

Maria Andersson

**RAPPORT NR 2017-48**

## **Modellering av lokala effekter på extrema havsvattenstånd**



*Pärbild.*

*Bilden visar upprört hav under stormen Urd, december 2016. Foto: Signild Nerheim, SMHI.*



Författare:

**Maria Andersson**

Granskningsdatum:

**2017-08-15**

Granskare:

**Signild Nerheim**

Dnr.:

**2015/1757**

Version:

**V1.0**

## **Modellering av lokala effekter på extrema havsvattenstånd**

---

Uppdragstagare

**SMHI**  
601 76 Norrköping

Projektansvarig

**Signild Nerheim**  
031 – 751 89 87  
signild.nerheim@smhi.se

---

Uppdragsgivare

**SMHI**  
601 76, Norrköping

Kontaktperson

**Åsa Sjöström**  
011 – 495 8218  
asa.sjostrom@smhi.se

---

Distribution

**SMHI**  
Sweco – Charlotta Borell Lövstedt  
DHI – Christin Eriksson

---

Klassificering

Allmän

---

Nyckelord

**Simulering, extrema havsvattenstånd, Delft3D-Flow**

---

Övrigt

---



# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>SAMMANFATTNING</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>BAKGRUND</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>SYFTE</b> .....	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>BERÄKNINGSMODELL: DELFT3D-FLOW</b> .....	<b>5</b>
<b>4.1</b>	<b>Skälderviken in mot Ängelholm</b> .....	<b>5</b>
<b>4.2</b>	<b>Fjordsystemet in mot Uddevalla</b> .....	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>DRIVDATA</b> .....	<b>10</b>
<b>6</b>	<b>KALIBRERING OCH VALIDERING</b> .....	<b>11</b>
<b>6.1</b>	<b>Skälderviken in mot Ängelholm</b> .....	<b>11</b>
6.1.1	Kalibreringsperiod - drivdata .....	11
6.1.2	Valideringsperiod - drivdata .....	13
<b>6.2</b>	<b>Fjordsystemet in mot Uddevalla</b> .....	<b>15</b>
6.2.1	Kalibreringsperiod - drivdata .....	15
6.2.2	Valideringsperiod - drivdata .....	17
<b>7</b>	<b>RESULTAT</b> .....	<b>19</b>
<b>7.1</b>	<b>Skälderviken in mot Ängelholm</b> .....	<b>19</b>
7.1.1	Kalibreringsperiod .....	19
7.1.2	Valideringsperiod .....	26
<b>7.2</b>	<b>Fjordsystemet in mot Uddevalla</b> .....	<b>33</b>
7.2.1	Kalibreringsperiod .....	33
7.2.2	Valideringsperiod .....	39
<b>8</b>	<b>DISKUSSION OCH SLUTSATSER</b> .....	<b>45</b>
<b>9</b>	<b>REFERENSER</b> .....	<b>45</b>



# 1 Sammanfattning

SMHI har under 2015-2017 ett projekt under Kunskapscentrum för klimatanpassning gällande ”Framtagande av riktlinjer för beräkning av dimensionerande havsnivåer för olika delar av Sverige för dagens och framtidens klimatförhållande”. Inom projektet har SMHI fått möjlighet att studera lokala effekter på vattenståndet. I denna delrapport studeras hur extrema havsvattenstånd förstärks lokalt i vikar och fjordsystem med hjälp av en numerisk beräkningsmodell.

Det är känt att havsvattenståndet i vikar och fjordsystem kan bli högre än vid den öppna kusten där SMHI:s mätstationer i grundnätet är placerade. Därtill har storskaliga modeller, såsom SMHI:s regionala prognosmodell HIROMB, vanligen en rumslig upplösning som inte beskriver fjordsystem eller mindre vikar särskilt väl. Det kan därför finnas behov för mer högupplösta lokala modeller för att beskriva vattenståndet på ett mer korrekt sätt.

Inom projektet har två områden med kända lokala effekter studerats, vilka är Skälderviken in mot Ängelholm respektive fjordsystemet in mot Uddevalla.

Projektet syftar till att utreda hur väl en lokal numerisk beräkningsmodell kan efterlikna verkligheten. Därtill har ett antal enklare känslighetsanalyser utförts för att belysa vilka faktorer som är av betydelse.

Slutsatserna kan sammanfattas i följande punkter:

1. De båda lokala modellerna uppvisar mycket god överensstämmelse med observerat vattenstånd vid respektive plats.
2. För att verifiera modellens tillförlitlighet är det viktigt att ha tillgång till observationer att jämföra med. Utan kontroll av modellen är det svårt att avgöra hur väl modellen efterliknar verkligheten. Det är därför viktigt att utföra mätningar om så bara för en kortare period för att ha något att jämföra mot.
3. Det har visats att kvaliteten på data vid de öppna ränderna där modellen ”kommunicerar” med omgivande hav har en betydande roll för att uppnå resultat av hög kvalitet. Mindre bra kvalitet på randvillkoret genererar resultat med sämre överensstämmelse mot observerat vattenstånd. Därtill är det viktigt att placera de öppna ränderna på ett sådant sätt att tillgång till lämplig data som randvillkor finns tillgängligt. Drivningen på randen är en av de viktigaste faktorerna för att uppnå bra resultat – särskilt om randen är belägen nära intresseområdet.
4. På vattnets fria yta drivs modellen av vinden och kvaliteten på vinddata är viktigt för att uppnå bra resultat. Inom detta projekt har främst observerade vindar från en närbelägen havsbaserad station använts men även vind- och tryckfält från analysmodellen MESAN har använts. Resultaten visar att vinddrivning som varierar i både tid och rum kan förbättra resultatet något om vindhastigheterna inte underskattas vid extrema händelser.
5. Resultaten indikerar att tredimensionella effekter har liten betydelse för de simulerade fallen. Det går dock inte att säga generellt att tredimensionella effekter inte har betydelse för vattenståndet på en specifik plats. Exempelvis kan beskrivning av strömfältet i tre dimensioner vara betydande för en annan plats än för de platser som studerats inom detta projekt.
6. I modellen kan man justera parametrar som exempelvis botten- och vindfriktion. Det har visats att resultatet inte är särskilt känsligt för bottenfriktionskoefficienterna inom de testade intervallen men viss variation förekommer. Bottenfriktionen är dock beroende av vattendjupet, vilket skulle kunna ha betydelse för en annan plats. Simuleringar med en 2 ggr högre vindfriktion jämfört med respektive referenssimulering överskattar högsta händelser med upp till 20 cm.
7. Inom fjordsystemet in mot Uddevalla förekommer flera smala passager som ställer krav på upplösningen på beräkningsnätet. Det är viktigt att kritiska områden beskrivs på ett riktigt sätt i modellen. Med högre upplösning på beräkningsnätet ökar beräkningstiden och det är inte ovanligt att man får göra en avvägning av hur högupplöst nätet behöver vara mot beräkningstiden. Med ett mer flexibelt beräkningsnät än vad som använts inom denna utredning skulle man kunna få ner beräkningstiden utan att göra avkall på beräkningsnätets upplösning. Flexibelt beräkningsnät finns inom Delft3D men det har inte testats i detta projekt.

8. För Skälderviken förekommer inga trånga passager som ställer krav på beräkningsnätets upplösning. Det kan dock vara viktigt att ha en tillräckligt bra upplösning för att beskriva området på ett bra sätt och att exempelvis strömmar kan utvecklas på ett korrekt sätt. Det har visats att beräkningsnätets upplösning har en viss men liten betydelse inom det testade intervallet och för de testade perioderna. För vissa tillfällen är det möjligt att HIROMB med sin upplösning på 1 nautisk mil eller någon annan mer storskalig modell kan vara tillräckligt bra för att fånga vissa händelser.



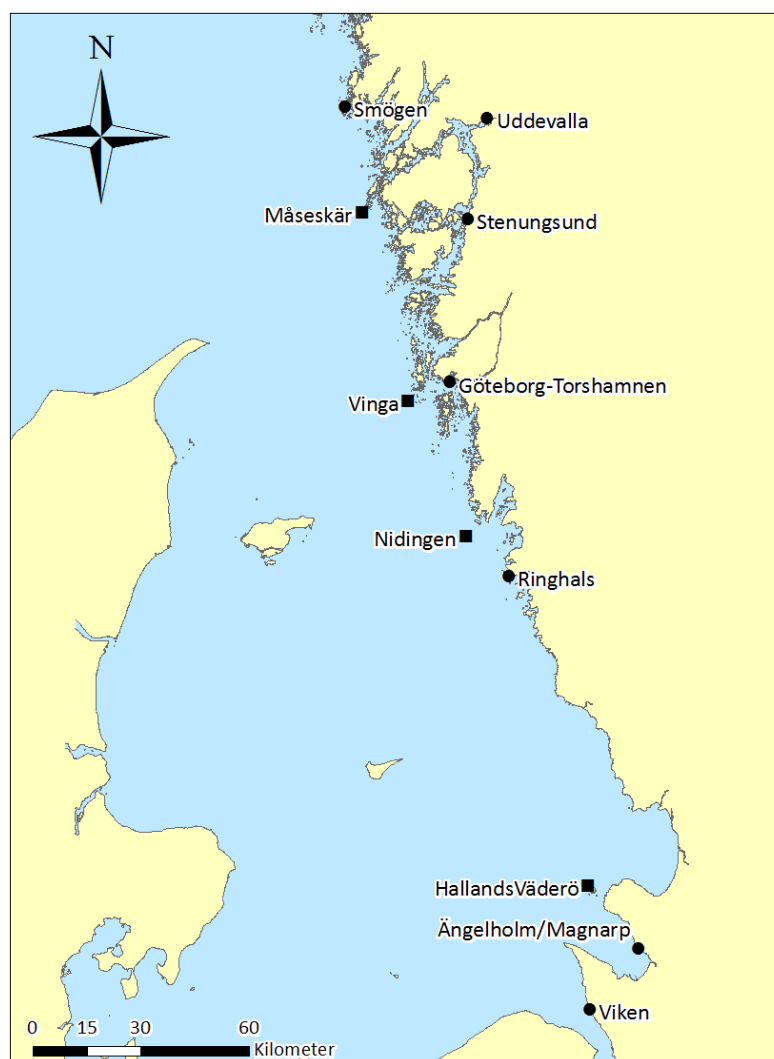
## 2 Bakgrund

SMHI har under 2015-2017 ett projekt under Kunskapscentrum för klimatanpassning gällande ”Framtagande av riktlinjer för beräkning av dimensionerande havsnivåer för olika delar av Sverige för dagens och framtidens klimatförhållande”. I projektet ingår att studera lokala effekter på vattenståndet. I denna delrapport studeras hur extrema havsvattenstånd förstärks lokalt i vikar och fjordsystem med hjälp av en numerisk beräkningsmodell.

Det är känt att havsvattenståndet i vikar och fjordsystem kan bli högre än vid den öppna kusten där SMHI:s mätstationer i grundnätet är placerade. Därtill har storskaliga modeller, såsom SMHI:s regionala prognosmodell HIROMB, vanligen en rumslig upplösning som inte beskriver fjordsystem eller mindre vikar särskilt väl. Det kan därför finnas behov för mer högupplösta lokala modeller för att beskriva vattenståndet på ett mer korrekt sätt.

Två områden med kända lokala effekter har studerats inom detta projekt:

1. Skälderviken in mot Ängelholm
2. Fjordsystemet in mot Uddevalla

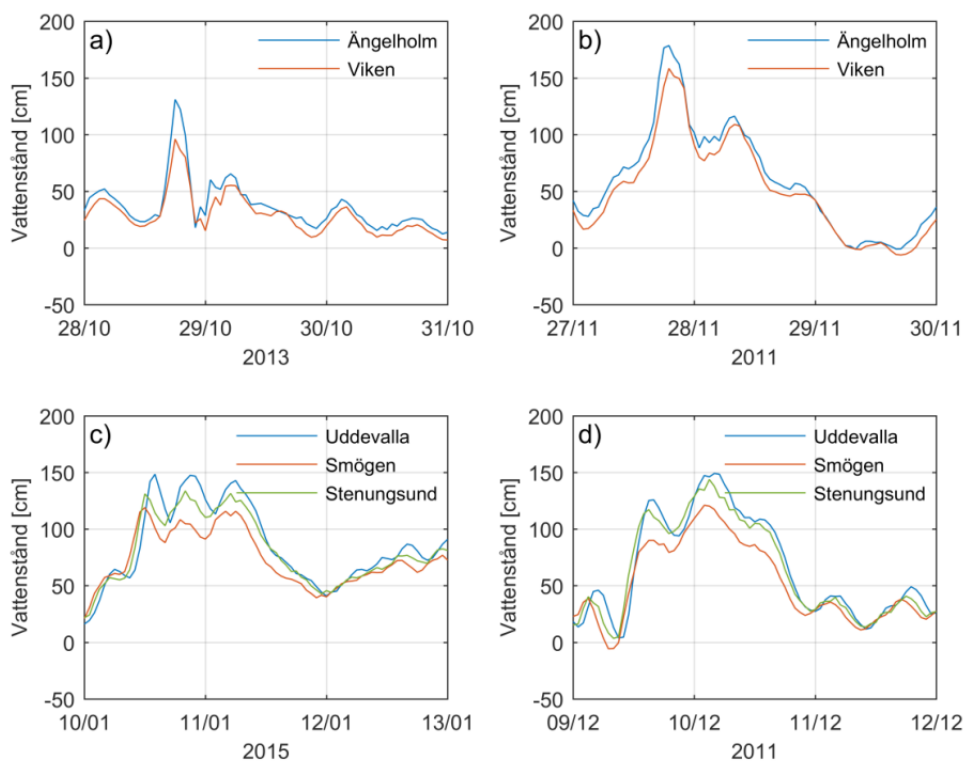


Figur 2.1 Översiktskarta – vattenståndsstationer markeras med svarta punkter och vindstationer markeras med svarta fyrkanter.

Figur 2.1 visar en översiktskarta innefattande både fjordsystemet in mot Uddevalla samt Skälderviken in mot Ängelholm. I kartan markeras stationer för havsvattenstånd- och vindobservationer som använts inom projektet.

Mätningar av havsvattenståndet i Ängelholm/Magnarp finns från mars 2011 fram till april 2014 och från december till idag i Uddevalla. Båda mätstationerna är av mer tillfällig karaktär och ingår inte i SMHI:s grundnät, men utgör viktigt underlag för att öka förståelsen för de båda systemen. Mätserierna är dock för korta för att utgöra ett gott underlag vid statistiska beräkningar av exempelvis dimensionerande/extrema nivåer.

Figur 2.2 visar vattenståndet vid två extrema händelser i Ängelholm/Magnarp jämfört mot vattenståndet i Viken (figur a och b), samt vattenståndet i Uddevalla jämfört med vattenståndet i Smögen och Stenungsund (figur c och d). Vattenståndet är 20-30 cm högre i Magnarp/Ängelholm än i Viken, och ungefär samma vid de två händelserna som visas för Uddevalla. Mätningen från Stenungsund visar att det sker en gradvis förhöjning från öppna kusten vid Smögen och vidare in i fjordsystemet.



*Figur 2.2 Havsvattenståndet i cm relativt medelvattenståndet i (a) Ängelholm/Magnarp och Viken under stormen Simone i slutet av oktober 2013, (b) Ängelholm/Magnarp och Viken under Adventsstormen i slutet på november 2011, (c) Uddevalla, Smögen och Stenungsund under stormen Egon i mitten på januari 2015 och (d) Uddevalla, Smögen och Stenungsund under stormen i början av december 2011.*

Lokala effekter på extrema havsvattenstånd har, inom detta projekt, studerats med hjälp av en högupplöst numerisk beräkningsmodell för de två utpekade områdena.

### 3 Syfte

Syftet med projektet är att utreda hur väl en lokal numerisk beräkningsmodell kan efterlikna verkligheten. Därtill har ett antal enklare känslighetsanalyser utförts för att besvara följande frågeställningar:

- Hur påverkas lösningen i inre delar av modellområdet beroende på placering av beräkningsmodellens yttre rand?
- Hur känslig är lösningen i inre områden för olika drivdata med avseende på vind, vattenstånd och lufttryck?
- Hur betydelsefull är upplösningen på bottenpografen för lösningen?
- Hur känslig är lösningen för tredimensionella effekter?
- Vilka andra faktorer påverkar lösningen?

### 4 Beräkningsmodell: Delft3D-Flow

Beräkningar av vattenstånd har utförts med beräkningsmodellen Delft3D-Flow (Ref. 1). Delft3D består av ett antal olika moduler för att modellera hydrodynamik, sedimenttransport, morfologi och vattenkvaliteten i exempelvis kustmiljöer. De olika modulerna kan kopplas och integreras med varandra. Sedan januari 2011 är källkoden för Flow-, Morphology- och Wave-modulerna öppet tillgängliga. Modellen används främst för modellering av naturliga miljöer såsom kust- och flodområden men kan också användas för mer artificiella miljöer som hamnar. Flow-modulen är själva grunden inom Delft3D och är en två- eller tredimensionell hydrodynamisk simuleringsmodell.

Modellen löser de så kallade Saint-Venant ekvationerna över ett beräkningsnät som representerar vattenvolymen. Beräkningsnätet består av ett antal celler och i varje cell simuleras exempelvis strömhastighet och riktning, vattennivå, turbulens och salthalt och temperatur. Beräkningsnätet görs finare (högre upplösning) i intressanta områden och trånga passager. På större avstånd från intresseområdet där en detaljerad beskrivning av strömmen är mindre viktig kan beräkningsnätet glesas ut. Modellen används både för djupintegrerade, och för tredimensionella simuleringar. Vid tredimensionella simuleringar sätts ett antal lager i vertikalled. Dessa lager är bottenföljande och varierar således i tjocklek på grund av varierande bottenpografi. Antalet lager är alltid detsamma oavsett djup. Ju fler celler ett beräkningsnät har desto mer beräkningstungt blir en simulering. I djupintegrerade beräkningar beräknas medelströmmen över hela djupet.

Modellen drivs av vinden på vattnets fria yta samt av villkor som sätts på modellens öppna ränder. Det är vid de öppna ränderna som modelldomänen ”kommunicerar” med omgivande hav. I denna utredning används observerade samt simulerade vindar från vädermodellen HIRLAM och analysmodellen MESAN (Ref. 2) som drivning. På modellernas öppna ränder sätts ett vattenstånd baserat på observationer från intilliggande stationer samt simulerat vattenstånd från cirkulationsmodellen HIROMB (Ref. 3).

Vindfriktionskoefficienten i modellen varierar med vindhastigheten.

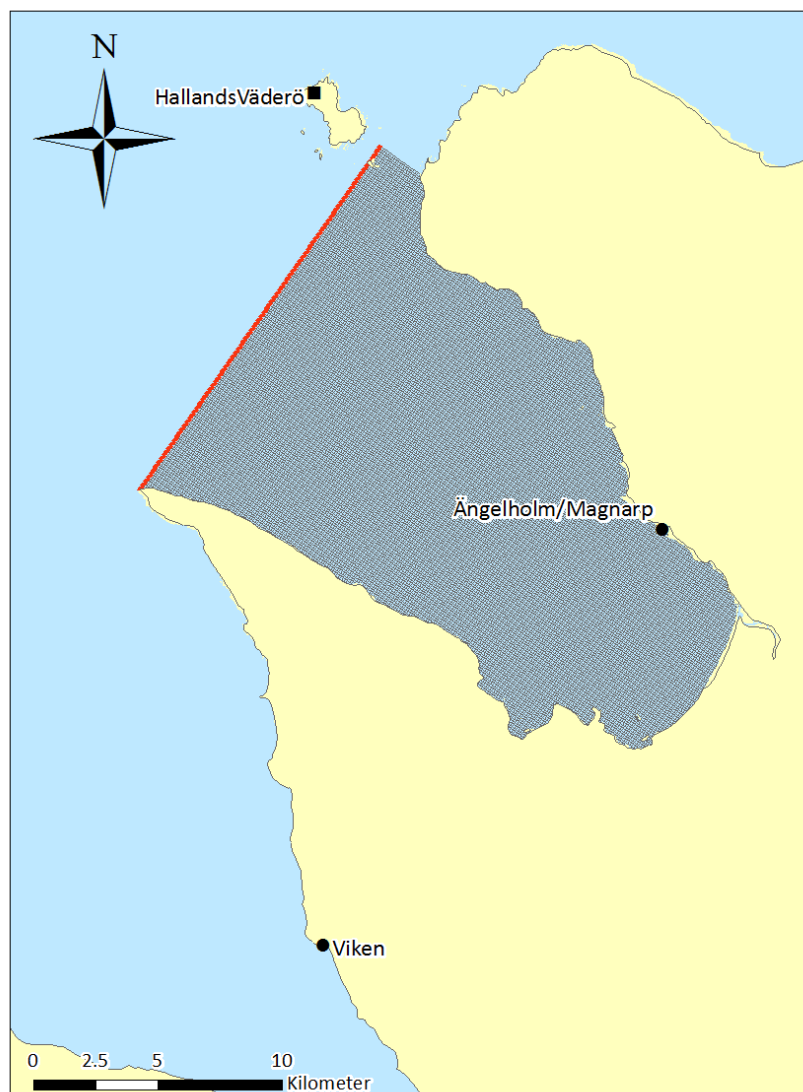
#### 4.1 Skälderviken in mot Ängelholm

För Skälderviken har modellen satts upp med två olika beräkningsnät. Ett beräkningsnät där den öppna randen är placerad vid Skäldervikens mynning och ett beräkningsnät där de öppna ränderna är placerade längre bort från Skäldervikens mynning. Beräkningsnäten med tillhörande öppna ränder samt bottenpografi visas i Figur 4.1-Figur 4.3.

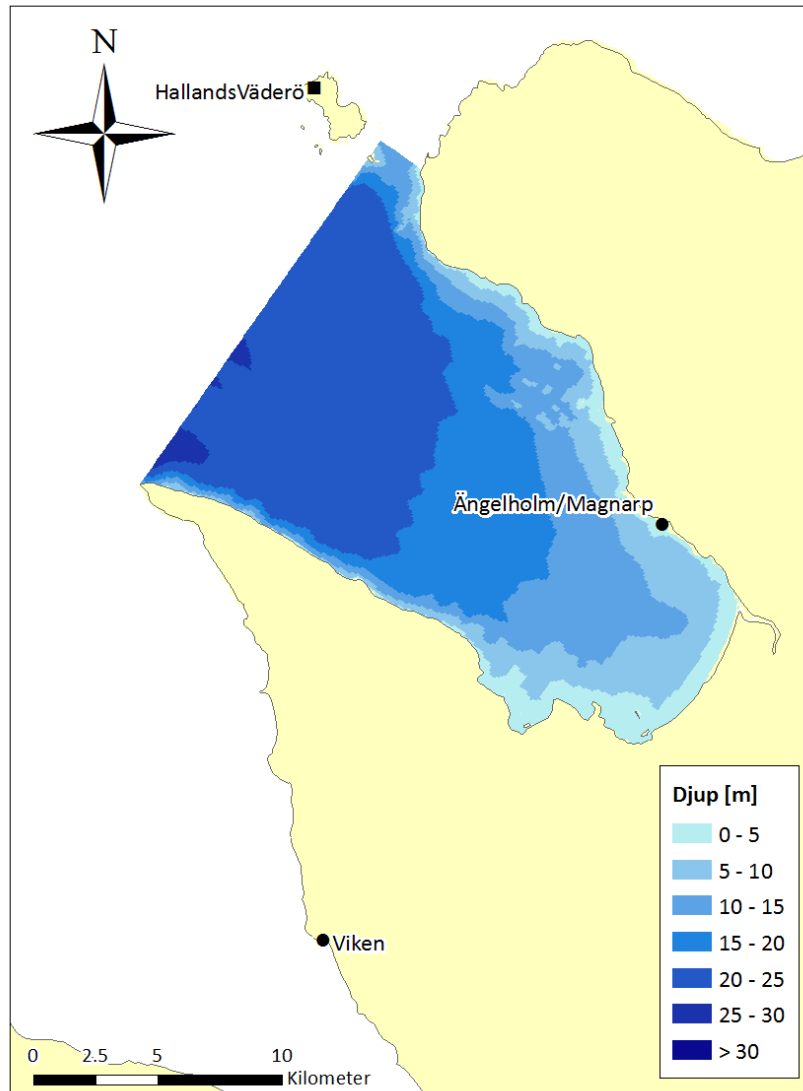
På den öppna randen till det mindre beräkningsnätet sätts ett vattenstånd antingen baserat på observationer från Viken eller extraherat från HIROMB. För det större beräkningsnätet sätts ett vattenstånd på den öppna randen i söder, baserat på observationer från Viken eller extraherat från HIROMB och på den öppna randen i norr sätts en svag konstant ström.

Det mindre beräkningsnätet har en upplösning på  $100 \times 100$  m och det större beräkningsnätets upplösning varierar från ca  $200 \times 200$  m längst in i viken till större än  $1500$  m längst i väster.

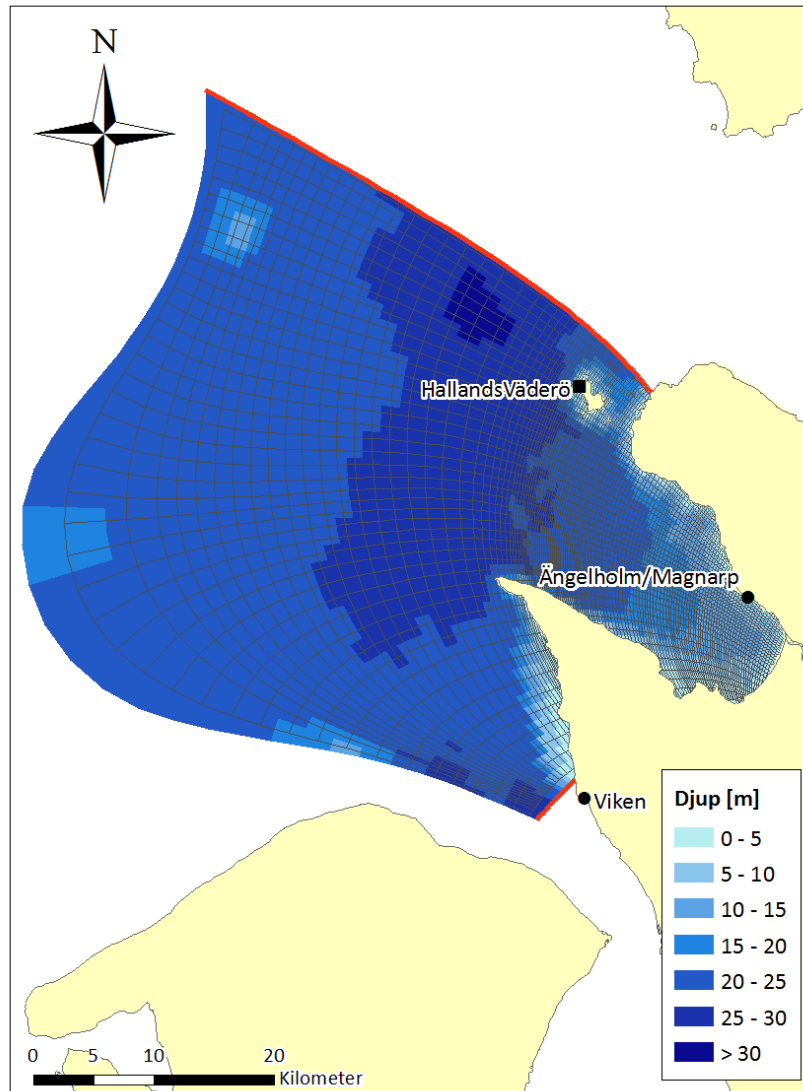
Uppgifter om djupet i modellen har hämtats från Sjöfartsverkets sjökort nr 92, 922 och 923.



*Figur 4.1* Det mindre beräkningsnätet med en öppen rand vid Skaldervikens mynning (röd linje).



Figur 4.2 Det mindre beräkningsnätets bottentopografi.



Figur 4.3

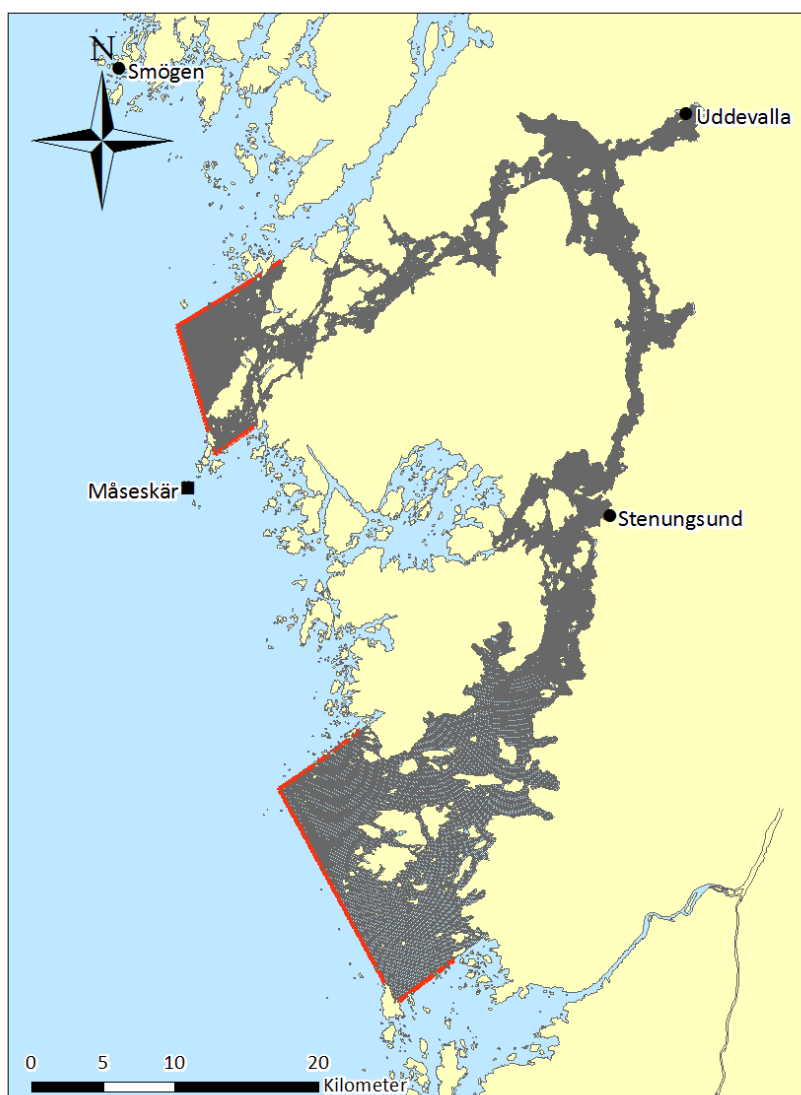
Det större beräkningsnätet med två öppna ränder (röda linjer), en i söder vid Viken och en i norr vid Hallands Väderö.

## 4.2 Fjordsystemet in mot Uddevalla

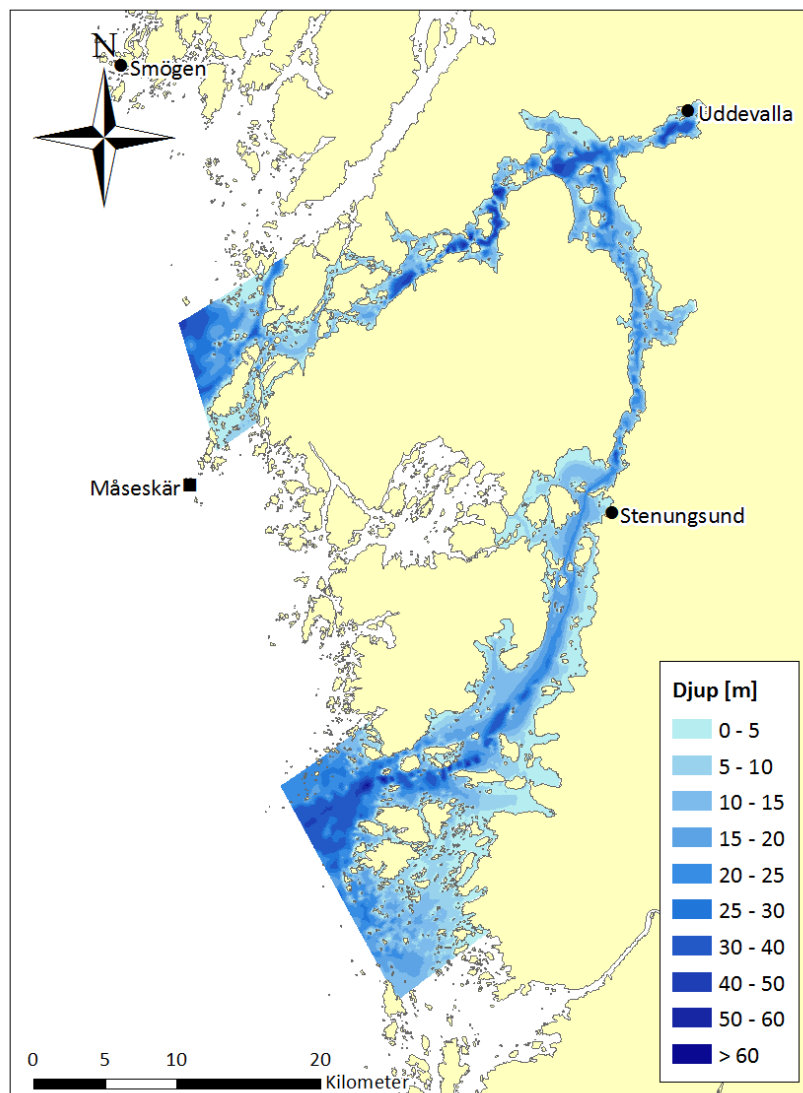
För Uddevalla har modellen satts upp för stora delar av fjordsystemet runt Orust och Tjörn och vidare in mot Uddevalla. Effekten på vattenståndet i Uddevalla på grund av sammankopplingen med Skagerrak mellan Orust och Tjörn (Stigfjorden) har bedömts vara liten och ingår därför ej i modellen. Ett förenklat simuleringsstest med ett beräkningsnät som innefattar Stigfjorden har utförts vilket visade att denna sammankoppling till Skagerrak har en ytterst liten effekt på vattenståndet i Uddevalla och har därför vidare förenklats bort. Denna förenkling har främst gjorts för att göra beräkningsnätet mindre beräkningstungt. På grund av flera trånga passager i systemet är beräkningsnätets upplösning ner mot 30 m.

Beräkningsnätets öppna ränder är placerade strax utanför fjordsystemets mynningar, d.v.s. väster om Orust och Tjörn. Beräkningsnätet med tillhörande öppna ränder samt bottenpografi visas i Figur 4.4 respektive Figur 4.5.

Uppgifter om djupet i modellen har hämtats från Sjöfartsverkets sjökort nr 932 och 933.



Figur 4.4 Beräkningsnätet och tillhörande öppna ränder (röda linjer) för fjordsystemet in mot Uddevalla.



Figur 4.5 Bottentopografien tillhörande beräkningsnätet för fjordsystemet in mot Uddevalla.

## 5 Drivdata

Som drivdata till respektive modell används observerade vindar från Hallands Väderö för Skälderviken och från Måseskär för fjordsystemet in mot Uddevalla. Därtill används vind- och tryckfält från MESAN, vilken är en meteorologisk analysmodell som beskriver det aktuella väderläget i gridrutor med en storlek på  $11 \times 11$  km. MESAN använder meteorologiska modeller och interpoleringsmetoder i kombination med de observationer som finns. Vid vinddrivning baserat på rena observationer varierar vindens hastighet och riktning endast i tiden medan vid vinddrivning från MESAN varierar vindens hastighet och riktning både i tiden och i rummet.

På modellernas öppna ränder sätts ett vattenstånd. För Skälderviken används observerat vattenstånd vid Viken alternativt vattenstånd extraherat från HIROMB. För fjordsystemet in mot Uddevalla baseras randvillkoret på observerat vattenstånd vid Smögen och Göteborg-Torshammen alternativt vattenstånd extraherat från HIROMB.

Respektive serie har en tidsupplösning på en timme.



## 6 Kalibrering och validering

För att undersöka hur väl respektive beräkningsmodell återskapar realistiska vattenstånd kontrolleras simulerat vattenstånd mot observerat vattenstånd för respektive område.

Två lämpliga perioder har valts utifrån att det inträffat en händelse med högt vattenstånd och då observationer för jämförelse med simulerat vattenstånd finns tillgängligt. Därtill skall även data till drivning och de öppna ränderna finnas tillgängligt. Den ena perioden används till att kalibrera respektive modell, d.v.s. modellerna anpassas så att resultatet av simulerat vattenstånd stämmer väl överens med uppmätt vattenstånd. Den andra perioden, valideringen, används därefter för att kontrollera den anpassade modellen. Syftet med detta är att validera att de inställningar som gjorts i samband med kalibreringen även gäller för andra förutsättningar med andra ingångsdata.

Därefter utförs ett antal simuleringar för att testa modellernas känslighet avseende exempelvis placeringen av modellens öppna rand/ränder, olika källor för vinddrivning och vattenstånd på de öppna ränderna, upplösningen av bottenpografien, två- eller tredimensionell modell.

### 6.1 Skälderviken in mot Ängelholm

I Ängelholm/Magnarp finns observationer av havsvattenstånd tillgängligt från mars 2011 till april 2014. Det visade sig att det fanns få bra tillfällen då det både fanns observationer i Ängelholm/Magnarp för jämförelse mot simuleringsresultat och tillgång till drivdata i form av vindar samt vattenstånd till den öppna randen. Som kalibreringsperiod valdes stormen Simone som inträffade i slutet av oktober 2013 och som valideringsperiod valdes Adventsstormen i slutet av november 2011 som följs av en storm i början av december 2011. De båda valda tillfällena beskrivs i avsnitt 6.1.1 respektive 6.1.2.

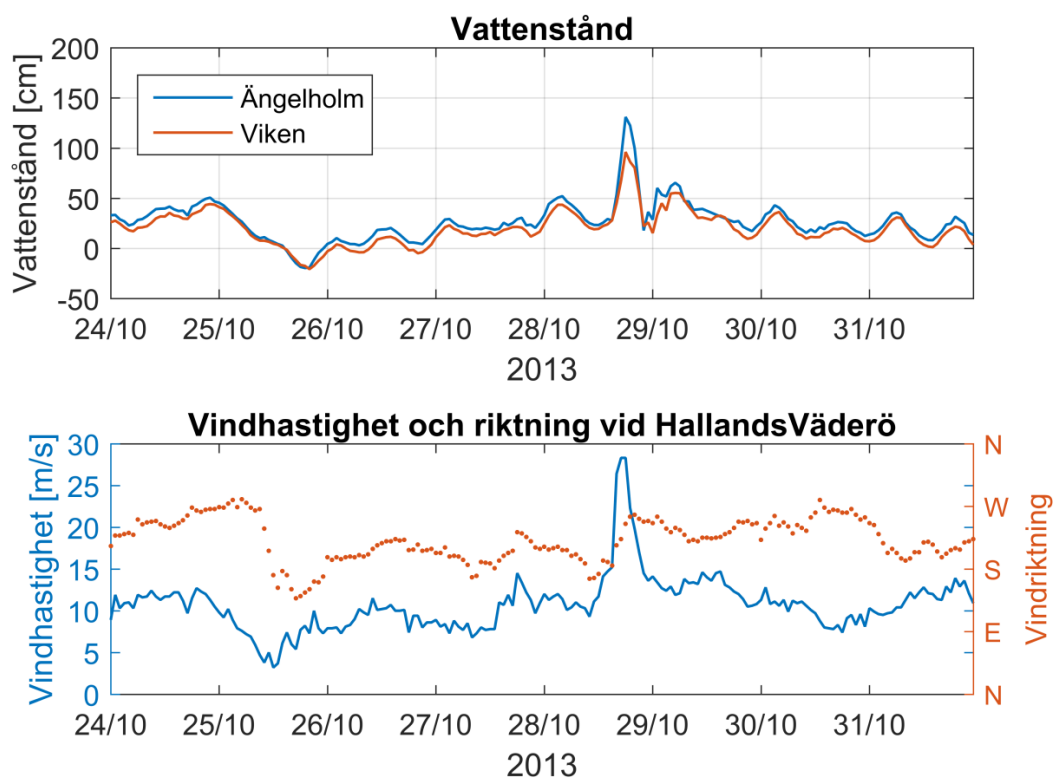
#### 6.1.1 Kalibreringsperiod - drivdata

Under stormen Simone i slutet av oktober 2013 uppmättes vattenståndet i Ängelholm till strax över 130 cm relativt medelvattenståndet baserat på timvärden. Vid samma tillfälle observeras medelvindhastigheter på ca 28 m/s från SV vid Hallands Väderö. Vattenståndet vid Viken uppmätts till ca 95 cm relativt medelvattenståndet baserat på timvärden vid samma tillfälle.

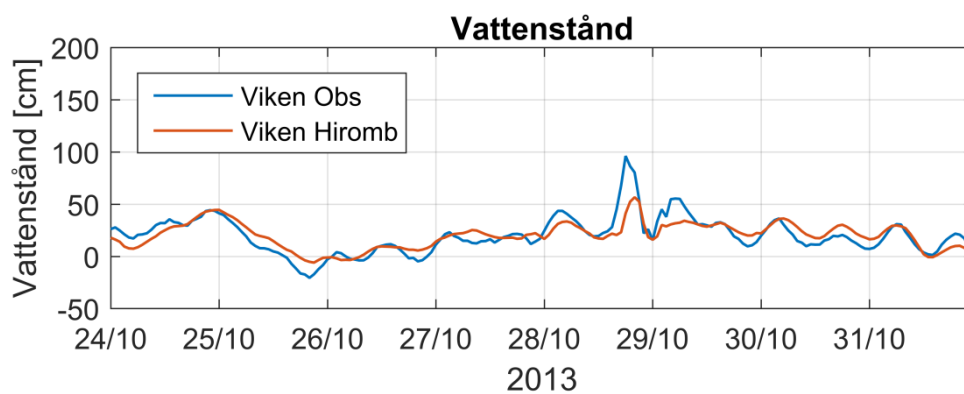
Observerat vattenstånd vid Ängelholm och Viken samt observerad vindhastighet och riktning vid Hallands Väderö för perioden 24 - 31 oktober 2013 visas i Figur 6.1. Vattenståndet visas som medelvärden kring varje hel timma och vindarna baseras på medelvärden över en tio-minutersperiod varje hel timma.

I Figur 6.2 visas observerat vattenstånd i Viken samt vattenståndet vid Viken simulerat med HIROMB för kalibreringsperioden. För att serierna skall vara jämförbara har medelvärdet under perioden för respektive serie tagits bort. Det man kan se är bl. a. att HIROMB underskattar vattenståndshöjningen vid händelsen den 28 oktober. Genom att använda data extraherat från HIROMB på den öppna randen till de lokala modellerna även från tillfällena då överensstämmelsen med observerat vattenstånd inte är god fås en uppfattning om hur känslig de lokala modellerna är för att matas med mindre bra data på ränderna.

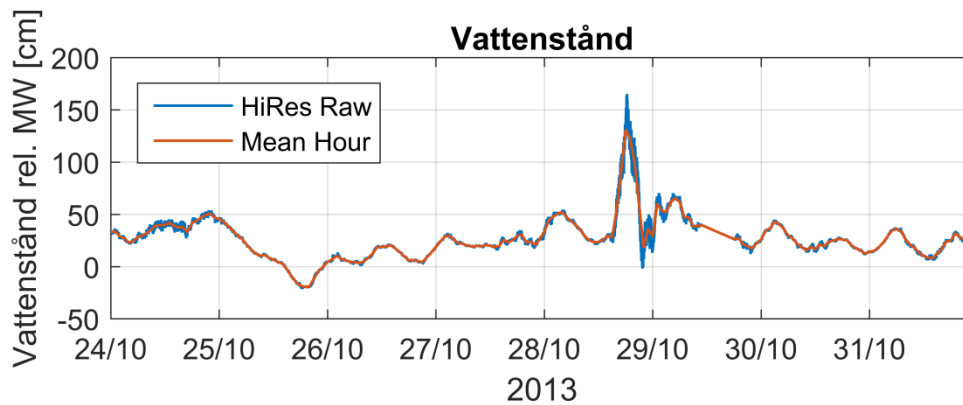
Observationer av havsvattenståndet i Ängelholm registreras varje minut och baserat på de högupplösta data uppmättes vattenståndet vid Ängelholm till 165 cm relativt medelvattenståndet vid samma tillfälle. En jämförelse mellan högupplösta observationer och timvärden visas i Figur 6.3. De högupplösta observationerna fångar kortvariga svängningar i viken som inte beskrivs med timvärden.



Figur 6.1 Observerat vattenstånd vid Ängelholm/Magnarp och Viken (övre bild) samt observerad vindhastighet (blå) och vindriktning (röd) vid Hallands Väderö 24-31 oktober 2013.



Figur 6.2 Observerat vattenstånd vid Viken samt vattenståndet simulerat med HIROMB vid Viken 24-31 oktober 2013.



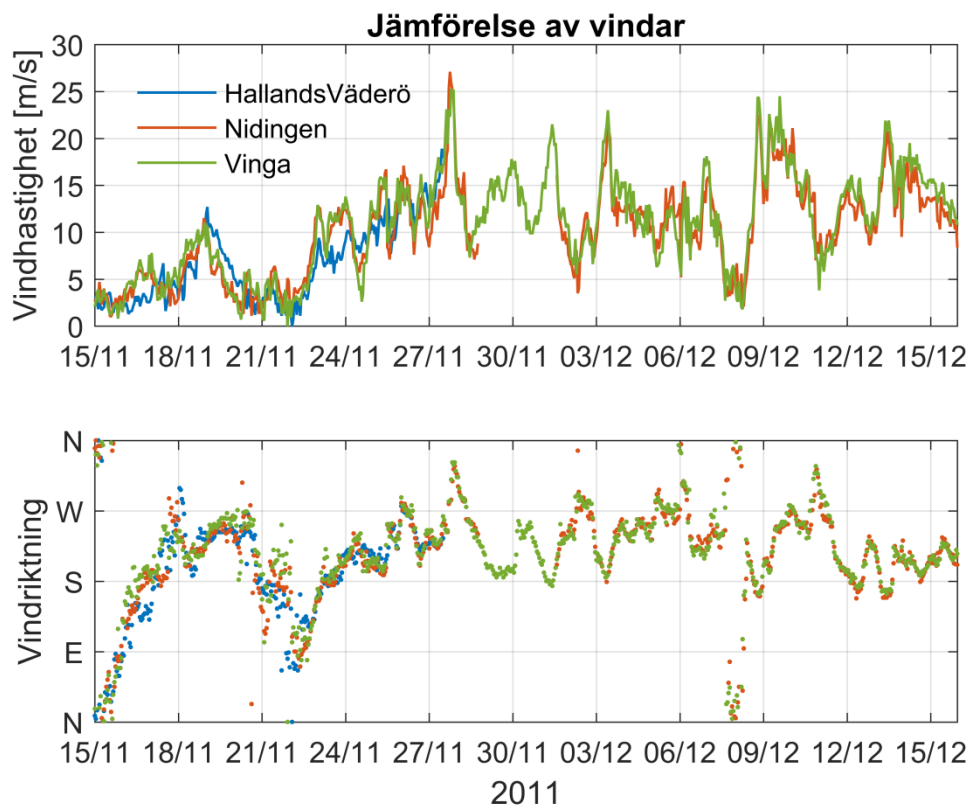
Figur 6.3 Observerat vattenstånd vid Ängelholm/Magnarp, dels höggupplöst data (blå linje) och dels medelvärden kring varje hel timma (röd linje) 24-31 oktober 2013.

### 6.1.2 Valideringsperiod - drivdata

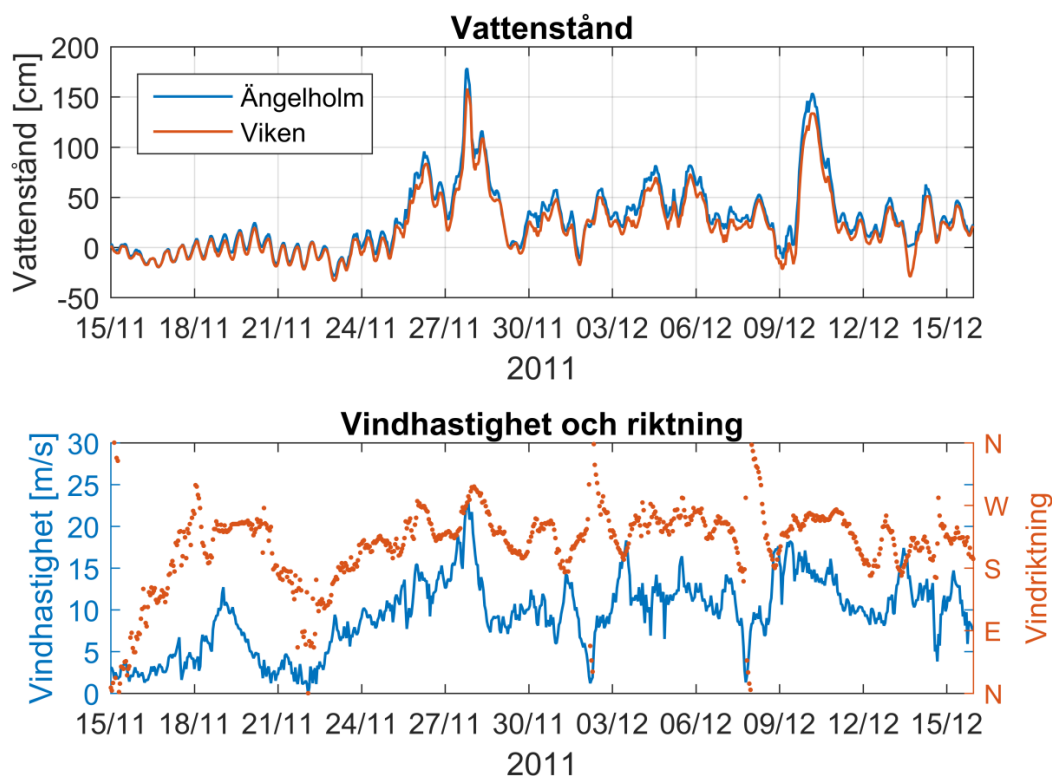
Från den 15 november till den 15 december 2011 inträffar två intressanta vattenståndshändelser i Ängelholm. I slutet på november 2011 inträffar Adventsstormen som följs av ytterligare en storm i början på december 2011. Vattenståndet i Ängelholm uppmäts till nästan 180 cm relativt medelvattenståndet baserat på timvärden i slutet av november och senare i december uppmäts vattenståndet till ca 155 cm (relativt medelvattenståndet baserat på timvärden). Vattenståndet vid Viken är ca 35 cm lägre vid första tillfället och ca 20 cm lägre vid andra händelsen jämfört med vattenståndet i Ängelholm.

Dessvärre saknas det vindobservationer från Hallands Väderö för den senare delen av denna period. I Figur 6.4 visas vindhastighet och riktning från Hallands Väderö samt från Nidingen och Vinga. För att få en hel serie med vinddrivning från denna period baserat på observationer har först och främst vindar från Hallands Väderö använts och därefter Nidingen och i tredje hand från Vinga. Det är inte optimalt men samtidigt visar jämförelsen att vindarna följer samma mönster. En sammanslagning av vindarna visas i Figur 6.5 tillsammans med observerat vattenstånd vid Ängelholm och i Viken.

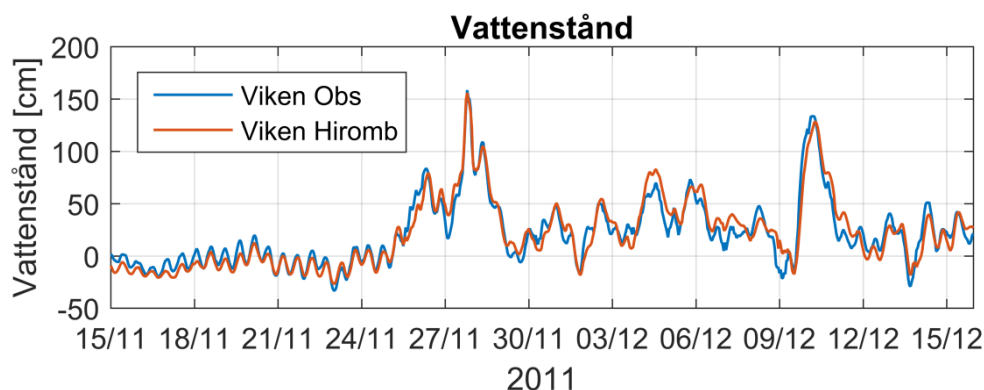
I Figur 6.6 visas observerat vattenstånd i Viken samt vattenståndet vid Viken simulerat med HIROMB för valideringsperioden. För att serierna skall vara jämförbara har medelvärdet under perioden för respektive serie tagits bort. Det man kan se är att överensstämmelsen mellan observerat vattenstånd vid Viken och vattenstånd extraherat från HIROMB är mycket god för hela perioden.



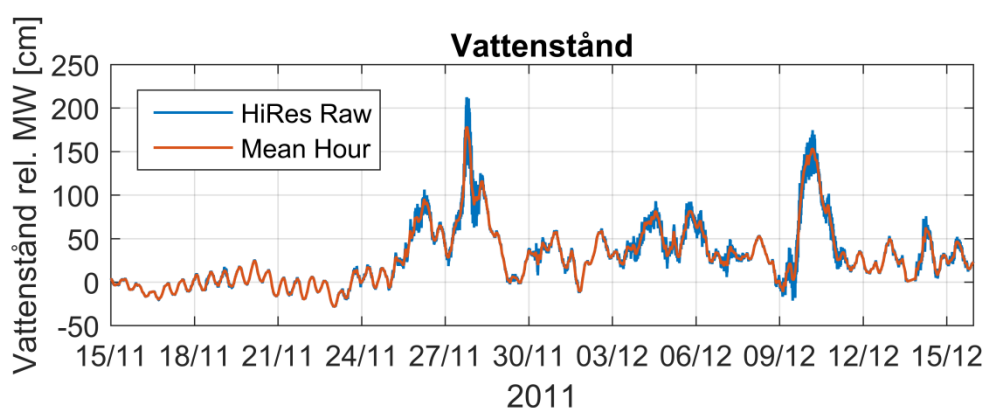
Figur 6.4 Jämförelse av vindhastighet och riktning vid Vinga, Nidingen och Hallands Väderö för perioden 15 november till 15 december 2011.



Figur 6.5 Observerat vattenstånd vid Ängelholm/Magnarp och Viken (övre bild) samt observerad vindhastighet (blå) och vindriktning (röd) vid Hallands Väderö+Nidingen+Vinga från den 15 november till den 15 december 2011.



Figur 6.6 Observerat vattenstånd vid Viken och vattenståndet simulerat med HIROMB vid Viken november till december 2011.



Figur 6.7 Observerat vattenstånd vid Ängelholm/Magnarp, dels högupplöst data (blå linje) och dels medelvärden kring varje hel timma (röd linje) från 15 november till 15 december 2011.

## 6.2 Fjordsystemet in mot Uddevalla

Observationer av havsvattenstånd i Uddevalla startade i mitten av december 2010 och pågår idag. Som kalibreringsperiod valdes stormen Egon som inträffade den 10-11 januari 2015 och som valideringsperiod valdes stormen i början av december 2011. De båda valda tillfällena beskrivs i avsnitt 6.2.1 respektive 6.2.2.

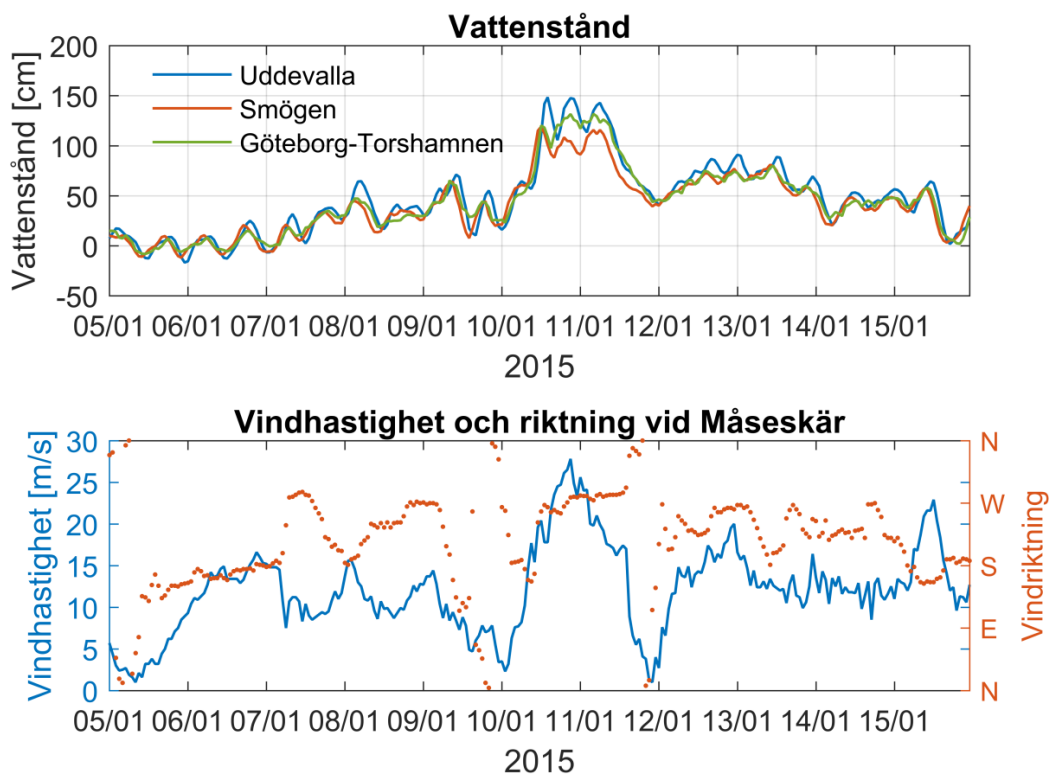
### 6.2.1 Kalibreringsperiod - drivdata

Under stormen Egon i början av januari 2015 uppmättes vattenståndet till ca 150 cm relativt medelvattenståndet baserat på timvärden i Uddevalla. Vid samma tillfälle observeras västliga vindar med en medelhastighet på upp mot 28 m/s vid Måseskär. Vattenståndet i Smögen vid samma tillfälle uppmättes till ca 120 cm och till ca 130 cm i Göteborg-Torshamnen relativt medelvattenståndet baserat på timvärden.

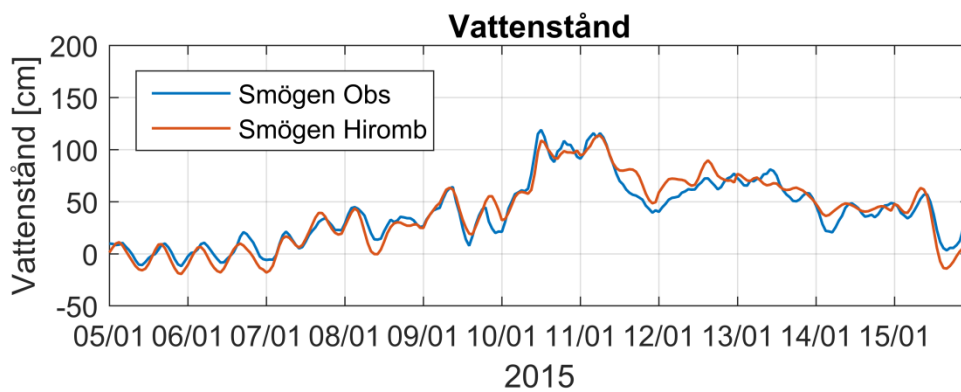
Observerat vattenstånd vid Uddevalla, Smögen och Göteborg-Torshamnen samt observerad vindhastighet och riktning vid Måseskär för perioden 5-15 januari 2015 visas i Figur 6.8. Vattenståndet visas som medelvärden kring varje hel timma och vindarna baseras på medelvärden över en tio-minutersperiod varje hel timma.

I Figur 6.9 visas observerat vattenstånd vid Smögen samt vattenståndet vid Smögen simulerat med HIROMB för kalibreringsperioden. För att serierna skall vara jämförbara har medelvärdet under

perioden för respektive serie tagits bort. Figuren visar att det simulerade vattenståndet från HIROMB har en god överensstämmelse med det observerade vattenståndet.



Figur 6.8 Observerat vattenstånd vid Uddevalla (övre bild) samt observerad vindhastighet (blå) och vindriktning (grön) vid Måseskär från den 1-31 januari 2015.



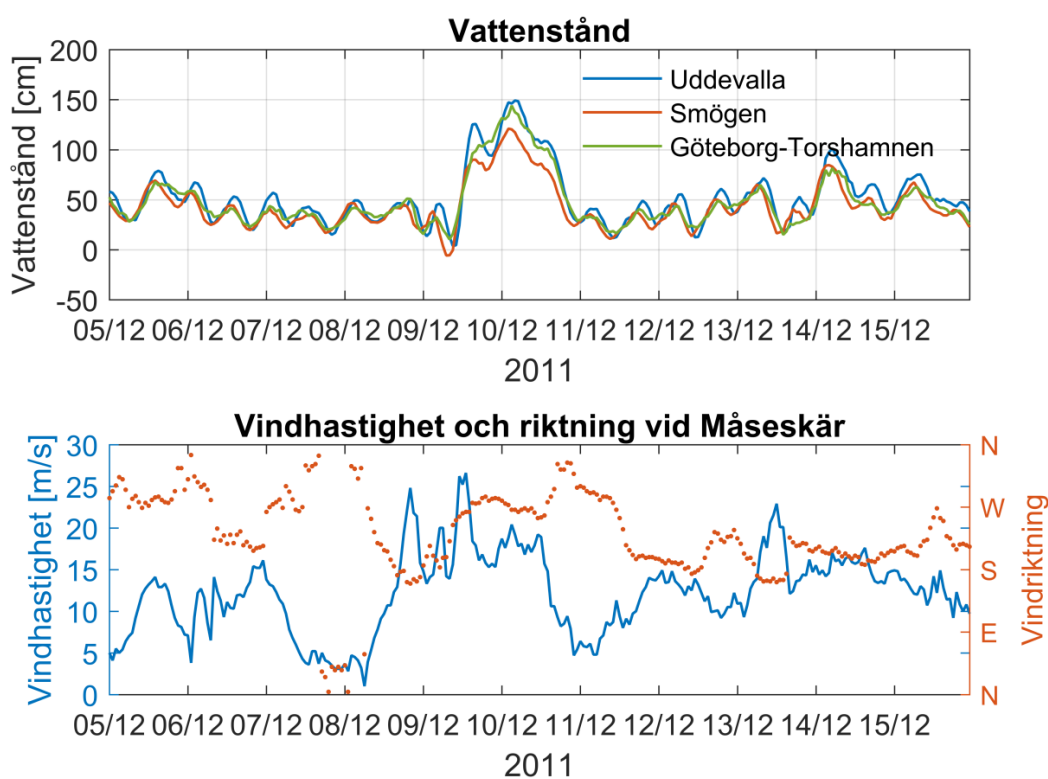
Figur 6.9 Observerat vattenstånd vid Smögen och vattenståndet simulerat med HIROMB vid Smögen januari 2015.

## 6.2.2 Valideringsperiod - drivdata

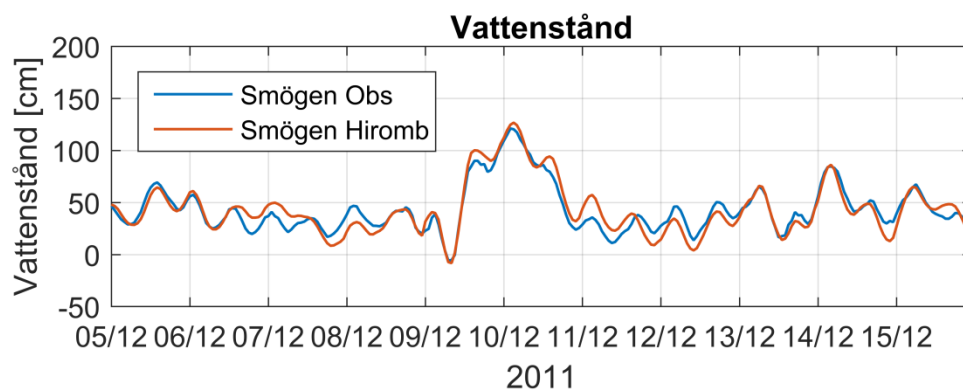
Under stormen i början av december 2011 uppmättes vattenståndet i Uddevalla till ca 150 cm relativt medelvattenståndet baserat på timvärden. Strax innan händelsen observeras västliga vindar med en medelhastighet på upp mot 27 m/s vid Måseskär. Vattenståndet i Smögen vid samma tillfälle uppmättes till ca 120 cm och till ca 145 cm vid Göteborg-Torshamnen relativt medelvattenståndet baserat på timvärden.

Observerat vattenstånd vid Uddevalla, Smögen och Göteborg-Torshamnen samt observerad vindhastighet och riktning vid Måseskär för perioden 5-15 december 2011 visas i Figur 6.10. Vattenståndet visas som medelvärden kring varje hel timma och vindarna baseras på medelvärden över en tio-minutersperiod varje hel timma.

I Figur 6.11 visas observerat vattenstånd vid Smögen samt vattenståndet vid Smögen simulerat med HIROMB för kalibreringsperioden. För att serierna skall vara jämförbara har medelvärdet under perioden för respektive serie tagits bort. Figuren visar att det simulerade vattenståndet från HIROMB har en god överensstämmelse med det observerade vattenståndet.



Figur 6.10 Observerat vattenstånd vid Uddevalla (övre bild) samt observerad vindhastighet (blå) och vindriktning (grön) vid Måseskär från den 1-31 december 2011.



Figur 6.11 Observerat vattenstånd vid Smögen och vattenståndet simulerat med HIROMB december 2011.



## 7 Resultat

Simuleringar av vattenståndet i Skälderviken in mot Ängelholm och i fjordsystemet in mot Uddevalla har utförts med beräkningsmodellen Delft3D-Flow. I följande avsnitt redovisas resultatet från respektive område för kalibrerings- och valideringsperioderna samt för de enklare känslighetsanalyser som utförts.

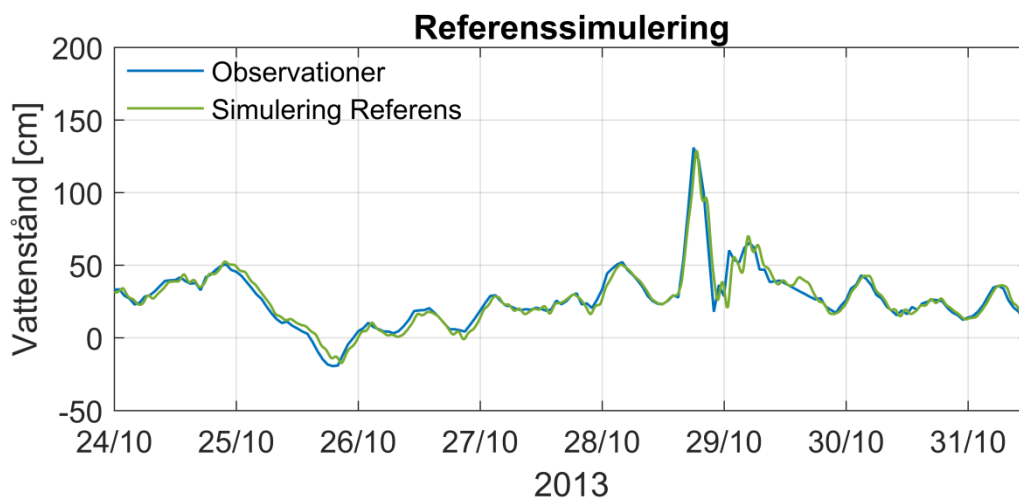
### 7.1 Skälderviken in mot Ängelholm

#### 7.1.1 Kalibreringsperiod

I Figur 7.1 visas observerat vattenstånd och simulerat vattenstånd vid Ängelholm för kalibreringsperioden 24-31 oktober 2013 med de inställningar i modellen (Delft3D-Flow) som gav bra resultat och som vidare används som referenssimulering. Referenssimuleringen har tagits fram genom en iterativ process där den bästa uppsättningen av randdata och modellparametrar identifierats.

Det bästa resultatet för Skälderviken gavs av en modelluppsättning med det mindre beräkningsnätet med en upplösning på 100 m och den öppna randen belägen vid Skäldervikens mynning. Modellen är djupintegrerad och drivs av observerade vindar från Hallands Väderö och matas med observerat vattenstånd från Viken vid den öppna randen. Både vinddrivningen och vattenståndet på den öppna randen har en tidsupplösning på en timme.

Det simulerade vattenståndet visar en mycket god överensstämmelse med det observerade vattenståndet. En mindre tidsförskjutning kan ses, tydligast i början av perioden. Det simulerade vattenståndet når 129 cm vid den högsta händelsen under perioden och det observerade vattenståndet är vid detta tillfälle 131 cm baserat på timvärden. Modellen underskattar således vattenståndet med 2 cm vid högsta händelsen under den simulerade perioden.



Figur 7.1 **Referenssimulering.** Observerat och simulerat vattenstånd vid Ängelholm/Magnarp för kalibreringsperioden 24-31 oktober 2013.

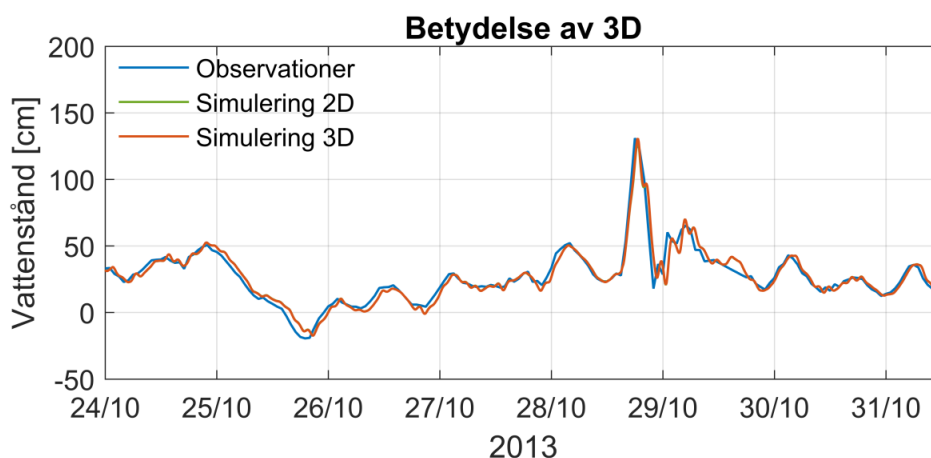
Utöver referenssimuleringen presenteras ett antal enklare känslighetssimuleringar. Vid känslighetssimuleringarna har en alternativt två förändringar gjorts jämfört med referenssimuleringen. Utförda simuleringar listas i Tabell 7.1. Bland annat är det ingen skillnad med att utföra beräkningen i 3D i stället för djupintegrerad. Beräkningsnätet går att göra grövre, och förändringar i botten- och vindfriktion har ingen signifikant betydelse, inom de testade intervallen. Störst betydelse har det att ändra drivdata, d.v.s. annan vind- och vattenståndsdrivning.

Tabell 7.1 Lista över de simuleringar som utförts för kalibreringsperioden för Skälderviken in mot Ängelholm.

	<b>Simulering</b>	<b>Figur</b>	<b>Kommentar</b>
1.	Referenssimulering	Figur 7.1	Mycket god överensstämmelse
2.	Simulering i 3D istället för 2D	Figur 7.2	Ingen skillnad mot referens
3.	Grövre upplösning på beräkningsnätet, 200 m istället för 100 m	Figur 7.3	Ingen skillnad mot referens
4.	Lägre bottenfriktion	Figur 7.4	Ingen skillnad mot referens
5.	2 ggr högre vindfriktion	Figur 7.5	Överskattar den högsta händelsen med ca 20 cm jmf med observationer.
6.	Drivs av vindar hämtade från MESAN istället för observationer från Hallands Väderö	Figur 7.6	Underskattar högsta händelsen något
7.	Matas med vattenstånd extraherat från HIROMB på den öppna randen istället för observerat vattenstånd vid Viken	Figur 7.7	Underskattar högsta händelsen med ca 60 cm
8.	Matas med högupplöst vattenståndsdata från Viken på den öppna randen istället för timvärden. Jämförs mot högupplösta observationer vid Ängelholm/Magnarp.	Figur 7.8	Fångar högsta händelsen väl. Vissa svängningar förekommer
9.	Det större beräkningsnätet används (Figur 4.3) med annan placering av de öppna ränderna.	Figur 7.9	Viss tidsförskjutning
10.	Högre bottenfriktion med det större beräkningsnätet.	Figur 7.10	Något lägre vst jmf med simulering 9

### Betydelse av 3D

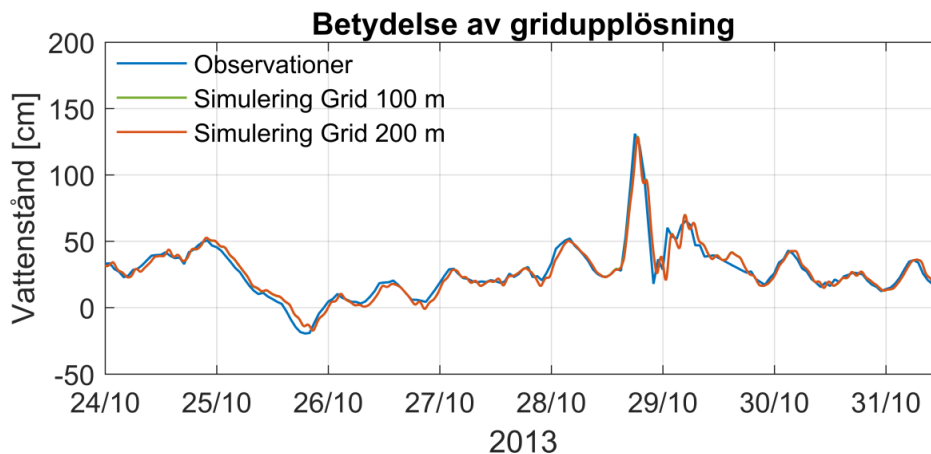
En jämförelse mellan en djupintegrerad simulering (referenssimuleringen) och en simulering i 3D visas i Figur 7.2 tillsammans med observerat vattenstånd. Resultatet från 2D- respektive 3D - simuleringen är i princip identiska när det gäller vattenståndet. Detta indikerar att tredimensionella effekter har väldigt liten betydelse i detta specifika fall.



Figur 7.2 Betydelse av tredimensionella effekter. Simuleringen i 2D är referenssimuleringen.

### Betydelse av beräkningsnätets upplösning

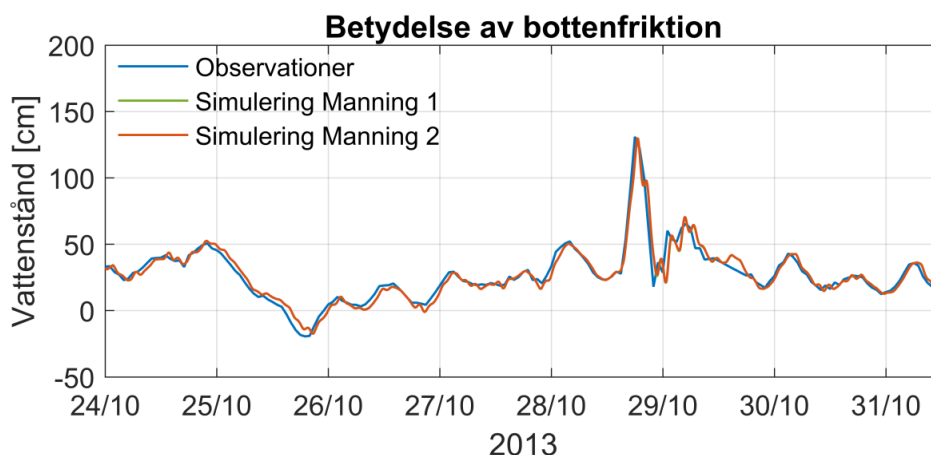
I Figur 7.3 visas simulerat vattenstånd med olika upplösning på beräkningsnätet samt det observerade vattenståndet. Simuleringen med det grövre beräkningsnätet som har en upplösning på 200 m istället är i princip identisk med referenssimuleringen som har en upplösning på 100 m. Resultatet visar att det grövre beräkningsnätet som kräver mindre beräkningstid inte försämrar kvaliteten på resultatet.



Figur 7.3 Betydelse av gridupplösning. Simuleringen med en gridupplösning på 100 m är referenssimuleringen.

### Bottenfriktionens betydelse

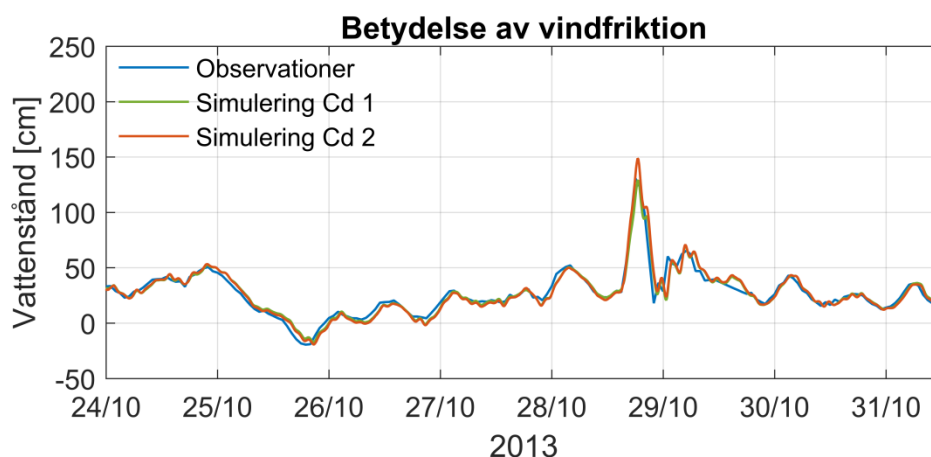
I Figur 7.4 visas simulerat vattenstånd med lägre bottenfriktion (manning 2) jämfört med referenssimuleringen (manning 1) samt det observerade vattenståndet. De båda simuleringarna är i princip identiska vilket indikerar att resultatet inte är särskilt känsligt för bottenfriktionen inom det testade intervallet. Strömmarna följer samma mönster men strömhastigheten är däremot något högre för simuleringen med lägre bottenfriktion.



Figur 7.4 Betydelse av bottenfriktion. Simuleringen med manning 1 är referenssimuleringen med en något högre bottenfriktion än simuleringen med manning 2.

### Betydelse av vindfriktionskoefficienter

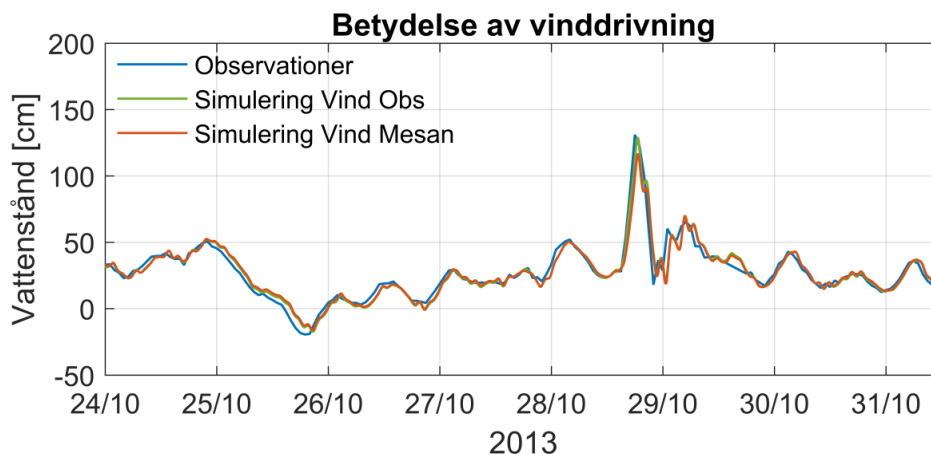
En jämförelse av effekten av olika vindfriktionskoefficienter visas i Figur 7.5 tillsammans med observerat vattenstånd. Jämfört med referenssimuleringen (vindfriktion Cd 1) har denna simulering 2 ggr högre vindfriktion (Cd 2). De båda simuleringarna är i princip identiska förutom vid den högsta händelsen där simuleringen med den högre vindfriktionen ger ett ca 20 cm högre vattenstånd jämfört med referenssimuleringen. Vid simuleringen med den högre vindfriktionen fås ett högsta vattenstånd på 149 cm. Det observerade vattenståndet vid denna händelse är 131 cm (baserat på timvärden). Simuleringen med den högre vindfriktionen överskattar således vattenståndet med nästan 20 cm.



Figur 7.5 Betydelse av vindfriktionskoefficienter. Simuleringen med vindfriktionskoefficienten Cd 1 är referenssimuleringen.

## Betydelse av vinddrivning

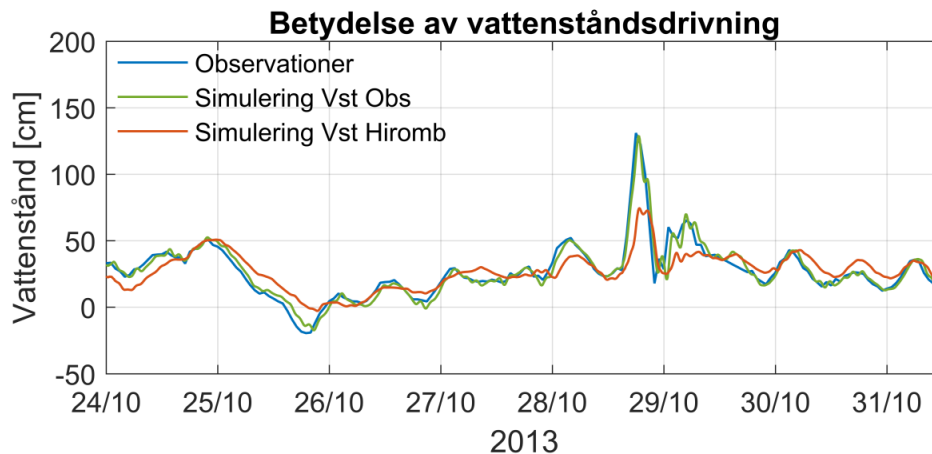
I Figur 7.6 visas observerat och simulerat vattenstånd med olika vinddrivning, dels med drivning från observerade vindar vid Hallands Väderö (referenssimulering) och dels med drivning av vindar och tryckfält hämtade från MESAN. Resultaten visar att simuleringen med drivningen från MESAN stämmer mycket bra med observerat vattenstånd men underskattar den högsta händelsen något där referenssimuleringen ger ett bättre resultat. En möjlig förklaring till skillnaderna kan vara att MESAN modellen underskattar vindhastigheterna vid mer extrema händelser. Att modellen underskattar vindhastigheter kan bero på att vindstationer på land har för stor inverkan i MESAN modellen jämfört med vindstationer till havs.



Figur 7.6 *Betydelse av vinddrivning, dels baserat på observationer från Hallands Väderö (referenssimulering) och dels baserat på vind och lufttryck från analysmodellen MESAN.*

## Betydelse av vattenståndsdrivning på randen

I referenssimuleringen matas modellen med observerat vattenstånd från Viken vid den öppna randen. För att testa betydelsen av randvillkoren har en simulering där modellen matas med vattenståndsdata extraherat från HIROMB utförts. Simulerat vattenstånd tillsammans med observerat vattenstånd visas i Figur 7.7. Resultatet visar att simuleringen med randvillkoret baserat på vattenståndsdata extraherat från HIROMB har en betydligt sämre överensstämmelse jämfört med referenssimuleringen. Det har visats att vattenståndet extraherat från HIROMB inte stämde särskilt väl överens med observerat vattenstånd vid Viken för denna period. Resultatet visar att kvaliteten på randvillkoret är betydande för att få bra överensstämmelse mellan observerat och simulerat vattenstånd i den inre delen av viken.



Figur 7.7 *Betydelse av vattenståndsdrivning på den öppna randen, dels baserat på observerat vattenstånd vid Viken (referenssimulering) och dels baserat på vattenstånd extraherat från HIROMB.*

### Betydelse av drivning med högupplöst vattenståndsdata

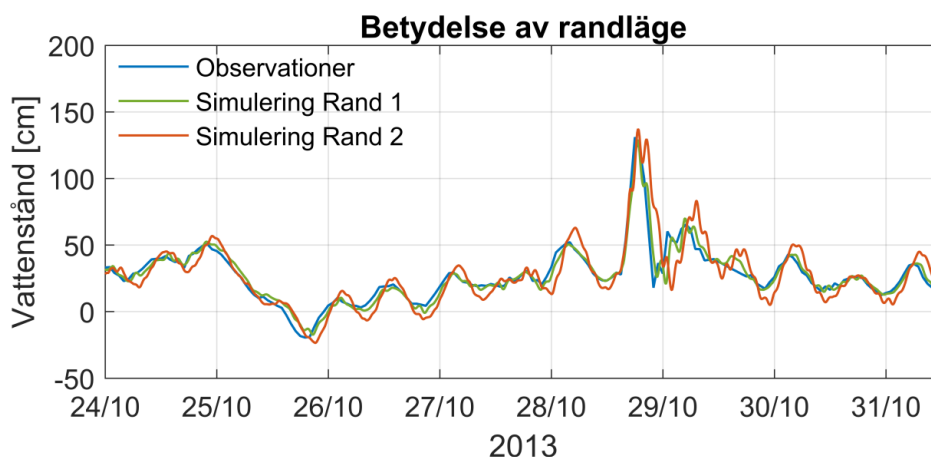
Högupplösta observationer av vattenståndet vid Ängelholm registrerar högre vattenstånd vid den extrema händelsen under kalibreringsperioden. Därtill registreras även de kortvariga svängningarna som förekommer i viken. En testsimulering med högupplöst vattenståndsdrivning på den öppna randen har utförts. Det simulerade och det observerade vattenståndet vid Ängelholm baserat på högupplösta data visas i Figur 7.8. Resultatet visar att det simulerade vattenståndet stämmer relativt väl överens med det observerade vattenståndet fram till strax efter den extrema händelsen. Därefter förekommer kraftiga svängningar i modellen. Dessa svängningar kan dämpas ner men då underskattas den extrema händelsen något. Svängningarna förekommer även i viss mån även i början av perioden men då med betydligt lägre amplitud. Vinddrivningen för denna testsimulering baseras på timvärden från Hallands Väderö. Det är möjligt att den högsta händelsen skulle kunna fångas med modellen samtidigt som man skulle kunna dämpa ut svängningarna med mer högupplöst vinddata som drivning, vilket det inte finns tillgång till och har därför inte testats.



Figur 7.8 *Betydelse av högupplöst vattenståndsdrivning på den öppna randen jämfört med högupplösta vattenståndsobservationer vid Ängelholm/Magnarp.*

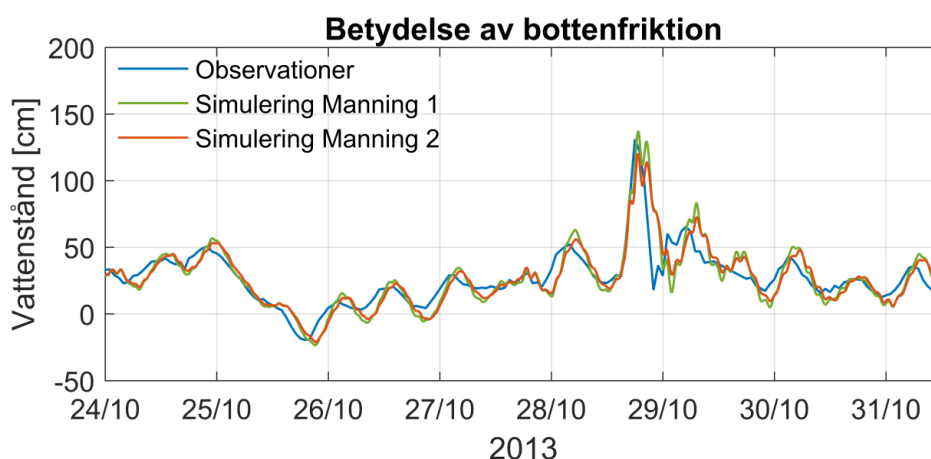
## Betydelse av randläge

Vid nästa testsimulering har det större beräkningsnätet använts (Figur 4.3) med annan placering av de öppna ränderna. På den norra randen har en låg ström satts och på den södra randen matas modellen med vattenståndsobservationer från Viken. Observerat och simulerat vattenstånd visas i Figur 7.9. Resultatet visar att simuleringen med det större beräkningsnätet (rand 2) ger en god överensstämmelse mot det observerade vattenståndet. Den högsta händelsen fångas väl men en viss förskjutning i tiden kan ses. Referenssimuleringen (rand 1) har något bättre överensstämmelse med det observerade vattenståndet.



Figur 7.9 Betydelse av läget på den öppna randen. Simulering med rand 1 är referenssimuleringen och vid simuleringen med rand 2 har det större beräkningsnätet använts.

En jämförelse av bottenfriktionens betydelse har utförts för det större beräkningsnätet. Två simuleringar med olika bottenfriktion har utförts med det större beräkningsnätet. Det simulerade och observerade vattenståndet visas i Figur 7.10. Resultatet visar att simuleringen med något lägre bottenfriktion (manning 1), vilken motsvarar referenssimuleringens bottenfriktion, genererar något högre vattenstånd jämfört med simuleringen med en något högre bottenfriktion (manning 2).



Figur 7.10 Betydelse av bottenfriktion då båda simuleringar har utförts med det större beräkningsnätet med den öppna randen placerad längre bort från Skäldervikens mynning. Simuleringen manning 1 har en lägre bottenfriktion än manning 2.

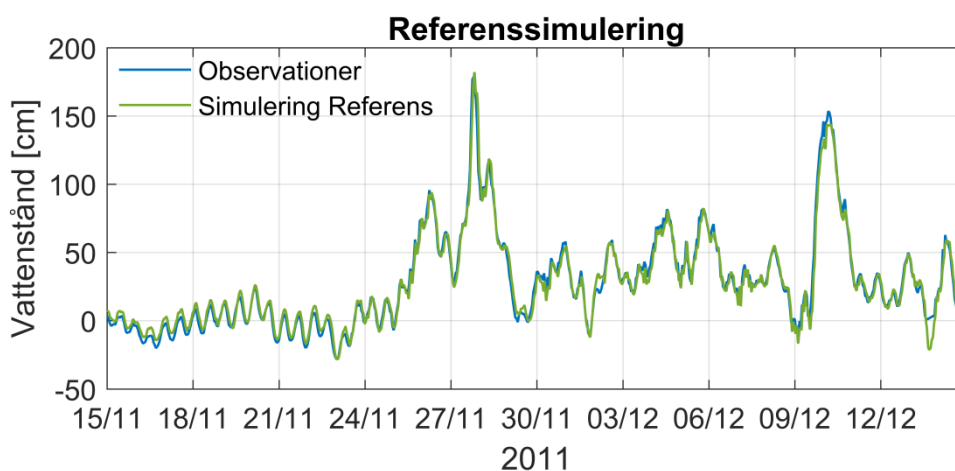
## 7.1.2 Valideringsperiod

I Figur 7.11 visas observerat och simulerat vattenstånd vid Ängelholm för valideringsperioden från 15 november till 15 december 2011 med de inställningar i modellen som användes vid referenssimuleringen för kalibreringsperioden.

Således används det mindre beräkningsnätet med en upplösning på 100 m och där den öppna randen är belägen vid Skäldervikens mynning. Modellen är djupintegrerad d.v.s. den körs i två dimensioner och drivs av observerade vindar från Hallands Väderö, Nidingen och Vinga (se Figur 6.5) samt matas med observerat vattenstånd vid Viken på den öppna randen. Både vinddrivningen och vattenståndet på den öppna randen har en tidsupplösning på en timme.

Det simulerade vattenståndet visar en mycket god överensstämmelse med det observerade vattenståndet. Den första händelsen fångas väl av modellen och det simulerade vattenståndet når 182 cm och är således något högre än det observerade vattenståndet på 179 cm (baserat på timvärden).

Vid den andra händelsen underskattas vattenståndet av modellen. Det simulerade vattenståndet når ca 144 cm medan det observerade vattenståndet uppnår 154 cm (baserat på timvärden).



Figur 7.11 **Referenssimulering.** Observerat och simulerat vattenstånd vid Ängelholm för valideringsperioden från den 15 november till 15 december 2011.

Även för valideringsperioden har ett antal testsimuleringar utförts, vilka listas i Tabell 7.2.

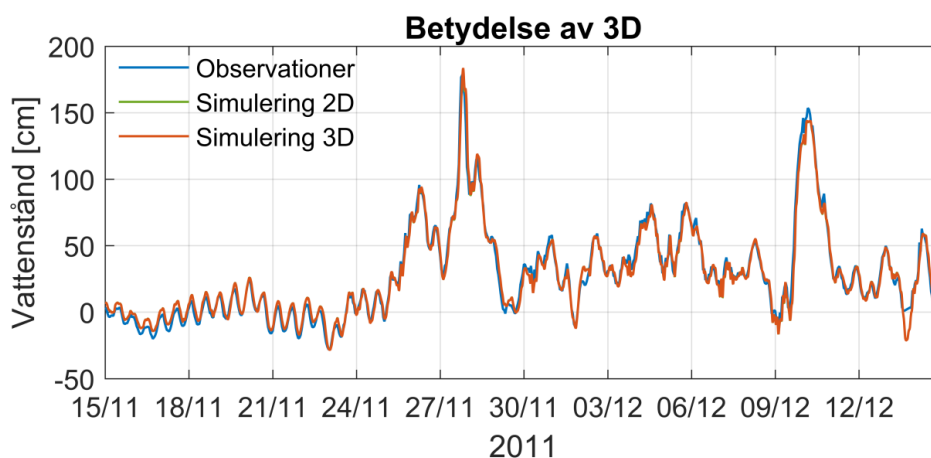


Tabell 7.2 Lista över de simuleringar som utförts för valideringsperioden för Skälderviken in mot Ängelholm.

	<b>Simulering</b>	<b>Figur</b>	<b>Kommentar</b>
1.	Referenssimulering	Figur 7.11	Mycket god överensstämmelse
2.	Simulering i 3D istället för 2D	Figur 7.12	Ingen skillnad mot referens
3.	Grövre upplösning på beräkningsnätet, 200 m istället för 100 m	Figur 7.13	Ingen skillnad mot referens
4.	Lägre bottenfriktion	Figur 7.14	Ingen skillnad mot referens
5.	2 ggr högre vindfriktion	Figur 7.15	Överskattar den högsta händelsen med ca 20 cm jmf med observationer.
6.	Drivs av vindar hämtade från MESAN istället för observationer från Hallands Väderö	Figur 7.16	Marginell skillnad mot referens
7.	Matas med vattenstånd extraherat från HIROMB på den öppna randen istället för observerat vattenstånd vid Viken	Figur 7.17	Bra överensstämmelse. Något sämre än referens
8.	Matas med högupplöst vattenståndsdata från Viken på den öppna randen istället för timvärden från Viken. Jämförs mot högupplösta observationer vid Ängelholm/Magnarp.	Figur 7.17	Underskattar de högsta händelserna med ca 20 cm
9.	Det större beräkningsnätet används (Figur 4.3) med annan placering av de öppna ränderna.	Figur 7.19	Större svängningar i början av perioden. Överskattar högsta händelsen något
10.	Högre bottenfriktion med det större beräkningsnätet.	Figur 7.20	Något lägre vst jmf med simulering 9

### Betydelse av 3D

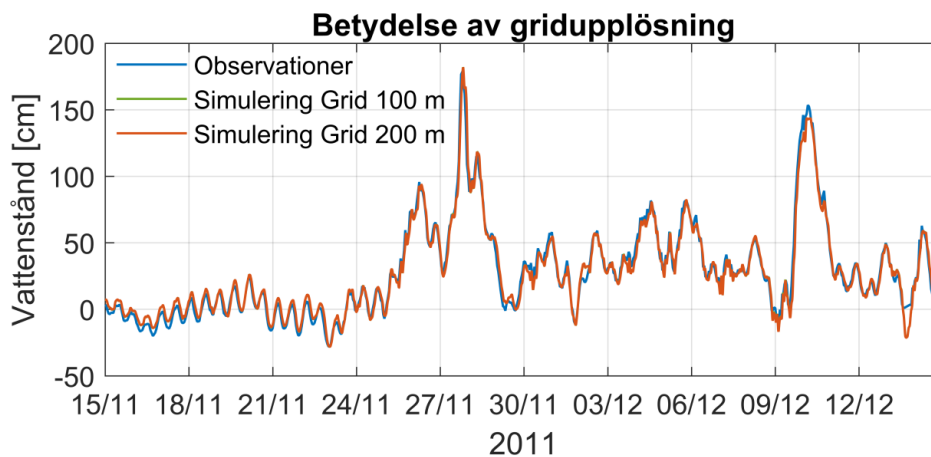
En jämförelse mellan en djupintegrerad simulering (referenssimuleringen) och en simulering i 3D visas i Figur 7.12 tillsammans med observerat vattenstånd. Resultatet från 2D- respektive 3D - simuleringen är i princip identiska när det gäller vattenståndet. Detta indikerar att tredimensionella effekter har väldigt liten betydelse i detta specifika fall.



Figur 7.12 Betydelse av tredimensionella effekter. Simuleringen i 2D är referenssimuleringen.

### Betydelse av beräkningsnätets upplösning

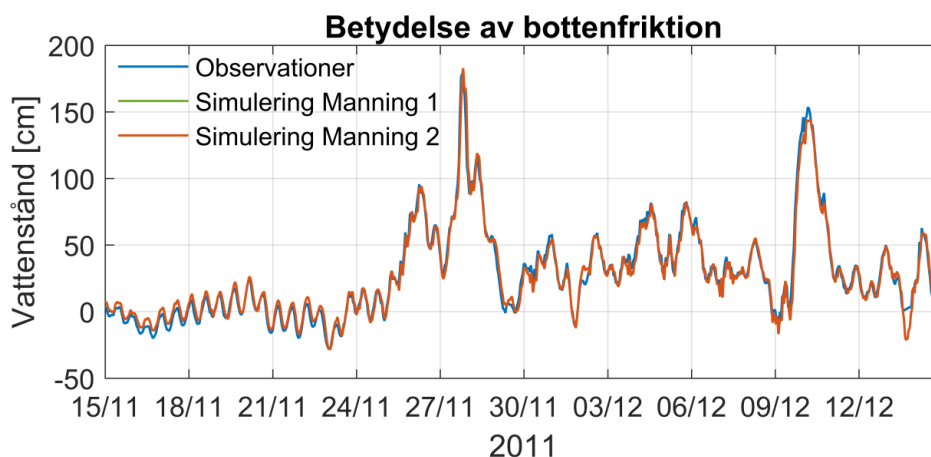
I Figur 7.13 visas simulerat vattenstånd med olika upplösning på beräkningsnätet samt det observerade vattenståndet. Simuleringen med det grövre beräkningsnätet som har en upplösning på 200 m istället är i princip identisk med referenssimuleringen som har en upplösning på 100 m. Resultatet visar att det grövre beräkningsnätet som kräver mindre beräkningstid inte försämrar kvaliteten på resultatet.



Figur 7.13 Betydelse av gridupplösning. Simuleringen med en gridupplösning på 100 m är referenssimuleringen.

## Bottenfriktionens betydelse

I Figur 7.14 visas simulerat vattenstånd med lägre bottenfriktion jämfört med referenssimuleringen samt det observerade vattenståndet. De båda simuleringarna är i princip identiska vilket indikerar att resultatet inte är särskilt känsligt för bottenfriktionen inom det testade intervallet.

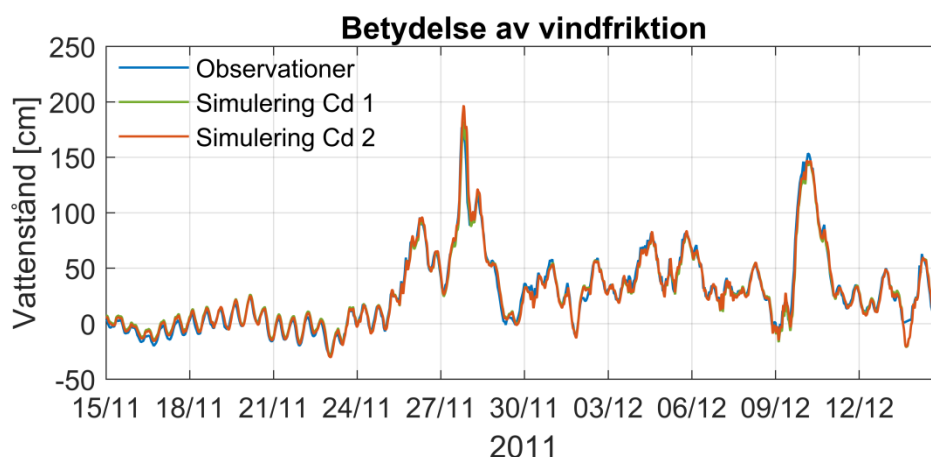


Figur 7.14. *Betydelse av bottenfriktion. Simuleringen med manning 1 är referenssimuleringen med en något högre bottenfriktion än simuleringen med manning 2.*

## Betydelse av vindfriktionskoefficienter

En jämförelse av effekten av olika vindfriktionskoefficienter visas i Figur 7.15 tillsammans med observerat vattenstånd. Jämfört med referenssimuleringen (vindfriktion Cd 1) har denna simulering 2 ggr högre vindfriktion (Cd 2). Vid simuleringen med den högre vindfriktionen blir vattenståndet vid den högsta händelsen ca 15 cm högre jämfört med referenssimuleringen. I övrigt är de båda simuleringarna i princip identiska. Vid den andra höga händelsen skiljer det bara någon cm mellan de båda simuleringarna. Båda simuleringarna underskattar den andra händelsen med 7-10 cm.

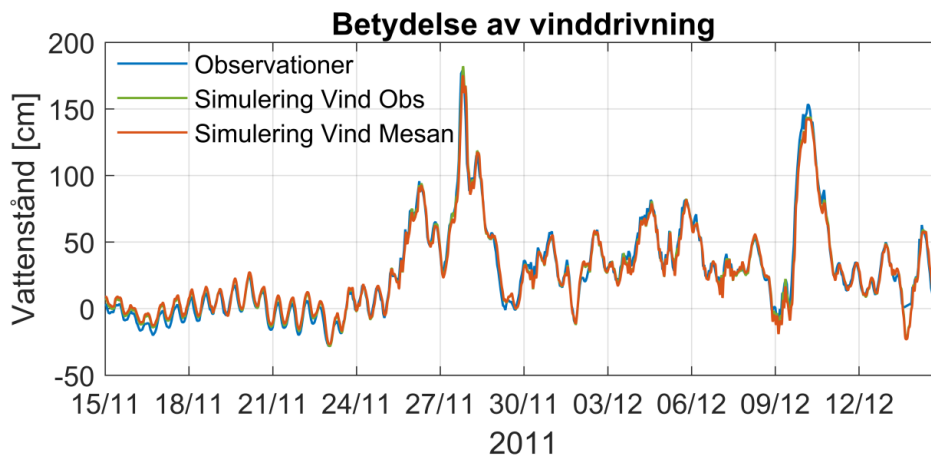
Vid simuleringen med den högre vindfriktionen fås ett högsta vattenstånd på 197 cm. Det observerade vattenståndet vid denna händelse är ca 176 cm (baserat på timvärden). Simuleringen med den högre vindfriktionen överskattar således vattenståndet med ca 20 cm.



Figur 7.15 *Betydelse av vindfriktionskoefficienter. Simuleringen med vindfriktionskoefficienten Cd 1 är referenssimuleringen.*

### Betydelse av vinddrivning

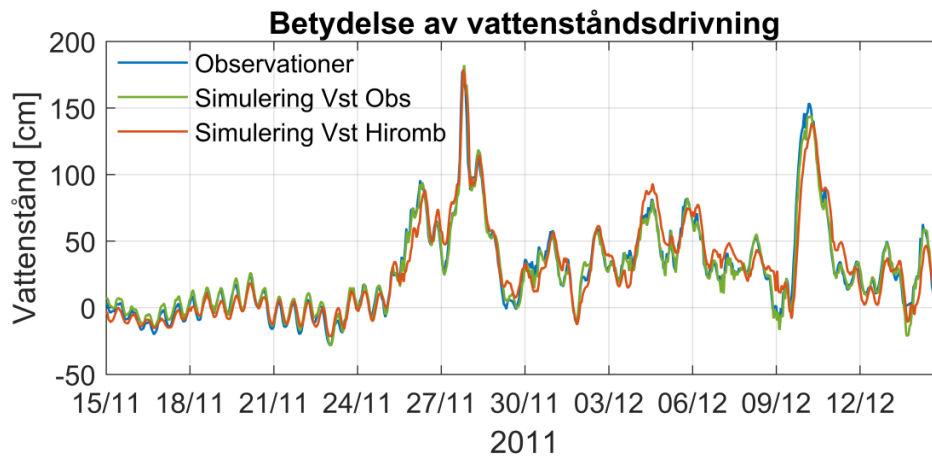
I Figur 7.16 visas observerat och simulerat vattenstånd med olika vinddrivning, dels med drivning från observerade vindar vid Hallands Väderö (referenssimulering) och dels med drivning av vindar och tryckfält hämtade från analysmodellen MESAN. Resultaten visar att simuleringen med drivningen från MESAN stämmer mycket bra med observerat vattenstånd men underskattar den högsta händelsen något där referenssimuleringen ger något bättre resultat.



Figur 7.16 *Betydelse av vinddrivning, dels baserat på observationer från Hallands Väderö och dels baserat på vind och lufttryck från analysmodellen MESAN.*

### Betydelse av vattenståndsdrivning på randen

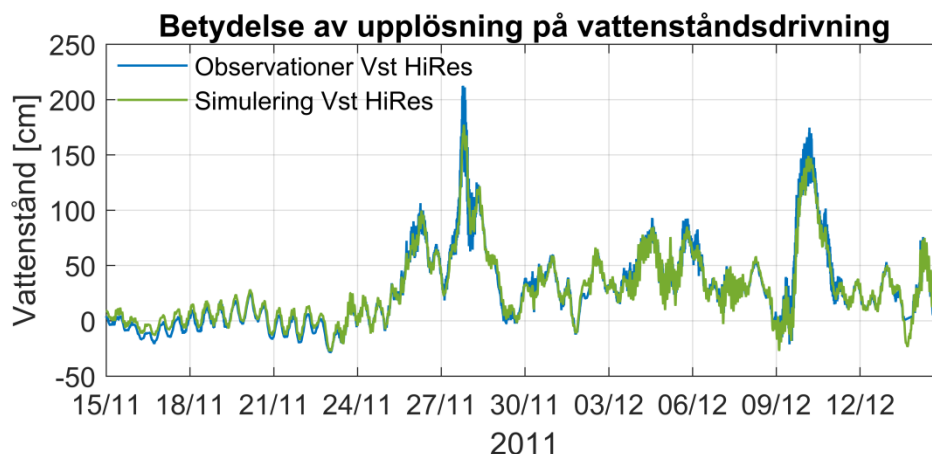
I referenssimuleringen matas modellen med observerat vattenstånd från Viken på den öppna randen. För att testa betydelsen av randvillkoren har en simulering där modellen matas med vattenståndsdata extraherat från HIROMB utförts. Simulerat vattenstånd tillsammans med observerat vattenstånd visas i Figur 7.17. Resultatet visar att simuleringen där randvillkoret är baserat på vattenståndsdata extraherat från HIROMB för denna period ger en relativt god överensstämmelse med det observerade vattenståndet. Överensstämmelsen är något sämre jämfört med referenssimuleringen. Det har visats att vattenståndet extraherat från HIROMB stämde väl överens med det observerade vattenståndet vid Viken för denna period – betydligt bättre än för kalibreringsperioden (Figur 6.6 respektive Figur 6.2). Resultatet visar att kvaliteten på randvillkoret är betydande för att få bra överensstämmelse mellan observerat och simulerat vattenstånd.



Figur 7.17 Betydelse av vattenståndsdrivning på den öppna randen, dels baserat på observerat vattenstånd vid Viken (referenssimuleringen) och dels baserat på vattenstånd extraherat från HIROMB.

### Betydelse av drivning med högupplöst vattenståndsdata

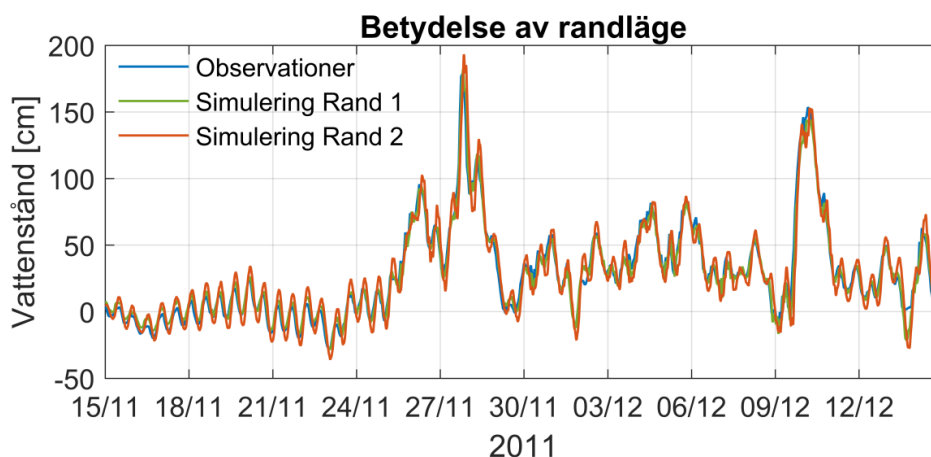
Högupplösta observationer av vattenståndet vid Ängelholm registrerar högre vattenstånd vid den extrema händelsen under kalibreringsperioden. Därtill registeras även de kortvariga svängningarna som förekommer i viken. En testsimulering med högupplöst vattenståndsdrivning på den öppna randen har utförts. Det simulerade och det observerade vattenståndet vid Ängelholm baserat på högupplösta data visas i Figur 7.18. Resultatet visar att det simulerade vattenståndet stämmer relativt väl överens med det observerade vattenståndet men de två högsta händelserna underskattas något av modellen. Det förekommer en del svängningar i modellen men dessa svängningar förekommer även i det observerade vattenståndet. Vinddrivningen för denna testsimulering baseras, liksom tidigare, på timvärden från Hallands Väderö. Det är möjligt att de två högsta händelserna skulle kunna fångas med modellen med mer högupplöst vinddata som drivning vilket det inte finns tillgång till och har därför inte testats.



Figur 7.18 Betydelse av högupplöst vattenståndsdrivning på den öppna randen jämfört med högupplöst vattenståndsobservationer vid Ängelholm/Magnarp. Notera att skalan på y-axeln är annorlunda mot övriga figurer.

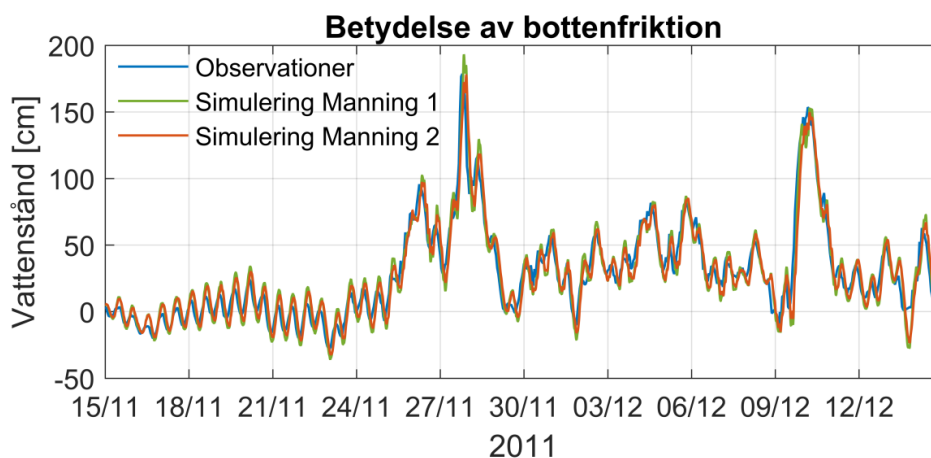
## Betydelse av randläge

Vid nästa testsimulering har det större beräkningsnätet används (Figur 4.3) med annan placering av de öppna ränderna. På den norra randen har en låg ström satts och på den södra randen matas modellen med vattenståndsobservationer från Viken. Observerat och simulerat vattenstånd visas i Figur 7.19. Resultatet visar att simuleringen med det större beräkningsnätet ger en god överensstämmelse mot det observerade vattenståndet. Både den första såväl som den andra händelsen fångas väl av modellen. Den första händelsen överskattas något medan den andra händelsen fångas bra. En viss förskjutning i tiden kan ses. Svängningarna (tidvattnet) i början av perioden överskattas något med det större beräkningsnätet. Svängningarna (tidvattnet) kan dämpas i modellen men då ökas samtidigt förskjutningen i tiden samt de två högsta händelserna underskattas något.



Figur 7.19 *Betydelse av läget på den öppna randen. Simuleringen rand 1 är referenssimuleringen.*

En jämförelse av bottenfriktionens betydelse har utförts för det större beräkningsnätet. Två simuleringar med olik bottenfriktion har utförts med det större beräkningsnätet. Det simulerade och observerade vattenståndet visas i Figur 7.20. Resultatet visar att simuleringen med något lägre bottenfriktion (manning 1), vilken motsvarar referenssimuleringens bottenfriktion, genererar något högre vattenstånd jämfört med simuleringen med en något högre bottenfriktion (manning 2).



Figur 7.20 *Betydelse av bottenfriktion då båda simuleringar har utförts med det större beräkningsnätet med den öppna randen placerad längre bort från Skäldervikens mynning. Simuleringen manning 1 har en lägre bottenfriktion än manning 2.*

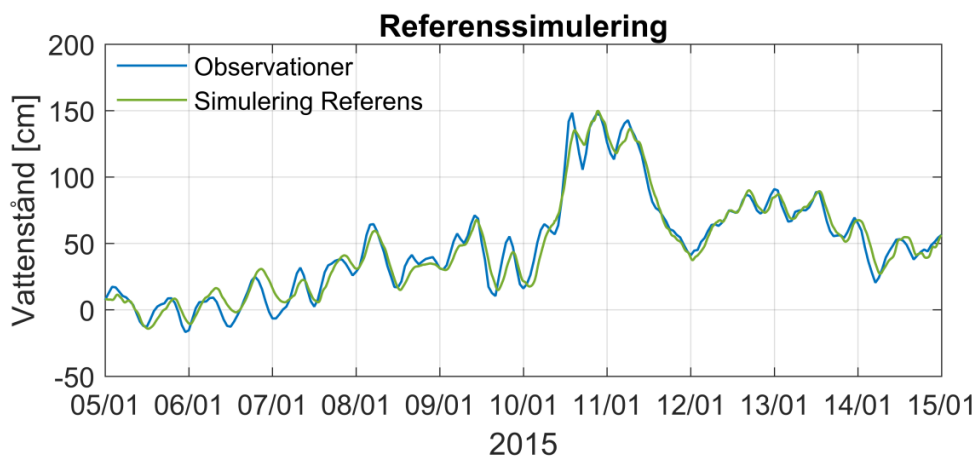
## 7.2 Fjordsystemet in mot Uddevalla

### 7.2.1 Kalibreringsperiod

I Figur 7.21 visas observerat och simulerat vattenstånd vid Uddevalla för kalibreringsperioden 5-15 januari 2015 med de inställningar i modellen (Delft3D-Flow) som gav bra resultat och vidare används som referenssimulering.

För referenssimuleringen körs modellen djupintegrerad d.v.s. körs i två dimensioner och drivs av observerade vindar från Måseskär och matas med vattenstånd baserat på observationer vid Smögen och Göteborg-Torshammen på de öppna ränderna. Både vinddrivningen och vattenståndet på de öppna ränderna har en tidsupplösning på en timme.

Det simulerade vattenståndet visar en god överensstämmelse med det observerade vattenståndet i Uddevalla. Man kan se tre på varandra följande vattenståndstoppar under den högsta händelsen varav modellen fångar händelsen i mitten väl men underskattar den första och den tredje händelsen något. Vid den första toppen når det simulerade vattenståndet 135 cm och det observerade 148 cm. Vid den andra toppen når det simulerade vattenståndet 150 cm och det observerade vattenståndet 148 cm. Vid den tredje toppen når det simulerade vattenståndet 136 cm och det observerade 143 cm. De observerade värdena är baserade på timvärden. I övrigt förekommer en viss tidsförskjutning där modellen oftast ligger lite efter – tydligast i början på simuleringsperioden.



Figur 7.21 **Referenssimulering.** Observerat och simulerat vattenstånd vid Uddevalla för kalibreringsperioden 5-15 januari 2015.

Utöver referenssimuleringen har ett antal testsimuleringar utförts vilka listas i Tabell 7.3. Vid testsimuleringarna har en alternativt två förändringar gjorts utifrån referenssimuleringen.

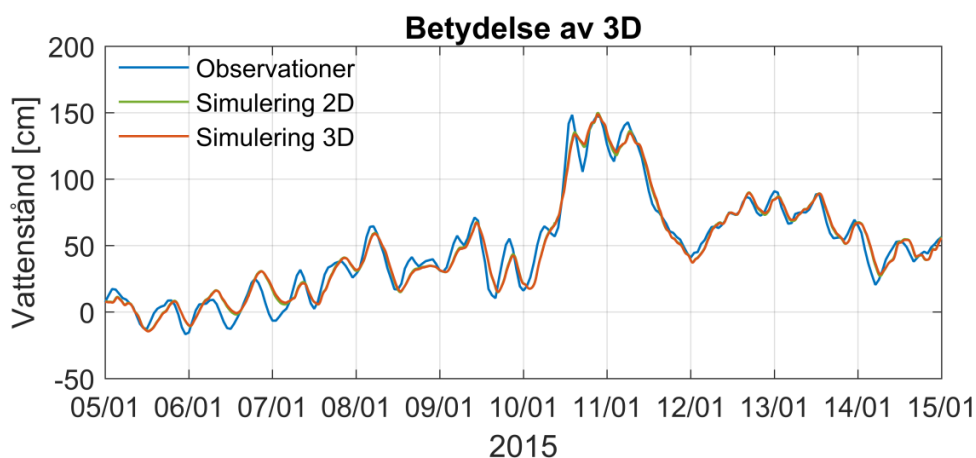
Tabell 7.3 Lista över de simuleringar som utförts för kalibreringsperioden för fjordsystemet in mot Uddevalla.

	<b>Simulering</b>	<b>Figur</b>	<b>Kommentar</b>
1.	Referenssimulering	Figur 7.21	Mycket god överensstämmelse.
2.	Simulering i 3D istället för 2D	Figur 7.22	Ingen skillnad mot referens.
3.	Lägre bottenfriktion	Figur 7.23	Marginell skillnad. Något högre vst jmf referens
4.	2 ggr högre vindfriktion	Figur 7.24	Överskattar vattenståndet med ca 20 cm vid högsta händelsen jmf med observationer.
5.	Drivs av vindar hämtade från MESAN istället för observationer från Hallands Väderö	Figur 7.25	Marginell skillnad. Mindre tidsförskjutning i början av perioden jmf referens.
6.	Matas med vattenstånd extraherat från HIROMB på den öppna randen istället för observerat vattenstånd vid Viken	Figur 7.26	Underskattar högsta händelsen med ca 15 cm. Mindre tidsförskjutning i början av perioden jmf referens.
7.	Matas med vattenstånd extraherat från HIROMB samt drivs av vindar extraherade från HIROMB/HIRLAM	Figur 7.27	Bättre än simulering 6 men underskattar högsta händelsen något.



### Betydelse av 3D

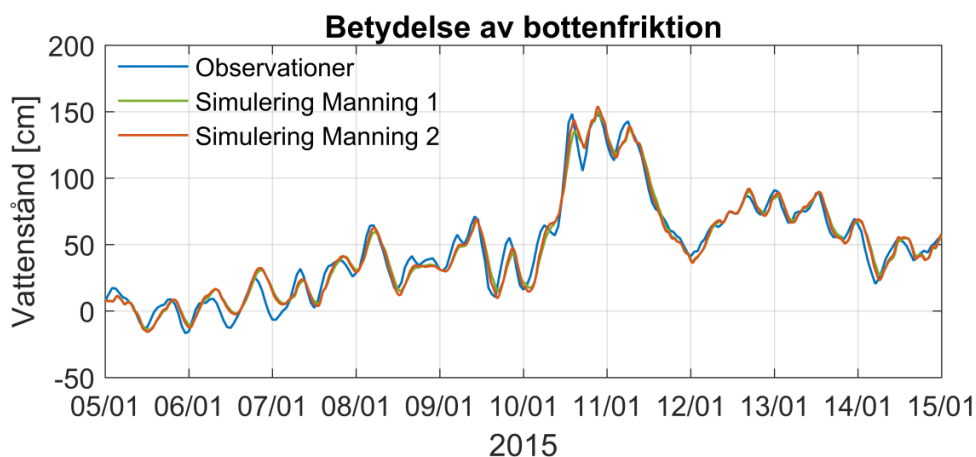
En jämförelse mellan den djupintegrerade simuleringen (referenssimuleringen) och en simulering där modellen körs i tre dimensioner visas i Figur 7.22. resultatet visar att det är en viss skillnad mellan 2D och 3D där vattenståndet är något högre för 3D-simuleringen. Detta indikerar att tredimensionella har viss men liten betydelse i detta specifika fall.



Figur 7.22 Betydelse av tredimensionella effekter. Simuleringen i 2D är referenssimuleringen.

### Bottenfriktionens betydelse

I Figur 7.23 visas simulerat vattenstånd med en lägre bottenfriktion jämfört med en simulering med högre bottenfriktion tillsammans med det observerade vattenståndet vid Uddevalla. Resultatet visar att simuleringen med lägre bottenfriktion ger något högre vattenstånd. Simuleringen med den lägre bottenfriktionen fångar den första toppen i extremhändelsen bättre än den simuleringen med den lägre bottenfriktionen. Det är ytterst små skillnader i övrigt.

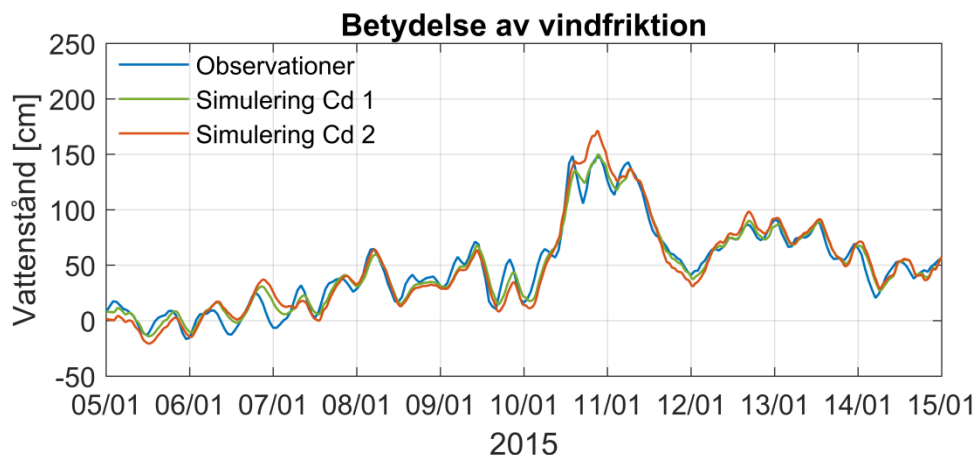


Figur 7.23 Betydelse av bottenfriktion. Simuleringen med manning 1 är referenssimuleringen med en något högre bottenfriktion än simuleringen med manning 2.

### Betydelse av vindfriktionskoefficienter

En jämförelse av effekten av olika vindfriktionskoefficienter visas i Figur 7.24 tillsammans med det observerade vattenståndet. Jämfört med referenssimuleringen (vindfriktion Cd 1) har testsimuleringen 2 ggr högre vindfriktion (Cd 2).

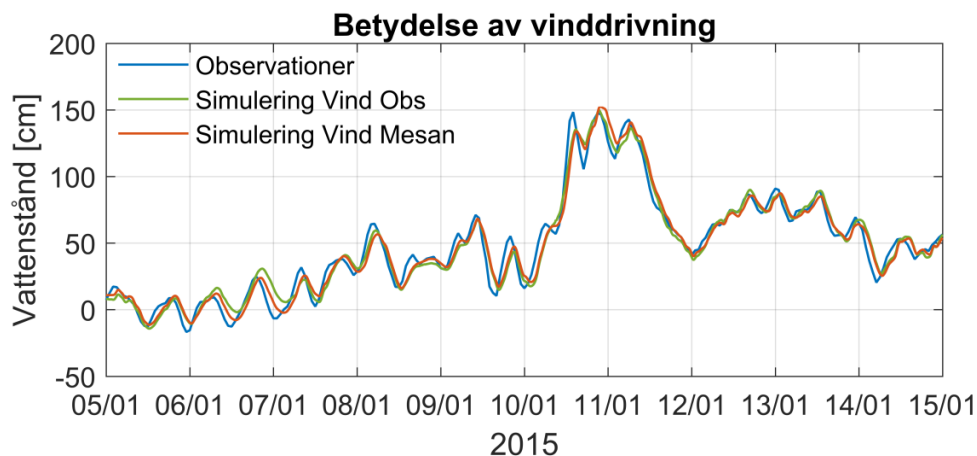
Resultatet visar att simuleringen med 2 ggr högre vindfriktion fångar den första toppen i högvattenhändelsen något bättre jämfört med referenssimuleringen. Vid den andra toppen fås ett vattenstånd på 171 cm med den högre vindfriktionen. Det observerade vattenståndet vid denna händelse är ca 148 cm (baserat på timvärden). Simuleringen med den högre vindfriktionen överskattar således vattenståndet med ca 20 cm för denna topp. Vid den tredje toppen är det endast någon cm skillnad mellan de båda simuleringarna.



Figur 7.24 Betydelse av olika vindfriktionskoefficienter. Simuleringen med vindfriktionskoefficienten Cd 1 är referenssimuleringen.

### Betydelse av vinddrivning

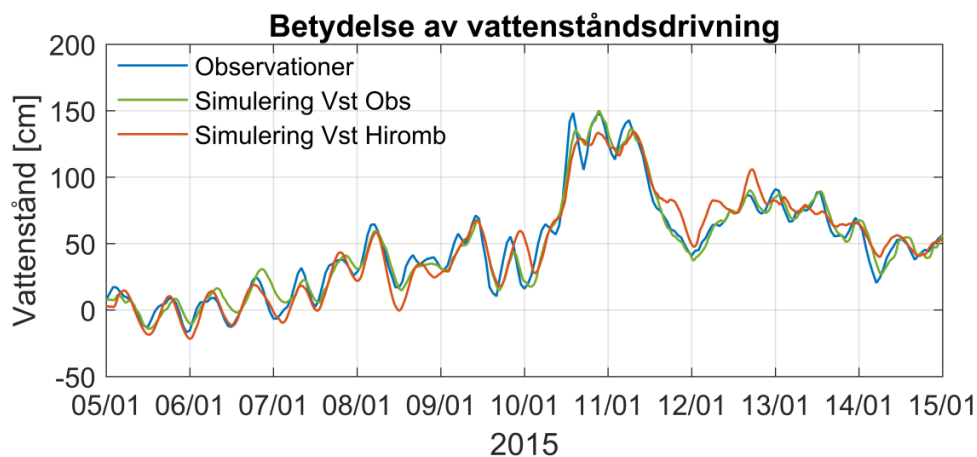
I Figur 7.25 visas observerat och simulerat vattenstånd med två olika källor för vinddrivningen, dels med drivning från observerade vindar från Måseskär (referenssimuleringen) och dels med drivning av vindar och tryckfält hämtade från MESAN. Resultatet visar att simuleringen med drivning från MESAN stämmer väl med observerat vattenstånd och presterar något bättre än referenssimuleringen vid ett tillfälle i början av simuleringsperioden. Den extrema händelsen fångas ungefär lika bra som vid referenssimuleringen. Simuleringarna indikerar att resultatet inte är särskilt känsligt för tryckfältet alternativt är det för små variationer av tryckfältet inom det simulerade områdets horisontella utbredning för att ha en tydlig effekt.



Figur 7.25 *Betydelse av vinddrivning, dels baserat på observationer från Måseskär (referenssimulering) och dels baserat på vind och lufttryck från analysmodellen MESAN.*

### Betydelse av vattenståndsdrivning på randen

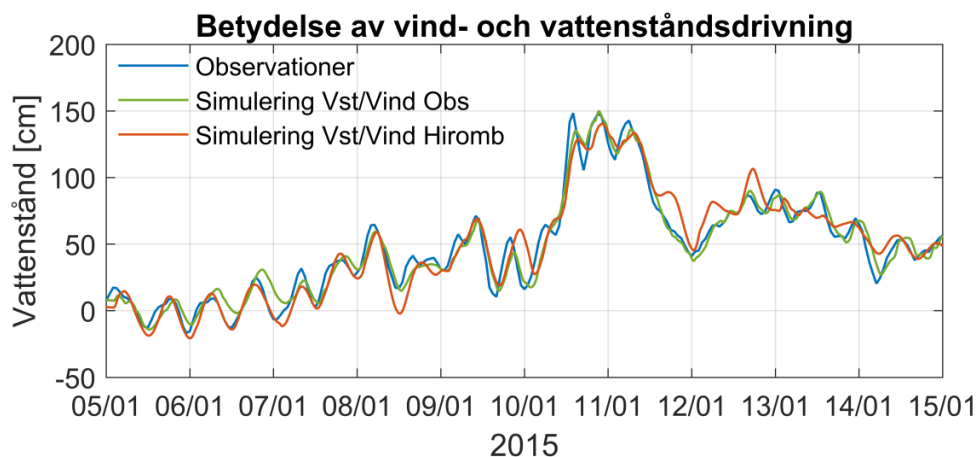
I referenssimuleringen matas modellen med vattenstånd baserat på observationer vid Smögen och Göteborg-Torshamnen vid de öppna ränderna. För att testa betydelsen av randvillkoren har en simulering där modellen matas med vattenståndsdata extraherat från HIROMB utförts. Simulerat vattenstånd tillsammans med observerat vattenstånd visas i Figur 7.26. Resultatet visar att simuleringen med randvillkor baserat på vattenståndsdata extraherat från HIROMB har en något sämre överensstämmelse med det observerade vattenståndet jämfört med referenssimuleringen, framförallt underskattas extremhändelsen med ca 15 cm. Det har visats att vattenståndet extraherat från HIROMB stämde relativt väl med observerat vattenstånd vid Smögen för denna period (se Figur 6.9). Resultatet visar att kvaliteten på randvillkorret är betydande för att få bra överensstämmelse mellan observerat och simulerat vattenstånd.



Figur 7.26 *Betydelse av vattenståndsdrivning på den öppna randen, dels baserat på observerat vattenstånd vid Smögen och Göteborg-Torshamnen (referenssimuleringen) och dels baserat på vattenstånd extraherat från HIROMB.*

### Betydelse av vind- och vattenståndsdrivning

Vid nästa testsimulering matas, liksom i den förra simuleringen, modellen av vattenstånd extraherat från HIROMB på de öppna ränderna. Därtill drivs modellen av vindarna från HIROMB d.v.s. från HIRLAM från en punkt, till skillnad från förra simuleringen då modellen drevs av vindar observerade vid Måseskär. Simulerat och observerat vattenstånd visas i Figur 7.27. Referenssimuleringen har fortfarande bättre överensstämmelse med observerat vattenstånd jämfört med simuleringen med vindar och vattenstånd från HIROMB och HIRLAM. Däremot fångas extremhändelsen något bättre än för den simuleringen med vattenstånd från HIROMB och vindar från observationer vid Måseskär.



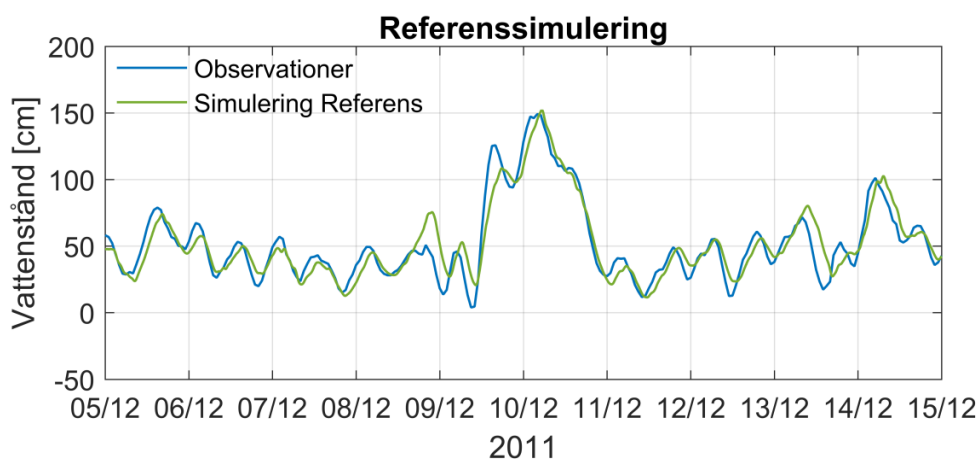
Figur 7.27 *Betydelse av vind- och vattenståndsdrivning, dels baserat på observerat vattenstånd vid Smögen och Göteborg-Torshamnen samt vindar baserat på observationer från Måseskär (referenssimulering) och dels baserat på vattenstånd och vindar extraherat från HIROMB.*

## 7.2.2 Valideringsperiod

I Figur 7.28 visas observerat och simulerat vattenstånd vid Uddevalla för valideringsperioden 5-15 december 2011 med de inställningar i modellen som användes vid referenssimuleringen för kalibreringsperioden. Medelvärden under perioden för respektive serie har tagits bort.

För referenssimuleringen körs modellen djupintegrerad d.v.s. körs i två dimensioner och drivs av observerade vindar från Måseskär och matas med vattenstånd baserat på observationer vid Smögen och Göteborg-Torshammen på de öppna ränderna. Både vinddrivningen och vattenståndet på de öppna ränderna har en tidsupplösning på en timme.

Det simulerade vattenståndet visar en god överensstämmelse med det observerade vattenståndet i Uddevalla. Man kan se två på varandra följande vattenståndstoppar under den högsta händelsen varav modellen fångar den andra händelsen som är den högsta men underskattar den första toppen. Vid den första toppen når det simulerade vattenståndet 108 cm och det observerade 126 cm. Vid den andra toppen når det simulerade vattenståndet 152 cm och det observerade vattenståndet 149 cm. De observerade värdena är baserade på timvärden. I övrigt förekommer en viss tidsförskjutning där modellen oftast ligger lite efter. Vattenståndet överskattas strax innan extremhändelsen.



Figur 7.28 **Referenssimulering.** Observerat och simulerat vattenstånd vid Uddevalla för valideringsperioden 5-15 december 2011.

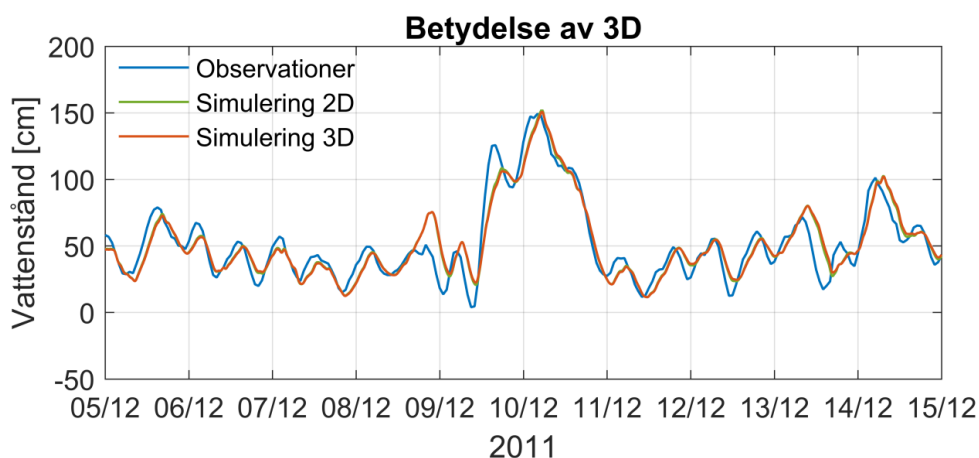
Utöver referenssimuleringen har ett antal testsimuleringar utförts vilka listas i Tabell 7.4. Vid testsimuleringarna har en alternativt två förändringar gjorts utifrån referenssimuleringen.

Tabell 7.4 Lista över de simuleringar som utförts för valideringsperioden för fjordsystemet in mot Uddevalla.

	<b>Simulering</b>	<b>Figur</b>	<b>Kommentar</b>
1.	Referenssimulering	Figur 7.28	Mycket god överensstämmelse
2.	Simulering i 3D istället för 2D	Figur 7.29	Ingen skillnad mot referens
3.	Lägre bottenfriktion	Figur 7.30	Marginell skillnad mot referens
4.	2 ggr högre vindfriktion	Figur 7.31	Överskattar högsta händelsen med knappt 10 cm jmf med observationer.
5.	Drivs av vindar hämtade från MESAN istället för observationer från Hallands Väderö	Figur 7.32	Viss skillnad mot referens. Bättre överensstämmelse innan högsta händelse
6.	Matas med vattenstånd extraherat från HIROMB på den öppna randen istället för observerat vattenstånd vid Viken	Figur 7.33	Bra överensstämmelse men viss skillnad mot referens
7.	Matas med vattenstånd extraherat från HIROMB samt drivs av vindar extraherade från HIROMB/HIRLAM	Figur 7.34	Bra överensstämmelse men viss skillnad mot referens

### Betydelse av 3D

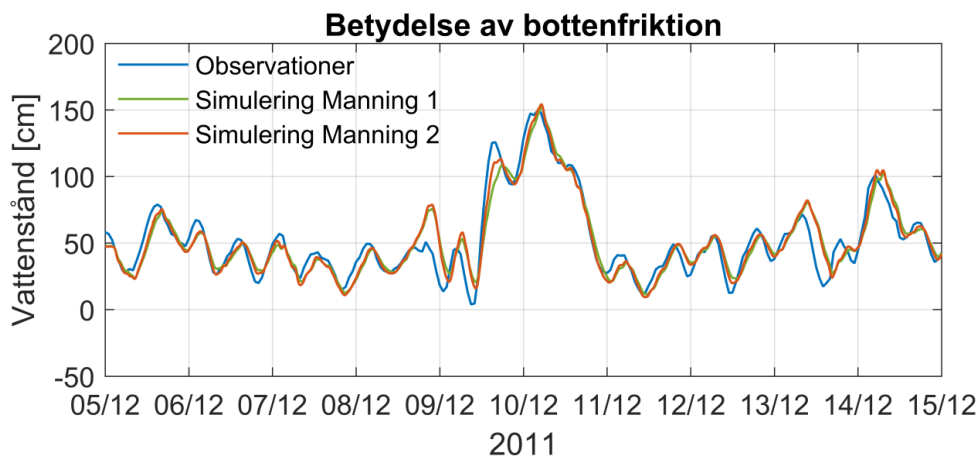
En jämförelse mellan den djupintegrerade simuleringen (referenssimuleringen) och en simulering där modellen körs i tre dimensioner visas i Figur 7.29. resultatet visar att det är en viss skillnad mellan 2D och 3D där vattenståndet är något högre för 3D-simuleringen. Detta indikerar att tredimensionella har viss men liten betydelse i detta specifika fall.



Figur 7.29 Betydelse av tredimensionella effekter. Simuleringen i 2D är referenssimuleringen.

### Betydelse av bottenfriktion

I Figur 7.30 visas simulerat vattenstånd med en lägre bottenfriktion jämfört med en simulering med högre bottenfriktion tillsammans med det observerade vattenståndet vid Uddevalla. Resultatet visar att de båda simuleringarna ger snarlika resultat. Generellt ger simuleringen med lägre bottenfriktion något högre vattenstånd men skillnaderna är mycket små.



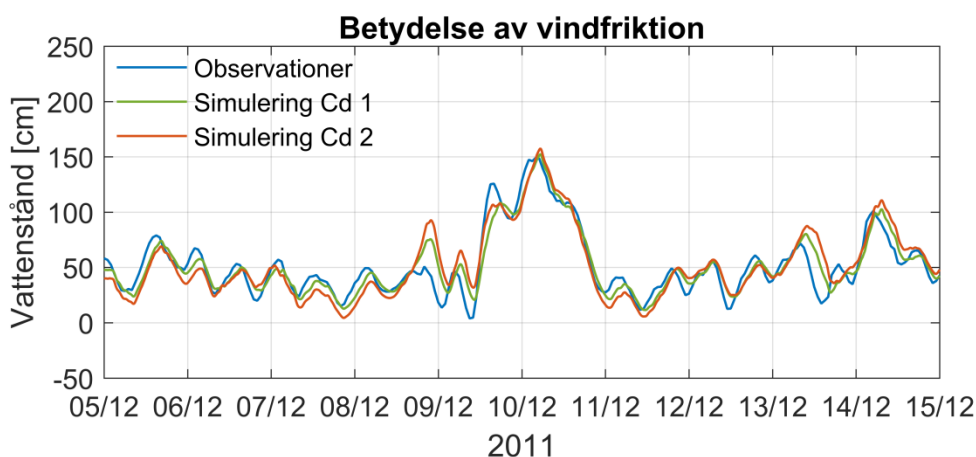
Figur 7.30 Betydelse av bottenfriktion. Simuleringen med manning 1 är referenssimuleringen med en något högre bottenfriktion än simuleringen med manning 2.

### Betydelse av vindfriktionskoefficienter

En jämförelse av effekten av olika vindfriktionskoefficienter visas i Figur 7.31 tillsammans med det observerade vattenståndet. Jämfört med referenssimuleringen (vindfriktion Cd 1) har testsimuleringen 2 ggr högre vindfriktion (Cd 2).

Resultatet visar att simuleringen med 2 ggr högre vindfriktion ger något högre vattenstånd vid den högsta händelsen jämfört med referenssimuleringen. Vid simuleringen med den högre vindfriktionen fås ett vattenstånd på 157 cm vid den högsta händelsen. Det observerade vattenståndet vid denna händelse är ca 149 cm (baserat på timvärden). Simuleringen med den högre vindfriktionen överskattar således det högsta vattenståndet med knappt 10 cm.

Vid händelsen strax innan högsta toppen ger simuleringen med den högre vindfriktionen ingen förbättring. Därtill överskattas topparna strax innan högsta händelsen ytterligare med den högre vindfriktionen jämfört med referenssimuleringen.

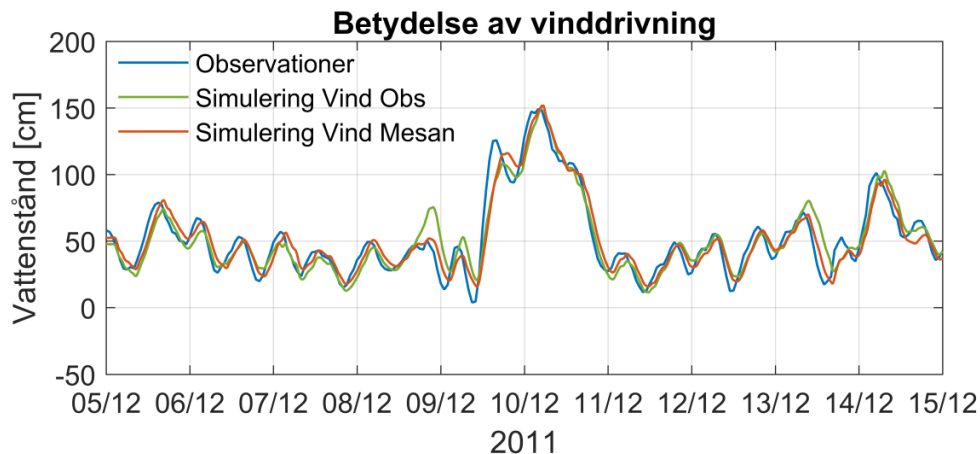


Figur 7.31 Betydelse av vindfriktionskoefficienter. Simuleringen med vindfriktionskoefficienten Cd 1 är referenssimuleringen.

### Betydelse av vinddrivning

I Figur 7.32 visas observerat och simulerat vattenstånd med två olika källor för vinddrivningen, dels med drivning från observerade vindar från Måseskär (referenssimuleringen) och dels med drivning av vindar och tryckfält hämtade från MESAN. Resultatet visar att simuleringen med drivning från MESAN stämmer väl med observerat vattenstånd och presterar något bättre än referenssimuleringen vid toppen strax innan extremhändelsen. Den extrema händelsen fångas lika bra som vid referenssimuleringen – själva svängningen är dock något lägre jämfört med referenssimuleringen.





Figur 7.32 *Betydelse av vinddrivning, dels baserat på observationer från Måseskär (referenssimulering) och dels baserat på vind och lufttryck från analysmodellen MESAN.*

### Betydelse av vattenståndsdrivning på randen

Liksom tidigare matas modellen i referenssimuleringen med vattenstånd baserat på observationer vid Smögen och Göteborg-Torshamnen vid de öppna ränderna. För att testa betydelsen av randvillkoren har en simulering där modellen matas med vattenståndsdata extraherat från HIROMB utförts. Simulerat vattenstånd tillsammans med observerat vattenstånd vid Uddevalla visas i Figur 7.33. Resultatet visar att simuleringen med randvillkor baserat på vattenståndsdata extraherat från HIROMB har en god överensstämmelse med det observerade vattenståndet och presterar i princip lika bra som referenssimuleringen. Det har visats att vattenståndet extraherat från HIROMB stämde relativt väl med observerat vattenstånd vid Smögen för denna period (se Figur 6.11). Resultatet visar att kvaliteten på randvillkorret är betydande för att få bra överensstämmelse mellan observerat och simulerat vattenstånd.



Figur 7.33 *Betydelse av vattenståndsdrivning på den öppna randen, dels baserat på observerat vattenstånd vid Smögen och Göteborg-Torshamnen (referenssimuleringen) och dels baserat på vattenstånd extraherat från HIROMB.*

### Betydelse av vind- och vattenståndsdrivning

Vid nästa testsimulering matas, liksom i den förra simuleringen, modellen av vattenstånd extraherat från HIROMB på de öppna ränderna. Därtill drivs modellen av vindarna från HIROMB d.v.s. från HIRLAM från en punkt, till skillnad från förra simuleringen då modellen drevs av vindar observerade vid Måseskär. Simulerat och observerat vattenstånd visas i Figur 7.34. Resultatet visar att simuleringen med vindar och vattenstånd från HIROMB och HIRLAM stämmer väl överens med observerat vattenstånd. Den första toppen i extremhändelsen fångas något bättre än vid referenssimuleringen. Därtill ser man större skillnader mellan de båda simuleringarna strax före extremhändelsen jämfört med tidigare testsimulering.



Figur 7.34 Betydelse av vind- vattenståndsdrivning, dels baserat på observerat vattenstånd från Smögen och Göteborg-Torshammen samt vindar baserat på observationer från Måseskär (referenssimulering) och dels baserat på vattenstånd och vindar extraherat från HIROMB.

## 8 Diskussion och slutsatser

Det har visats att randvillkoret har en betydande roll för bra resultat. Mindre bra kvalitet på randvillkoret genererar resultat med sämre överensstämmelse mot observerade vattenstånd. Därtill är det viktigt att placera de öppna ränderna på ett sådant sätt att tillgång till bra data som randvillkor finns tillgängligt. Drivningen på randen är en av de viktigaste faktorerna för att uppnå bra resultat – särskilt om randen är belägen nära intresseområdet.

Därtill är vinddrivningen viktig för att uppnå bra resultat. Inom detta projekt har främst observerade vindar från en närbelägen station använts men även vind- och tryckfält från analysmodellen MESAN har använts. Resultatet visar att vinddrivning som varierar i både tid och rum kan förbättra resultatet något om vindhastigheterna inte underskattas vid extrema händelser.

Det är även viktigt att ha tillgång till kalibrerings- och validerings data för att verifiera modellens tillförlitlighet. Utan kontroll av modellen är det svårt att avgöra hur väl modellen efterliknar verkligheten. Det är därför viktigt att utföra mätningar om så bara för en kortare period för att ha något att jämföra mot.

Parametrar som exempelvis botten- och vindfriktion kan justeras i modellen. Det kan vara viktigt att hålla dessa parametrar inom rimliga intervall, särskilt om man inte har tillgång till observationer att kontrollera modellen mot (något man bör ha). Det har visats att resultatet från de båda lokala modellerna inte är särskilt känsligt för bottenfriktionskoefficienterna inom de testade intervallen men viss variation förekommer. Simuleringar med en 2 ggr högre vindfriktion jämfört med respektive referenssimulering överskattar högsta händelser med upp till 20 cm.

Resultatet från de lokala modellerna indikerar att tredimensionella effekter har liten betydelse för de simulerade fallen. Det går inte att säga generellt att tredimensionella effekter inte har betydelse för vattenståndet på en specifik plats.

Inom fjordsystemet in mot Uddevalla förekommer flera smala passager som ställer krav på upplösningen på beräkningsnätet. Det är viktigt att kritiska områden beskrivs på ett riktigt sätt i modellen. Med högre upplösning på beräkningsnätet ökar beräkningstiden och det är inte ovanligt att man får göra en avvägning av hur högupplöst nätet behöver vara mot beräkningstiden. Med ett mer flexibelt beräkningsnät än vad som använts i denna utredning med Delft3D-Flow skulle man kunna få ner beräkningstiden utan att göra avkall på beräkningsnätets upplösning. Flexibelt beräkningsnät finns inom Delft3D men det har inte testats i detta projekt.

För Skälderviken förekommer inga trånga passager som ställer krav på beräkningsnätets upplösning. Det kan dock vara viktigt att ha en tillräckligt bra upplösning för att beskriva området på ett bra sätt och att exempelvis strömmar kan utvecklas på ett lämpligt sätt. Det visades att beräkningsnätets upplösning hade en viss men lite betydelse inom det testade intervallet och för de testade perioderna. För vissa tillfällen är det möjligt att HIROMB med sin upplösning på 1 nautisk mil eller någon annan mer storskalig modell kan vara tillräckligt bra för att fånga vissa händelser.

## 9 Referenser

- Ref. 1 Delft3D: <https://oss.deltares.nl/web/delft3d/home>
- Ref. 2 HIRLAM/MESAN: <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/meteorologiska-modeller-1.5932>
- Ref. 3 HIROMB: <http://www.smhi.se/forskning/forskningsomraden/oceanografi/hiromb-1.543>



**SMHI**

Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut  
601 76 NORRKÖPING  
Tel 011-495 80 00 Fax 011-495 80 01