

**DANISH METEOROLOGICAL INSTITUTE**

**— TECHNICAL REPORT —**

**00-19**

**Stormflodsrapport  
Højvandet den 19.-20. november 1999**

**Mads Hvid Nielsen  
Jacob Woge Nielsen**



**Copenhagen 2000**

ISSN 0906-897X (printed)

ISSN 1399-1388 (online)

# **Stormflodsrapport**

## **Højvandet den 19.-20. november 1999**

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

**Danish Meteorological Institute, Copenhagen, Denmark**

### **Indhold**

<b>1</b>	<b>Sammenfatning</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Vejrsituationen</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Vandstanden</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Prognoserne</b>	<b>9</b>
	4.1 Vind og tryk	9
	4.2 Vandstand	11
<b>5</b>	<b>Filtrerede prognoser</b>	<b>15</b>
<b>6</b>	<b>Varslingen</b>	<b>18</b>
<b>7</b>	<b>Stormflodsklassifikation</b>	<b>19</b>
<b>8</b>	<b>Konklusion</b>	<b>20</b>
<b>A</b>	<b>Prognoser for vandstanden</b>	<b>21</b>

# 1 Sammenfatning

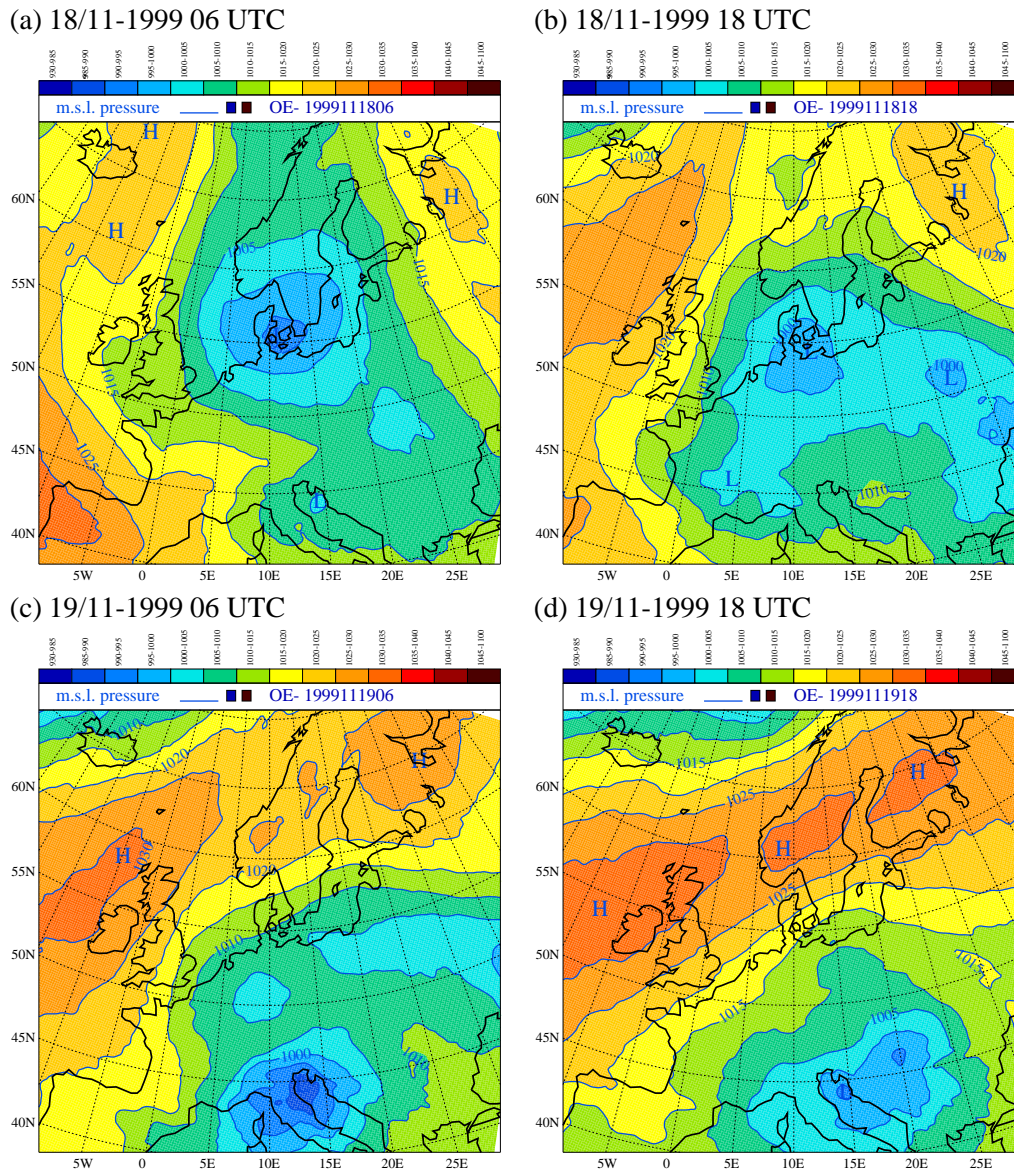
En ret stabil vejr-situation den 18.-20. november 1999, med et højtryksbælte over det meste af Nordskandinavien, lavtryk over Alperne og østnordøstenvind over Østersøen, pressede vandet fra den centrale Østersø vestover, hvilket gav anledning til forhøjet vandstand i farvandet syd for Bælterne. Nordøstenvind over Kattegat blokerede samtidigt for udstrømning gennem Bælterne. Således viste Farvandvæsenets strømmåler i Østerrenden i Storebælt, at der næsten var strømstille i et døgn inden højvandet. Højvandet kulminerede over en 8 timers periode, fra den 19/11 kl. 18 UTC til den 20/11 02 UTC.

I store dele af området nåede vandstanden op over 1 meter og den højeste vandstand blev målt i Aabenraa den 20/11-1999 kl 2.15 UTC til +130 cm. Returperioden for den observerede vandstand i området er ca.  $1\frac{1}{2}$  år, i Aabenraa dog ca.  $2\frac{1}{2}$  år.

Højvandet var forudsagt yderst præcist op til 2 døgn i forvejen. De første varsler om forhøjet vandstand i Kolding og Aabenraa blev udsendt et halvt døgn i forvejen lidt over middag fredag den 19. november 1999, og herefter hver time i form af 7 timers Arima filtrerede prognoser. Gennem hele perioden blev højvandet varslet korrekt med en præcision på omkring 10 cm.

## 2 Vejsituationen

Et højtryksystem over Nordskandinavien sammenholdt med et lavtryk ved Alperne den 19. november 1999 var årsag til en relativt kraftig østnordøstenvind over den sydlige halvdel af Østersøen, som gav anledning til forhøjet vandstand syd for Bælterne. Vejsituationen knap 2 døgn inden højvandet er vist som Hirlam analyser i figur 1.

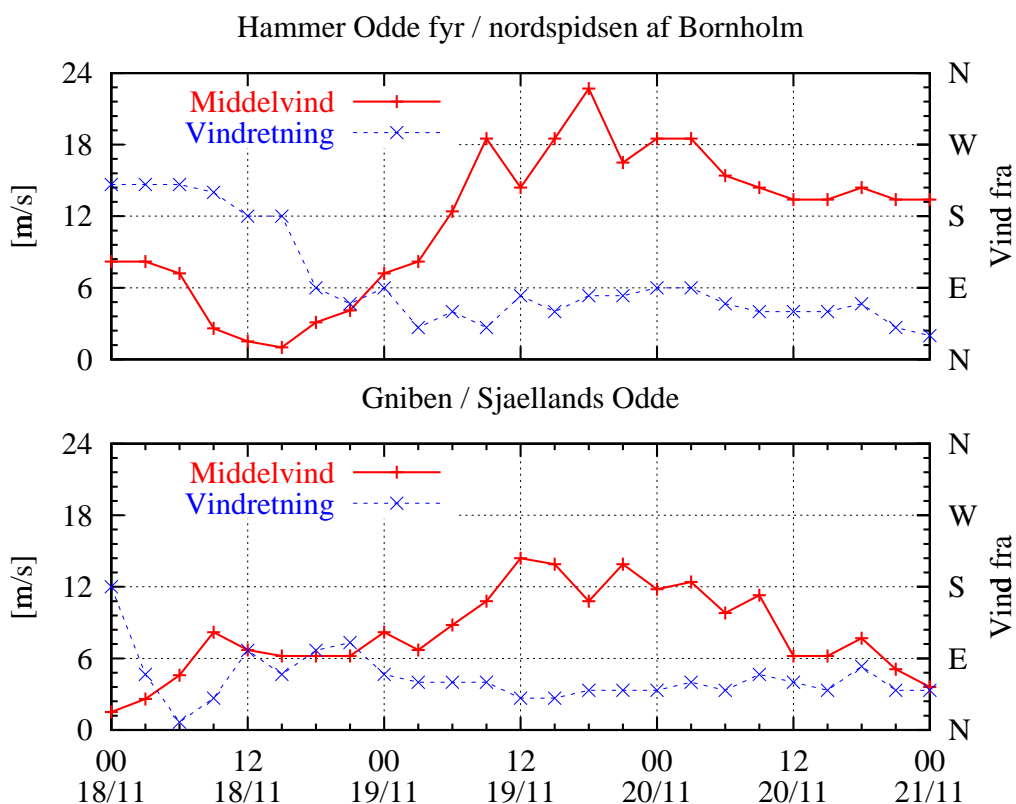


Figur 1. E15-Hirlam analyser af msl. tryk.

Natten til torsdag den 18. november 1999 befandt der sig et lavtryk på 993 hPa over Sjælland, mens der både mod nordvest og nordøst over hhv. Island og Finland/Rusland

befandt sig et højtryk (figur 1a). Lavtrykket gav anledning til en vestsydvestlig vind i den sydvestlige Østersø og sydlig vind i den sydøstlige Østersø (figur 3). Denne vind pressede vandet østover mod den centrale Østersø. Da vinden op ad formiddagen løjede af strømmede vandet tilbage, hvorved vandstanden syd for Bælterne steg med 20-30 cm (figur 5).

I løbet af de 2 næste dage samlede de 2 højtryk sig i et langt bælte tværs over Nordskandinavien imens lavtrykket langsomt blev fortrængt sydover til de østlige Alper (figur 1d). Sammenspiilet mellem højtryksbæltet mod nord og lavtrykket mod syd bevirkede, at vindstyrken over den sydlige Østersø fredag den 19. november overvejende var af kulingstyrke fra en østnordøstlig retning, mens vinden over Kattegat blæste fra nordøst.



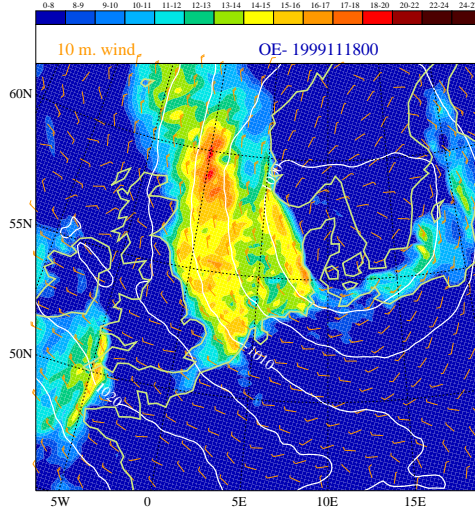
**Figur 2.** Observeret vind ved Hammer Odde fyr på nordspidsen af Bornholm (øverst) og Gniben på Sjællands Odde (nederst).

Middelvindstyrker ved Hammer Odde fyr på nordspidsen af Bornholm lå omkring 13-18 m/s med maksimal middelvind den 19/11 kl. 18 UTC på 22,7 m/s (figur 2). Den 19/11 startede vinden med at blæse fra en nordøstlig retning for senere at gå over i en stik østlig retning, og til sidst atter at blæse fra østnordøst. Ved Gniben på Sjællands Odde var vindretningen konstant fra nordøst og middelvinden godt 12 m/s med

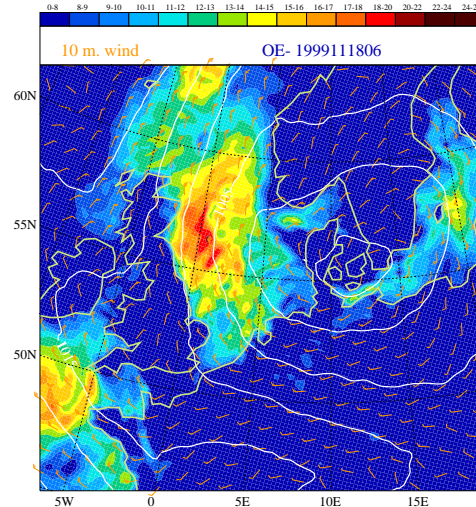
maksimal middelvind på 14,4 m/s den 19/11 kl. 12 UTC. Dette er ikke en speciel høj vindstyrke men vinden over Kattegat forårsager en blokering af udstrømningen gennem bælteerne som bidrog til forhøjet vandstand.

Hirlam analyserne (figur 4) stemmer godt overens med disse vindmålinger. Tidligt fredag morgen den 19/11 viste de stiv til hård kuling omkring 13-18 m/s fra østnordøst over den sydlige Østersø, mens vinden over Kattegat blæste fra nordøst med en styrke af hård vind til stiv kuling, mellem 12-15 m/s (figur 4).

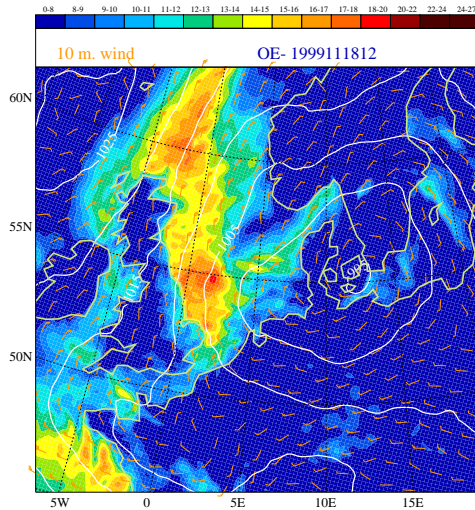
(a) 18/11-1999 00 UTC



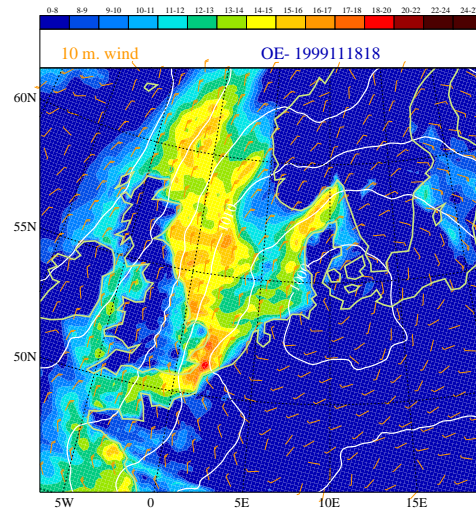
(b) 18/11-1999 06 UTC



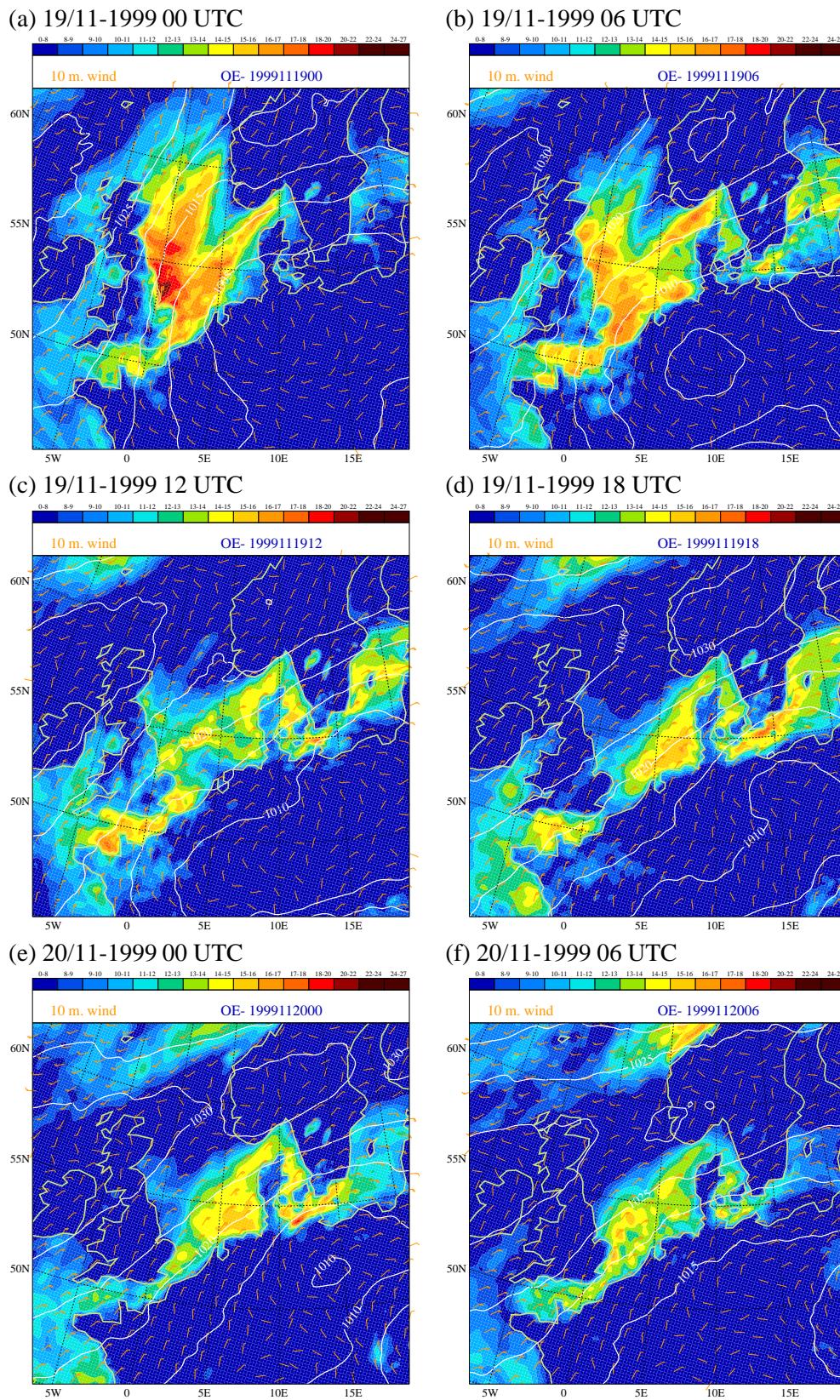
(c) 18/11-1999 12 UTC



(d) 18/11-1999 18 UTC



**Figur 3.** E15-Hirlam analyser af 10m vind og msl. tryk for den 18/11 1999.



Figur 4. E15-Hirlam analyser af 10m vind og msl. tryk for 19/11-20/11 1999.



### 3 Vandstanden

Det berørte område er farvandet syd for Bælthavet, hvor man stort set kan se bort fra tidevandet, som her blot er nogle få centimeter. Figur 5 viser de observerede vandstande for stationer i det sydlige Kattegat, Bælthavet, farvandet syd for Bælthavet samt Tejn på Bornholm, og tabel 1 viser den maksimale målte vandstand for hver station.

Station	Observeret		Beregnet returperiode
	Tid	Vandstand	
Tejn	19/11 19.15	45	
Gedser	19/11 22.00	100	1,4
Rødby	19/11 23.30	113	1,6
Rødvig	19/11 19.59	74	
Drogden	19/11 20.01	57	
København	19/11 19.45	27	
Korsør	19/11 21.30	82	1,3
Slipshavn	19/11 21.15	76	
Ballen	19/11 19.16	71	
Fynshav	20/11 00.00	119	1,4
Aabenraa	20/11 02.15	130	2,7
Kolding	19/11 21.00	113	1,7
Fredericia	19/11 19.45	93	1,6
Aarhus	19/11 18.30	51	

**Tabel 1.** Observeret maksimal vandstand (cm) og beregnet returperiode (år).

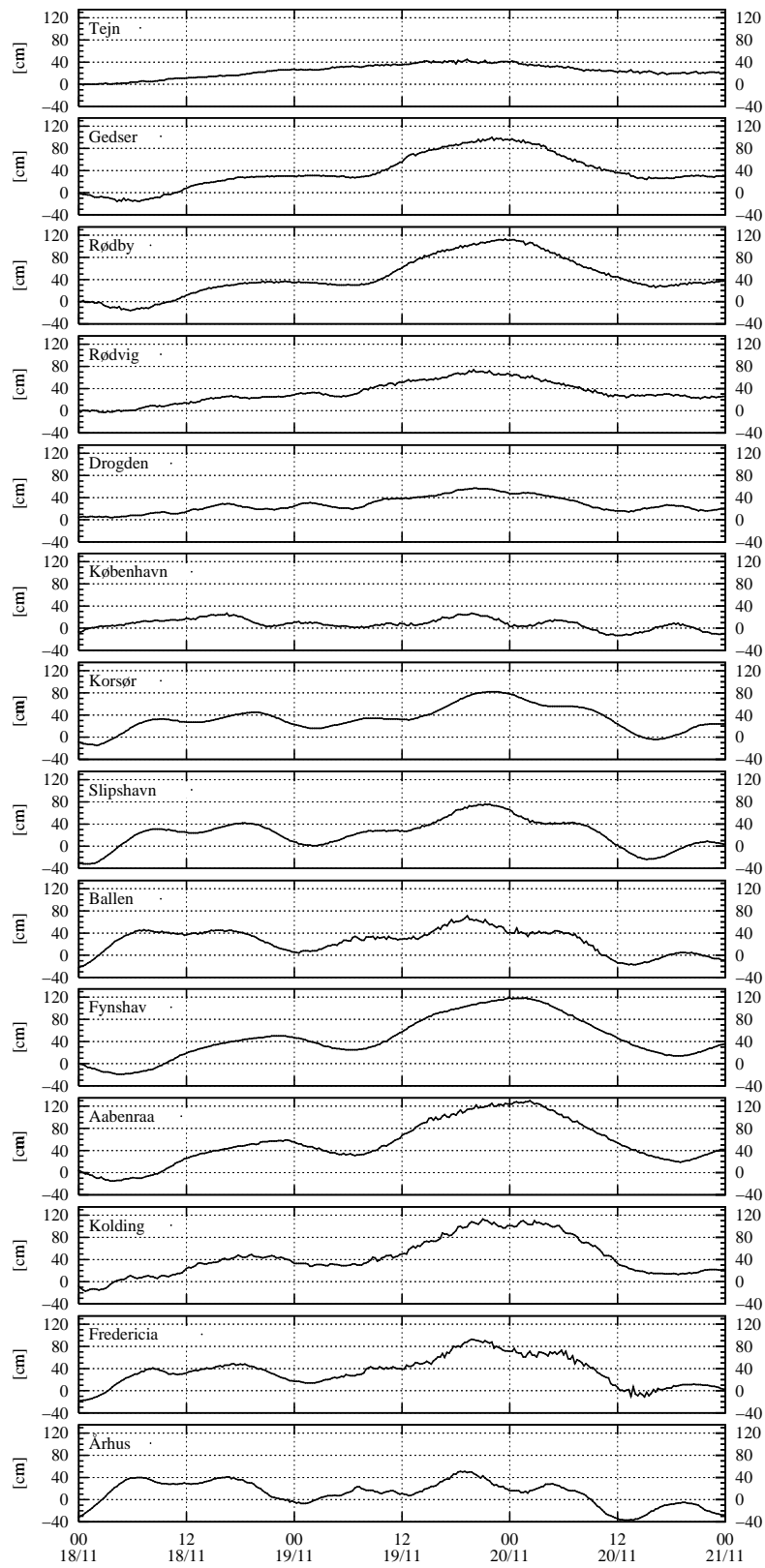
Opbygningen af højvandet begyndte den 18/11-1999 om formiddagen og tiltog for alvor den 19/11-1999 efter kl. 06 UTC hvor vandstanden var ca. 20 cm i Fredericia og ca. 30 cm i Gedser. Herefter begyndte den kraftige østnordøstenvind over Østersøen at stuve vand op syd for Bælterne. Normalt vil en østenvind over den Sydlige Østersø give anledning til stor udstrømning af Østersøvand gennem Sundet og Bælterne, men den nordøstlige vind over Kattegat gav anledning til en blokering af denne udstrømning. Dette bekræftes af Farvandsvæsnets strømmåler i Østerrenden i Storebælt der viste, at der næsten var strømstille i et døgn inden højvandet. Vandet fra den sydlige Østersø blev herved presset ind mod Sønderjyllands østkyst igennem det meste af et døgn, hvorved vandstanden langsomt steg.

Ved at sammenholde den maksimale vandstand ved Gedser (100 cm) med maksimalvandstanden ved Rødby (113 cm), Slipshavn (76 cm), Korsør (82 cm), Ballen (71 cm) og Aarhus (51 cm) kan man se, at der var en trykgradient rettet mod nord. Denne trykgradient blev imidlertid opretholdt af vindens drag på vandet over Kattegat, hvorved vandet havde svært ved at strømme ud gennem Storebælt. De strømstille forhold

bekræftes som nævnt ovenfor af Farvandsvæsnets strømmåler i Østerrenden i Storebælt. Tilsvarende blev trykgradienterne over Lillebælt og Øresund opretholdt af vinden over Kattegat. Nær Lillebælt blev den maksimale vandstand målt ved Aabenraa 130 cm, som skal sammenholdes med Kolding (113 cm), Fredericia (93 cm) og Aarhus (51 cm). Tilsvarende var det målte vandstandsmaksima ved Gedser 100 cm, ved Rødvig 74 cm, ved Drogden 57 cm og ved København kun 27 cm.

Vandstanden nåede sit maksimum på 130 cm den 20/11-1999 kl. 2.15 UTC i Aabenraa. Den maksimale vandstand på de andre stationer blev opnået tidligere jo længere østpå man bevæger sig. Således indtraf den maksimale vandstand i Gedser på 100 cm den 19/11-1999 kl. 22.00 UTC - altså godt 4 timer tidligere end i Aabenraa. Efter vinden var løjet af, faldt vandstanden i omtrent samme tempo som den tidligere stigning. Prognoser og observationer for vandstanden for hver station kan ses på figur 8 til 21 og i tabel 2 (afsnit 4.2).

Ved Kolding toppede vandstanden i to omgange - først den 19/11-1999 kl. 19.45 UTC med 113 cm og den 20/11-1999 kl. 02.45 UTC med 110 cm. Det samme forløb ses i Fredericia og skyldes overlejring af det astronomiske tidevand, som dog er ret begrændset i området (mindre end 10 cm).



Figur 5. Observeret vandstande fra 18/11-1999 til 21/11-1999.

## 4 Prognoserne

### 4.1 Vind og tryk

Figur 6 viser atmosfæremodellen E15-Hirlams prognoser og analyse af 10m vind og msl. tryk gældende til den 19/11-1999 kl. 18 UTC.

Analysen viser et todelt højtryksbælte fra Atlanten over den nordlige del af Storbritannien, over Bergen og videre til Finland, mens et lavtryk befinder sig over Alperne. Der er en stærk vind i den sydlige halvdel af Østersøen med et bredt vindbælte med styrken 13-16 sekundmeter mod sydvest. Nord og øst for Bornholm er vindstyrken kraftigst op til 20 m/s. Dette område med ekstra kraftig vind er 6 timer senere beliggende over Femernbæltet hvorefter den forlader Østersøen (figur 4). Vinden over Kattegat blæser fra nordøst og disse vindretninger simuleres korrekt i alle prognoserne og analysen.

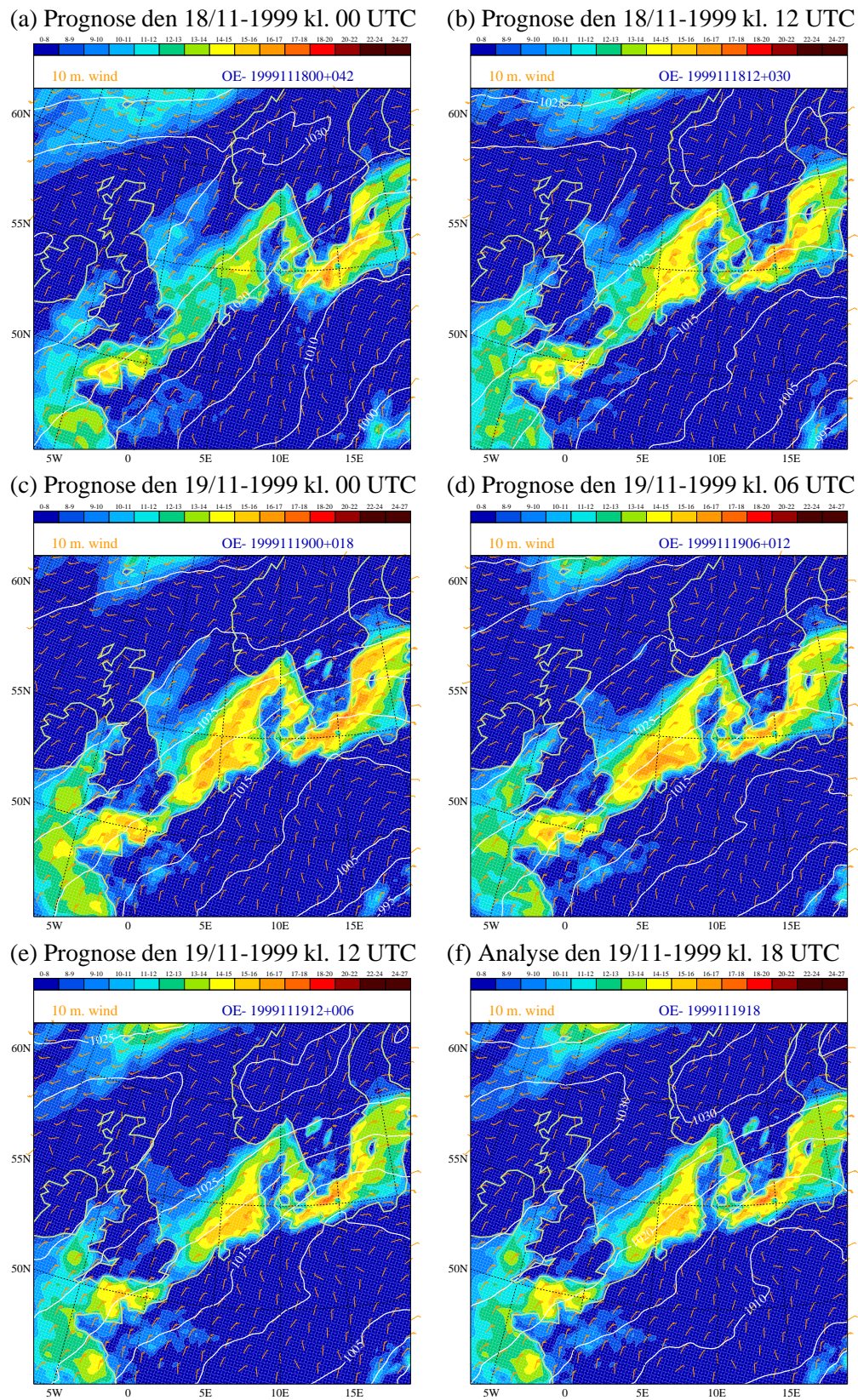
Alle prognoserne og analysen er gode og stemmer godt overens med observationer for området. Dog er der en tendens til, at de observerede vinde nord for Bornholm (op til 22,7 m/s i middel, figur 2) er en anelse højere end vindene i analysen (op til 20 m/s, figur 6f). Dette kan dog skyldes specielle forhold omkring vindmåleren.

42 timers prognosen har ikke fuldt udviklet højtrykket over den nordlige del af Sverige og Finland hvorved placeringen af isobarene, og dermed vindretningen, bliver for sydlig således at den maksimale vindstyrke rammer Nordtyskland sydøst for Øresund i stedet for at fortsætte ind i Femernbæltet. Desuden er lavtrykket over Alperne ca. 5 hPa dybere end i analysen. Vindstyrken afviger derimod ikke væsentligt fra analysen.

I 30-12 timers prognosen er højtrykket kommet på plads over den nordlige del af Sverige og Finland, således at isobarene og vindretningen er korrekt men vindstyrken er dog 1 til 2 m/s kraftigere end i analysen.

6 timers prognosen fra den 19/11-1999 kl. 12 UTC er næsten identisk med analysen 6 timer senere. Højtryksbæltet svækket en anelse i forhold til analysen mens lavtrykket er en anelse dybere. Placeringen er derimod ens, således vindretningen og styrken simuleres korrekt.

Ovennævnte forskelle mellem prognoserne, analysen og vindobservationer er som tidligere nævnt ret begrænsede, hvilket resulterede i gode vandstandsprognoser (afsnit 4.2).



**Figur 6.** E15-Hirlam prognoser og analysen af 10m vind og m.s.l. tryk. gældende til den 19/11-1999 kl. 18 UTC. Prognoselængderne er 42, 30, 18, 12 og 6 timer.

## 4.2 Vandstand

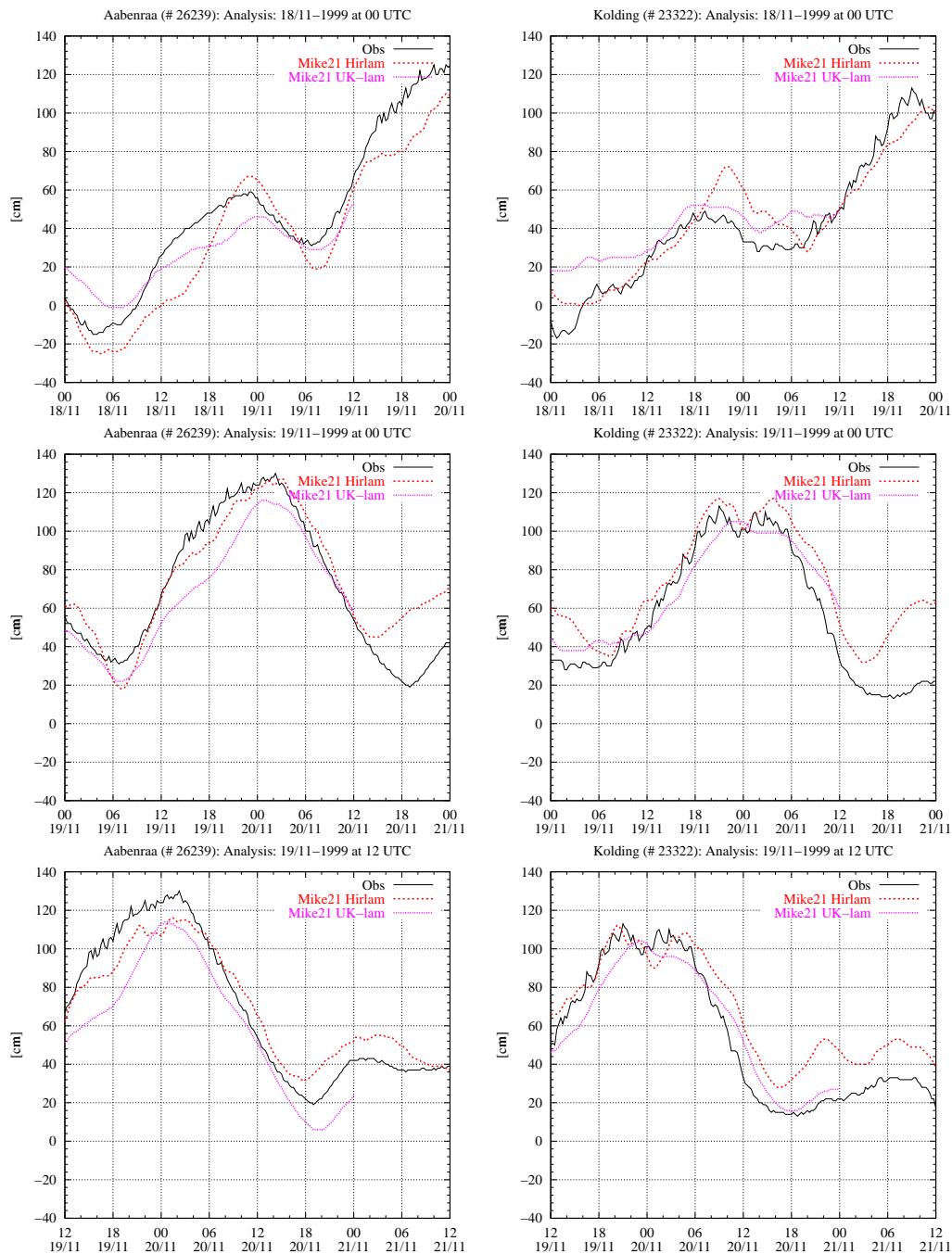
Prognoserne for højvandet er beregnet med stormflodsmodellen Mike21 under anvendelse af E15-Hirlam msl. tryk og 10m vind som input og tilsvarende med UK-lam felter. De 2 kørsler går hhv. 48 og 36 timer frem i tiden. Da højvandet indtraf omkring midnat mellem den 19/11 og 20/11 er prognoserne for højvandet beregnet ved 8 terminer med E15-Hirlam felter: 18/11-1999 kl. 00, 06, 12 og 18 UTC samt den 19/11-1999 kl. 00, 06, 12 og kl 18 UTC; og ved 3 terminer med UK-lam: 18/11-1999 kl. 12 UTC samt den 19/11-1999 kl. 00 og 12 UTC. Således var ialt 11 prognoser til rådighed. Figur 7 viser prognoserne for Aabenraa og Kolding fra den 18/11 kl 00 UTC og den 19/11 kl. 00 og 12 UTC. Figur 8-21 i appendiks A viser, med få undtagelser, alle prognoser for samtlige stationer omkring og syd for Sundet og bælteerne.

Fejlen på højvandet er sammenfattet i tabel 2. Da vandstanden på sit højeste næsten var konstant over et stykke tid, så er fasen svær at vurdere, hvilket kan ses på mange af prognoserne, hvor tidspunktet for højvandet varierer meget fra analyse til analyse. Dette ændrer dog ikke ved, at samtlige prognoser er meget gode. Kriteriet for en god prognose er, at fejlen maksimalt er 20 cm, samt at fejlen i tiden for højvandet ikke overstiger 5 timer. Den største fejl for samtlige prognoser og samtlige analyserede stationer er 21 cm og for langt de fleste prognoser er fejlen for højvandet mindre end 10 cm.

Stormflodsmodellen Mike21 forceret med E15-Hirlam vind- og trykdata ca. 2 døgn i forvejen fra den 18/11-1999 kl. 00 UTC giver den korrekte vandstand indenfor 10 cm undtagen for Fredericia og Ballen, hvor fejlen er hhv. 16 og 20 cm. Prognosen er generelt lidt for lav. Fasefejlene varierer til begge sider og rammer op til 2 timer forkert (ved Tejn enddog 2 timer og 3 kvarter). Dette skyldes til dels, at vandstuvningen toppe over en periode, hvorved tidspunktet for den maksimale vandstand bliver usikkert. Denne prognose for vandstanden lever dog fuldt op til kriteriet for en god prognose.

Mike21 forceret med E15-Hirlam vind og tryk fra den 18/11-1999 kl. 06 UTC er en anelse lavere, men bortset fra Aabenraa og Ballen, der er 21 cm for lav, så rammer alle prognoserne indenfor 17 cm. Igen er prognoserne generelt for lave og faserne meget varierende, men dog fuldt ud acceptable.

Mike21 prognosen fra den 18/11-1999 kl. 12 UTC er den første, hvor der både rådes over E15-Hirlam og UK-lam vind- og trykfelter. Mike21 ved anvendelse af E15-Hirlam feltet rammer meget præcist indenfor 6 cm overalt undtagen for 2 stationer, hvor fejlen kun er 15 cm. Fasen er ligeledes meget god indenfor 45 minutter undtagen i Rødby og Gedser, hvor fasefejlen er hhv. halvanden time og 3 timer. Mike21 forceret med UK-lam feltet giver også meget gode resultater - men de er dog en anelse dårligere end E15-Hirlam.



**Figur 7.** Prognoser for vandstanden ved Aabenraa (til venstre) og Kolding (til højre) den 18/11 kl. 00 UTC og den 19/11 kl. 00 og 12 UTC. Den sorte fuldt optrukne linie er observationer, mens den blå (mørke) prikkede linie er Mike21 prognoser. Mike21 prognoser på UK-lam data er gengivet med en orange (lys) prikket linie.

Mike21 prognoserne fra den 18/11-1999 kl. 18 UTC og den 19/11-1999 kl. 00 og 06 UTC beregnet vha. E15-Hirlam vind og tryk er alle meget fine og fejlen er mindre end 10 cm undtagen i Ballen, hvor fejlen er mellem 12 og 15 cm. Fejlene har både positive og negative fortegn modsat de forgående prognoser, hvor Mike21 skød for lavt. Dette skyldes at E15-Hirlam har øget vindhastigheden en anelse (se figur 6). Fasefejlene er generelt mindre end en time. Mike21 prognosen beregnet vha. UK-lam felter fra den 19/11-1999 kl. 00 UTC gav også gode resultater, men den skyder dog generelt omkring 10 cm lavere end kørslen på E15-Hirlam.

Prognoserne fra den 19/11-1999 kl. 12 og 18 UTC giver en anelse mindre opstuvning af vand, hvilket skyldes svagere vind end i de forgående prognoser (se figur 6). Fejlen er dog yderst beskedent, under 11 cm, dog lidt højere i Aabenraa og Ballen. Faserne på de stationer, der har en veldefineret top, er korrekte indenfor 1 time og bedre mange steder. Prognoserne kørt på UK-lam feltet den 19/11-1999 kl. 12 UTC ligner meget kørslen kørt på E15-Hirlam feltet.

Analyse	18/11 1999											
	Observeret		00 UTC		06 UTC		12 UTC				18 UTC	
	E15-Hirlam		E15-Hirlam		E15-Hirlam		E15-Hirlam		UK-lam		E15-Hirlam	
Station	Tid	Max	Fejl	Fasefejl	Fejl	Fasefejl	Fejl	Fasefejl	Fejl	Fasefejl	Fejl	Fasefejl
Tejn	19.15	45	-2	+2.45	-3	+4.00	-6	+0.45	-11	+1.45	-1	+1.15
Gedser	22.00	100	ikke toppet		0	+5.30	+5	+3.00	ikke toppet		+6	+2.00
Rødby	23.30	113	-	-	-5	+2.30	0	+1.30	-	-	+2	+0.15
Rødvig	19.59	74	-	-	+2	+5.45	-1	+0.30	-15	+1.15	+5	-0.30
Drogden	20.01	57	-	-	-5	+1.15	-1	+0.15	-17	+1.15	+7	0.00
København	19.45	27	-9	-2.00	-8	-1.15	-3	-0.30	-2	+0.15	+4	+1.00
Korsør	21.30	82	-7	0.00	-10	-0.45	-6	-0.30	+1	-0.15	-1	-0.30
Slipshavn	21.15	76	-7	0.00	-12	0.00	-6	-0.30	+1	-0.15	-3	-0.45
Ballen	19/16	71	-20	+0.30	-21	0.00	-15	+0.15	-11	+0.30	-15	-0.45
Fynshav	00.00	119	-	-	-11	+3.15	0	+0.45	-	-	+4	+2.30
Aabenraa	02.15	130	-	-	-21	+2.00	-8	+0.15	-	-	-4	+0.30
Kolding	21.00	113	-10	+1.45	-14	+1.30	-9	-1.00	-10	+1.45	-6	0.00
Fredericia	19.45	93	-16	+1.45	-17	+1.30	-11	0.00	-14	+0.30	-7	-0.45
Aarhus	18.30	51	-2	+1.00	-2	+1.00	+5	-0.30	+7	+0.45	+5	0.00

Analyse	19/11 1999											
	00 UTC		06 UTC		12 UTC				18 UTC			
	E15-Hirlam		UK-lam		E15-Hirlam		E15-Hirlam		UK-lam		E15-Hirlam	
Station	Fejl	Fasefejl	Fejl	Fasefejl	Fejl	Fasefejl	Fejl	Fasefejl	Fejl	Fasefejl	Fejl	Fasefejl
Tejn	-5	0.00	-7	+1.45	-9	-0.45	-11	+1.00	-10	-0.45	-11	+0.30
Gedser	+5	+3.00	-5	+3.15	-4	+2.45	-3	+4.15	-10	+3.30	-6	+2.15
Rødby	+1	+0.45	-8	+2.30	-6	+0.45	-5	+2.15	-13	+2.15	-7	+0.30
Rødvig	+6	0.00	-5	+3.00	-6	-0.15	-4	+0.15	-5	+1.15	-5	+1.00
Drogden	+8	+0.30	-9	+1.15	-2	-1.00	-1	+0.15	-14	+1.15	-2	+0.15
København	-1	+1.30	-4	+0.15	-7	+1.45	-1	+1.15	-7	-1.15	0	+1.30
Korsør	+1	-1.00	-1	-0.15	-7	+1.45	-1	-1.00	-3	-0.15	-1	-1.00
Slipshavn	0	-0.45	+3	0.00	-1	-0.30	-15	-0.15	-13	+0.30	-1	-0.45
Ballen	-12	-0.15	-12	+0.15	-13	-0.15	-15	-0.15	-13	+0.30	-15	-0.15
Fynshav	+5	+1.45	-3	+0.30	+3	+1.00	-5	+1.15	-5	+0.30	-7	+1.15
Aabenraa	-3	+0.30	-14	-1.45	-5	-1.00	-14	-1.00	-16	-1.45	-16	-1.00
Kolding	+4	-0.15	-8	+1.30	-4	-0.45	-1	-0.45	-9	+2.00	0	-0.45
Fredericia	-1	0.00	-13	+1.30	-8	-0.30	-8	-0.15	-14	+1.45	-7	+0.15
Aarhus	+7	-0.15	+6	+0.45	+3	+1.45	+1	-0.45	+6	+0.45	0	+1.15

**Tabel 2.** Observationer og prognoser af maksimal vandstand fra den 18/11-19/11 1999. Positiv fasefejl betyder, at vandstanden topper senere end observeret.

For alle stationerne ligger hindcastfejlen<sup>1</sup> med E15-Hirlam indenfor 7 cm. Undtaget er dog Aabenraa (15 cm for lavt), Ballen (11 cm for lavt) og Tejn (11 cm for lavt). Faserne ligger i det store hele indenfor 1 time og et kvarter, undtagen København, Fynshav, og

<sup>1</sup>Hindcast er simuleringer med de nyeste atmosfæriske data, der i dag er til rådighed. For E15-Hirlam er data maksimalt 6 timer gamle og maksimalt 12 timer gamle med UK-lam



Tejn. For Tejn's og Fynshav's vedkommende skyldes det, at vandstanden var næsten konstant over et lang stykke tid.

Samlet kan konkluderes, at dette højvande er forudsagt yderst præcist og tilfredsstillende op til 2 døgn i forvejen.

## 5 Filtrerede prognoser

Til de detaljerede varsler anvendes Arima filtrerede prognoser. Filteret retter op på en eventuel fejl i prognosen ved hjælp af en antagelse om fejlens levetid ved hver enkelt station. Dermed kan en ny korttidsprognose i princippet udsendes hver gang en ny observation af vandstanden modtages, dvs. hvert kvarter. I praksis opdateres prognosen en gang i timen. De Arima-filtrerede prognoser er således korrigerede til observationerne, hvorved den første værdi er en observation, der med tiden retter sig ind efter den rå prognose. 7-timers filtrerede prognoser for Aabenraa og Kolding er vist i detalje i tabel 3 og 4.

Prognoserne for Kolding blev justeret meget lidt, da de i forvejen var meget præcise. Højvandet forudsagt op til 3 kvarter for tidligt, hvilket skyldes den tilsvarende fasefejl i den ufiltrerede prognose. Ses der bort fra den mindre fasefejl, så var den absolutte filtrerede fejl på vandstanden maksimal 5 cm.

Prognoserne for Aabenraa blev løbende opjusteret med op til 10-15 cm, hvilket skyldes den lidt for lave prognose. Fasefejlen i den filtrerede prognose er mindre end en time og fejlen på højvandet ca. 5 cm.

Varsling for Aabenraa udsendt kl. UTC												
Tidspunkt	13:01	13:54	14:54	15:52	16:56	17:49	18:50	19:56	20:52	21:56	22:41	23:54
19/11 12:45												
19/11 13:00	75											
19/11 13:15	77											
19/11 13:30	79											
19/11 13:45	81											
19/11 14:00	82	87										
19/11 14:15	83	87										
19/11 14:30	84	88										
19/11 14:45	85	89										
19/11 15:00	86	90	98									
19/11 15:15	87	91	97									
19/11 15:30	87	91	98									
19/11 15:45	87	91	97									
19/11 16:00	87	91	97	96								
19/11 16:15	86	90	96	97								
19/11 16:30	87	91	97	97								
19/11 16:45	86	90	96	97								
19/11 17:00	86	90	96	97	101							
19/11 17:15	86	90	96	97	102							
19/11 17:30	86	90	95	97	101							
19/11 17:45	87	91	96	98	102	106						
19/11 18:00	88	92	97	99	103	107						
19/11 18:15	89	92	98	101	105	109						
19/11 18:30	90	93	99	102	106	109						
19/11 18:45	91	94	100	103	108	111						
19/11 19:00	93	96	102	106	110	114	110					
19/11 19:15	95	98	104	108	112	116	112					
19/11 19:30	96	100	105	111	115	119	115					
19/11 19:45	98	102	107	112	116	119	116					
19/11 20:00	100	104	109	114	118	121	118	116				
19/11 20:15		106	111	115	119	122	118	117				
19/11 20:30		108	113	116	119	123	119	118				
19/11 20:45		111	116	118	121	125	121	120				
19/11 21:00		114	119	119	123	126	123	122	118			
19/11 21:15			120	121	125	128	125	124	120			
19/11 21:30			120	121	125	128	125	123	120			
19/11 21:45			118	120	124	127	124	122	119			
19/11 22:00			117	117	121	124	120	119	116	125		
19/11 22:15				116	119	123	119	118	115	122		
19/11 22:30				116	119	122	119	118	115	122		
19/11 22:45				117	120	123	120	119	116	121	123	
19/11 23:00				120	123	123	120	119	116	121	122	
19/11 23:15				120	123	123	120	119	116	121	122	
19/11 23:30				120	123	120	118	115	120	121	121	
19/11 23:45				119	122	118	117	114	120	121	124	124
20/11 00:00				119	121	118	117	114	121	121	121	125
20/11 00:15					122	119	118	115	121	122	122	126
20/11 00:30					124	121	120	117	123	124	124	128
20/11 00:45					127	124	123	120	125	126	126	129
20/11 01:00						126	125	122	127	128	131	131
20/11 01:15						127	126	123	128	129	132	132
20/11 01:30						127	126	123	128	128	132	132
20/11 01:45						125	124	122	127	127	131	131
20/11 02:00						124	123	121	125	126	129	129
20/11 02:15						123	121	124	125	128	128	128
20/11 02:30						124	122	124	125	128	128	128
20/11 02:45						124	121	124	125	128	128	128
20/11 03:00						124	121	124	125	128	128	128
20/11 03:15							121	124	124	124	127	127
20/11 03:30							120	123	123	126	126	126
20/11 03:45							119	121	122	122	125	125
20/11 04:00								117	120	121	124	124
20/11 04:15							118	119	119	122	122	122
20/11 04:30								117	118	118	121	121
20/11 04:45								117	118	118	120	120
20/11 05:00								116	116	116	119	119
20/11 05:15									116	116	119	119
20/11 05:30										114	117	117
20/11 05:45										113	116	116
20/11 06:00											115	115
20/11 06:15											112	112
20/11 06:30											111	111
20/11 06:45											110	110

**Tabel 3.** E15-Hirlam Arima-prognoser for Aabenraa. Prognoserne er filtreret med anvendelse af et Arima filter, hvor fejlen i prognosen fremskrives i tid og prognosen justeres tilsvarende. De fremhævede værdier er observationer.

Varsling for Kolding udsendt kl. UTC												
Tidspunkt	12:42	13:58	14:56	15:50	16:57	17:50	18:51	19:55	20:53	21:55	22:42	23:53
19/11 12:45	58											
19/11 13:00	59											
19/11 13:15	62											
19/11 13:30	64											
19/11 13:45	66											
19/11 14:00	68	64										
19/11 14:15	70	66										
19/11 14:30	71	68										
19/11 14:45	71	68										
19/11 15:00	73	70	72									
19/11 15:15	73	70	72									
19/11 15:30	74	71	73									
19/11 15:45	74	72	74									
19/11 16:00	75	73	75	75								
19/11 16:15	77	74	76	75								
19/11 16:30	77	75	76	75								
19/11 16:45	77	75	77	75								
19/11 17:00	77	75	77	75	86							
19/11 17:15	79	77	79	77	88							
19/11 17:30	81	80	81	80	89							
19/11 17:45	83	82	83	83	92	88						
19/11 18:00	87	85	86	87	96	92						
19/11 18:15	90	88	89	91	100	96						
19/11 18:30	92	90	92	94	102	99						
19/11 18:45	95	94	95	97	104	101						
19/11 19:00	98	97	98	100	107	104	98					
19/11 19:15	100	99	100	102	109	106	100					
19/11 19:30	103	102	103	104	111	108	102					
19/11 19:45	104	103	104	106	112	110	105					
19/11 20:00		105	106	108	114	112	107	107				
19/11 20:15		107	107	109	115	113	108	108	107			
19/11 20:30		107	107	110	115	113	108	108				
19/11 20:45		107	107	108	113	111	107	107				
19/11 21:00		107	108	106	111	109	105	105	113			
19/11 21:15			107	103	108	105	102	102	110			
19/11 21:30			106	101	105	103	100	100	108			
19/11 21:45			106	100	104	102	99	99	106			
19/11 22:00			107	100	104	102	99	99	106	104		
19/11 22:15				102	106	104	101	101	108	105		
19/11 22:30				103	107	105	103	103	109	105		
19/11 22:45				103	107	105	103	103	108	106	100	
19/11 23:00				103	106	104	102	102	107	106	100	
19/11 23:15					105	103	101	101	106	105	99	
19/11 23:30					103	101	99	99	104	103	98	
19/11 23:45					101	99	97	97	102	100	95	101
20/11 00:00					97	96	94	94	99	97	92	98
20/11 00:15						94	92	92	97	94	89	95
20/11 00:30						91	89	89	93	92	88	93
20/11 00:45						90	88	88	92	91	87	92
20/11 01:00							89	89	92	92	88	93
20/11 01:15							90	90	93	93	89	93
20/11 01:30							92	92	95	93	90	94
20/11 01:45							93	93	96	94	91	95
20/11 02:00							95	95	98	95	92	96
20/11 02:15								96	99	97	95	98
20/11 02:30								98	101	99	97	100
20/11 02:45								101	104	101	99	102
20/11 03:00								103	105	102	100	103
20/11 03:15									106	103	101	104
20/11 03:30									107	103	101	104
20/11 03:45									107	102	100	103
20/11 04:00									107	102	100	103
20/11 04:15										101	99	102
20/11 04:30										101	99	102
20/11 04:45										101	100	102
20/11 05:00										99	98	100
20/11 05:15											97	99
20/11 05:30											96	98
20/11 05:45											95	97
20/11 06:00												97
20/11 06:15												97
20/11 06:30												98
20/11 06:45												96

Tabel 4. E15-Hirlam Arima-prognoser for Kolding. Prognoserne er filtreret med anvendelse af et Arima filter, hvor fejlen i prognosen fremskrives i tid og prognosen justeres tilsvarende. De fremhævede værdier er observationer.

## 6 Varslingen

På basis af DKSS98 prognosen den 19/11-1999 kl. 06 UTC blev der klokken 12.42 hhv. 13.01 UTC varslet om forhøjet vandstand i Aabenraa og Kolding. Varslingen for begge stationer lød:

*”Den forhøjede vandstand skyldes den nordøstlige kuling på 13 til 18 m/s i Østersøen og på 10 til 15 m/s i Bælthavet. Kulingen ventes først at aftage i morgen, lørdag. Da prognosen giver en vandstand på 100 cm, vil vi herefter udsende nye prognoser hver time indtil videre.”*

Herefter blev der hver time udsendt Arima-filtrerede prognoser gældende i 7 timer for de to varslingsstationer Aabenraa og Kolding indtil klokken 23.54 UTC den 19/11-1999 (højvandet toppede den 20/11-1999 kl. 02.15 UTC i Aabenraa), hvor vandstanden begyndte at aftage på de fleste stationer i området syd for Bælterne og Sundet og vindstyrken havde nået sit maksimum.

## 7 Stormflodsklassifikation

Returperioden for de observerede maksimalvandstande er angivet i tabel 1. Perioderne er beregnet både ved hjælp af et Weibull fit og et Gumbel fit til den observerede fordeling af årlige maksima (se Nielsen et al., 1996; Kystinspektoratet, 1997). Begge metoder giver samme resultat. Højvande af denne styrke kan forventes ca. 2 ud af 3 år i området, i Aabenraa, der blev hårdest ramt, dog kun 2 ud af 5 år.

## 8 Konklusion

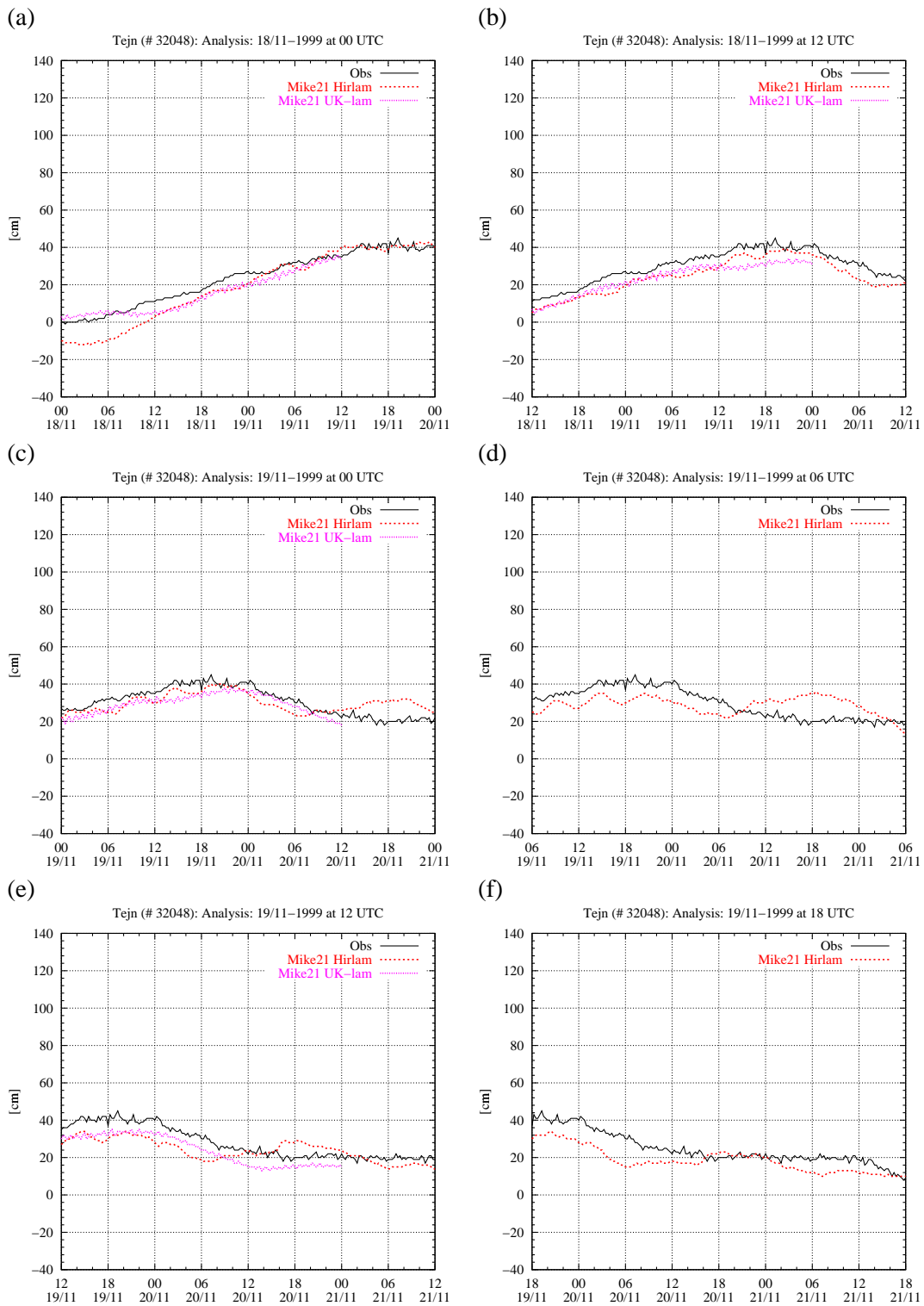
Højvandet syd for Bælterne sent om aftenen den 19/11-1999 og tidlig morgen den 20/11-1999 blev forudsagt  $1\frac{1}{2}$ -2 døgn i forvejen og varslet rettidigt et halvt døgn i forvejen. Mike21 prognoserne var under hele forløbet gode og lå for det meste indenfor 10 cm op til maksimalt 21 cm i afvigelse på højvandet. Kriteriet for en god højvandsprognose er en fejl på ikke over 20 cm. De gode Mike21 prognoser skyldes, at vejrmodellerne Hirlam og UK-lam simulerede vejrudviklingen præcist.

Et halvt døgn inden højvandet blev der varslet om vandstande over 100 cm i Aabenraa og Kolding, hvilket kom til at holde stik. Disse varsler blev ikke ændret undervejs, men der blev løbende hver time udsendt detaljerede varsler baseret på 7 timers prognoser. Prognoserne blev ikke ændret nævneværdigt undervejs, da de var gode i forvejen.

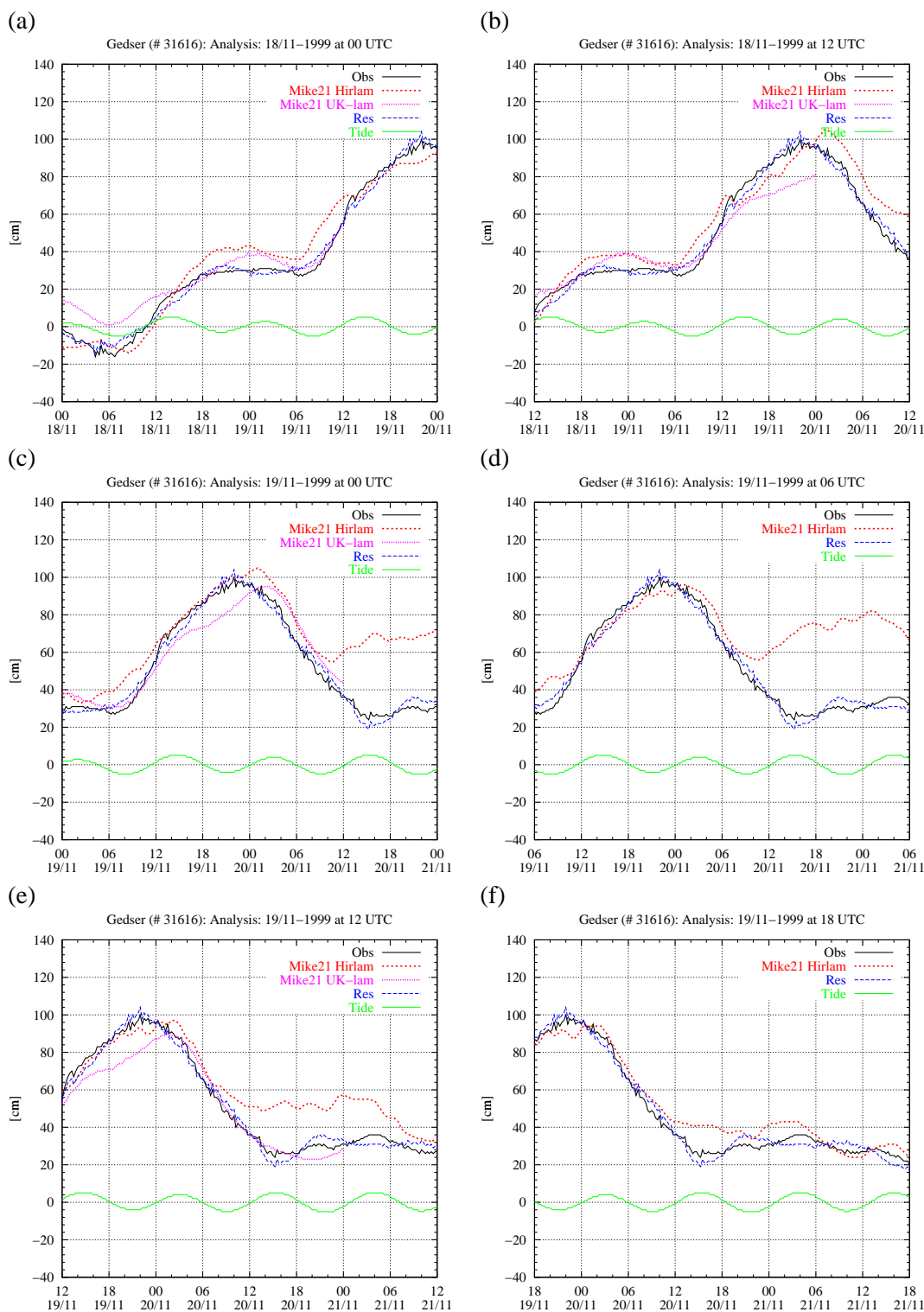
## A Prognoser for vandstanden

På de følgende figurer er vist vandstandsprognoserne for alle stationer i det sydlige Kattegat, Bælthavet, farvandet syd for Bælthavet samt Bornholm. Analyserne er fra den 18/11-1999 kl. 00 og 12 UTC samt den 19/11-1999 kl. 00, 06, 12 og 18 UTC.





**Figur 8.** Prognoser for vandstanden ved Tejn. Den sorte fuldt optrukne linie er observationer, mens den blå (mørke) prikkede linie er Mike21 prognoser. Mike21 prognoser på UK-lam data er gengivet med en orange (lys) prikket linie. Forløbet findes i tabelform i tabel 2 (afsnit 4.2).



**Figur 9.** Prognoser for vandstanden ved Gedser. Den sorte fuldt optrukne linie er observationer, mens den blå (mørke) prikkede linie er Mike21 prognoser. Tidevandet er gengivet med en rød (lys) fuldt optrukket linie, og den grønne (stiplede) linie er residuallet. Mike21 prognoser på UK-lam data er gengivet med en orange (lys) prikket linie. Forløbet findes i tabelform i tabel 2 (afsnit 4.2).

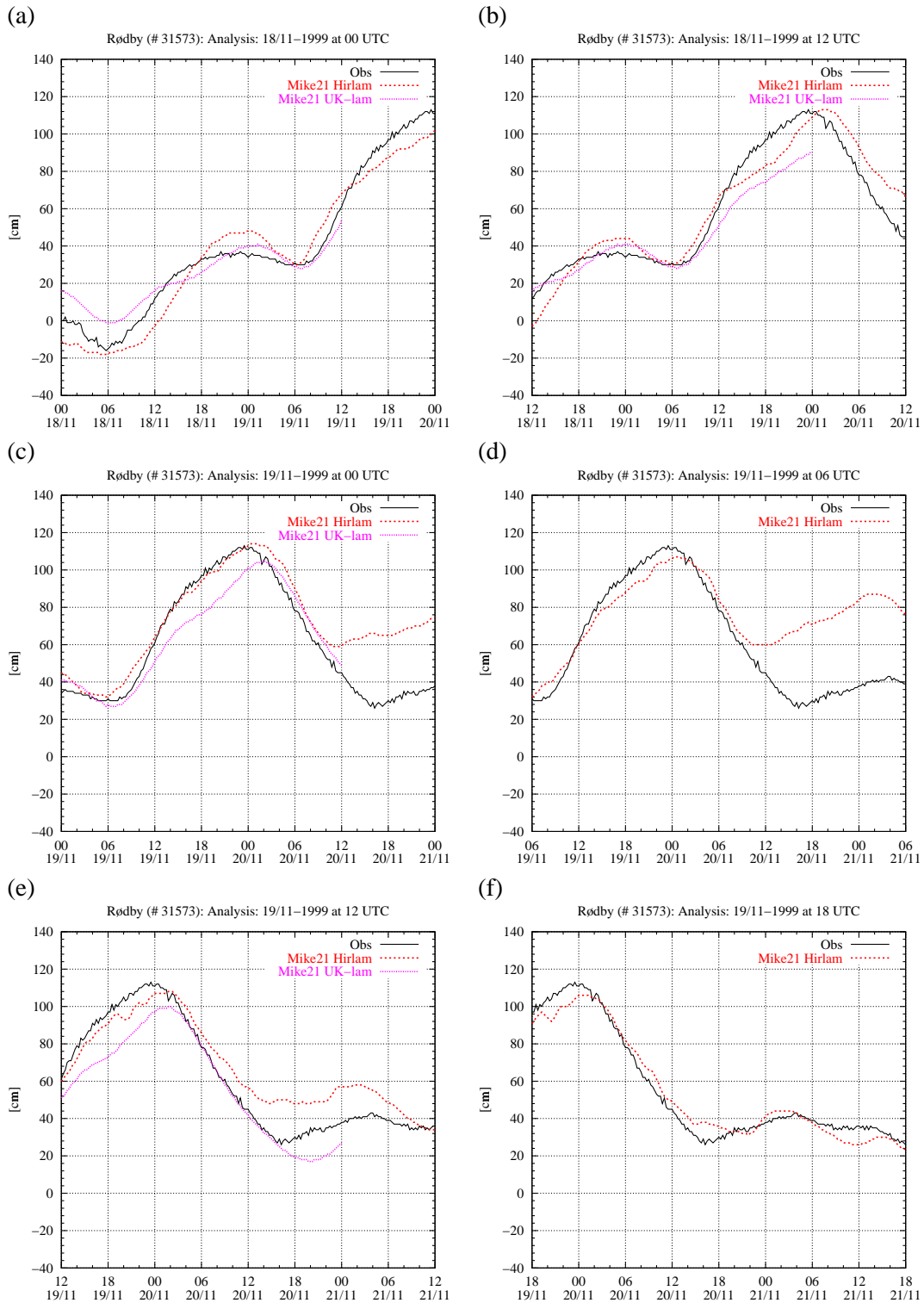


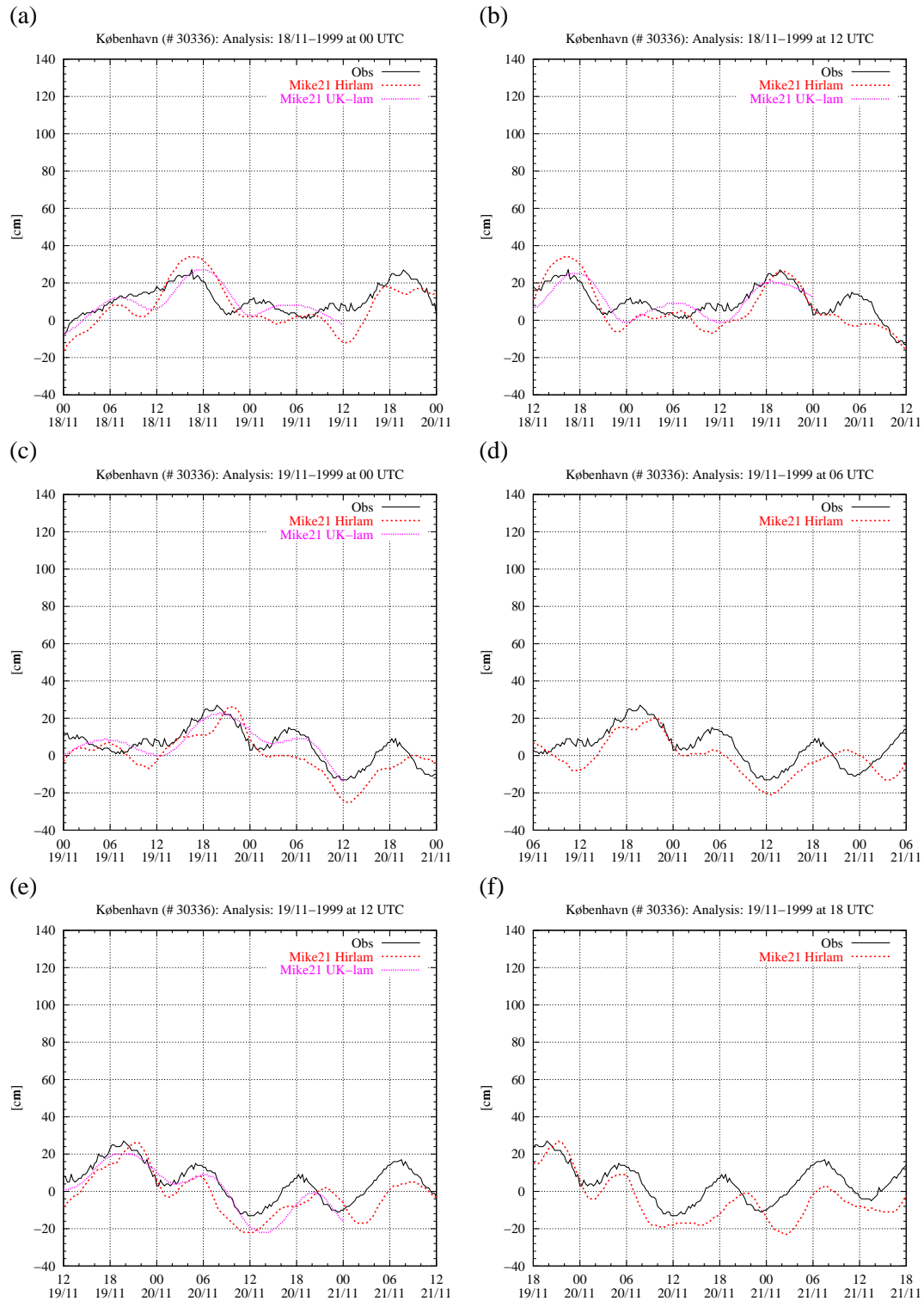
Figure 10. Som figur 8 for Rødby.



Figure 11. Som figure 8 for Rødvig.



Figure 12. Som figur 8 for Drogden.



Figur 13. Som figur 8 for København.



Figure 14. Som figur 8 for Korsør.



Figur 15. Som figur 8 for Slipshavn.



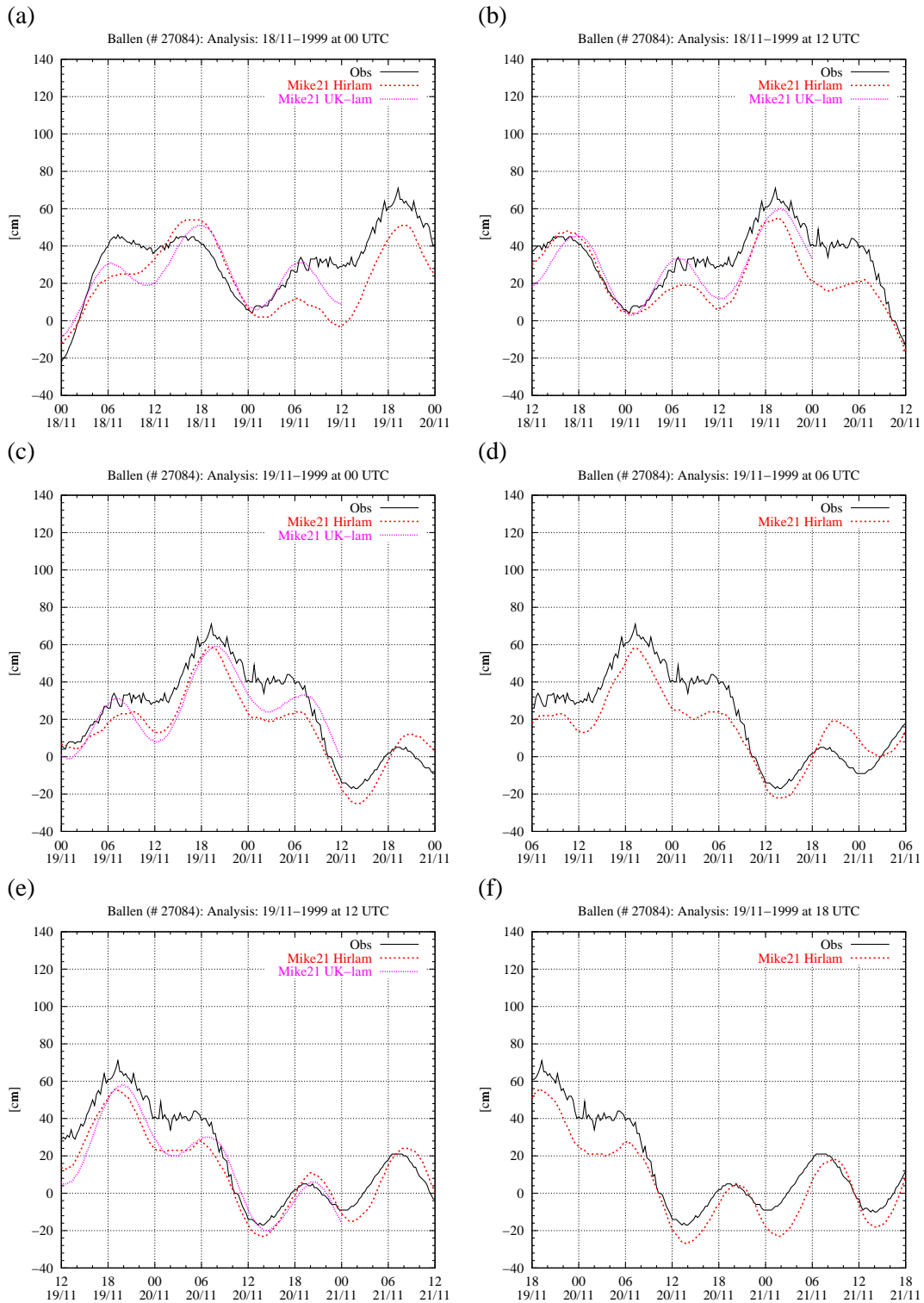


Figure 16. Som figur 8 for Ballen.

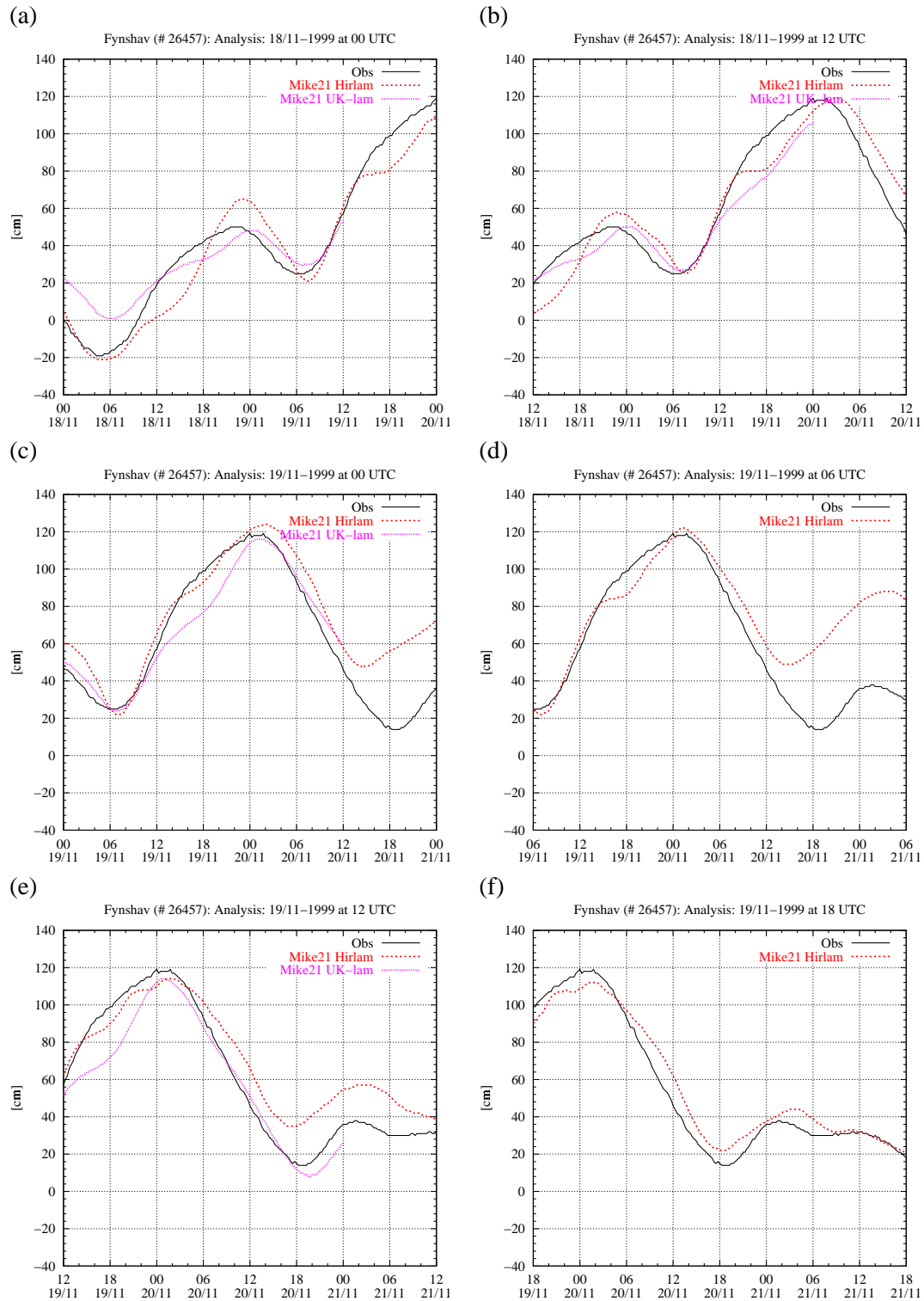
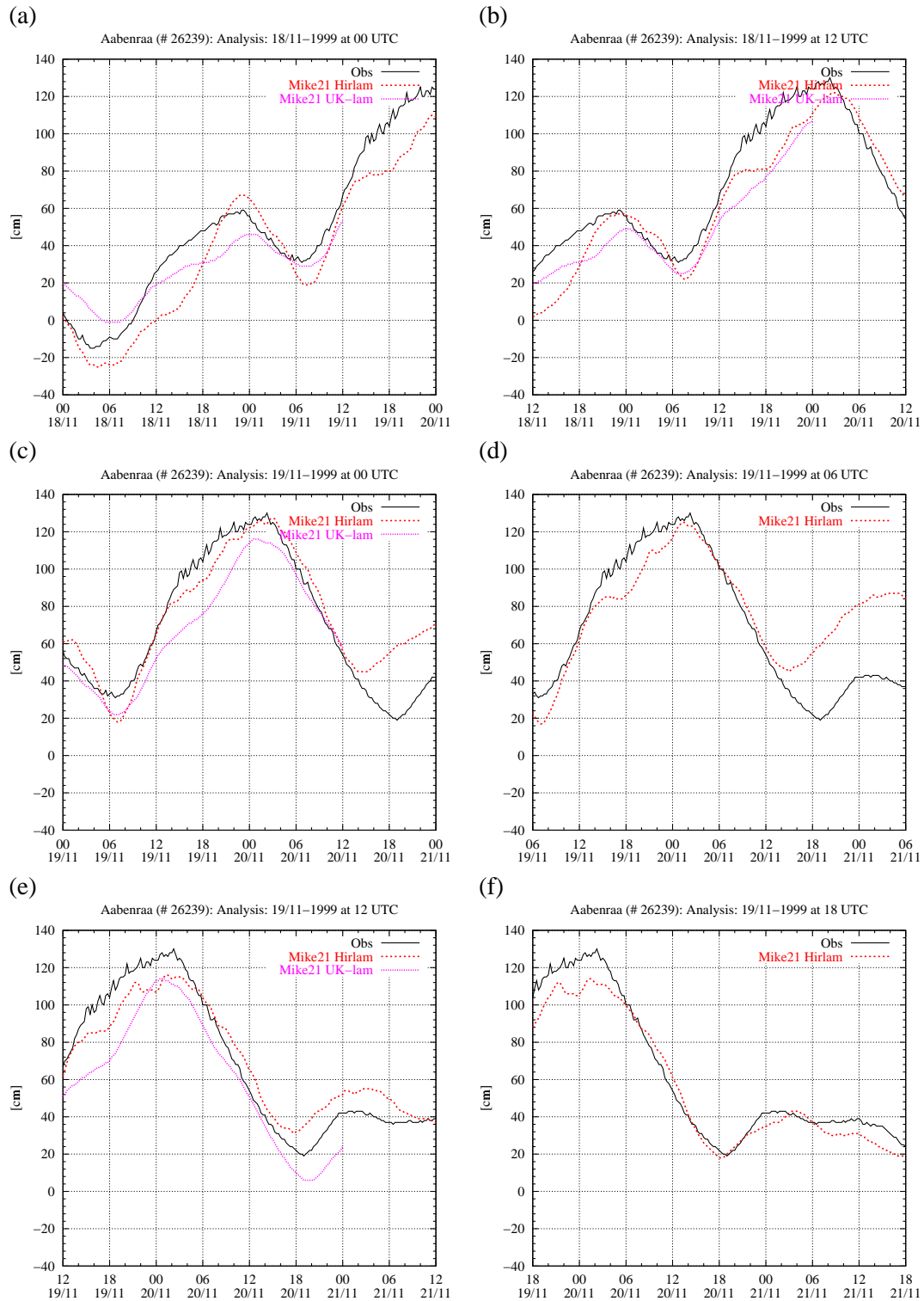


Figure 17. Som figur 8 for Fynshav.



Figur 18. Som figur 8 for Aabenraa.

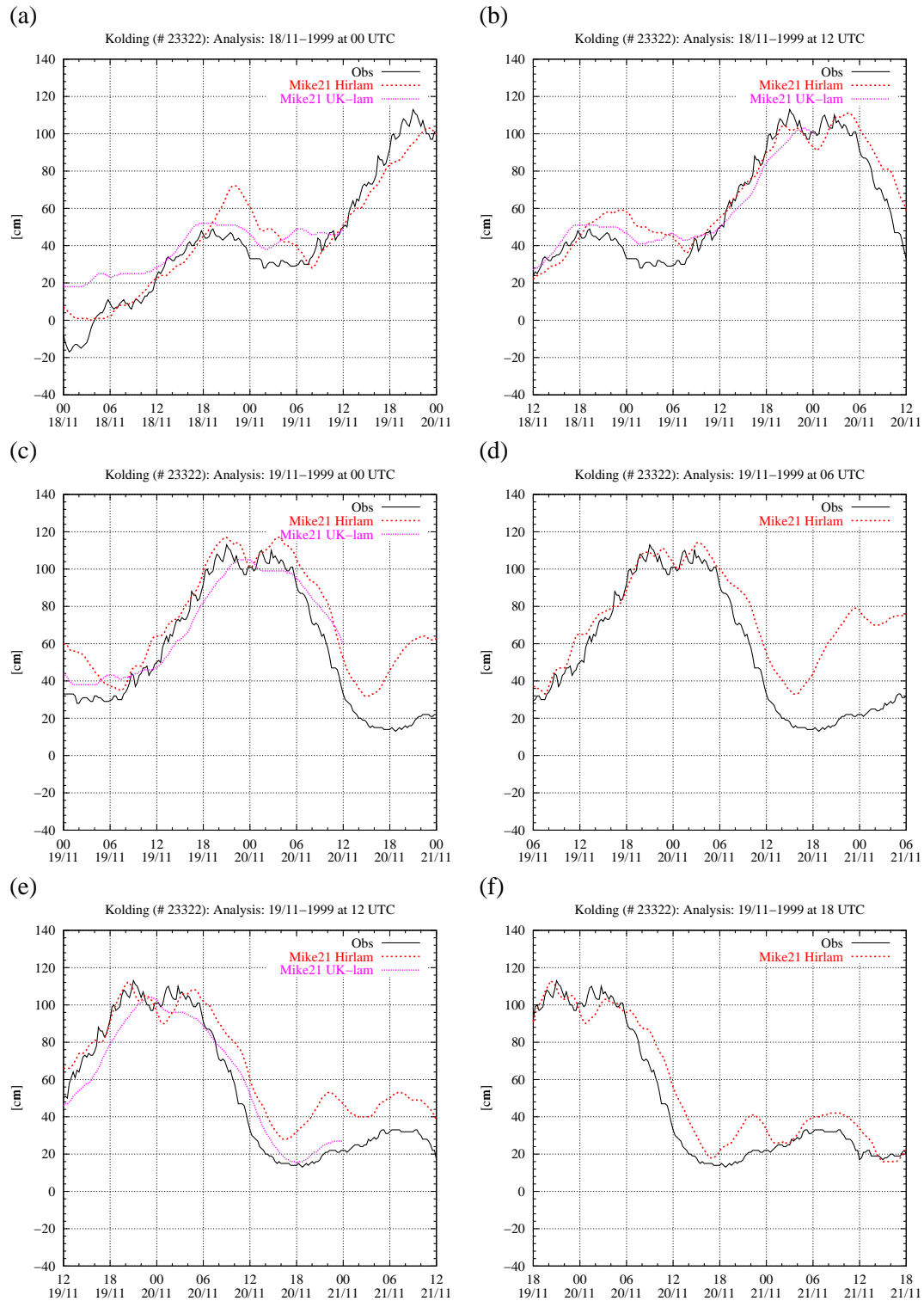
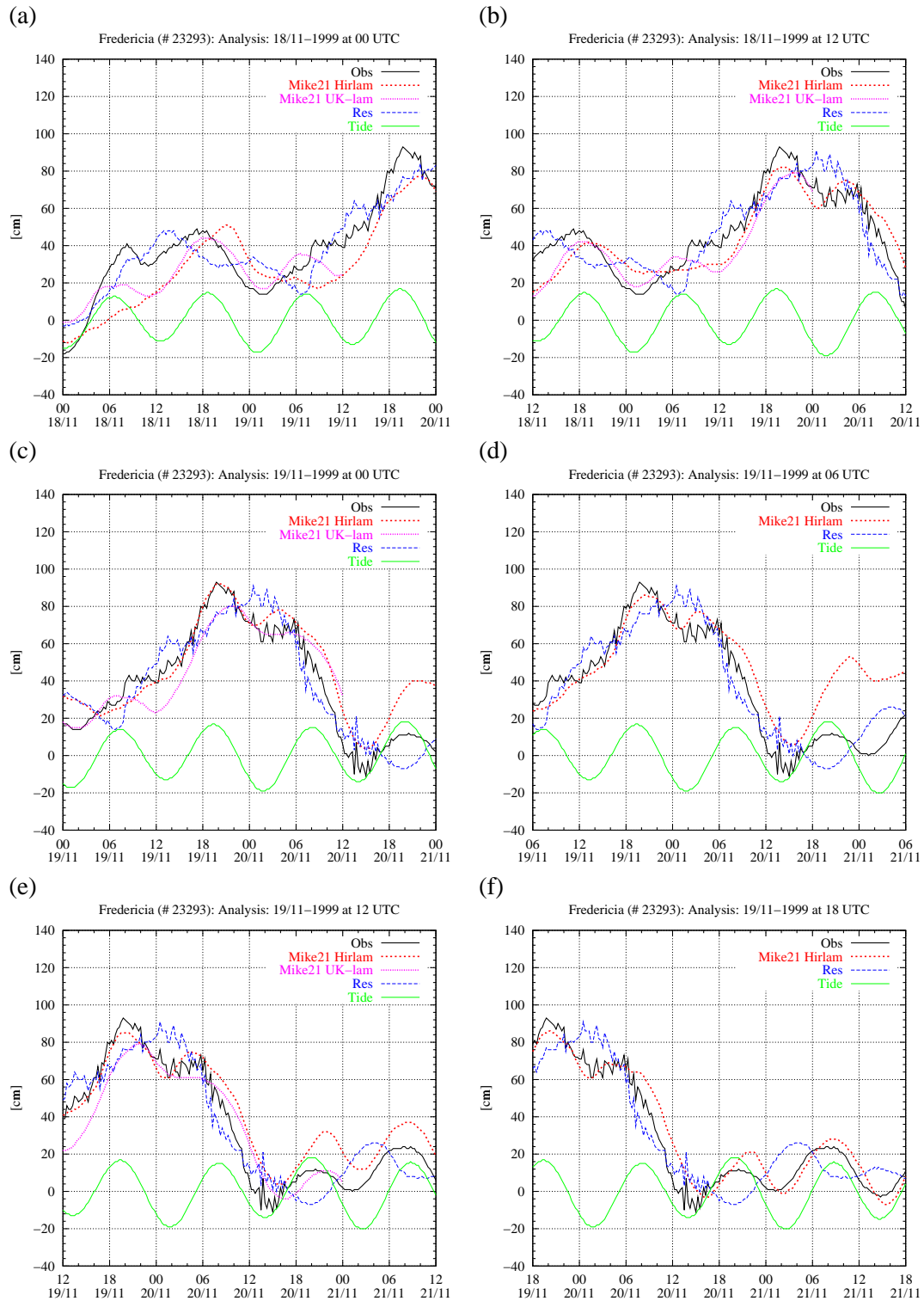
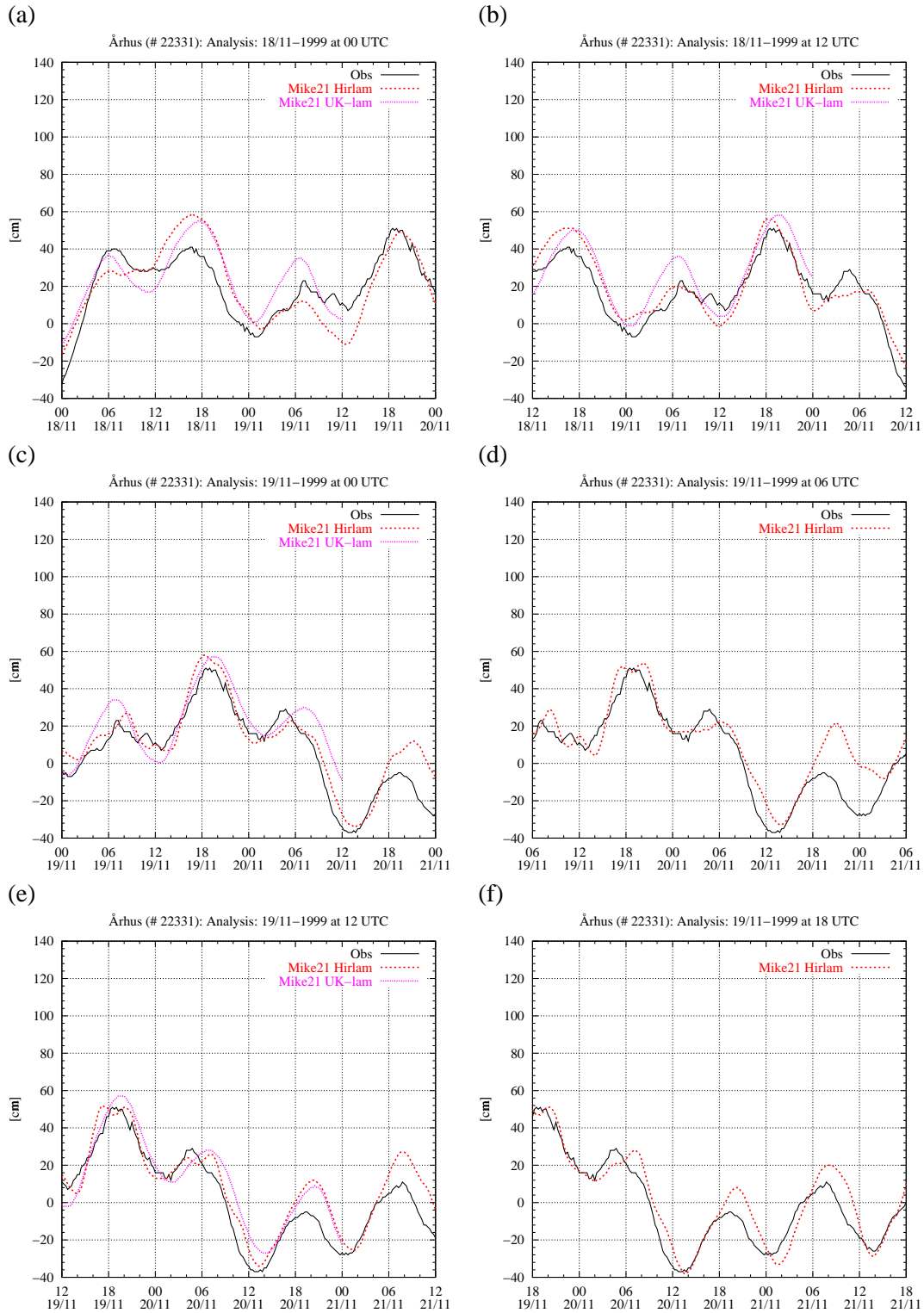


Figure 19. Som figur 8 for Kolding.



Figur 20. Som figur 9 for Fredericia.



Figur 21. Som figur 8 for Århus.

## Figurer

1	Hirlam analyser af msl. tryk 18-19/11 1999 . . . . .	2
2	Observeret vind ved Hammer Odde og Griben . . . . .	3
3	Hirlam analyse af 10m vind og msl. tryk for 18/11 1999 . . . . .	4
4	Hirlam analyse af 10m vind og msl. tryk for 19/11-20/11 1999 . . . . .	5
5	Observerede vandstande . . . . .	8
6	Hirlam prognoser for 10m vind og m.s.l. tryk . . . . .	10
7	Udvalgte vandstandsprognoser for Aabenraa og Kolding . . . . .	12
8	Vandstandsprognoser for Tejn . . . . .	22
9	Vandstandsprognoser for Gedser . . . . .	23
10	Vandstandsprognoser for Rødby . . . . .	24
11	Vandstandsprognoser for Rødvig . . . . .	25
12	Vandstandsprognoser for Drogden . . . . .	26
13	Vandstandsprognoser for København . . . . .	27
14	Vandstandsprognoser for Korsør . . . . .	28
15	Vandstandsprognoser for Slipshavn . . . . .	29
16	Vandstandsprognoser for Ballen . . . . .	30
17	Vandstandsprognoser for Fynshav . . . . .	31
18	Vandstandsprognoser for Aabenraa . . . . .	32
19	Vandstandsprognoser for Kolding . . . . .	33
20	Vandstandsprognoser for Fredericia . . . . .	34
21	Vandstandsprognoser for Århus . . . . .	35

**Tabeller**

1	Vandstandsobservationer . . . . .	6
2	Vandstandsprognoser . . . . .	13
3	Filtrerede 7-timers prognoser for Aabenraa . . . . .	16
4	Filtrerede 7-timers prognoser for Kolding . . . . .	17



## Litteratur

- Kystinspektoratet (1997). Højvandsstatistikker 1997. Technical report, Kystinspektoratet.
- Nielsen, J. W., Bolding, K., and Hansen, L. (1996). Extreme sea level highs: A statistical tide gauge data study. Technical Report 96-3, Danish Meteorological Institute.
- Nielsen, M. H. (1999). Mike21 kalibrering 1998-1999. Technical Report 99-22, Danish Meteorological Institute.
- Sass, B. H. (1994). The DMI Operational HIRLAM Forecasting System. version 2.3 - a short summary. Technical Report 94-8, Danish Meteorological Institute.
- Vested, H. J., Jensen, H. R., Petersen, H., Jørgensen, A. M., and Machenhauer, B. (1992). An operational hydrographic warning system for the North Sea and the Danish Belts. *Continental Shelf Research*, 12(1):65–81.

## Supplerende litteratur

- Nielsen, J. W. (1998). Verification of Sea Level Forecast: 1997. Technical Report 98-5, Danish Meteorological Institute.
- Nielsen, J. W. (1999). Stormflodsrapport. højvandet den 27. december 1998. Technical Report 99-25, Danish Meteorological Institute.
- Nielsen, J. W. and Bolding, K. (1994). Verification of Sea Level Forecasts: October 1993 – March 1994. Technical Report 94-11, Danish Meteorological Institute.
- Nielsen, J. W. and Bolding, K. (1995a). Verification of Sea Level Forecast: 1994. Technical Report 95-4, Danish Meteorological Institute.
- Nielsen, J. W. and Bolding, K. (1995b). Verification of Sea Level Forecasts: October 1994 – March 1995. Technical Report 95-9, Danish Meteorological Institute.
- Nielsen, J. W. and Bolding, K. (1996). Verification of Sea Level Forecasts: 1995. Technical Report 96-2, Danish Meteorological Institute.
- Nielsen, J. W. and Bolding, K. (1997a). Stormflodsrapport: Højvandet den 29. og 30. oktober 1995. Technical Report 97-2, Danish Meteorological Institute.
- Nielsen, J. W. and Bolding, K. (1997b). Stormflodsrapport: Højvandet den 6. og 7. november 1995. Technical Report 97-6, Danish Meteorological Institute.
- Nielsen, J. W. and Bolding, K. (1997c). Verification of Sea Level Forecasts: 1996. Technical Report 97-1, Danish Meteorological Institute.
- Nielsen, J. W. and Nielsen, M. H. (1999). Verification of Sea Level Forecast: 1998. Technical Report 99-23, Danish Meteorological Institute.