

**DANMARKS METEOROLOGISKE
INSTITUT**

— TEKNISK RAPPORT —

03-30

**Verifikation af vandstandsprognoser:
2002**

Jacob Woge Nielsen



København 2003

ISSN 0906-897X (trykt)
ISSN 1399-1388 (online)

Verifikation af vandstandsprognoser: 2002

Jacob Woge Nielsen
e-mail: jw@dmi.dk

Danmarks Meteorologiske Institut, København, Danmark

Indhold

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Introduktion | 3 |
| 2 | DKSS98 | 4 |
| 3 | Data | 5 |
| 3.1 | Observationer | 5 |
| 3.2 | Prognoser | 6 |
| 4 | Fejlmål | 7 |
| 4.1 | Residual | 7 |
| 4.2 | Spidsfejl | 7 |
| 4.3 | Succesrater | 8 |
| 5 | Resultater | 9 |
| 5.1 | Nøgletal | 9 |
| 5.2 | Prognoselængden | 9 |
| 5.3 | Succesrater | 10 |
| 6 | Tidligere år | 11 |
| 7 | Konklusion | 12 |
| | Appendix | 13 |
| A | Stationsliste | 14 |
| B | Observeret statistik | 16 |
| C | Stationsstatistik (HIR) | 18 |
| D | Stationsstatistik (UKM) | 20 |
| E | Højvande og prognosefejl (HIR) | 22 |
| F | Højvande og prognosefejl (UKM) | 32 |
| G | Beregningsmetoder | 42 |
| | Referencer | 44 |
| | Tabeller | 45 |
| | Figurer | 45 |

1 Introduktion

I denne rapport verificeres DMI's operationelle prognoser for vandstand ved danske kyststationer, gældende for 2002. Prognoserne er beregnet med DMI's stormflodsvarslingssystem *DKSS98*.

Der er beregnet standard statistik (*bias*, *rms*, ...) for hver station, og nøgletal som middelfejl over samtlige stationer. De højeste højvande undersøges særskilt, og bruges dels til at beregne *spidsfejl*, dels til at beregne en succesrate til brug for DMI's resultatkontrakt.

DMI har brugt *DKSS98* eller et lignende system til at forudsige vandstand siden 1990. Kernen udgøres af havmodellen *Mike21*, som beregner hvordan vandstanden ændrer sig under indflydelse af vind, lufttryk og tidevand. *Mike21* er udviklet af "DHI - Institut for Vand og Miljø" og venligst stillet til rådighed for DMI's stormflodsvarsling.

Ultimo 2001 begyndte DMI at udsende prognoser for Limfjorden, som her verificeres for første gang. Kystdirektoratet har oprettet nye vandstandsmålere, og flere målere ejet af lokale myndigheder er nu inkluderet. Medio 2002 blev referenceniveauet for vandstand ændret, fra Dansk Normal Nul (DNN) til Dansk Vertikal Reference 1990 (DVR90). Her er data anvendt som de var til rådighed på måletidspunktet.

Vi verificerer prognoserne, som de blev beregnet med *DKSS98*. De adskiller sig fra de faktisk udsendte varsler, hvor prognoserne efterbehandles (filtreres) ved brug af observeret vandstand.

I det følgende beskrives det operationelle stormflodsvarslingssystem (kap. 2), datagrundlaget (kap. 3) og de statistiske fejlmål (kap. 4). Verifikationen for 2002 beskrives i kap. 5, og sammenlignes med foregående år (kap. 6). Kap. 7 er en konklusion. Detaljerede resultater for hver station er henvist til Appendix. Referencer og figur/tabel-liste findes bagest i rapporten.

2 DKSS98

DMIs stormflodsvarslingsystem DKSS98 har været i operationel brug siden 1. september 1999. DKSS98 er beskrevet i detaljer i [2]. Her gives et kort resumé.

DKSS98 består af tre dele:

- en dybdeintegreret hydrodynamisk (*HD*) model
- Nordatlantisk tidevand
- en numerisk vejrmødel (*NWP*)

Systemet beregner kort over vandstand og dybdemidlet strøm gældende for hvert 10. minut, 2 døgn frem i tiden.

HD model

Den hydrodynamiske model *Mike21* (beskrevet i [1]) løser de dybdeintegrerede ligninger for havstrøm og vandstand. Drivkræfterne er vind, lufttryk og tidevand. Modellen anvender *nesting*, med i alt 7 beregningsnet lagt inde i hinanden. Det mest grovmaskede net dækker hele Nordsø-Østersø området med 9 sømil maskevidde (16.7 km). I danske farvande er maskevidden 3 sømil (5.6 km); i Vadehavet og Bælthavet 1 sømil (1.8 km), og i Lillebælt og Øresund 1/3 sømil (617 m). Limfjorden behandles særskilt; vandstanden ved Thyborøn i øst og ved Hals i vest beregnes med et af de øvrige net, og det bestemmer vandstandsvariationerne i fjorden (se i øvrigt [6]). Maskevidden er her 750m. De fint-maskede beregningsnet giver en detaljeringsgrad, der sikrer fri strømning gennem snævre passager.

Tidevand

HD-modellen har to åbne rande, langs snittene Shetland-Stavanger (ca. 59°N), og Dungeness-Wissant i den Britiske Kanal (ca. 51°N). Her foreskrives tidevandet fra Atlanterhavet, som derved trænger ind i Nordsøen. Vandstanden langs modelrandene er summen af astronomisk tidevand og invers barometer.

NWP model

DMIs vejrmødel Hirlam-E (HIR) anvendes til vejrudsigter for Danmark [7]. Modellen forudsiger bl.a. lufttrykket ved havoverfladen og vinden i 10m højde, med en tidlig/rumlig opløsning på 1 time/16 km. Hirlam beregner en speciel 10 meter vind til brug for stormflodsvarsling. Vind og tryk interpoleres til HD-modellens groveste beregningsnet, og HD-modellen omregner 10m vinden til en vindspænding ved brug af en vindhastighedsafhængig friktionsparameter [8], [5]. Denne vindspænding er identisk med Hirlams bundstress.

Et parallelt back-up system anvender prognoser fra den engelske vejrmødel UK-lam (UKM, opl. 6 timer/1.25°¹). Back-up systemet giver generelt farvandsvagten ekstra information, og anvendes til varsling hvis Hirlam-E prognosen er forsinket eller fejlbehæftet.

Afvikling

DKSS98 afvikles 4 gange dagligt. Det primære system (HIRLAM) afvikles ved timerne 00, 06, 12 og 18 UTC. Back-up systemet (UK-lam) afvikles kun ved 00 og 12 UTC timerne. Prognoselængden er 2 døgn (HIR), resp. 1 1/2 døgn (UKM). Hver kørsel startes op med en mellemregning fra den forrige kørsel, uden at gøre brug af observeret vandstand.

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

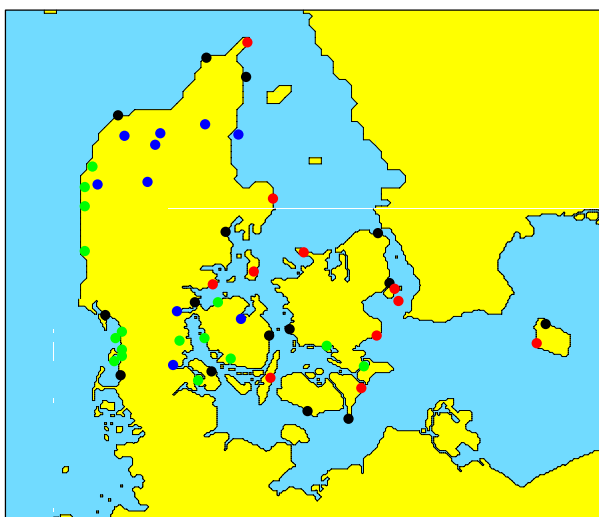
3 Data

Datagrundlaget er tidsserier af observeret vandstand og kort over forudsagt vandstand ved danske kyststationer i 2002.

3.1 Observationer

Der anvendes data fra 53 målere, som alle sender til DMI i sand tid (se fig. 1 og tabel 4 i appendix A). Målerne registrerer vandstanden hvert 10. minut med en præcision på 1 cm. Nogle målere registrerer i stedet hvert kvarter; disse data interpoleres lineært til hvert 10. minut. Der er i alt ca. 2.8 mio. vandstandsobservationer. Middel datadækningen er 96%, og mere end halvdelen af målerne har en datadækning over 99%.

Medio 2002 blev hele målnettet omlagt fra Dansk Normal Nul (DNN) til den nye Dansk Vertikal Reference (DVR90). Nulpunktet for en række målere blev flyttet, med op til 15 cm. Her anvendes data som de var til rådighed på måletidspunktet.



Figur 1. Vandstandsmålere og ejerforhold. Sort=DMI, rød=Farvandsvæsenet (FRV), grøn= Kystdirektoratet (KDI), blå=lokal myndighed. On-line observationer, tidevand og 24 timers prognose for alle stationer findes på DMIs Internet side <http://www.dmi.dk/vejr> under *Vandstande*.

Ved fem slusestationer i Vadehavet (jvf. tabel 4) påvirkes registreringerne ved lavvande af sluseportene. Derfor repræsenterer den ikke altid vandstanden i det frie hav. Siden 2001 indgår disse stationer alligevel i verifikationen på lige fod med de øvrige.

Ved tre vestkyststationer findes både en kystmåler og en havnemåler. Kystmålere har tendens til langsomt at drive opad mod højere registrering, hvorefter de nulstilles igen. I varslingen anvendes i højere grad havnemålerne i Torsminde og Hvide Sande, mens havnemåleren i Thyborøn ligger helt inde i Limfjorden. Her anvendes kystmålere, da de har vist sig at blive bedst gengivet af prognoserne.

2002 var et ret normalt år hvad angår ekstreme højvande. Der har været følgende situationer med kraftigt forhøjet vandstand:

- 2. jan. Vestlige Østersø
- 29. jan. Vadehavet og Vestkysten
- 21. feb. Vestlige Østersø
- 23. feb. Vadehavet og Vestkysten
- 26. okt. Kattegat

Vandstandsstatistik for hver station, gældende for 2002, er vist i tabel 5, appendix B.

3.2 Prognoser

DKSS98 beregner prognosekort for vandstand. Der er beregnet 1460 2 døgn prognoser (HIR, 7 mangler), samt 730 $1\frac{1}{2}$ døgn prognoser (UKM, 19 mangler)¹. Fra prognosekortene trækkes tidsserier for danske kyststationer (tabel 4). ved brug af nærmeste modelgitterpunkt. Tidsserierne for vandstand efterbehandles og sendes til DMIs farvandsvagt og andre brugere.

Efterbehandlingen sker i tre trin: opretning af tidevand, nulpunktskorrektion, og filtrering. Tidevandsopretning og nulpunktskorrektion er en del af modelkørslen. Filtreringen sker løbende, hver gang der modtages en ny observation.

Tidevandsopretning

Vi kører Mike21 uden kobling til en vejrmødel for at fastlægge modellens eget tidevand. Dette tidevand har fase- og amplitudefejl i visse havområder. Mike21 tidevandet bliver skiftet ud med det korrekte, astronomiske tidevand, der hvor det har vist sig at give en bedre prognose.

Nulpunktskorrektion

Stationens *bias* er forskellen mellem beregnet og målt middelvandstand over lang tid. Stationens nulpunkt kan ligge langt fra DNN (DVR90), eller der kan være en unøjagtighed i modelberegningen. For hver station trækker vi bias for 1998 fra prognoserne. Værdierne varierer fra ± 25 cm, Omlægning til DVR90 har reduceret de fleste bias-værdier.

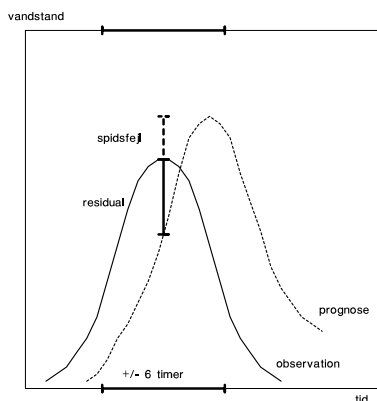
Filtrering

Prognosen filtreres når DMI modtager en ny observation, som regel hvert 10. minut. Forskellen mellem observation og prognose giver den øjeblikkelige fejl, og ved brug af et autoregressivt (AR) filter får vi et statistisk estimat for fejlen i den nærmeste fremtid. Denne fejl trækkes fra prognosen. For en beskrivelse af metoden, se [2]. De filtrerede prognoser anvendes løbende i varslingen, men arkiveres og verificeres af praktiske årsager ikke.

¹For visse stationer i Limfjorden findes kun prognoser fra 27. maj og fremad.

4 Fejlmål

Der anvendes to typer prognosefejl, som skitseret i figur 2.



Figur 2. Definition af residual og spidsfejl.

- *residual* = prognose minus observation til en given tid
- *spidsfejl* = forudsagt minus observeret højvande

Residualet er en almindelig tidsserie. Spidsfejlen er en tabel med værdier for hvert enkelt højvande.

4.1 Residual

Ved at midle residualet på passende vis (se Appendix D) beregnes for hver station:

- *me* = middel fejl (*bias*)
- *rms* = rms fejl
- *ev* = forklaret varians
- *cc* = korrelations-koefficient

Der beregnes nøgletal ved at midle over alle stationer.

4.2 Spidsfejl

Til spidsfejl benyttes de 10 højeste højvande ved hver station, adskilt med mindst 12 timer. Prognosen er den højeste forudsagte vandstand, maksimalt forskudt 6 timer fra højvandet. Ekstreme lavvande og falske alarmer er ikke undersøgt.

Ved at midle spidsfejl-tabellen på passende vis (se Appendix D) beregnes for hver station:

- *pe* = middel spidsfejl (peak bias)
- *pe%* = middel spidsfejl i %

Nøgletal beregnes ved at midle over alle stationer.

4.3 Succesrater

Ud fra spidsfejl-tabellen beregnes en *successrate* som andelen af godt forudsagte højvande, dvs. hvor spidsfejlen er under en vis margin. Succesraten er ideelt 100%. Der beregnes succesrater med tre fejlmarginer:

- 10 cm fejlmargin
- 20 cm fejlmargin
- 30 cm fejlmargin

Til brug for DMI's resultatkontrakt beregnes succesraten med 30 cm fejlmargin separat for Nordsøkysten (fra Vadehavet til Skagens Gren), og for de indre danske farvande (resten af stationerne). Der bruges 24 DMI/KDI stationer i denne beregning. DMI's årsresultat er middelværdien af disse to tal.

5 Resultater

Herunder beskrives og diskuteres resultatet af verifikationen for år 2002. *HIR* refererer til Hirlam opsætningen (primær) og *UKM* til UK-lam opsætningen (back-up). Der vises kun stations-midlede fejlmål. Detaljerede resultater for hver station findes i appendices C-F.

5.1 Nøgletal

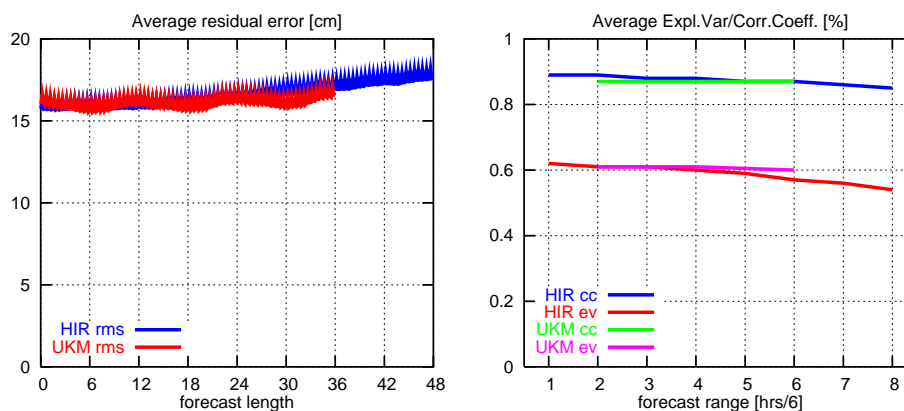
Tabel 1 viser nøgletal, dvs. fejlmål midlet over alle stationer og hele prognoselængden. Fejl for hver enkelt station er vist i appendix C-D.

| Model | bias cm | rms cm | cc | ev | pe cm | pe% % |
|-------|------------|-----------|------|------|----------|----------|
| HIR | -7 | 16 | 0.87 | 0.59 | -17 | -17 |
| UKM | -6 | 16 | 0.87 | 0.61 | -24 | -23 |

Tabel 1. Nøgletal for hver opsætning, midlet over alle prognoselængder og over alle stationer. HIR opsætningen er midlet fra 0-48 timers prognoselængde, UKM fra 0-36 timer.

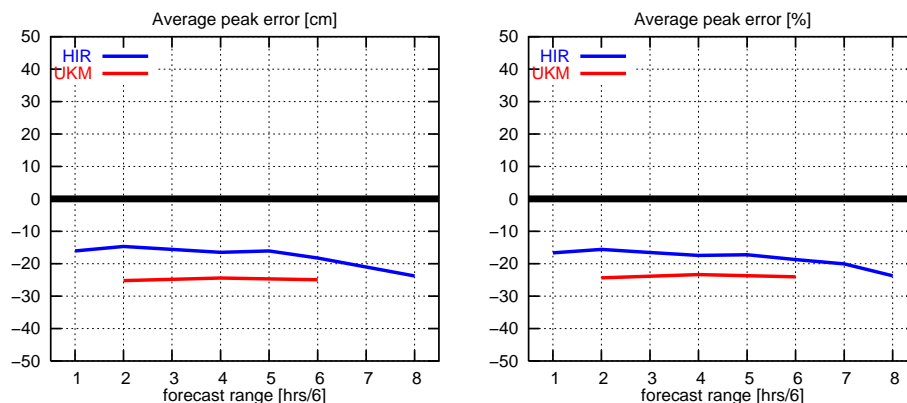
Systemet har en lille negativ bias, og en rms fejl på ca. 16 cm. De højeste vandstande undervurderes med ca. 20 cm i middel, svarende til en procentvis fejl på ca. 20%. Den primære HIR opsætning er bedre til at forudsige højvande end back-up modellen.

5.2 Prognoselængden



Figur 3. Residualfejl som funktion af prognoselængden

Fig. 3 viser fejlen som funktion af prognoselængden. De lange prognoser er lidt dårligere end de korte, især for HIR opsætningen. Allerede ved analysen (prognoselængde 0) er der en fejl. Det skyldes at stormflodsmodellen ikke initialiseres ved brug af observeret vandstand - modellen beregner selv sin starttilstand, som derfor er fejlbehæftet.



Figur 4. Spidsfejl som funktion af prognoselængden, angivet i 6 timers blokke.

Spidsfejl er negativ: højvande undervurderes. Fejlen øges på prognoser på 30 timer eller mere, Fejlen for hvert enkelt højvande er vist i appendix E-F.

5.3 Succesrater

Tabel 2 viser andelen af godt forudsagte højvande med hhv. 10/20/30cm fejlmargen. Succesraten er beregnet for alle stationer, og for de separate områder Nordsøkysten op til Skagen (Nordsø), og de indre danske farvande fra Skagen til Bornholm (IDF). Denne geografiske opdeling gør succesraten mindre afhængig af hvilke stationer der er til rådighed et givet år (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 4). I alt er anvendt 11 Nordsøstationer og 12 IDF stationer.

| Succesrate (%) | Alle | | Nordsø | | IDF | |
|----------------|------|-----|--------|-----|-----|-----|
| | HIR | UKM | HIR | UKM | HIR | UKM |
| 10 cm | 29 | 18 | 35 | 20 | 23 | 16 |
| 20 cm | 54 | 32 | 61 | 36 | 23 | 16 |
| 30 cm | 77 | 53 | 78 | 54 | 75 | 52 |

Tabel 2. Succesrate for forudsigelse af de 10 højeste vandstande ved hver station, 2002.

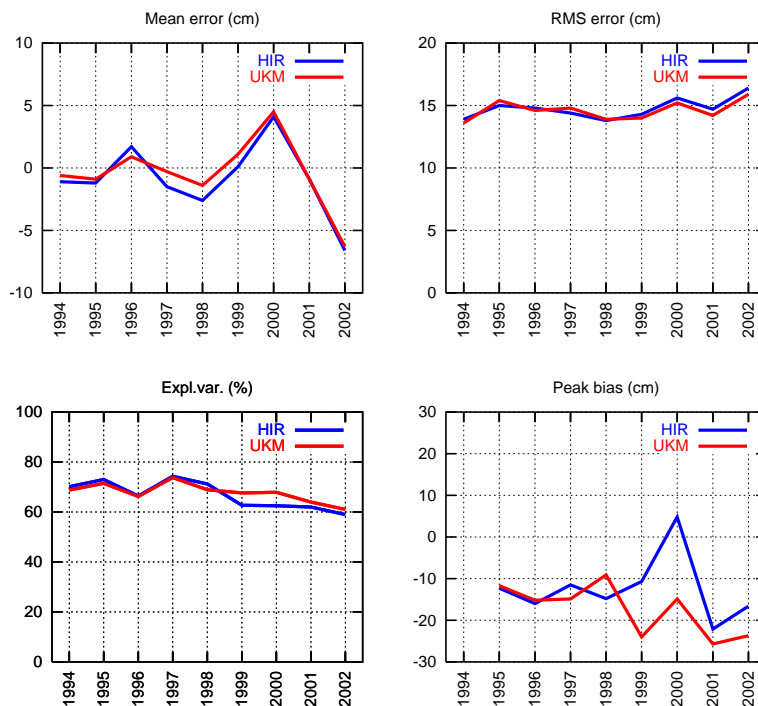
Til brug for DMIs resultatkontrakt beregnes middelværdien af 30 cm succesraten for Nordsø og IDF stationer. HIR resultatet (fremhævet i tabel 3) rapporteres til ministeriet.

| HIR | UKM |
|-----------|-----|
| 77 | 53 |

Tabel 3. Resultatkontrakt

6 Tidligere år

Tidsudviklingen af en række nøgletal (1994-2002) er vist i Fig. 5.



Figur 5. Nøgletal, 1994-2002. Bias, rms fejl, forklaret varians og spidsfejl.

Samtlige fejlmål viser en svag forværring i de senere år. Det kan til dels skyldes oprettelse af nye stationer, så datagrundlaget ikke er det samme fra år til år.

7 Konklusion

DMIs operationelle vandstandsprognoser for 2002 verificeres. Prognoserne er beregnet med den hydrodynamiske model Mike21, drevet af DMIs vejrmødel Hirlam-E (HIR, primær prognose), eller af den engelske vejrmødel UK-lam (UKM, back-up prognose). Prognoserne sammenlignes med observationer fra 53 danske kyststationer.

Der beregnes fejlmål, midlet over hele prognoselængden, og nøgletal, midlet over alle stationer. Desuden beregnes en succesrate for de 10 højeste højvande ved hver station.

Residualfejl: Der er en lille negativ bias, og en rms fejl på 16 cm. Fejlen vokser lidt ved prognoselængder over 36 timer.

Spidsfejl: Højvande undervurderes generelt med ca. 20 cm (20%), mest i de indre danske farvande. Fejlen vokser ved prognoselængder over 30 timer.

Succesrate: Med et succeskræterium på 30 cm forudsiges 3 ud af 4 højvande med HIR opsætningen, cirka halvdelen med UKM opsætningen.

Sammenligning: HIR prognoserne er bedst til at forudsige højvande .

Tidsudvikling: Fejlene har en svagt voksende tendens i de senere år.

Appendix

De følgende sider indeholder diverse tabeller og figurer.

Appendix A: Stationsliste

Appendix B: Observeret statistik

Appendix C: HIR stations-statistik

Appendix D: UKM stations-statistik

Appendix E: Højvande og HIR prognosefejl

Appendix F: Højvande og UKM prognosefejl

Appendix G: Beregningsmetode

A - Stationsliste

| Station | Nummer | Position | Region | Ejer |
|---------------------|--------|-----------------|------------|------|
| 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 | L |
| Hals | 20262 | 56°59'N 10°19'E | Kattegat | L |
| Aalborg Øst | 20303 | 57°03'N 09°56'E | Limfjorden | L |
| Rønbjerg | 20412 | 56°53'N 09°10'E | Limfjorden | L |
| Løgstør | 20423 | 56°58'N 09°15'E | Limfjorden | L |
| Hanstholm | 21009 | 57°07'N 08°36'E | Skagerrak | DMI |
| Thisted | 21058 | 56°57'N 08°42'E | Limfjorden | L |
| Skive | 21191 | 56°34'N 09°03'E | Limfjorden | L |
| 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 |
| Fredericia | 23293 | 55°34'N 09°45'E | Bælthavet | DMI |
| Kolding | 23322 | 55°30'N 09°29'E | Bælthavet | L |
| Thyborøn Kyst | 24006 | 56°42'N 08°13'E | Vestkysten | KDI |
| Ferring | 24018 | 56°32'N 08°07'E | Vestkysten | KDI |
| Lemvig | 24032 | 56°33'N 08°18'E | Limfjorden | L |
| Torsminde Kyst | 24122 | 56°22'N 08°07'E | Vestkysten | KDI |
| Hvide Sande Kyst | 24342 | 56°00'N 08°08'E | Vestkysten | KDI |
| Esbjerg | 25149 | 55°28'N 08°26'E | Vadehavet | DMI |
| Ribe Kammersluse *) | 25343 | 55°20'N 08°41'E | Vadehavet | KDI |
| Mandø *) | 25346 | 55°17'N 08°35'E | Vadehavet | KDI |
| Haderslev | 26088 | 55°15'N 09°31'E | V. Østersø | KDI |
| Havneby | 26136 | 55°05'N 08°34'E | Vadehavet | KDI |
| Brøns *) | 26143 | 55°11'N 08°41'E | Vadehavet | KDI |
| Åbenrå | 26239 | 55°03'N 09°26'E | V. Østersø | L |
| Ballum Sluse *) | 26346 | 55°08'N 08°41'E | Vadehavet | KDI |
| Vidå Sluse *) | 26359 | 54°58'N 08°40'E | Vadehavet | DMI |
| Fynshav | 26457 | 55°00'N 09°59'E | V. Østersø | DMI |
| Sonderborg | 26473 | 54°55'N 09°47'E | V. Østersø | KDI |
| Ballen | 27084 | 55°49'N 10°38'E | Kattegat | FRV |
| Bogense | 28003 | 55°34'N 10°05'E | Kattegat | KDI |
| Odense Fjord | 28086 | 55°43'N 10°42'E | Bælthavet | L |
| Slipshavn | 28234 | 55°17'N 10°50'E | Bælthavet | DMI |
| Assens | 28366 | 55°16'N 09°53'E | V. Østersø | KDI |
| Faaborg | 28397 | 55°06'N 10°15'E | V. Østersø | KDI |
| 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 |
| København | 30336 | 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 | V. Østersø | FRV |
| Karrebæksminde | 31171 | 55°11'N 11°39'E | Bælthavet | KDI |
| Kalvehave | 31244 | 55°00'N 12°10'E | V. Østersø | KDI |
| Hesnæs | 31493 | 54°49'N 12°08'E | V. Østersø | FRV |
| Rødby | 31573 | 54°39'N 11°21'E | V. Østersø | DMI |
| Gedser | 31616 | 54°34'N 11°56'E | V. Østersø | DMI |
| Tejn | 32048 | 55°15'N 14°50'E | Østersø | DMI |
| Rønne | 32096 | 55°06'N 14°41'E | Østersø | FRV |

Tabel 4. Vandstandsstationer, 2002. Ansvarshavende DMI=Danmarks Meteorologiske Institut; KDI=Kystdirektoratet, FRV=Farvandsvæsenet, L=lokal myndighed. *) = slusestation.

B - Observeret statistik

| Station | Lavest cm | Middel cm | Højest cm | St.dev cm | mgl. % |
|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------|
| Skagen | -89 | -6 | 99 | 23 | 0 |
| Hirtshals | -107 | -7 | 102 | 26 | 0 |
| Frederikshavn | -90 | -8 | 95 | 22 | 0 |
| Hals Barre | -76 | -10 | 106 | 23 | 14 |
| Hals | -66 | -1 | 91 | 19 | 29 |
| Aalborg Øst | -62 | -3 | 92 | 16 | 34 |
| Rønbjerg | -71 | 15 | 140 | 40 | 41 |
| Løgstør | -69 | 12 | 145 | 33 | 6 |
| Hanstholm | -125 | -10 | 110 | 31 | 0 |
| Thisted | -75 | 10 | 128 | 32 | 1 |
| Skive | -71 | 12 | 138 | 32 | 1 |
| Grenå | -97 | -2 | 117 | 24 | 4 |
| Århus | -93 | 6 | 113 | 21 | 0 |
| Juelsminde | -96 | 11 | 105 | 23 | 10 |
| Fredericia | -109 | 3 | 80 | 17 | 4 |
| Kolding | -97 | 20 | 155 | 20 | 1 |
| Thyborøn | -116 | 9 | 212 | 38 | 5 |
| Ferring | -118 | 10 | 235 | 41 | 3 |
| Lemvig | -76 | 13 | 149 | 31 | 3 |
| Torsminde Kyst | -128 | 11 | 243 | 43 | 2 |
| Hvide Sande Kyst | -145 | 8 | 246 | 47 | 1 |
| Esbjerg | -238 | 12 | 336 | 70 | 0 |
| Ribe Kammersluse | -123 | 23 | 398 | 67 | 1 |
| Mandø | -72 | 21 | 374 | 61 | 1 |
| Haderslev | -136 | 6 | 154 | 23 | 1 |
| Havneby | -257 | 10 | 347 | 75 | 1 |
| Brøns | 17 | 59 | 416 | 36 | 1 |
| Åbenrå | -124 | 13 | 170 | 25 | 2 |
| Ballum Sluse | -21 | 49 | 379 | 48 | 1 |
| Vidå Sluse | -80 | 32 | 369 | 61 | 3 |
| Fynshav | -109 | 10 | 160 | 23 | 2 |
| Sønderborg | -115 | 8 | 158 | 24 | 1 |
| Ballen | -78 | 10 | 101 | 20 | 1 |
| Bogense | -97 | 7 | 117 | 23 | 2 |
| Odense Fjord | -101 | 8 | 150 | 25 | 1 |
| Slipshavn | -75 | 10 | 95 | 22 | 2 |
| Assens | -112 | 8 | 156 | 22 | 1 |
| Fåborg | -114 | 12 | 161 | 23 | 1 |
| Spodsbjerg | -93 | 1 | 123 | 19 | 0 |
| Sj. Odde | -92 | 5 | 91 | 20 | 2 |
| Korsør | -68 | 9 | 96 | 19 | 2 |
| Hornbæk | -117 | 6 | 136 | 25 | 1 |
| København | -77 | 14 | 121 | 20 | 0 |
| Nordre Røse | -70 | 11 | 102 | 20 | 20 |
| Drogden | -87 | 8 | 127 | 22 | 2 |
| Rødvig | -109 | 10 | 139 | 23 | 0 |
| Karrbæksminde | -66 | 10 | 109 | 20 | 1 |
| Kalvehave | -56 | 13 | 131 | 21 | 1 |
| Hesnæs | -116 | 13 | 152 | 24 | 0 |
| Rødby | -106 | 10 | 157 | 24 | 0 |
| Gedser | -102 | 15 | 166 | 24 | 0 |
| Tejn | -70 | 5 | 113 | 24 | 1 |
| Rønne | -78 | -1 | 108 | 23 | 0 |

Tabel 5. Observeret vandstand, 2002.

C - Stationsstatistik (HIR)

| Station | bias cm | rms cm | cc | ev | pe cm | pe% % |
|------------------|------------|-----------|------|-------|----------|----------|
| Skagen | -7 | 13 | 0.87 | 0.66 | -21 | -25 |
| Hirtshals | -5 | 12 | 0.90 | 0.78 | -18 | -22 |
| Frederikshavn | -1 | 12 | 0.86 | 0.73 | -15 | -20 |
| Hals Barre | 10 | 16 | 0.84 | 0.52 | -20 | -26 |
| Hals | -2 | 18 | 0.73 | 0.11 | -15 | -20 |
| Aalborg Øst | 2 | 17 | 0.75 | -0.16 | -2 | 1 |
| Rønbjerg | 1 | 16 | 0.83 | 0.83 | 8 | 8 |
| Løgstør | -2 | 15 | 0.94 | 0.79 | 20 | 18 |
| Hanstholm | 2 | 12 | 0.93 | 0.84 | -17 | -18 |
| Thisted | -0 | 15 | 0.92 | 0.78 | 13 | 13 |
| Skive | -2 | 15 | 0.92 | 0.78 | 17 | 15 |
| Grenå | 3 | 13 | 0.86 | 0.72 | -23 | -25 |
| Århus | -9 | 15 | 0.82 | 0.50 | -35 | -40 |
| Juelsminde | -13 | 21 | 0.77 | 0.13 | -37 | -41 |
| Fredericia | -2 | 16 | 0.61 | 0.17 | -20 | -31 |
| Kolding | -5 | 13 | 0.83 | 0.58 | -13 | -12 |
| Thyborøn | -6 | 15 | 0.93 | 0.85 | -12 | -8 |
| Ferring | -5 | 14 | 0.94 | 0.87 | -24 | -14 |
| Lemvig | -5 | 16 | 0.93 | 0.72 | 13 | 11 |
| Torsminde Kyst | -6 | 15 | 0.95 | 0.87 | -44 | -25 |
| Hvide Sande Kyst | -1 | 14 | 0.96 | 0.92 | -26 | -15 |
| Esbjerg | -9 | 17 | 0.98 | 0.94 | -16 | -6 |
| Ribe Kammersluse | -7 | 25 | 0.94 | 0.86 | -1 | 0 |
| Mandø | 0 | 30 | 0.87 | 0.76 | -17 | -7 |
| Haderslev | -10 | 20 | 0.79 | 0.28 | -20 | -22 |
| Havneby | -6 | 18 | 0.97 | 0.94 | -10 | -5 |
| Brøns | -40 | 49 | 0.84 | -0.92 | -16 | -5 |
| Åbenrå | -2 | 13 | 0.88 | 0.73 | -12 | -11 |
| Ballum Sluse | -8 | 25 | 0.88 | 0.74 | -10 | -4 |
| Vidå Sluse | -14 | 26 | 0.96 | 0.82 | -8 | -3 |
| Fynshav | -8 | 14 | 0.88 | 0.63 | -15 | -16 |
| Sønderborg | -8 | 14 | 0.90 | 0.66 | -17 | -18 |
| Ballen | -9 | 14 | 0.83 | 0.49 | -31 | -37 |
| Bogense | -7 | 16 | 0.81 | 0.49 | -36 | -39 |
| Odense Fjord | -9 | 20 | 0.77 | 0.39 | -44 | -44 |
| Slipshavn | -14 | 18 | 0.85 | 0.30 | -42 | -50 |
| Assens | -9 | 17 | 0.82 | 0.43 | -17 | -21 |
| Fåborg | -11 | 15 | 0.90 | 0.55 | -17 | -17 |
| Spodsbjerg | -9 | 13 | 0.84 | 0.50 | -28 | -35 |
| Sj. Odde | -6 | 11 | 0.88 | 0.70 | -19 | -24 |
| Korsør | -4 | 12 | 0.82 | 0.60 | -13 | -18 |
| Hornbæk | -5 | 14 | 0.85 | 0.68 | -26 | -27 |
| København | -17 | 20 | 0.87 | 0.01 | -37 | -41 |
| Nordre Røse | -1 | 9 | 0.88 | 0.77 | -11 | -13 |
| Drogden | -9 | 13 | 0.91 | 0.65 | -16 | -17 |
| Rødvig | -12 | 16 | 0.92 | 0.54 | -16 | -17 |
| Karrbæksminde | -6 | 14 | 0.83 | 0.48 | -7 | -8 |
| Kalvehave | -5 | 10 | 0.90 | 0.76 | -14 | -15 |
| Hesnæs | -12 | 15 | 0.92 | 0.59 | -20 | -20 |
| Rødby | -7 | 12 | 0.92 | 0.76 | -19 | -19 |
| Gedser | -13 | 16 | 0.92 | 0.53 | -21 | -20 |
| Tejn | -11 | 13 | 0.94 | 0.69 | -17 | -21 |
| Rønne | -8 | 12 | 0.93 | 0.73 | -14 | -18 |

Table 6. HIR statistics for each station, averaged over forecast lengths from 0-48 hours. me=mean error or bias, rms=root mean square error, cc=correlation coefficient, ev=explained variance, pe=spatial error, pe%=spatial error in %. In Brøns the model cannot calculate the low water correction.

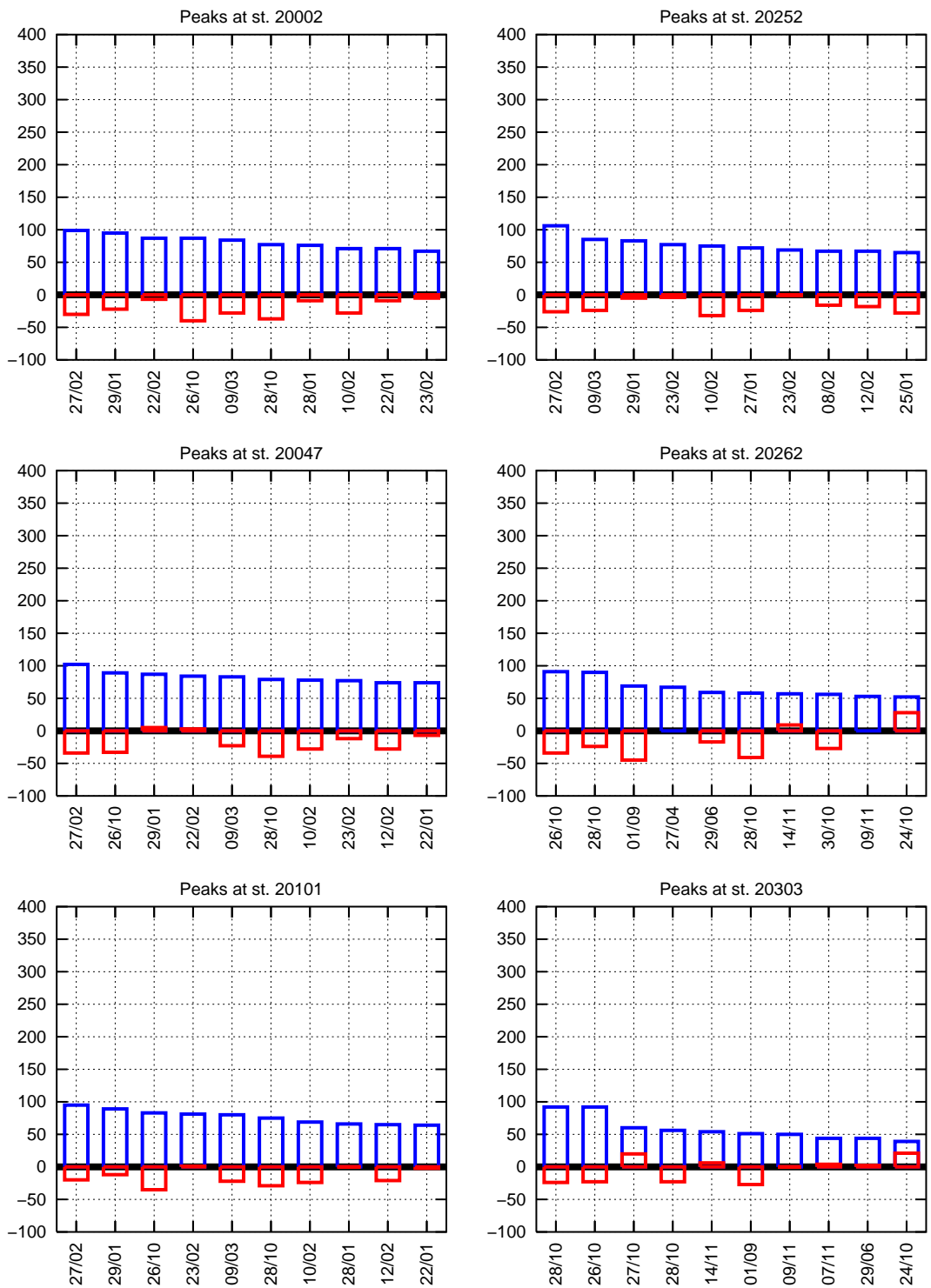
D - Stationsstatistik (UKM)

| Station | bias cm | rms cm | cc | ev | pe cm | pe% % |
|------------------|------------|-----------|------|-------|----------|----------|
| Skagen | -7 | 13 | 0.87 | 0.67 | -27 | -32 |
| Hirtshals | -5 | 12 | 0.90 | 0.79 | -25 | -30 |
| Frederikshavn | -1 | 11 | 0.86 | 0.74 | -23 | -30 |
| Hals Barre | 9 | 16 | 0.83 | 0.52 | -26 | -34 |
| Hals | -2 | 18 | 0.73 | 0.13 | -20 | -27 |
| Aalborg Øst | 2 | 17 | 0.75 | -0.12 | -7 | -7 |
| Rønbjerg | -1 | 16 | 0.84 | 0.85 | 3 | 3 |
| Løgstør | -3 | 15 | 0.95 | 0.81 | 20 | 17 |
| Hanstholm | 2 | 11 | 0.93 | 0.87 | -24 | -25 |
| Thisted | -1 | 14 | 0.93 | 0.80 | 13 | 12 |
| Skive | -3 | 14 | 0.93 | 0.80 | 14 | 13 |
| Grenå | 3 | 13 | 0.85 | 0.71 | -29 | -32 |
| Århus | -8 | 15 | 0.81 | 0.51 | -42 | -49 |
| Juelsminde | -13 | 21 | 0.76 | 0.16 | -38 | -43 |
| Fredericia | -2 | 16 | 0.59 | 0.18 | -25 | -39 |
| Kolding | -3 | 12 | 0.83 | 0.66 | -26 | -25 |
| Thyborøn | -6 | 15 | 0.94 | 0.85 | -14 | -8 |
| Ferring | -6 | 14 | 0.95 | 0.88 | -28 | -17 |
| Lemvig | -5 | 16 | 0.93 | 0.73 | 10 | 9 |
| Torsminde Kyst | -7 | 15 | 0.95 | 0.88 | -49 | -27 |
| Hvide Sande Kyst | -2 | 13 | 0.96 | 0.93 | -30 | -16 |
| Esbjerg | -10 | 17 | 0.98 | 0.94 | -27 | -11 |
| Ribe Kammersluse | -9 | 24 | 0.94 | 0.87 | -27 | -9 |
| Mandø | -1 | 30 | 0.88 | 0.76 | -30 | -11 |
| Haderslev | -8 | 17 | 0.80 | 0.49 | -32 | -32 |
| Havneby | -8 | 18 | 0.98 | 0.94 | -18 | -7 |
| Brøns | -42 | 50 | 0.83 | -0.98 | -43 | -15 |
| Åbenrå | -1 | 13 | 0.86 | 0.74 | -23 | -20 |
| Ballum Sluse | -10 | 24 | 0.88 | 0.73 | -24 | -8 |
| Vidå Sluse | -16 | 25 | 0.96 | 0.82 | -24 | -9 |
| Fynshav | -6 | 13 | 0.87 | 0.68 | -22 | -22 |
| Sønderborg | -7 | 13 | 0.89 | 0.70 | -25 | -24 |
| Ballen | -9 | 14 | 0.82 | 0.50 | -34 | -42 |
| Bogense | -6 | 16 | 0.80 | 0.49 | -36 | -41 |
| Odense Fjord | -8 | 20 | 0.75 | 0.38 | -48 | -48 |
| Slipshavn | -13 | 18 | 0.84 | 0.32 | -44 | -52 |
| Assens | -7 | 15 | 0.81 | 0.52 | -25 | -27 |
| Fåborg | -9 | 14 | 0.88 | 0.61 | -25 | -25 |
| Spodsbjerg | -8 | 13 | 0.84 | 0.54 | -33 | -39 |
| Sj. Odde | -5 | 11 | 0.88 | 0.70 | -24 | -31 |
| Korsør | -4 | 12 | 0.82 | 0.63 | -16 | -20 |
| Hornbæk | -5 | 14 | 0.84 | 0.68 | -33 | -35 |
| København | -17 | 19 | 0.86 | 0.04 | -41 | -47 |
| Nordre Røse | -1 | 9 | 0.88 | 0.77 | -19 | -23 |
| Drogden | -7 | 12 | 0.90 | 0.70 | -27 | -30 |
| Rødvig | -11 | 14 | 0.92 | 0.62 | -24 | -24 |
| Karrbæksminde | -5 | 14 | 0.80 | 0.47 | -11 | -13 |
| Kalvehave | -4 | 10 | 0.89 | 0.76 | -17 | -18 |
| Hesnæs | -10 | 14 | 0.92 | 0.66 | -28 | -25 |
| Rødby | -5 | 11 | 0.91 | 0.79 | -26 | -23 |
| Gedser | -12 | 15 | 0.92 | 0.61 | -28 | -26 |
| Tejn | -9 | 12 | 0.93 | 0.74 | -24 | -27 |
| Rønne | -7 | 11 | 0.93 | 0.77 | -22 | -28 |

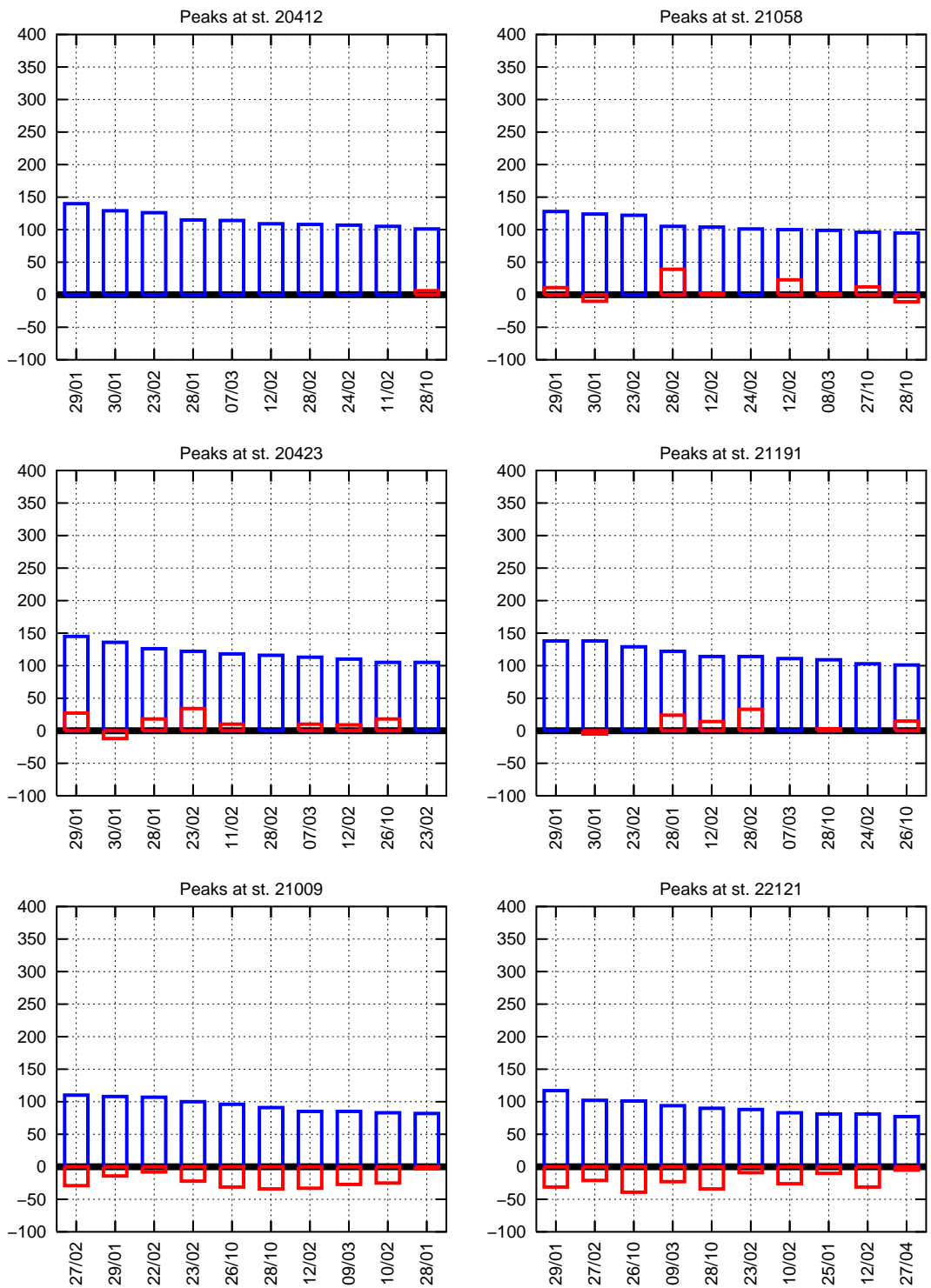
Table 7. UKM statistics for each station, averaged over forecast lengths from 0-36 hours. me=mean error or bias, rms=root mean square error, cc=correlation coefficient, ev=explained variance, pe=spatial error, pe%=spatial error in %. In Brøns the model cannot calculate the low water correction.

E - Højvande og prognosefejl (HIR)

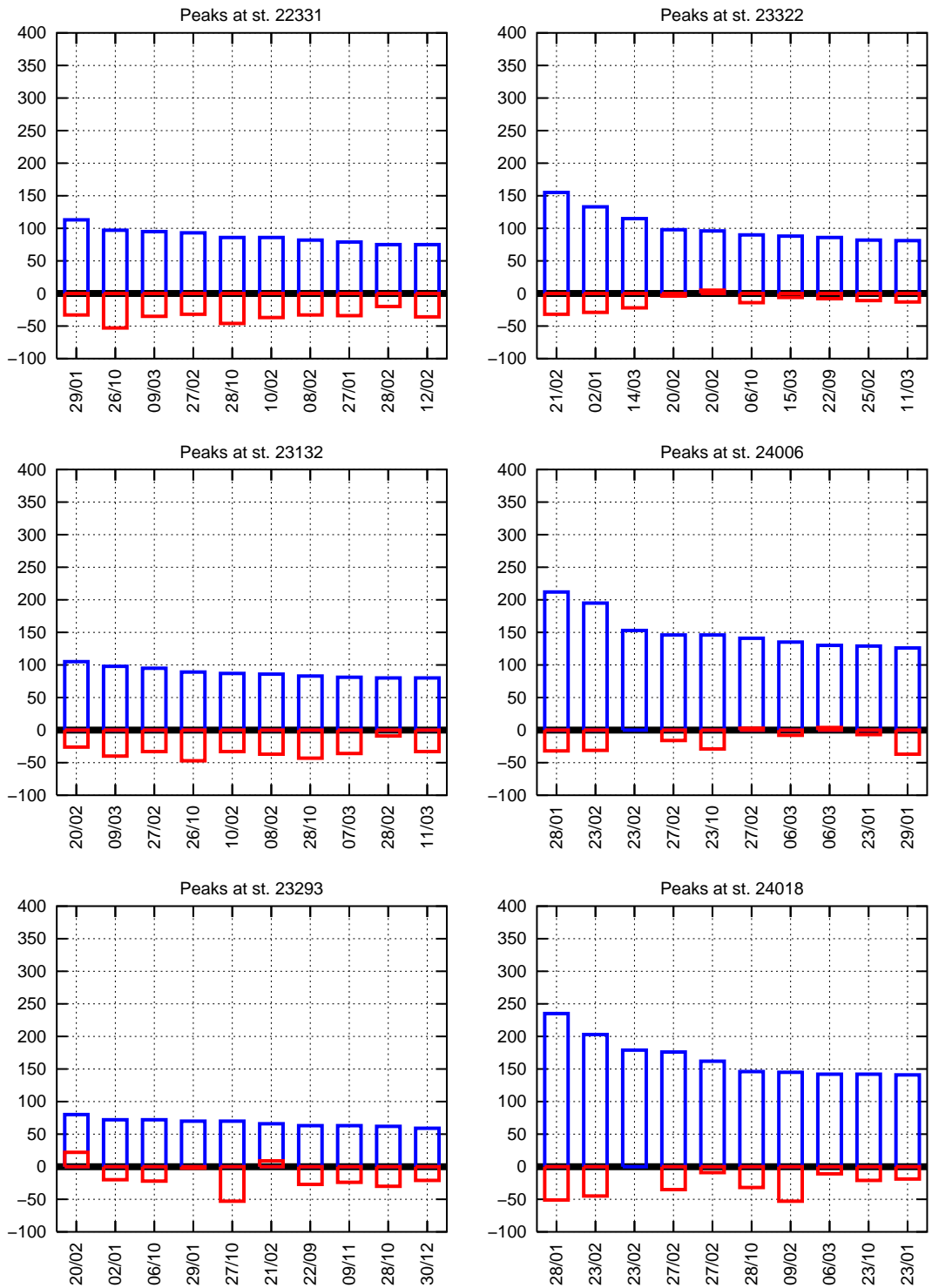
De følgende sider viser de 10 højeste højvande for hver station, samt tilhørende HIR prognosefejl med kort prognoselængde (0-6 timer). Stationsnumrene refererer til tabel 4 i Appendix A.



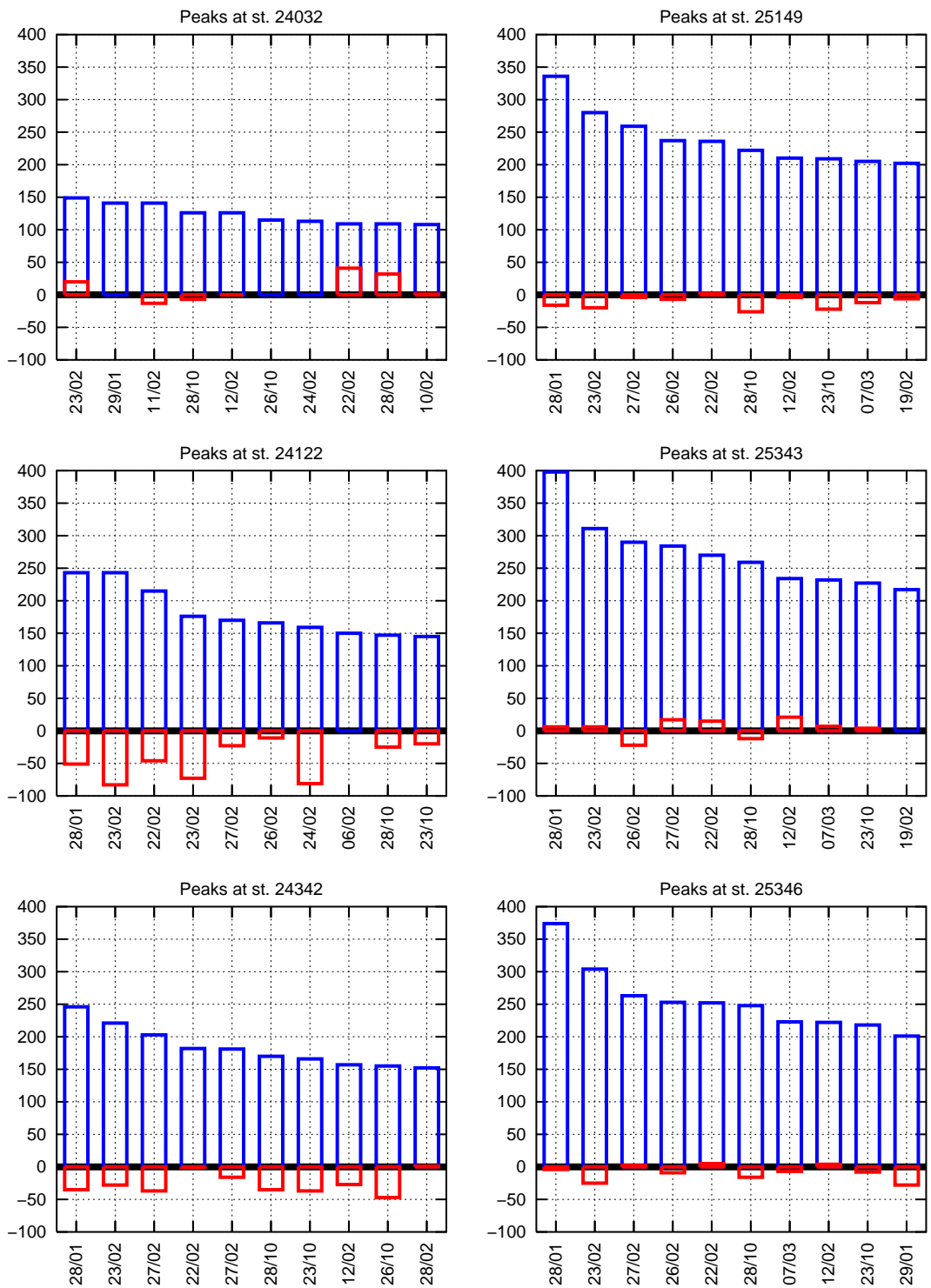
Figur 6. Højvande (blå) og tilhørende HIR prognosefejl (rød) på kort sigt, 0-6 timer.



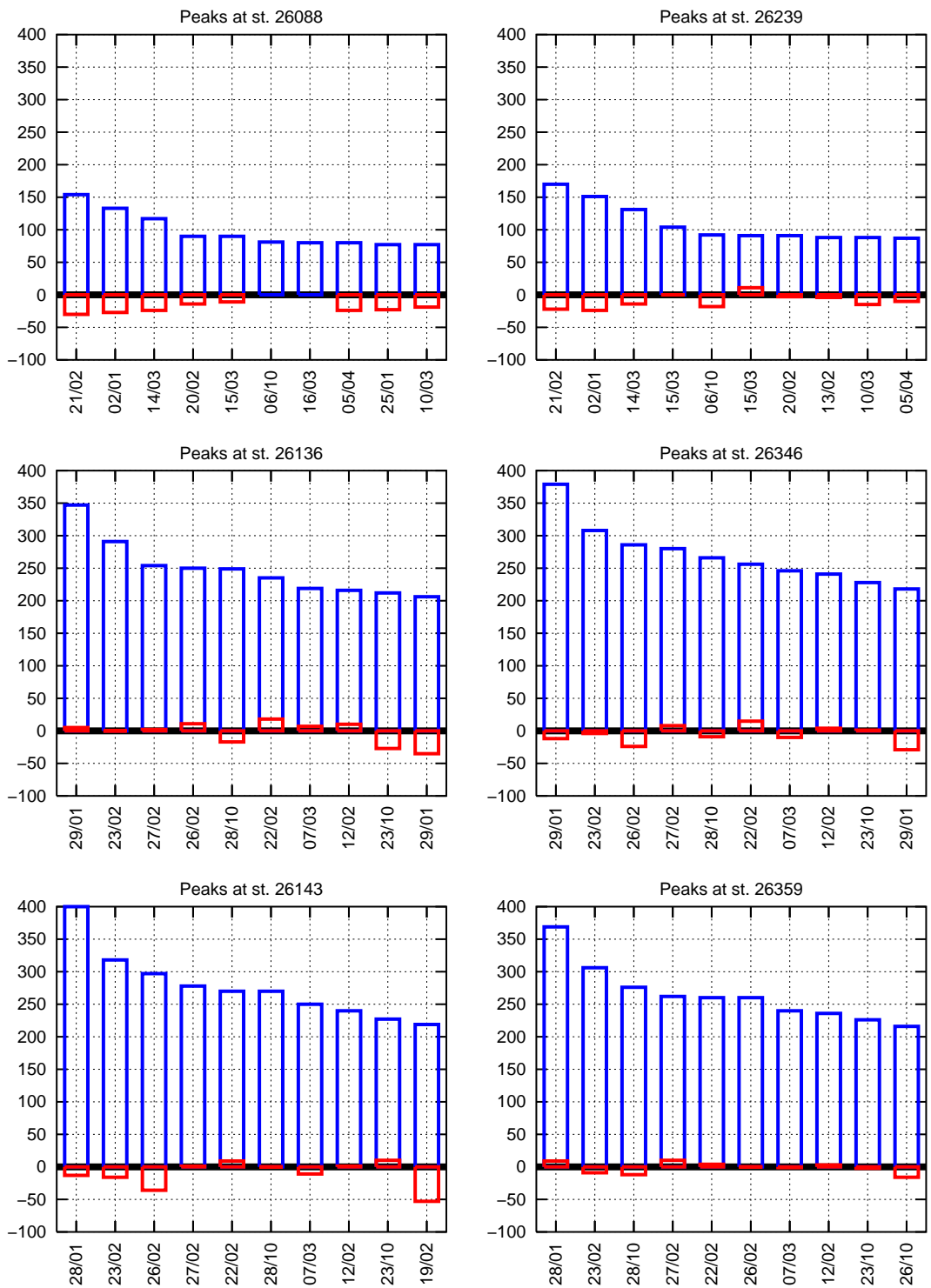
Figur 7. Højvande (blå) og tilhørende HIR prognosefejl (rød) på kort sigt, 0-6 timer. For st. 20412 foreligger ingen prognoser for første halvår.



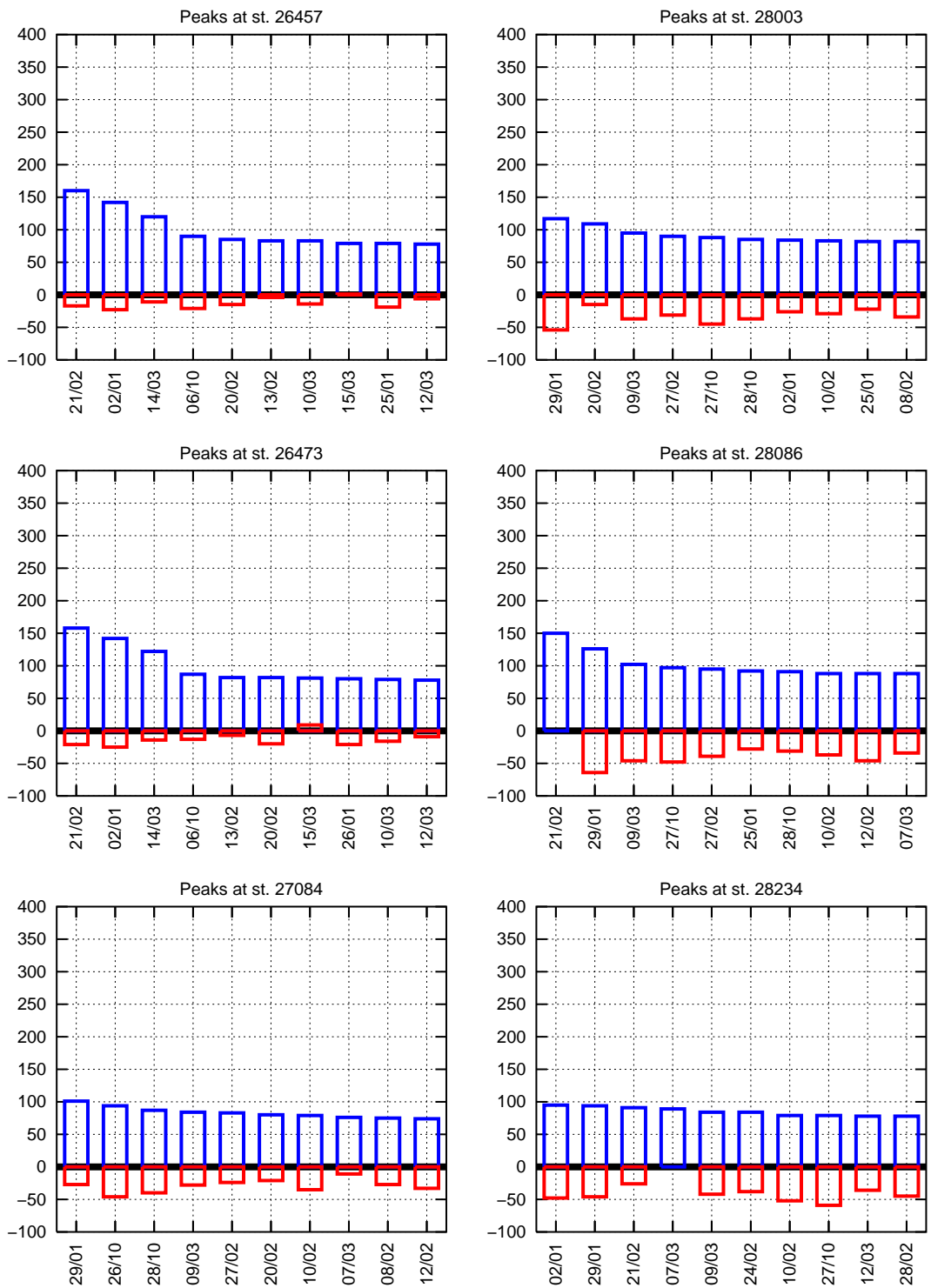
Figur 8. Højvande (blå) og tilhørende HIR prognosefejl (rød) på kort sigt, 0-6 timer.



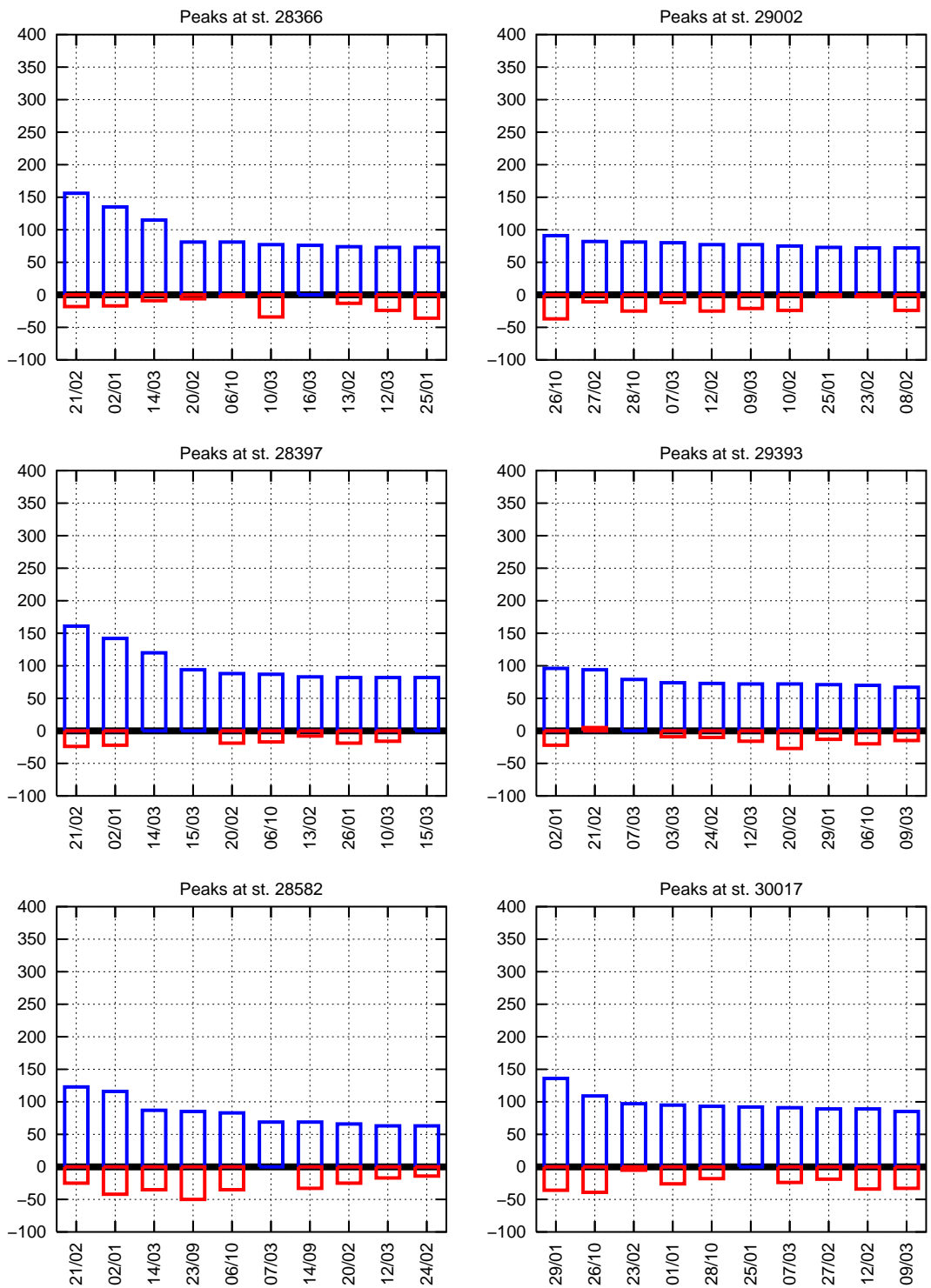
Figur 9. Højvande (blå) og tilhørende HIR prognosefejl (rød) på kort sigt, 0-6 timer.



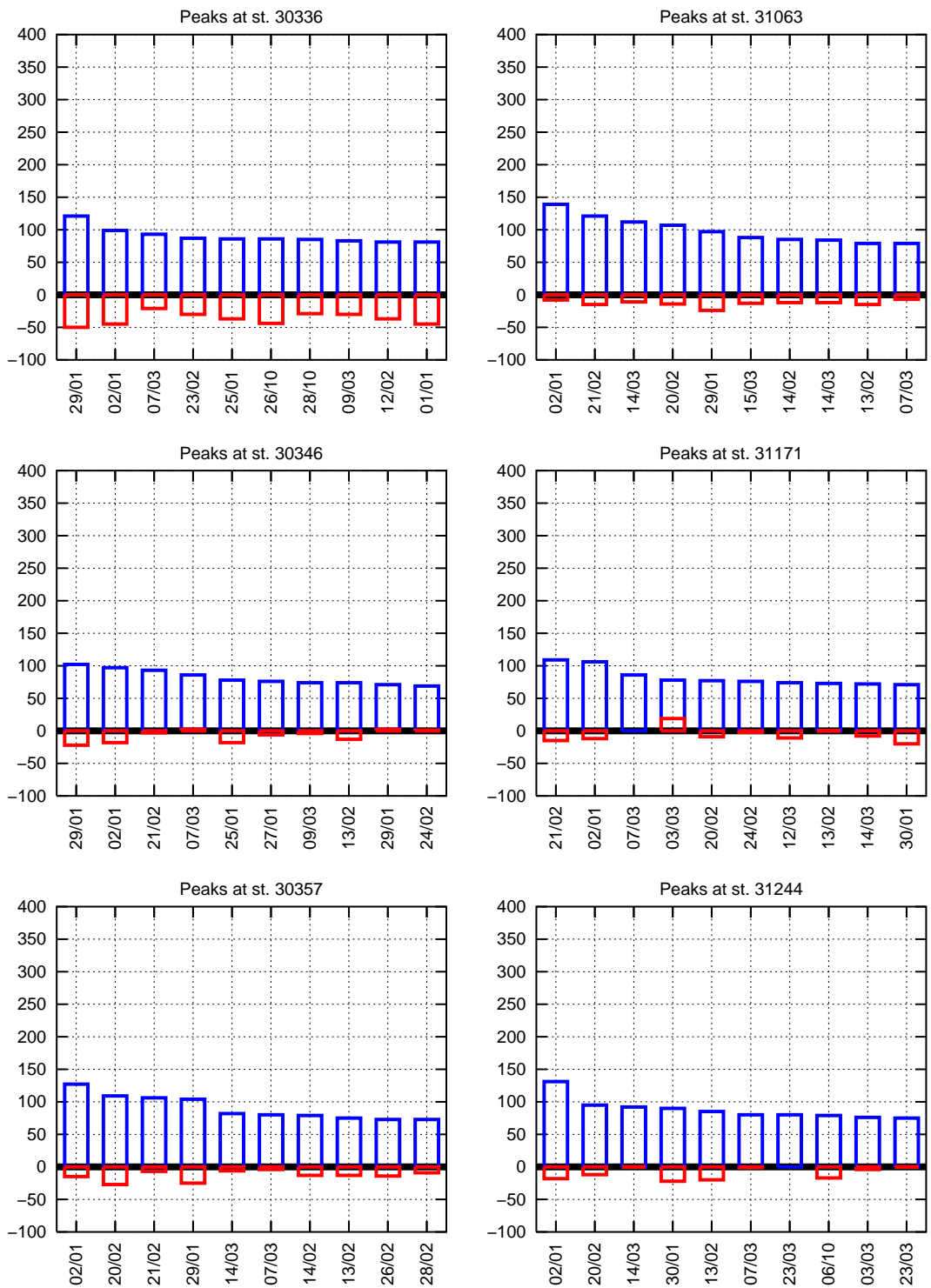
Figur 10. Højvande (blå) og tilhørende HIR prognosefejl (rød) på kort sigt, 0-6 timer.



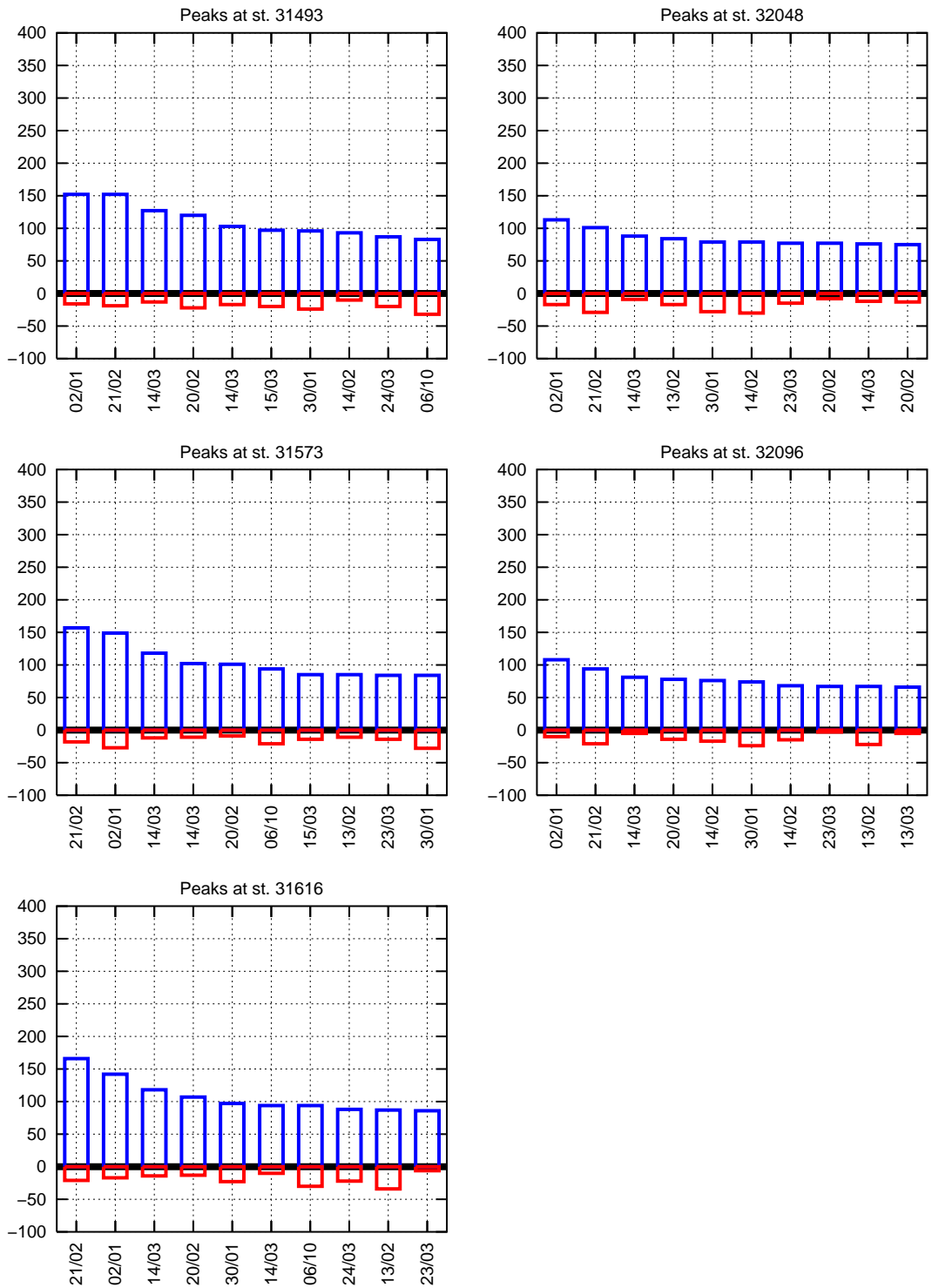
Figur 11. Højvande (blå) og tilhørende HIR prognosefejl (rød) på kort sigt, 0-6 timer.



Figur 12. Højvande (blå) og tilhørende HIR prognosefejl (rød) på kort sigt, 0-6 timer.



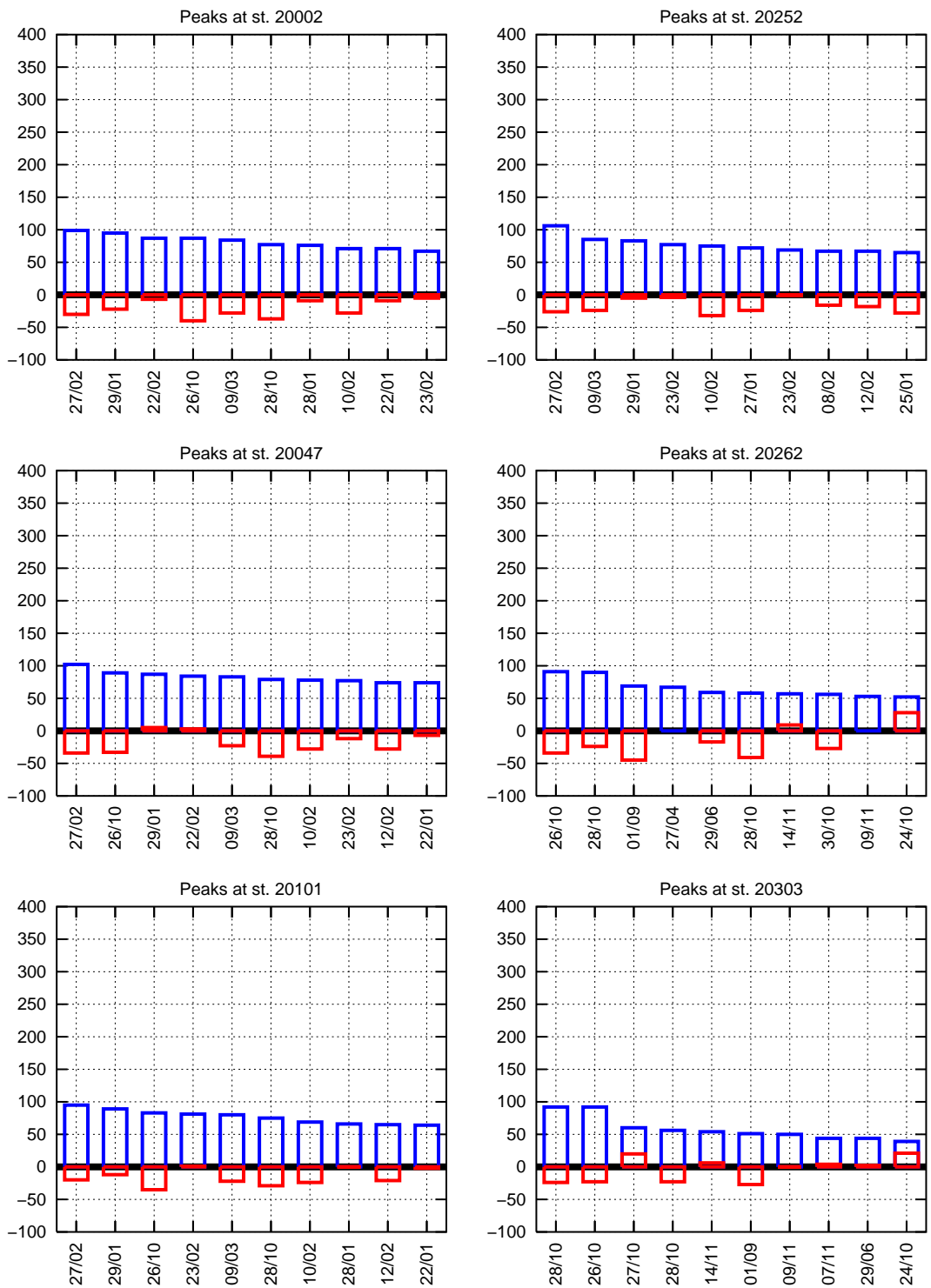
Figur 13. Højvande (blå) og tilhørende HIR prognosefejl (rød) på kort sigt, 0-6 timer.



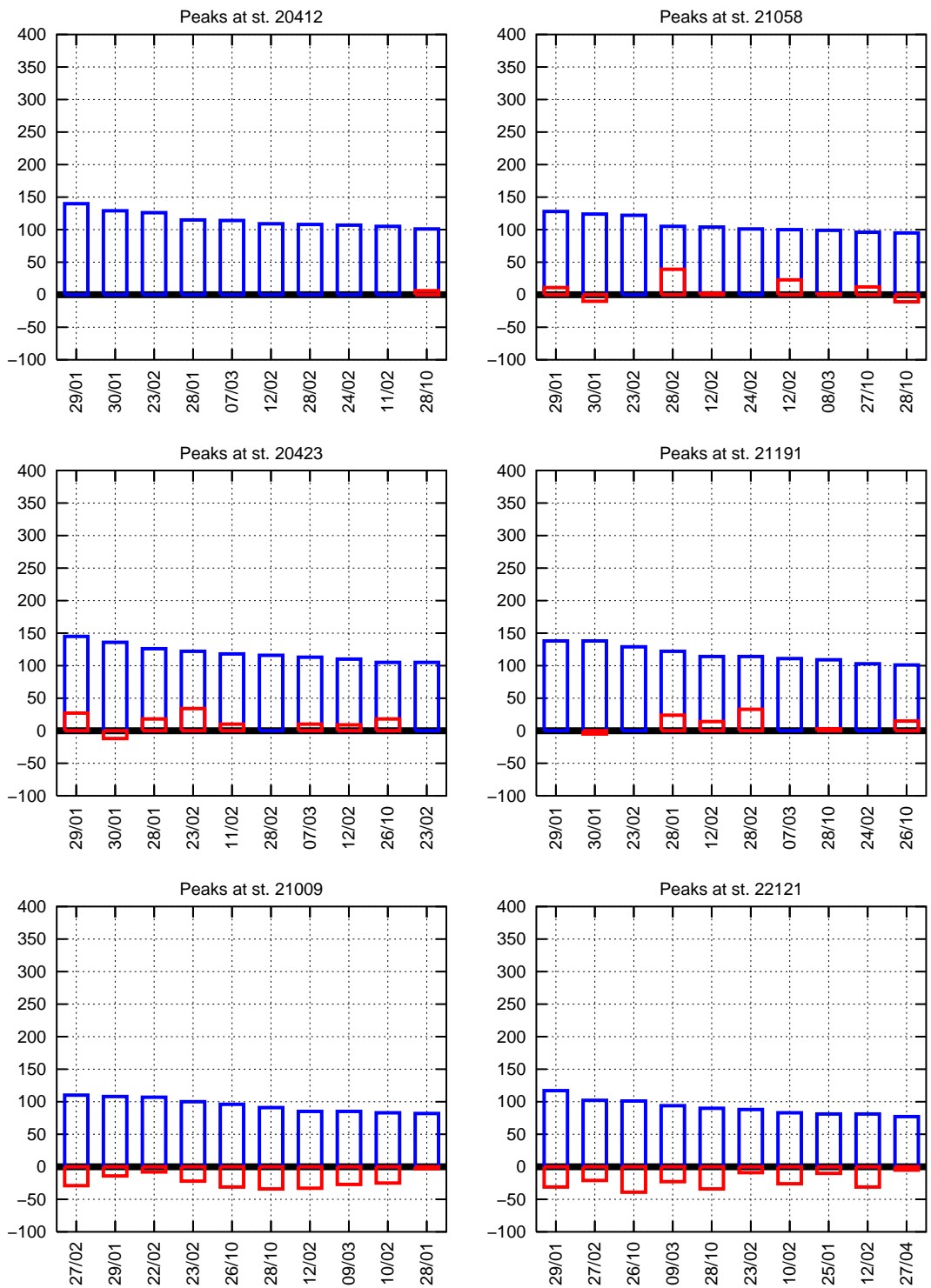
Figur 14. Højvande (blå) og tilhørende HIR prognosefejl (rød) på kort sigt, 0-6 timer.

F - Højvande og prognosefejl (UKM)

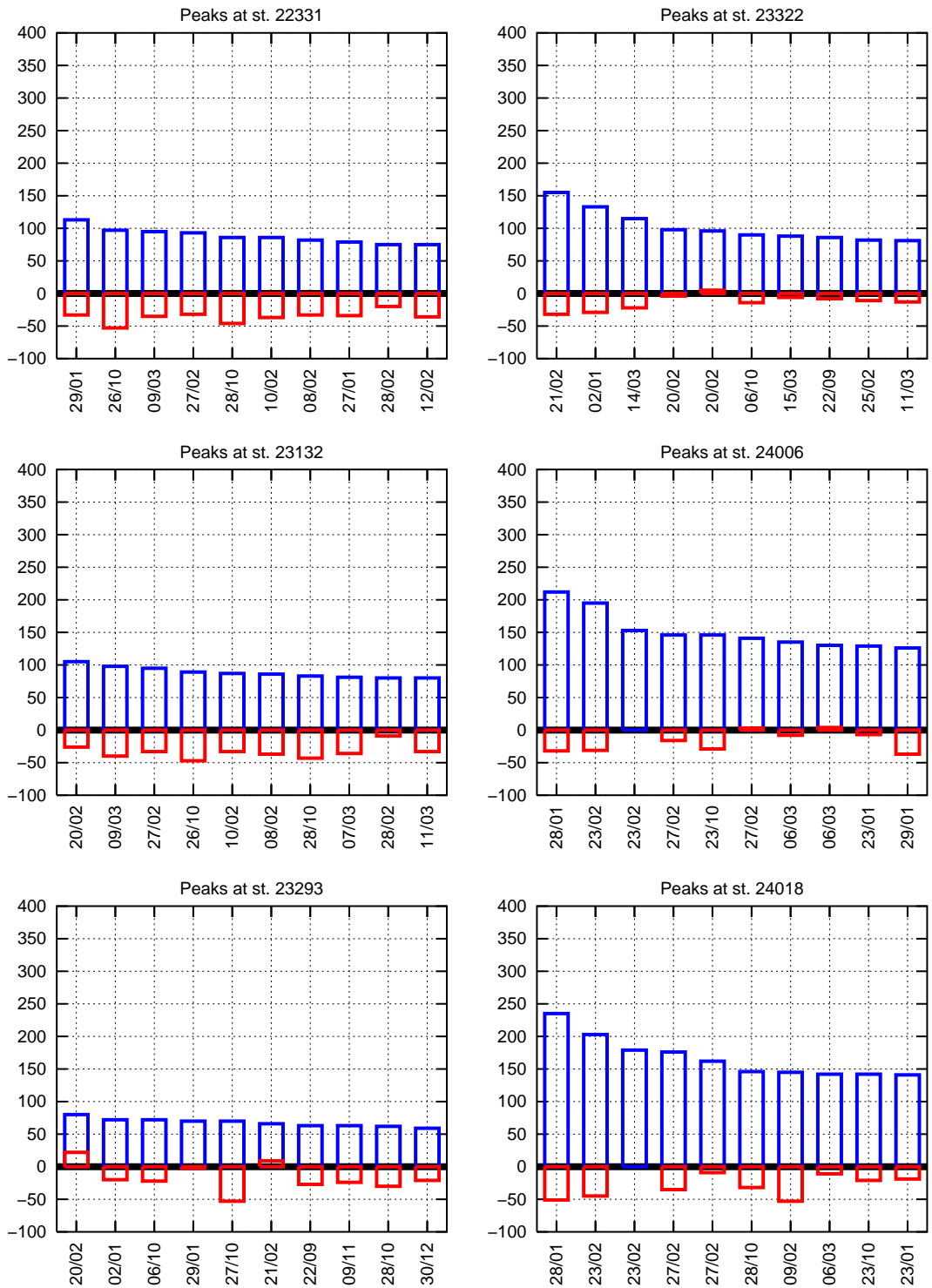
De følgende sider viser de 10 højeste højvande for hver station, samt tilhørende UKM prognosefejl med kort prognoselængde (0-12 timer). Stationsnumrene refererer til tabel 4 i Appendix A.



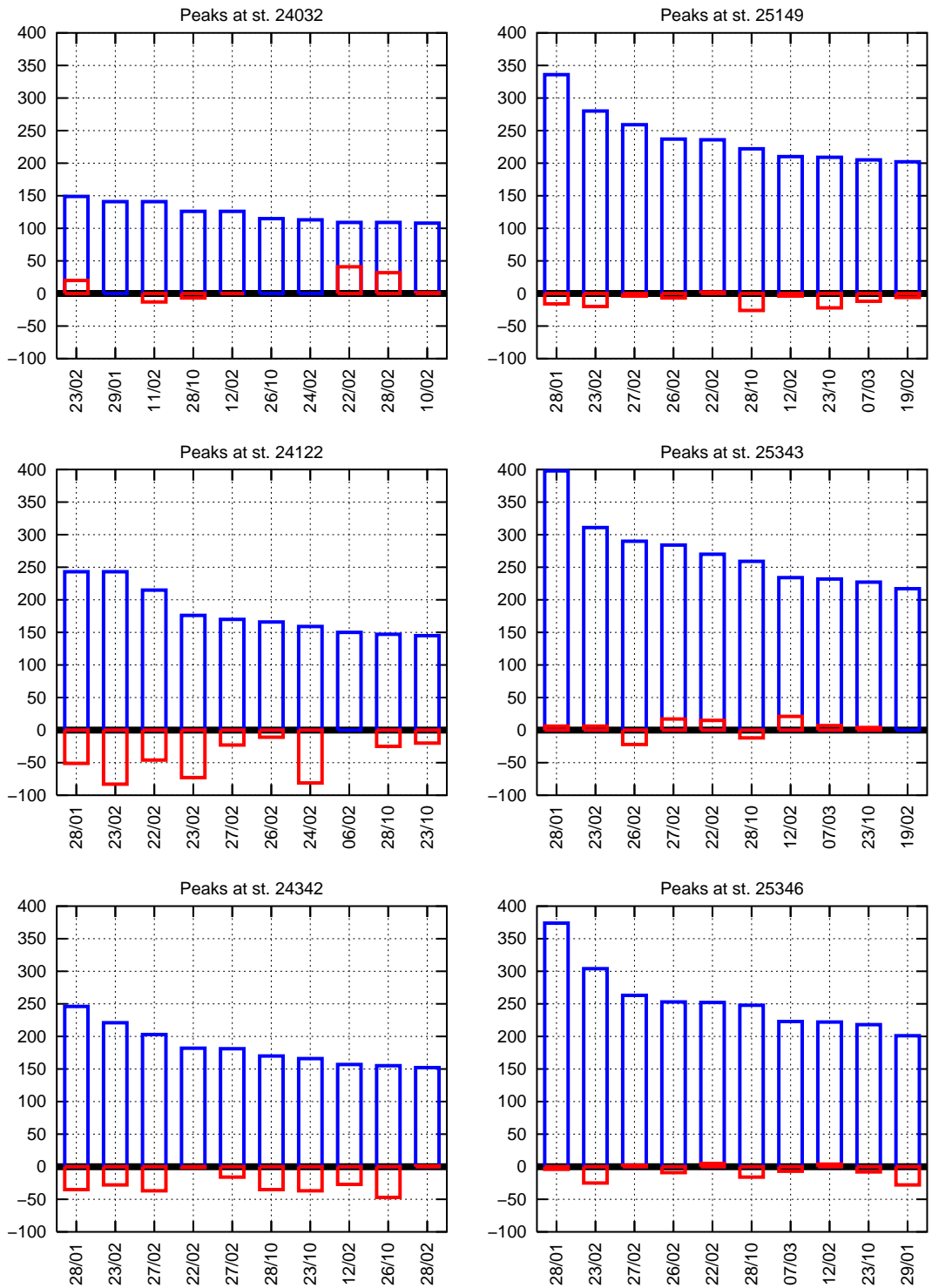
Figur 15. Højvande (blå) og tilhørende UKM prognosefejl (rød) på kort sigt, 0-12 timer.



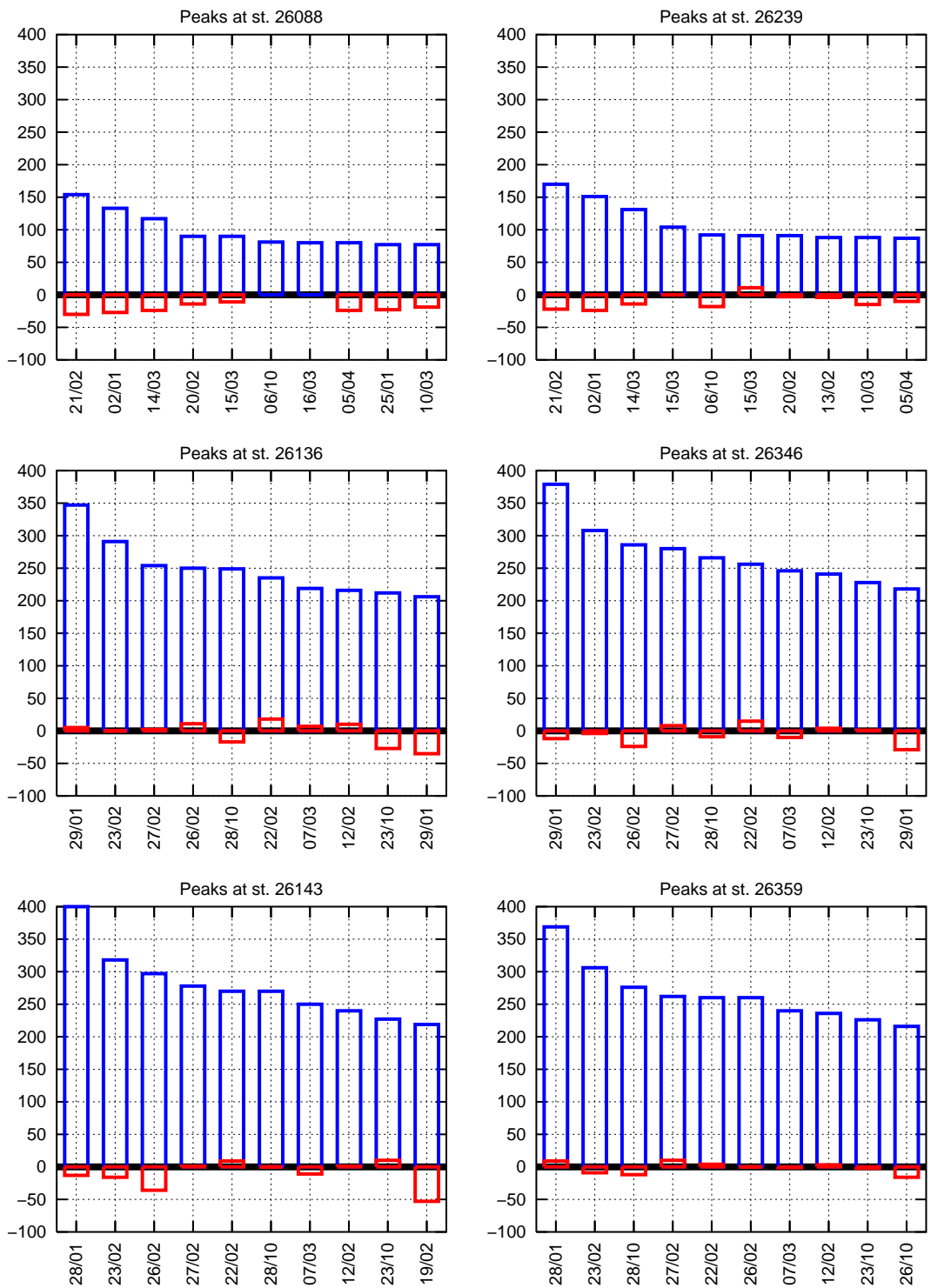
Figur 16. Højvande (blå) og tilhørende UKM prognosefejl (rød) på kort sigt, 0-12 timer. For st. 20412 foreligger ingen prognoser for første halvår.



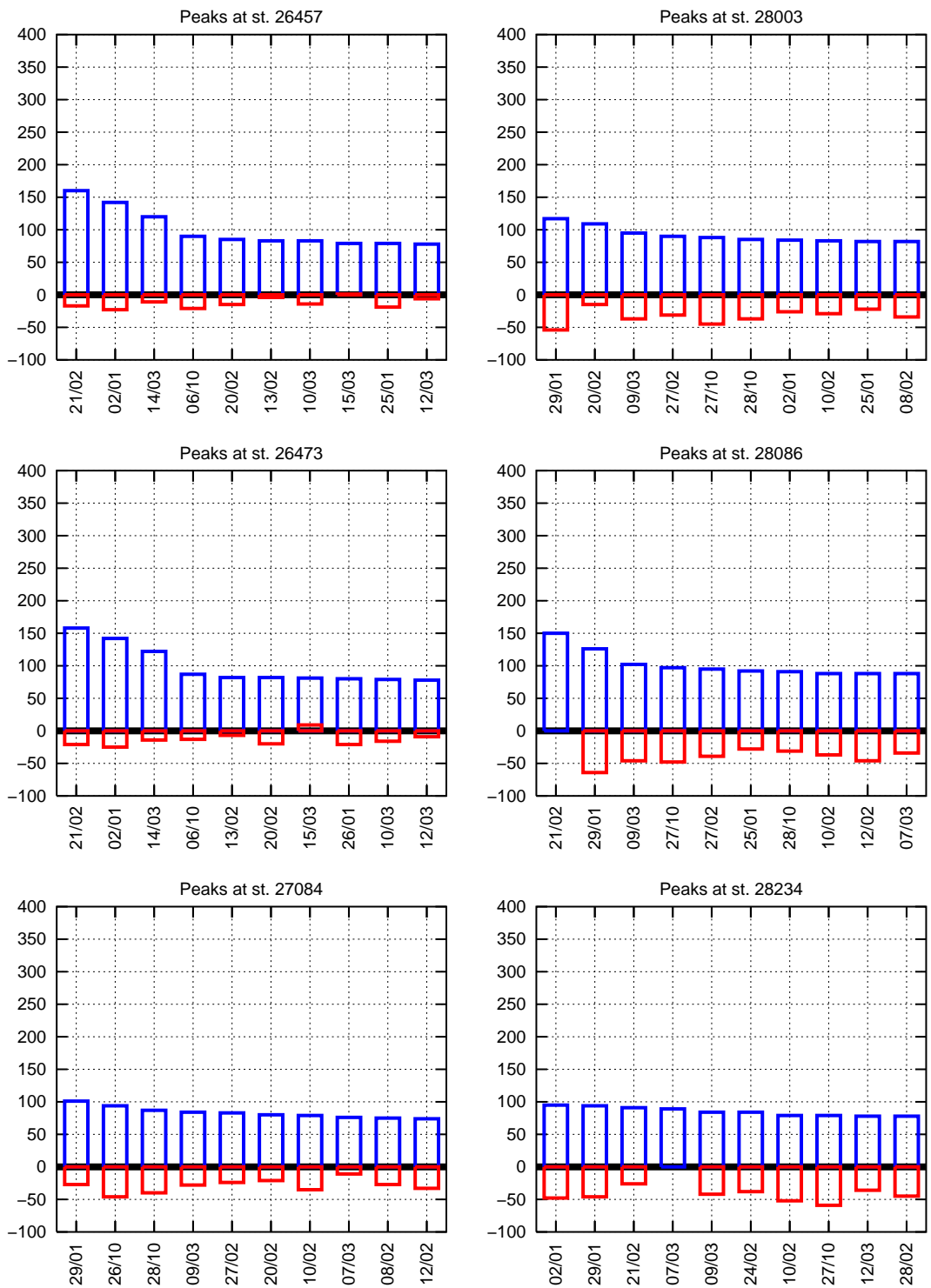
Figur 17. Højvande (blå) og tilhørende UKM prognosefejl (rød) på kort sigt, 0-12 timer.



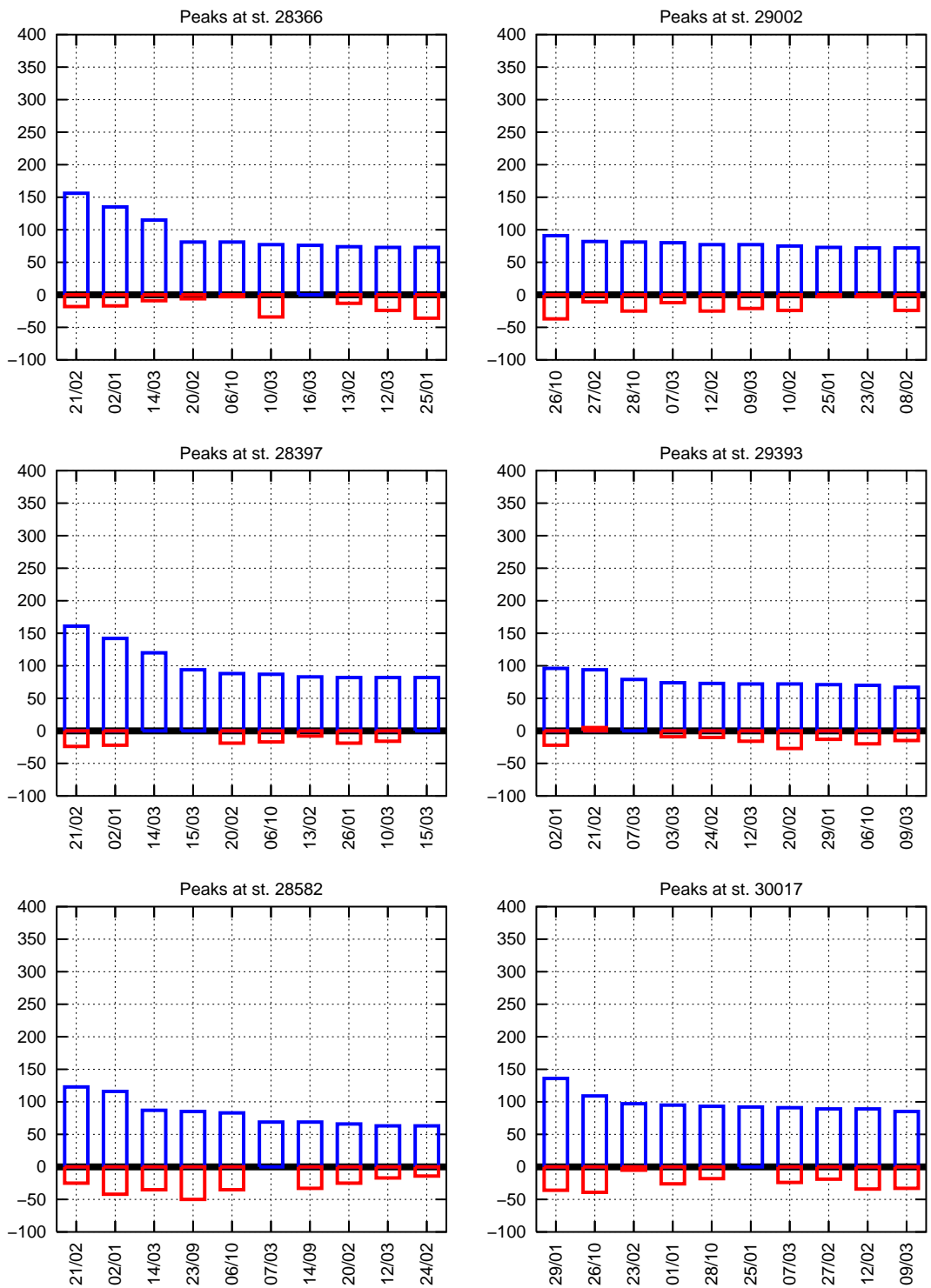
Figur 18. Højvande (blå) og tilhørende UKM prognosefejl (rød) på kort sigt, 0-12 timer.



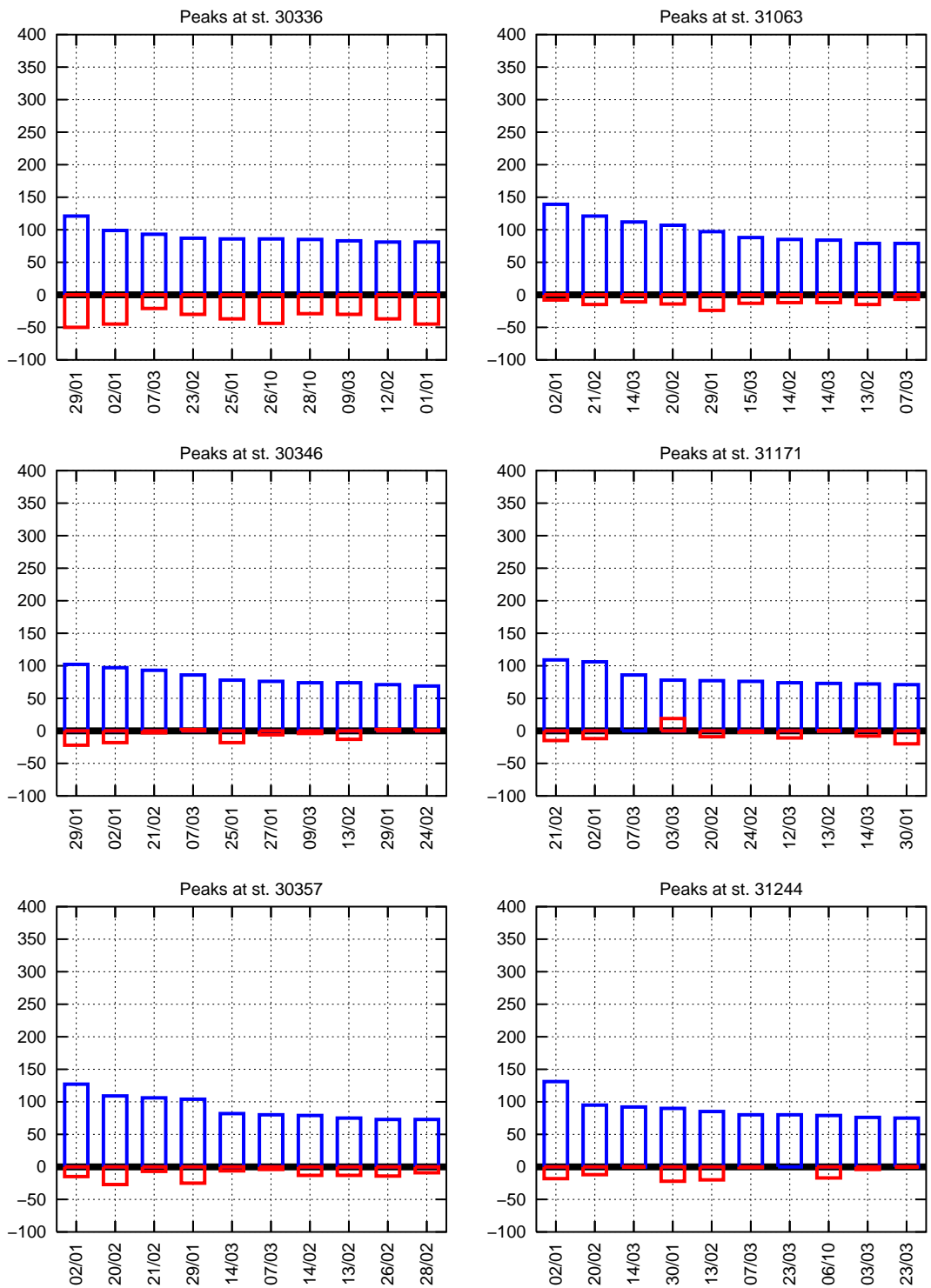
Figur 19. Højvande (blå) og tilhørende UKM prognosefejl (rød) på kort sigt, 0-12 timer.



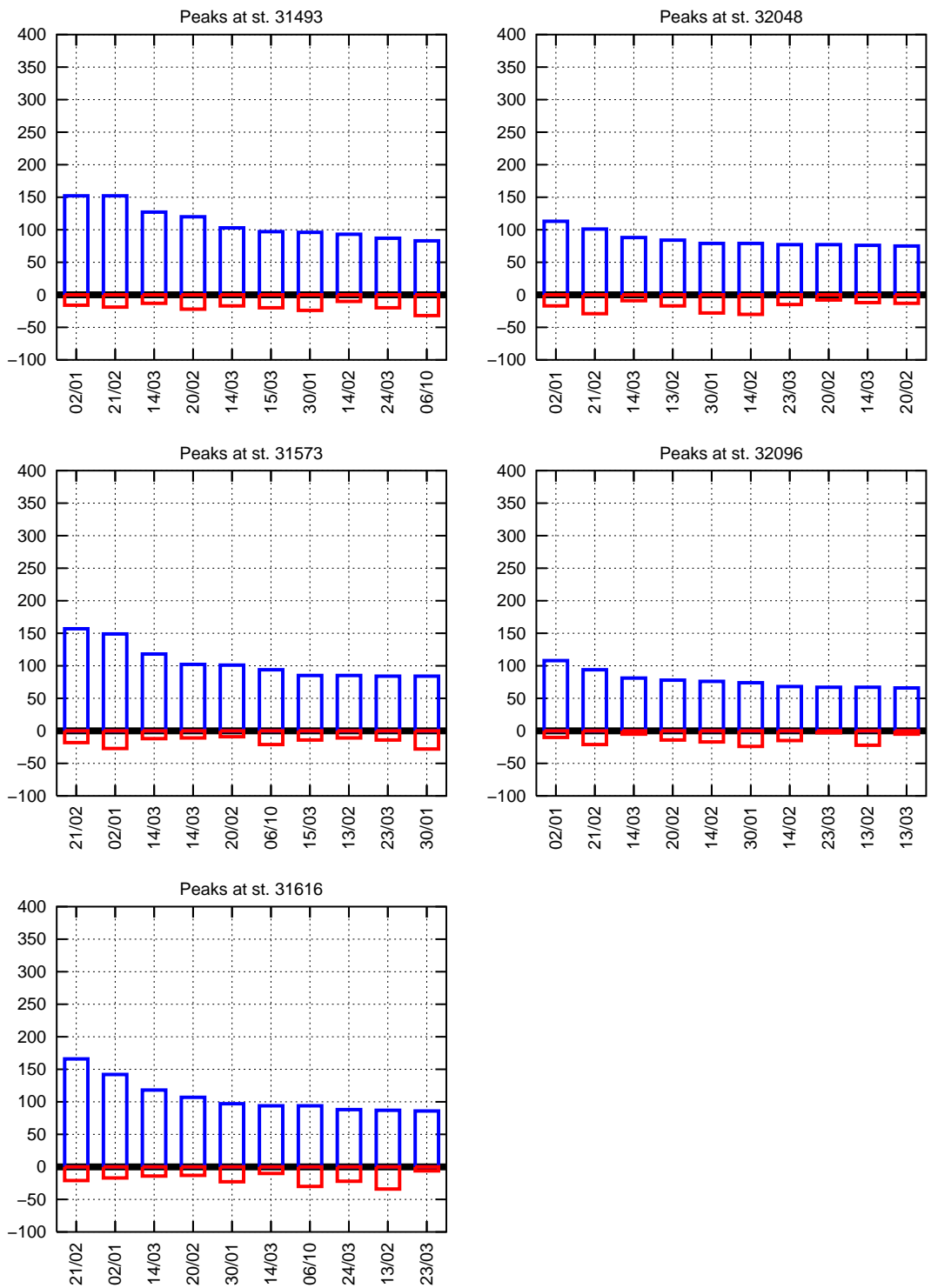
Figur 20. Højvande (blå) og tilhørende UKM prognosefejl (rød) på kort sigt, 0-12 timer.



Figur 21. Højvande (blå) og tilhørende UKM prognosefejl (rød) på kort sigt, 0-12 timer.



Figur 22. Højvande (blå) og tilhørende UKM prognosefejl (rød) på kort sigt, 0-12 timer.



Figur 23. Højvande (blå) og tilhørende UKM prognosefejl (rød) på kort sigt, 0-12 timer.

G - Beregningsmetoder

Residual

Med anvendelse af definitionen $residual = prognose - observation$ opstilles residualmatricen

$residual(station, analyse, prognoselængde)$

Matricen indeholder fejl for samtlige beregnede vandstandsprognoser. Dimensionerne er

HIR: $residual(53, 1460, 288)$

UKM: $residual(53, 730, 216)$

Ved at midle residualen over alle analyser fås modellens middelfejl eller bias:

$bias(station, prognoselængde)$

og videre midling giver modellens bias som funktion af prognoselængden (midlet over alle stationer), for hver station (midlet over prognoselængden), og som et nøgletal (midlet over hele matricen):

$bias1(prognoselængde)$

$bias2(station)$

BIAS

Tilsvarende beregnes rms fejl ud fra kvadratet på residualen.

Forklaret varians og korrelations-koefficienter beregnes ved brug af pseudo-tidsserier for prognosen, som sammenstykket af alle 0-6 timers prognoser, hhv. alle 6-12 timers prognoser osv. Dette giver koefficienter for hver af blokkene 0-6, 6-12, 12-18, .. timers prognoselængde:

$ev(station, blok)$

$cc(station, blok)$

For UKM opsætningen anvendes i stedet 12 timers blokke.

Herefter beregnes middelværdier ($cc1, cc2..$) og nøgletal som beskrevet ovenfor.

Spidsfejl

Spidsfejl-tabellen defineres som

$spidsfejl(station, højvande, blok)$

hvor højvandene nummeres fra 1-10 og blokkene er defineret som ovenfor. Dimensionerne er

HIR: $spidsfejl(53, 10, 8)$

UKM: $spidsfejl(53, 10, 3)$

idet HIR opsætningen bruger 6 timers blokke, UKM opsætningen 12 timers blokke.

Ved at midle spidsfejlen over alle højvande fås modellens middelspidsfejl eller peak bias:

$mpe(station, blok)$

Videre midling giver modellens peak bias for hver prognoselængde-blok (midlet over alle stationer), for hver station (midlet over alle blokke), og som et nøgletal (midlet over hele tabellen):

$mpe1(blok)$

$mpe2(station)$

MPE

Der opstilles yderligere en tabel over relative spidsfejl ved at dividere hver fejl med det tilhørende højvande. Derefter beregnes relative spidsfejl $mpep, mpep1, ..$ (i %) ved at midle på samme måde som ovenfor.

Litteratur

- [1] DHI. *MIKE 21. User Guide and Reference Manual, Release 2.7*. Dansk Hydraulisk Institut, Hørsholm, Danmark, 1998.
- [2] Jacob Woge Nielsen. DMIs operationelle stormflodsvarslingssystem. version 2.0. Technical Report 01-02, Danmarks Meteorologiske Institut, 2001.
- [3] Jacob Woge Nielsen. Verifikation af vandstandsprognoser: 2000. Technical Report 01-14, Danmarks Meteorologiske Institut, 2001.
- [4] Jacob Woge Nielsen. Verifikation af vandstandsprognoser: 2001. Technical Report 02-19, Danmarks Meteorologiske Institut, 2002.
- [5] Mads Hvid Nielsen. Mike 21 kalibrering 1998-99. Technical Report 99-22, Danmarks Meteorologiske Institut, 1999.
- [6] Jesper Larsen og Jacob Woge Nielsen. Opsætning og kalibrering af Mike21 til stormflodsvarsling for Limfjorden. Technical Report 01-07, Danmarks Meteorologiske Institut, 2001.
- [7] Bent Hansen Sass, Niels Woetmann Nielsen, Jess U. Jørgensen, Bjarne Amstrup, Maryanne Kmit, and Kristian Sten Mogensen. The operational DMI-HIRLAM system - 2002-version. Teknisk Rapport 02-05, DMI, København, Danmark, 2002.
- [8] 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 | Nøgletal | 9 |
| 2 | Succesrater | 10 |
| 3 | Resultatkontrakt | 10 |
| 4 | Vandstandsstationer | 15 |
| 5 | Observeret vandstand. | 17 |
| 6 | HIR statistik for hver station | 19 |
| 7 | UKM statistik for hver station | 21 |

Figurer

| | | |
|----|---|----|
| 1 | Vandstandsmålere | 5 |
| 2 | Residual og spidsfejl | 7 |
| 3 | Residualfejl som funktion af prognoselængden | 9 |
| 4 | Spidsfejl som funktion af prognoselængden, angivet i 6 timers blokke. | 10 |
| 5 | Nøgletal, 1994-2002. | 11 |
| 6 | Højvande og HIR prognosefejl, st. 20002-20303 | 23 |
| 7 | Højvande og HIR prognosefejl, st. 20412-22121 | 24 |
| 8 | Højvande og HIR prognosefejl, st. 22331-24018 | 25 |
| 9 | Højvande og HIR prognosefejl, st. 24032-25347 | 26 |
| 10 | Højvande og HIR prognosefejl, st. 26088-26359 | 27 |
| 11 | Højvande og HIR prognosefejl, st. 26457-28234 | 28 |
| 12 | Højvande og HIR prognosefejl, st. 28366-30017 | 29 |
| 13 | Højvande og HIR prognosefejl, st. 30336-31244 | 30 |
| 14 | Højvande og HIR prognosefejl, st. 31493-32096 | 31 |
| 15 | Højvande og UKM prognosefejl, st. 20002-20303 | 33 |
| 16 | Højvande og UKM prognosefejl, st. 20412-22121 | 34 |
| 17 | Højvande og UKM prognosefejl, st. 22331-24018 | 35 |
| 18 | Højvande og UKM prognosefejl, st. 24032-25346 | 36 |
| 19 | Højvande og UKM prognosefejl, st. 26088-26359 | 37 |
| 20 | Højvande og UKM prognosefejl, st. 26457-28234 | 38 |
| 21 | Højvande og UKM prognosefejl, st. 28366-30017 | 39 |
| 22 | Højvande og UKM prognosefejl, st. 30366-31244 | 40 |
| 23 | Højvande og UKM prognosefejl, st. 31493-32096 | 41 |