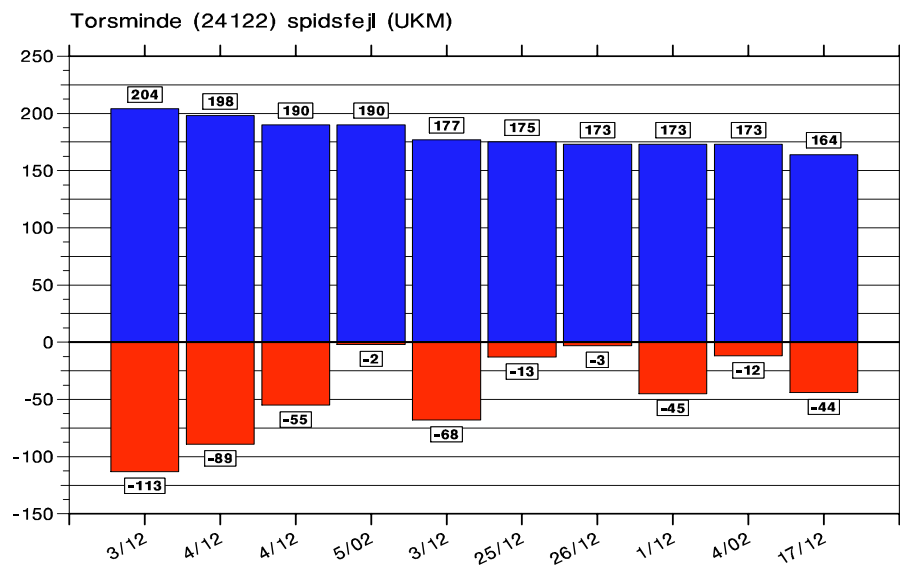
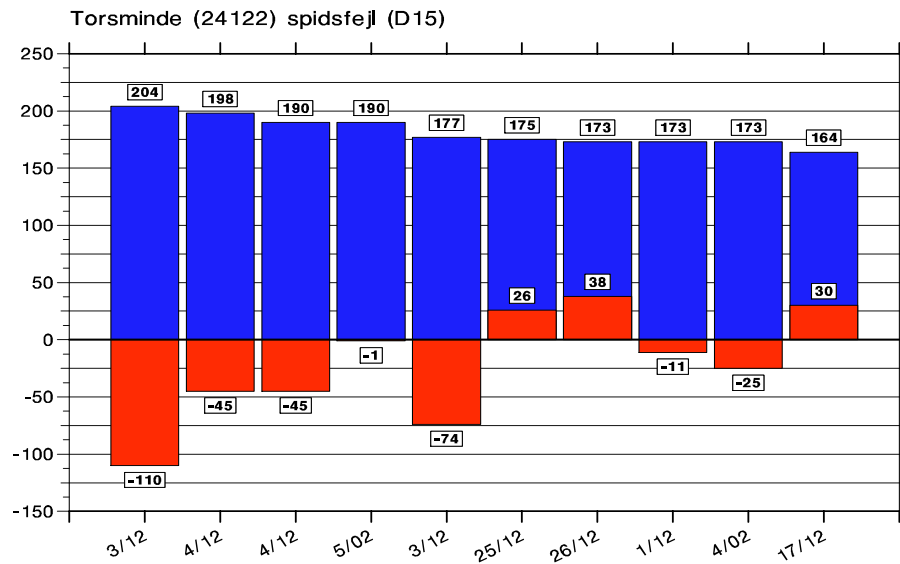
Ud af disse 80 højvande forudsiges 29 (46%) med 10 cm nøjagtighed, 51 (64%) med 20 cm nøjagtighed, og 61 (76%) med 30 cm nøjagtighed. 3 ud af 4 højvande bliver undervurderet, 1 ud af 4 overvurderet. Denne tendens er til stede ved alle stationer. Højvande i de indre danske farvande forudsiges med langt større præcision end det er tilfældet langs Vestkysten og i Vadehavet.



**Figur 4.** Esbjerg 10 højeste højvande og spidsfejl, 1999. Øverst: Primær (D15) opsætning. Nederst: Backup (UKM) opsætning.

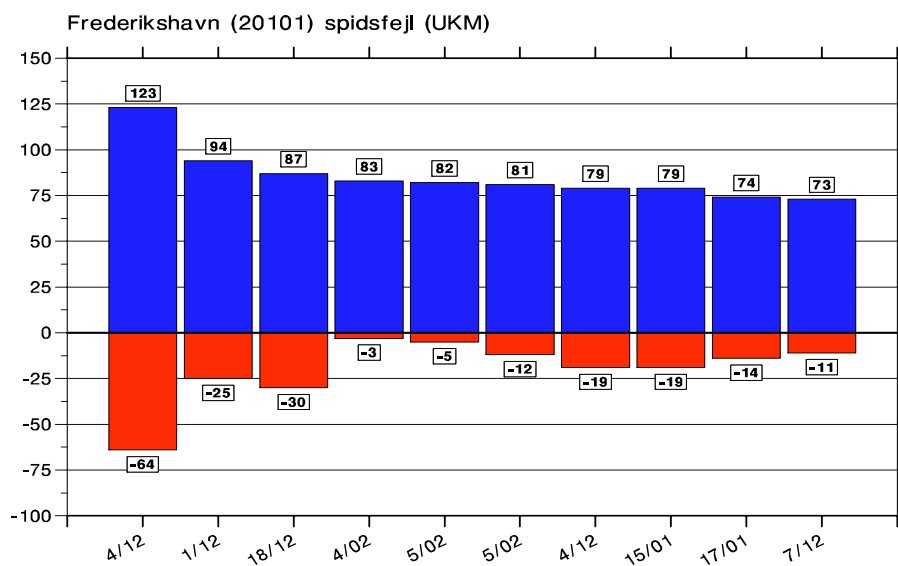
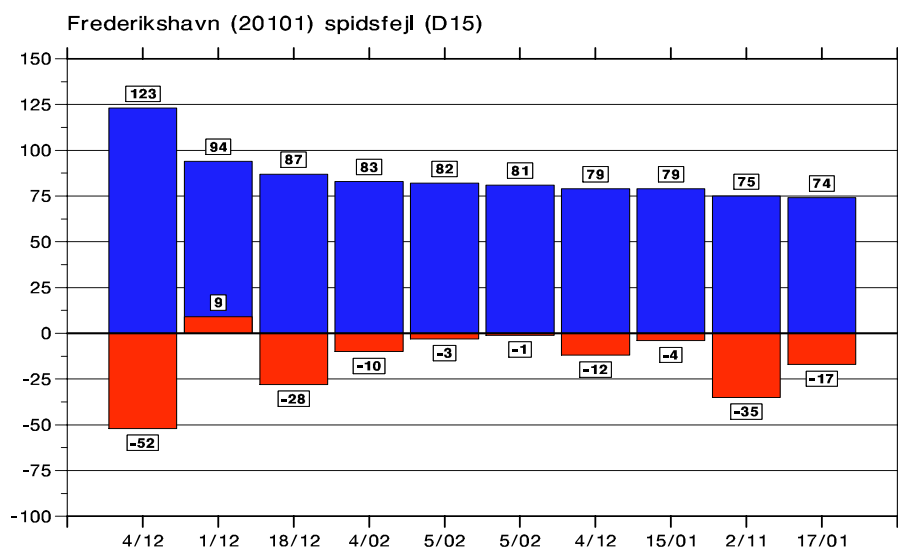


**Figur 5.** Vidå Sluse 10 højeste højvande og spidsfejl, 1999. Øverst: Primær (D15) opsætning. Nederst: Backup (UKM) opsætning.

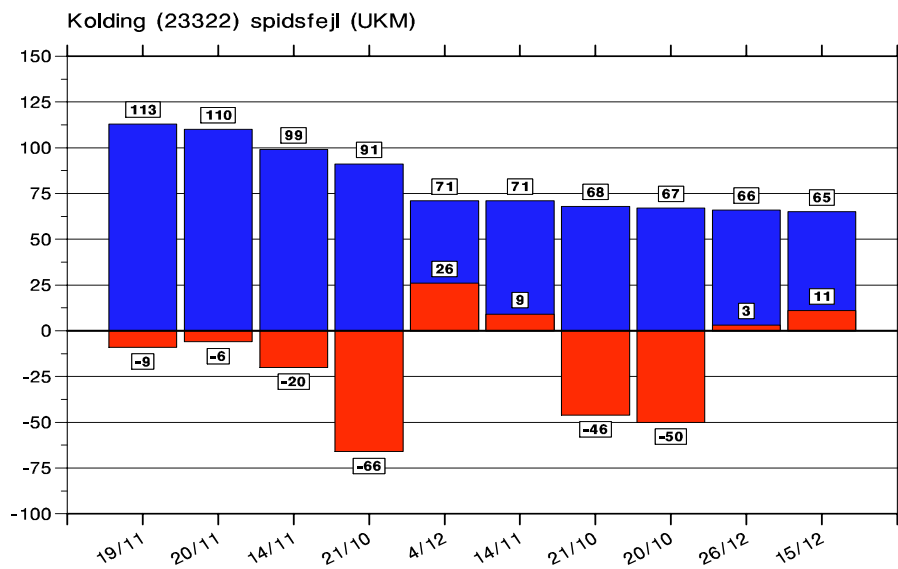
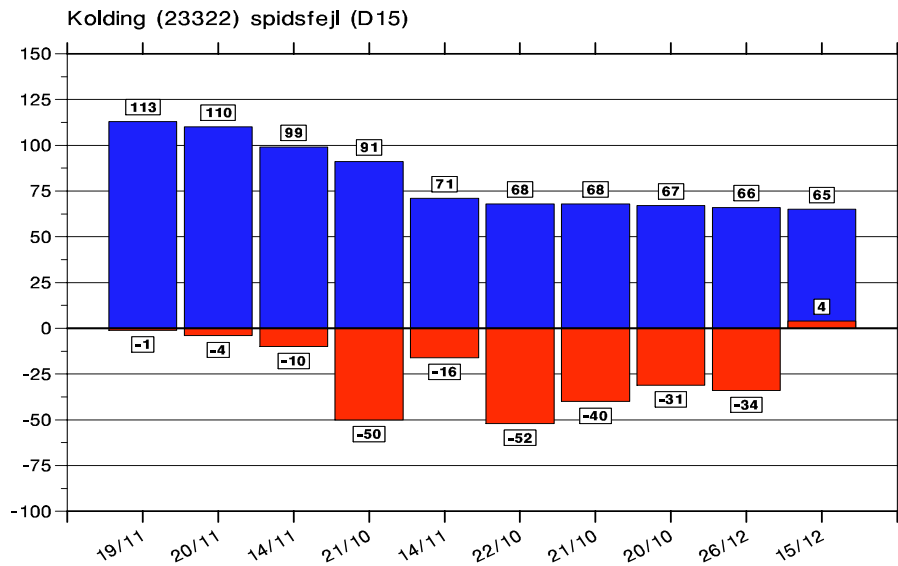


**Figur 6.** Torsminde, 10 højeste maksima og spidsfejl, 1999. Øverst: Primær (D15) opsætning. Nederst: Back-up (UKM) opsætning.

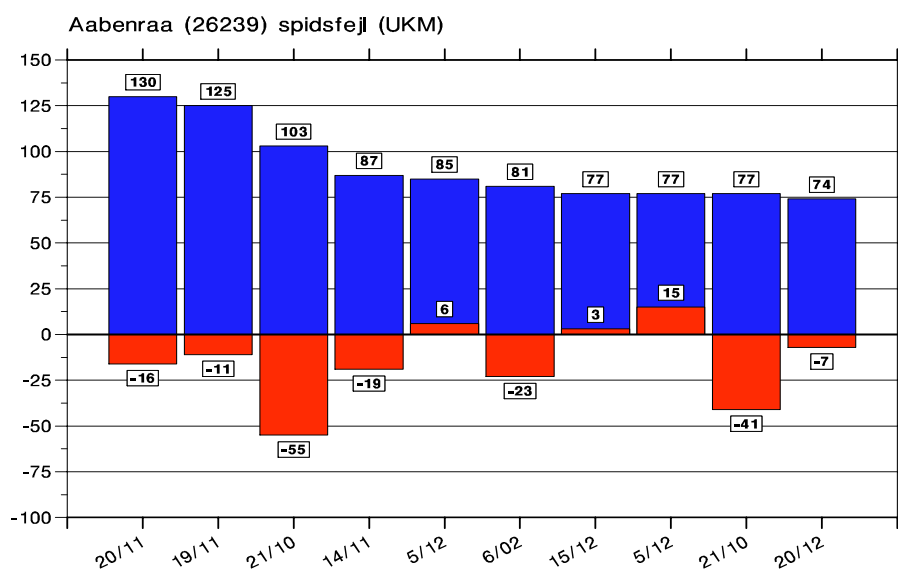
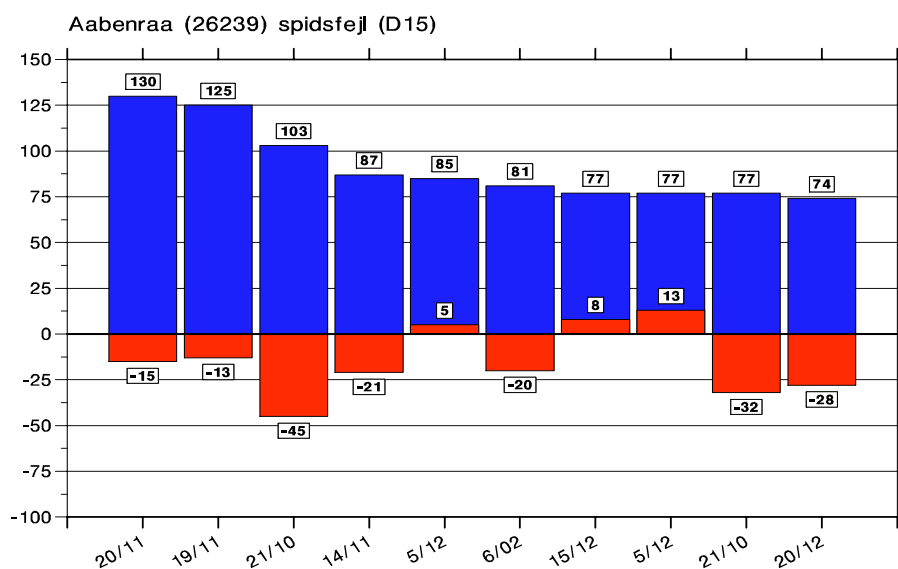




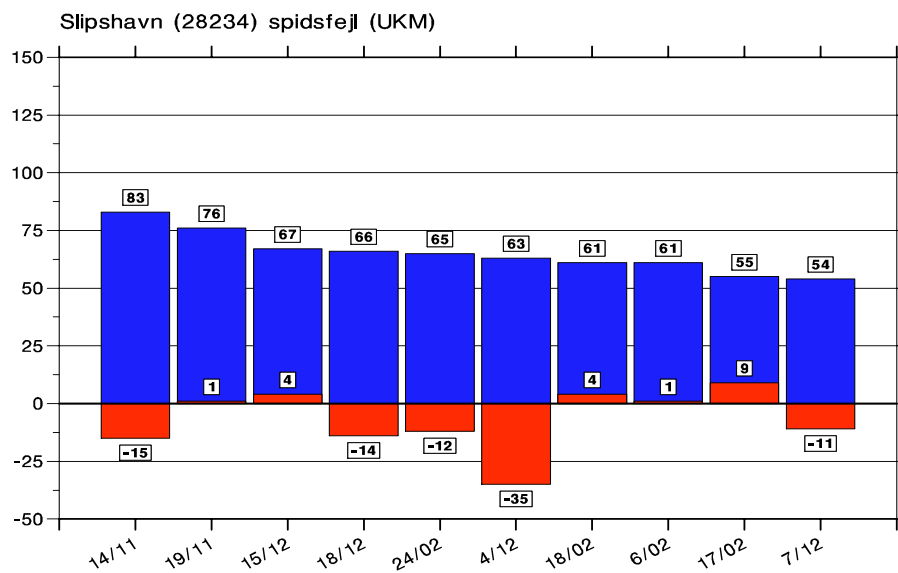
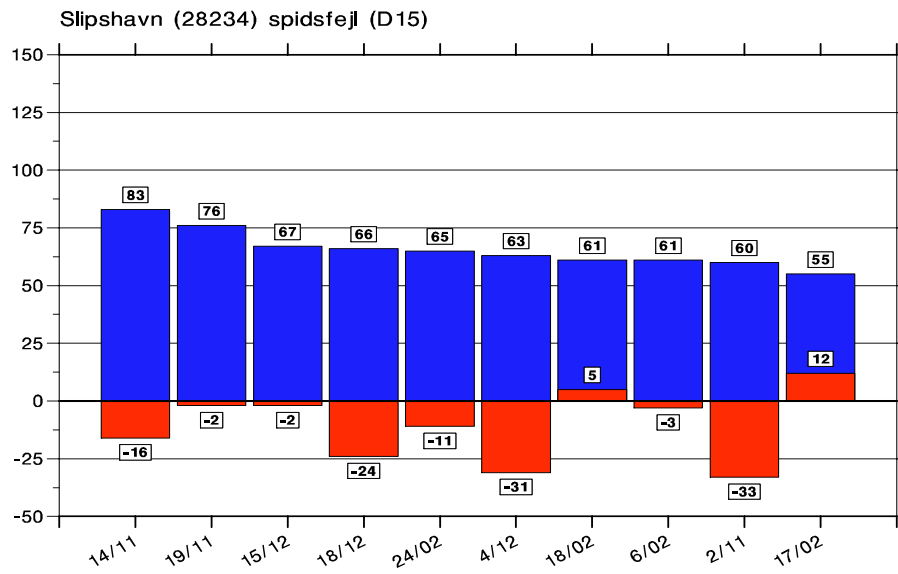
**Figur 7.** Frederikshavn 10 højeste højvande og spidsfejl, 1999. Øverst: Primær (D15) opsætning. Nederst: Backup (UKM) opsætning.



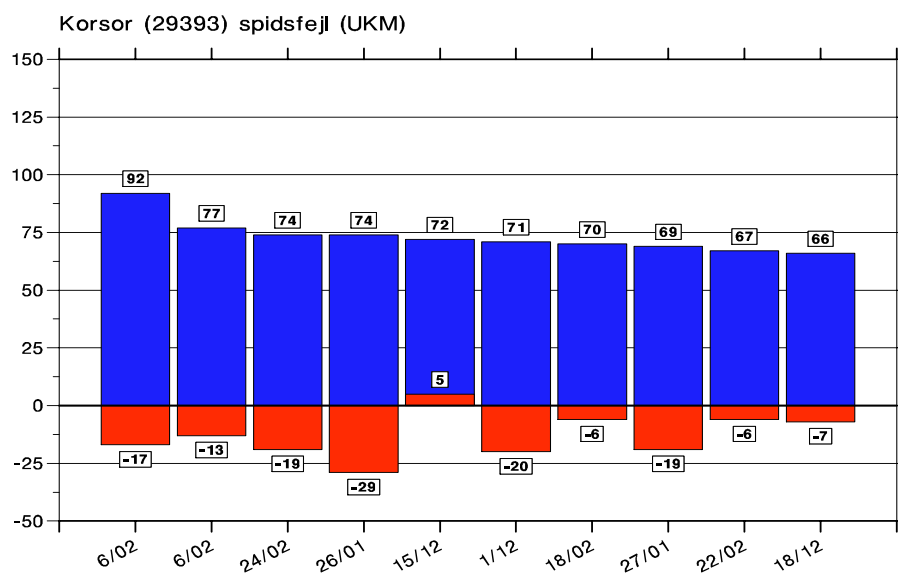
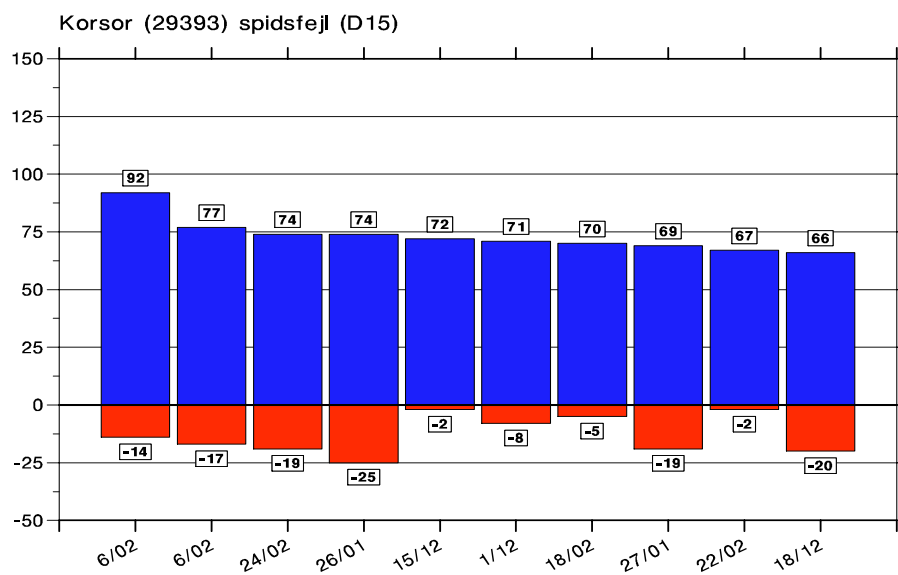
**Figur 8.** Kolding 10 højeste højvande og spidsfejl, 1999. Øverst: Primær (D15) opsætning. Nederst: Backup (UKM) opsætning.



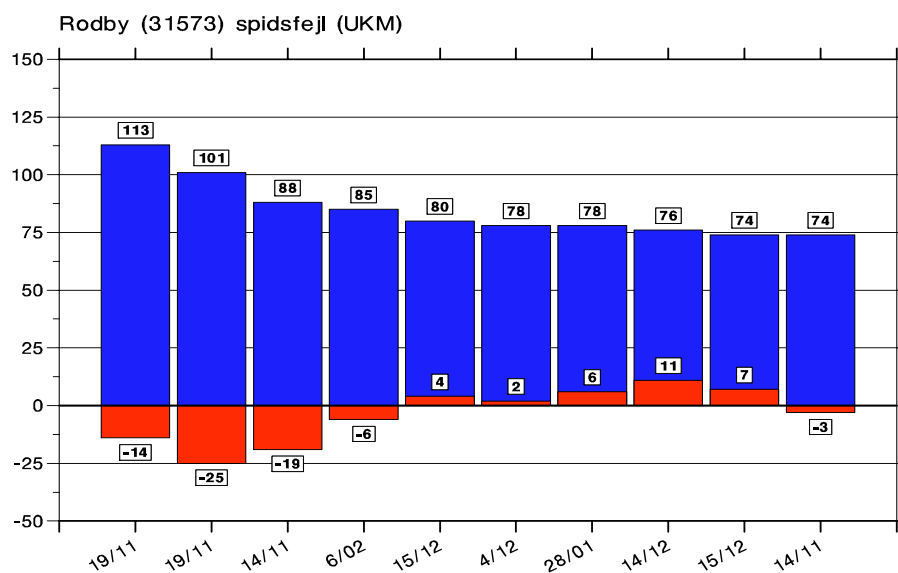
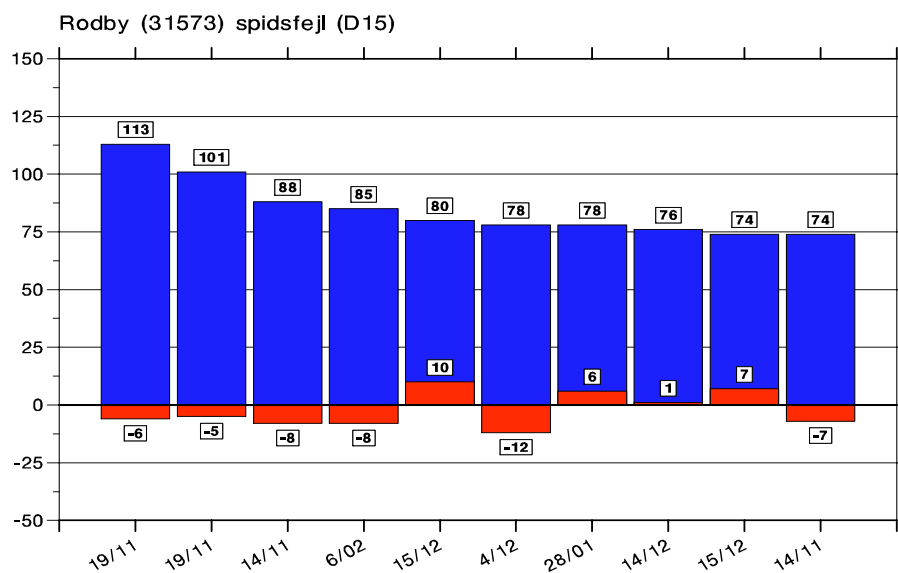
**Figur 9.** Aabenraa 10 højeste højvande og spidsfejl, 1999. Øverst: Primær (D15) opsætning. Nederst: Backup (UKM) opsætning.



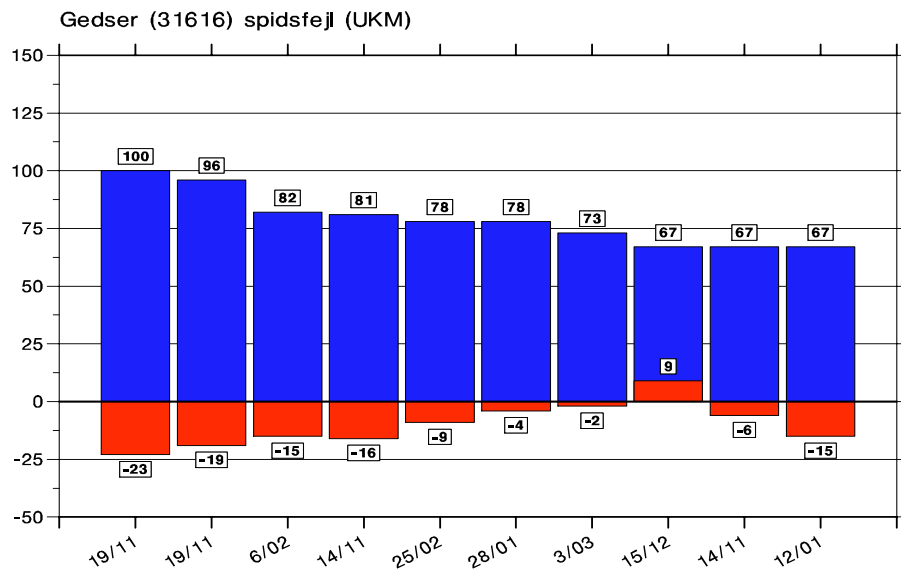
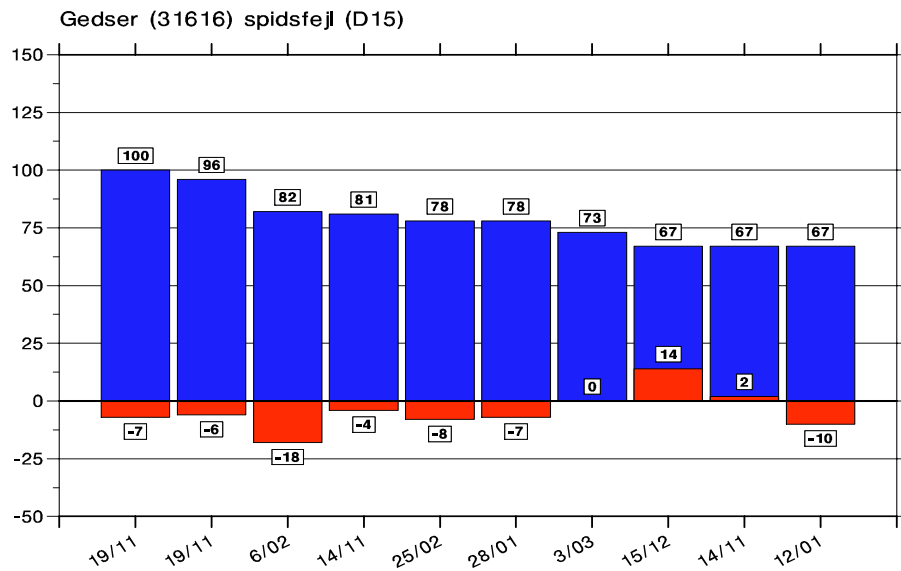
**Figur 10.** Slipshavn 10 højeste højvande og spidsfejl, 1999. Øverst: Primær (D15) opsætning. Nederst: Backup (UKM) opsætning.



**Figur 11.** Korsør 10 højeste højvande og spidsfejl, 1999. Øverst: Primær (D15) opsætning. Nederst: Backup (UKM) opsætning.



**Figur 12.** Rødby 10 højeste højvande og spidsfejl, 1999. Øverst: Primær (D15) opsætning. Nederst: Backup (UKM) opsætning.



**Figur 13.** Gedser 10 højeste højvande og spidsfejl, 1999. Øverst: Primær (D15) opsætning. Nederst: Backup (UKM) opsætning.

## 6 Sammenligning med forudgående år

Tidsudviklingen af en række nøgletal (1994-99) er vist i Fig. 14. Bemærk at datagrundlaget ikke er fuldstændigt homogent fra år til år, på grund af at nye stationer løbende kommer til, manglende data m.v. Fra Fig. 14 kan udledes flg. konklusioner:

### *ME:*

Middel bias ligger nogenlunde konstant mellem -2 cm og +2 cm. Stormflodssystemet har ikke en generel nulpunktsfejl. Middel absolut bias viser en svagt faldende tendens, hvilket skyldes anvendelse af nulpunktskorrektion.

### *MAE og RMS:*

Middel absolut og rms fejl ligger mellem hhv. 11-12 cm og 14-15 cm. Der er ingen tidlig udvikling.

### *MAX:*

Maksimumsfejlen faldt fra et højt niveau på 60-80 cm i 1995-97 til et lavere niveau på 40-50 cm i 1998-99. Der er en stigende tendens i 1999, hvilket tilskrives dårlige prognoser i december måned.

### *EV:*

Den forklarede varians har haft en faldende tendens i de sidste 2 år. Det skyldes tilføjelse af nye stationer i Bælthavsområdet, hvor faseforholdene specielt i Øresundsregionen gengives dårligt af modellen.

### *MPE:*

Der er stadig tendens til at undervurdere de højeste højvande, hvilket ses af den negative middel peak bias. For DKV prognoserne ligger fejlen nogenlunde konstant mellem 10-15 cm, mens UKM prognoserne i 1999 havde meget stor negativ bias. Det tilskrives de meget dårlige UKM prognoser under orkanen 3 december. DKV prognoserne var også dårlige, men det opvejes i nogen grad af forbedrede prognoser for højvande i de indre danske farvande. Middel absolut peak bias er identisk med middel peak bias, da ingen station har positiv peak bias.

### *MAPE:*

Middel absolut spidsfejlen viser en stigende tendens i 1999, af samme årsag som ovenfor. MAPE nåede i 1997-98 for første gang under 20 cm, men det har ikke været muligt at holde dette lave niveau i 1999.

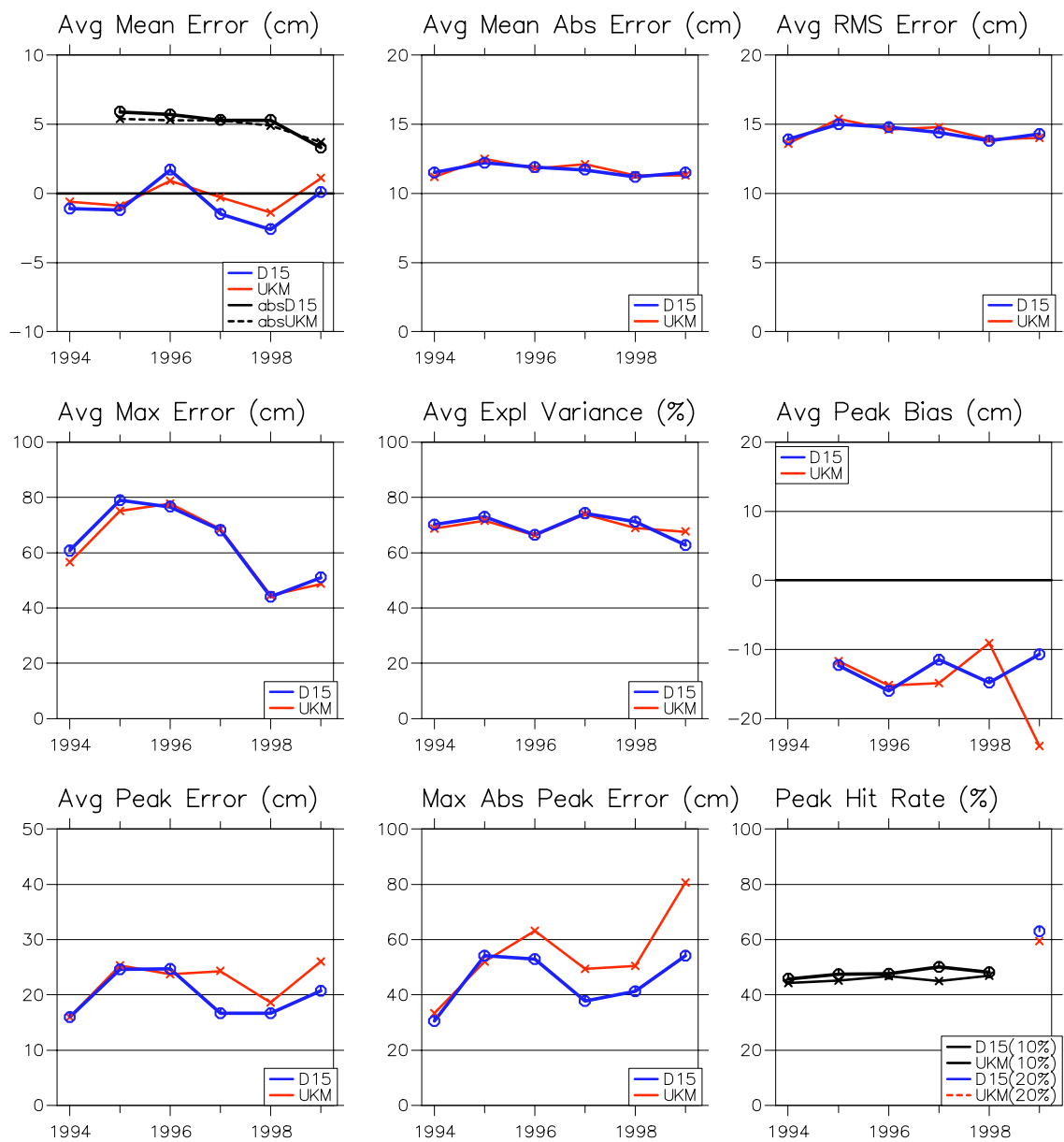
### *MXPE:*

Den maksimale spidsfejl udviser en kraftigt stigende tendens i 1999. DKV opsætningen er vendt tilbage til niveauet fra før 1997, mens UKM opsætningen er ringere end nogensinde. Endnu engang henføres dette til orkanen 3-4 december, som indgår med stor vægt i dette maksimumsfejlmål.

### *PHIT:*

Succesraten (10 cm kriterium) har for begge opsætninger ligget konstant omkring de 50%. For perioden 1994-98 er anvendt de 10 højste højvande for hver måned, dvs i alt 120 højvande for hver station. Fra 1999 anvendes i stedet et 20 cm kriterium og kun det højeste højvande, taget over hele året.





Figur 14. Nøgletal, 1994-99.

## 7 Konklusion

Med denne rapport verificeres operationelle vandstandsprognoser for 1999. Prognoserne er beregnet med den hydrodynamiske model System 21, drevet af DMIs vejrmodel Hirlam-E (D15) og af den engelske vejrmodel UK-lam (UKM). Fra 1. september 1999 er System 21 skiftet ud med Mike21. Prognoserne verificeres på månedsbasis ved brug af observationer fra 33 danske kyststationer. Tre slusestationer i Vadehavet bliver kun brugt til beregning af spidsfejl. Der beregnes fejlmål, midlet over tidsvinduet analyse+06 til analyse+18 timer. En eventuel afhængig af prognoselængden undersøges således ikke. Prognoserne er nulpunktskorrigerede, men ikke ARIMA filtrerede.

Kvaliteten af den primære (Hirlam) og back-up (UK-lam) opsætningen sammenlignes. Endvidere sammenlignes med resultater for tidligere år.

Vandstandsobservationerne er foretaget af flere forskellige institutioner. Indlysende målefejl (*spikes*) er fjernet, men der kan forekomme 'suspekter' data, fx ved at en målers nulpunkt langsomt flytter sig, en måler sander til o.a. Sådanne fejl er svære at opdage, men generelt er det forsøgt at rydde ud i data inden anvendelsen.

Stormflodssystemet har ingen systematisk bias. Der er en vis middelfejl ved enkelte stationer, men dette er til en vis grad blevet afhjulpet ved at korrigere prognosen ved at addere en evt. kendt nulpunktsfejl.

For residualfejlmålene er de to opsætninger af nogenlunde samme kvalitet, og endvidere af samme kvalitet som tidligere år. Dog giver back-up opsætningen en 5%-point højere forklaret varians, og den forklarede varians er faldet sammenlignet med tidligere år på grund af at ekstra stationer i Bælthavet er kommet til. I dette område har modellen generelt problemer med at beregne faseforholdene nøjagtigt.

For spidsfejlmål er den primære opsætning klart bedst. Denne opsætning har både lavere peak bias, middel absolut spidsfejl, og maksimal spidsfejl, end back-up opsætningen. Der er en stigende tendens i disse fejlmål hvilket primært skyldes decemberorkanen, hvor de helt ekstreme vandstande blev ret dårligt forudsagt.

Supplerende testkørsler har godtgjort, at en mere fintmasket udgave af Hirlam ville have givet markant bedre prognoser under orkanen 3. december 1999. Imidlertid er det endnu ikke muligt at køre en sådan vejrmodel operationelt ved DMI, da det ville kræve for store computerressourcer.

## 8 Appendix A - datadækning

Station	Nummer	Mangler %
Skagen	20002	0.18
Hirtshals	20047	0.01
Frederikshavn	20101	0.01
Hanstholm	21009	4.06
Grenå	22121	9.61
Århus	22331	0.36
Fredericia	23293	0.01
Kolding *)	23322	46.09
Thyborøn	24006	11.00
Ferring	24018	6.50
Torsminde	24122	2.76
Hvide Sande	24342	0.68
Esbjerg	25149	0.61
Ribe Sluse	25343	3.79
Havneby	26136	2.69
Åbenrå	26239	2.18
Ballum Sluse	26346	0.56
Vidå Sluse	26359	0.79
Fynshav	26457	4.57
Ballen	27084	0.08
Slipshavn	28233	9.10
Spodsbjerg	28582	1.34
Odden	29002	20.29
Korsør	29393	0.37
Hornbæk	30017	0.03
København	30337/6	1.33
Nordre Røse	30346	23.58
Drogden Fyr	30357	1.18
Rødvig	31063	1.55
Hesnæs	31493	0.37
Rødby	31573	0.15
Gedser	31616	0.19
Tejn	32048	0.00
Rønne	32096	0.78
Middel		3.4

**Tabel 16.** Manglende data (%) ved verifikationsstationerne, 1999. \*)=verificeres ikke.

## 9 Appendix B - ekstremvandstand

Station	Vandstand (cm)		Returperiode (år)	
	Lavest	Højest	DMI	KI
Skagen	-85	115	-	11.6
Hirtshals	-90	124	14.9	7.5
Frederikshavn	-85	123	5.1	7.2
Hanstholm	-106	130	2.7	2.5
Grenå	-79	128	-	3.8
Århus	-89	133	8.6	10.8
Fredericia	-121	93	1.6	<2.8
Juelsminde	-105	106	-	-
Kolding	-171	113	-	0.7
Thyborøn	-126	190	2.2	-
Ferring	-131	206	-	-
Torsminde	-127	204	3.0	<1.9
Hvide Sande	-136	275	63.7	9.1
Esbjerg	-198	398	47.9	51.1
Ribe K.sluse	-102	512	3040	196
Havneby	-210	356	4.7	5.0
Aabenraa	-132	130	-	2.7
Ballum Sluse	-20	435	66.7	24.5
Vidå Slusen	-88	453	85.1	43.2
Fynshav	-122	119	1.4	0.7
Ballen	-73	112	-	-
Slipshavn	-82	92	1.6	<2.5
Spodsbjerg	-123	101	-	-
Odden	-62	110	-	-
Korsør	-57	92	1.9	<2.5
Hornbæk	-71	132	4.1	4.0
København	-68	106	2.8	2.3
Nordre Røse	-56	93	-	-
Drogden	-171	86	-	-
Rødvig	-143	78	-	-
Hesnæs	-170	98	-	-
Rødby	-194	113	1.8	<1.0
Gedser	-138	100	1.4	<1.1
Tejn	-90	72	1.6	-
Rønne	-108	67	-	<1.0

**Table 17.** Ekstrem vandstand (cm) og estimeret returperiode for højeste vandstand, 1999. DMI estimeret er baseret på en Gumbelfordeling af årlige maksima, KI estimeret på en Weibullfordeling og en 'peak over threshold' (POT) metode. "–": returperiode ikke beregnet. "<": returperiode under den angivne værdi. De kraftigt afvigende værdier i Hirtshals, Hvide Sande og Vadehavet (bemærk især Ribe) skyldes DMIs meget begrænsede datasæt ved disse stationer. Der må her fæstes lid til KI estimeret. I Thyborøn er KIs analyse baseret på havnemåleren og kan ikke anvendes her.

## 10 Appendix C - nulpunktskorrektioner

Station	DKSS90	DKSS98
Skagen	-	-18
Hirtshals	-18	-18
Frederikshavn	-11	-11
Hanstholm	-10	-7
Grenå	-	2
Århus	-4	3
Fredericia	2	9
Kolding *)	-	25
Thyborøn	-2	0
Ferring	-	1
Torsminde	2	3
Hvide Sande	7	9
Esbjerg	5	5
Ribe Sluse	7	-1
Havneby	-4	5
Aabenraa	-	17
Ballum Sluse	-	-
Vidå Sluse	5	18
Fynshav	8	19
Ballen	-	3
Slipshavn	-3	3
Spodsbjerg	-	0
Odden	-	-1
Korsør	1	13
Hornbæk	-7	4
København	0	-3
Nordre Røse	-	17
Drogden	-	8
Rødvig	-	12
Hesnæs	-	14
Rødby	15	16
Gedser	2	16
Tejn	-2	8
Rønne	-	3

**Tabel 18.** Nulpunktskorrektion (bias) i cm, for begge opsætninger. DKSS90: middelfejlen af 1994-96 prognoser. DKSS98: middelfejl af 1998 hindcasts. Kolding er kun nulpunktskorrigeret siden 1. nov 1999. "–": ingen korrektion. Tabelværdien adderes til den rå vandstandsprognose.

## Litteratur

- [1] DHI. *System 21 HD Scientific Documentation*. Dansk Hydraulisk Institut, Hørsholm, Danmark, 1988.
- [2] DHI. *MIKE 21. User Guide and Reference Manual, Release 2.7*. Dansk Hydraulisk Institut, Hørsholm, Danmark, 1998.
- [3] DMI. *Danmarks klima 1999. 2000*.
- [4] Kystinspektoratet. *Højvandsstatistikker 1997, 1997*.
- [5] Marineobservatorium. *Karten der Harmonischen Gezeitenkonstanten für das Gebiet der Nordsee*. Oberkommando der Kriegsmarine, Marineobservatorium Wilhelmshaven, Germany, 1942.
- [6] Jacob Woge Nielsen. Verification of Sea Level Forecast: 1997. Technical Report 98-5, Danmarks Meteorologiske Institut, 1998.
- [7] Jacob Woge Nielsen. Verification of Sea Level Forecast: 1998. Technical Report 99-23, Danmarks Meteorologiske Institut, 1999.
- [8] Jacob Woge Nielsen, Karsten Bolding, and Lonny Hansen. Extreme sea level highs: A statistical tide gauge data study. Technical Report 96-3, Danmarks Meteorologiske Institut, 1996.
- [9] Mads Hvid Nielsen. Mike 21 kalibrering 1998-99. Technical Report 99-22, Danmarks Meteorologiske Institut, 1999.
- [10] Hydrographer of the Navy. *Admiralty Tide Tables 1995*, 1995.
- [11] Jacob Woge Nielsen og Karsten Bolding. Verification of Sea Level Forecasts: October 1993 – March 1994. Technical Report 94-11, Danmarks Meteorologiske Institut, 1994.
- [12] Jacob Woge Nielsen og Karsten Bolding. Verification of Sea Level Forecast: 1994. Technical Report 95-4, Danmarks Meteorologiske Institut, 1995.
- [13] Jacob Woge Nielsen og Karsten Bolding. Verification of Sea Level Forecasts: October 1994 – March 1995. Technical Report 95-9, Danmarks Meteorologiske Institut, 1995.
- [14] Jacob Woge Nielsen og Karsten Bolding. Verification of Sea Level Forecasts: 1995. Technical Report 96-2, Danmarks Meteorologiske Institut, 1996.
- [15] Jacob Woge Nielsen og Karsten Bolding. Stormflodsrapport: Højvandet den 29. og 30. oktober 1995. Technical Report 97-2, Danmarks Meteorologiske Institut, 1997.
- [16] Jacob Woge Nielsen og Karsten Bolding. Stormflodsrapport: Højvandet den 6. og 7. november 1995. Technical Report 97-6, Danmarks Meteorologiske Institut, 1997.
- [17] Jacob Woge Nielsen og Karsten Bolding. Verification of Sea Level Forecasts: 1996. Technical Report 97-1, Danmarks Meteorologiske Institut, 1997.
- [18] Bent Hansen Sass, Niels Woetmann Nielsen, Jess U. Jørgensen, and Bjarne Amstrup. The operational DMI-HIRLAM system, 2nd rev. ed. Teknisk Rapport 99-21, DMI, København, Danmark, 1999.
- [19] Hans Jacob Vested, Henrik Rene Jensen, Helmer Petersen, Anne Mette Jørgensen, and Bennert Machenhauer. An operational hydrographic warning system for the North Sea and the Danish Belts. *Continental Shelf Research*, 12(1):65–81, July 1992.

## Tabeller

1	Det operationelle stormflodsvarslingssystem . . . . .	6
2	Vandstandsstationer . . . . .	9
3	Stormfloder . . . . .	11
4	Overskridelser af varslingskriteriet . . . . .	11
5	Hyppighedsfordeling af fejlmål. . . . .	17
6	Succesrate . . . . .	18
7	Middelfejl . . . . .	19
8	Middel absolut fejl . . . . .	20
9	Middel RMS fejl . . . . .	21
10	Middel maksimal fejl . . . . .	22
11	Forklaret varians . . . . .	23
12	Middel spidsfejl . . . . .	24
13	Middel absolut spidsfejl . . . . .	25
14	Maksimal spidsfejl . . . . .	26
15	Antal forudsagte maksima . . . . .	27
16	Datadækning . . . . .	41
17	Ekstremvandstand. . . . .	42
18	Nulpunktskorrektioner . . . . .	43

## Figurer

1	Modelområde . . . . .	7
2	Vandstandsmålere . . . . .	8
3	Residual og spidsfejl . . . . .	13
4	Esbjerg højvande . . . . .	28
5	Vidå Sluse højvande . . . . .	29
6	Torsminde højvande . . . . .	30
7	Frederikshavn højvande . . . . .	31
8	Kolding højvande . . . . .	32
9	Aabenraa højvande . . . . .	33
10	Slipshavn højvande . . . . .	34
11	Korsør højvande . . . . .	35
12	Rødby højvande . . . . .	36
13	Gedser højvande . . . . .	37
14	Nøgletal, 1994-99 . . . . .	39