

## Framtida havsnivåer i Sverige

Signild Nerheim, Sofie Schöld, Gunn Persson och Åsa Sjöström



Pärbild.  
Havet stormar annandag jul 2016. Foto: Signild Nerheim

ISSN: 1654-2258 © SMHI

**KLIMATOLOGI Nr 48, 2017**

## **Framtida havsnivåer i Sverige**

Signild Nerheim, Sofie Schöld, Gunn Persson och Åsa Sjöström



## Förord

Ett projekt startade år 2015 på SMHI för att beskriva havsnivåer längs svenska kusten i dagens och framtidens klimat, medelvattenstånd såväl som höga nivåer. Projektet avslutades år 2017 och finansierades med medel från anslag 1:10 klimatanpassning.

Projektets syfte var att öka kunskapen om klimatförändringarnas påverkan på havets nivå runt Sveriges kust, och att tillhandahålla underlag för beslut i frågor som påverkas av nutida och framtida havsnivåer, med särskilt fokus på höga nivåer.

Projektet levererade beräkningar av framtida medelvattenstånd för Sveriges kust, en metod för att beräkna högsta havsvattenstånd samt analyser av vattenståndsdynamiken längs kusten och lokala effekter.

Resultaten redovisas i rapporter och som webbtjänster på smhi.se, där även data och GIS-skikt finns för nedladdning. När resultaten används är det viktigt att förstå dess syften och begränsningar. De förklaras i följande SMHI-rapporter som ingår i redovisningen av projektet:

Klimatologi nr 41. Karttjänst för framtida medelvattenstånd längs Sveriges kust

Klimatologi nr 45. Beräkning av högsta vattenstånd längs Sveriges kust

Klimatologi nr 48. Framtida havsnivåer i Sverige

Oceanografi nr 123. Vattenståndsdynamik längs Sveriges kust

Oceanografi nr 124. Statistisk metodik för beräkning av extrema havsvattenstånd

Oceanografi nr 125. Lokala effekter på extrema havsvattenstånd



## Sammanfattning

Sveriges kustområden drabbas ibland av tillfälliga översvämningar i samband med stormar eller då kraftiga lågtryck passerar. Översvämningar kan orsaka allvarliga samhällsstörningar och vatteninträngning i byggnader kan ge upphov till stora kostnader. Den pågående globala uppvärmningen, med stigande havsnivåer som följd, aktualiserar frågan om hur vattenståndet kring svenska kusten kan förändras, idag och i framtiden. Havet stiger och det kommer att pågå under hundratals eller kanske till och med tusentals år framöver.

SMHI startade 2015 ett projekt för att beskriva havsnivåer längs svenska kusten i dagens och framtidens klimat. Projektet har levererat:

- Beräknade medelvattenstånd för hela Sveriges kust för år 2050 och år 2100 utifrån tre olika framtida klimatscenarier.
- En visningstjänst för framtida medelvattenstånd.
- En beskrivning av hur höga havsvattenstånd kan beräknas för en specifik plats.
- Höga vattenstånd för SMHI:s mätstationer samt en visualisering av dessa.
- En översikt över statistisk metodik.
- En vägledning för utvärdering av lokala effekter.
- En beskrivning av kända högvattenhändelser i olika kustområden och parametrar och processer relaterade till dessa.

Denna rapport presenterar en översikt över resultaten som tagits fram i projektet och avslutas med en beskrivning av hur framtidens höga havsnivåer kan bedömas i planeringssyfte. SMHI har i rapporten inte tagit ställning till vilket klimatscenario eller vilken tidshorisont som är mest lämpligt att använda för samhällsplanering. Detta måste bestämmas i ett situationsspecifikt sammanhang där risk och kostnader beaktas. SMHI vill betona att även om år 2100 ofta anges som slutår för klimatscenarier, så kommer havets nivå att fortsätta att stiga längre än så.

Rapporten summerar resultat från övriga rapporter som framtagits inom projektet. För ytterligare detaljer hänvisas till dessa (se Förord).

## Summary

Temporary flooding sometimes hits the Swedish coastline during storms or during the passage of a low pressure area. Flooding can cause serious disruptions to societal functions as well as considerable economic damage. The on-going global warming and associated global sea-level rise is putting the spotlight on the potential for rising sea levels around the Swedish coast, today and for many years to come.

In 2015, SMHI started a project to describe the sea levels along the Swedish coastline in the current and future climate. This project has delivered:

- Average sea levels for the whole of the Swedish coastline for the years 2050 and 2100, for three different future climate scenarios.
- A visualisation of the future average sea levels in the form of an interactive map.
- A method for calculating high sea levels in a given location, using available observation data.
- Calculations and a visualisation of high sea levels for SMHI's observation stations.
- An overview of statistical methods.
- A guide for evaluating local effects on sea levels.

- A description of storm surge events in different coastal areas and parameters and processes related to these events.

This report presents an overview of the results that have come out of the project and concludes with a description of how to calculate future high sea levels.



## Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>INLEDNING .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>SYFTE .....</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>MEDELVATTENSTÅND .....</b>	<b>2</b>
<b>3.1</b>	<b>Framtidens globala medelvattenstånd .....</b>	<b>3</b>
3.1.1	Forskningsframsteg efter AR5 .....	7
3.1.2	Bortom år 2100 .....	9
<b>3.2</b>	<b>Landhöjningen .....</b>	<b>10</b>
<b>3.3</b>	<b>Regionala variationer i havsnivåhöjning .....</b>	<b>11</b>
3.3.1	Regionala variationer för Sveriges kust .....	13
<b>3.4</b>	<b>Höjdsystem och höjdmodell .....</b>	<b>14</b>
<b>3.5</b>	<b>Framtida medelvattenstånd i Sverige .....</b>	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>HÖGA HAVSVATTENSTÅND .....</b>	<b>17</b>
<b>4.1</b>	<b>Mätserier .....</b>	<b>18</b>
<b>4.2</b>	<b>Statistisk metodik .....</b>	<b>21</b>
<b>4.3</b>	<b>Högsta beräknade havsvattenstånd .....</b>	<b>22</b>
<b>4.4</b>	<b>Lokala effekter .....</b>	<b>26</b>
4.4.1	Vågor .....	28
<b>5</b>	<b>ATT BEDÖMA FRAMTIDENS HÖGA HAVSVATTENSTÅND .....</b>	<b>30</b>
<b>5.1</b>	<b>Behov av riskanalys .....</b>	<b>31</b>
<b>5.2</b>	<b>Framtida högvattenhändelser .....</b>	<b>32</b>
<b>5.3</b>	<b>Framtida höga havsvattenstånd för en given plats .....</b>	<b>32</b>
5.3.1	Platsspecifika förutsättningar .....	34
5.3.2	Tidshorisont .....	35
5.3.3	Acceptabel översvämningsrisk .....	35
5.3.4	Framtagande av planeringsunderlag .....	36
5.3.5	Summera och utvärdera .....	38
<b>6</b>	<b>SLUTSATSER .....</b>	<b>39</b>
<b>7</b>	<b>SLUTORD .....</b>	<b>42</b>
<b>8</b>	<b>REFERENSER .....</b>	<b>44</b>
<b>9</b>	<b>BILAGA 1. RÄKNEEXEMPEL .....</b>	<b>49</b>



# 1 Inledning

Översvämningar som orsakas av hastigt stigande havsvattenstånd kan orsaka allvarliga samhällsstörningar, till exempel då vägar och järnvägar blir tillfälligt obrukbara eller skadas. Vatteninträngning i bostäder och andra byggnader kan ge upphov till stora kostnader.

Sveriges kustområden drabbas ibland av tillfälliga översvämningar i samband med stormar eller då kraftiga lågtryck passerar. Ett exempel är stormen Gorm, som drog in över södra Sverige i slutet av november år 2015. Stormen orsakade mycket hastiga stegringar i vattenståndet längs Västkusten. Det finns historiska belägg för kraftiga översvämningar längs Sveriges sydkust och Öresund under 1872 respektive 1902. Stormfloder nådde då omkring 2-3 meter över medelvattenståndet.

Den pågående landhöjningen skapar å andra sidan problem längs den norrländska kusten eftersom havet drar sig ut från land. Bryggor och hamnanläggningar kommer därmed att hamna allt längre från kustlinjen.

I ett förväntat varmare framtida klimat stiger havets medelnivå och påverkar kustlinjen. De höga havsnivåerna kommer då att utgå från en vattenyta som ligger högre än idag. Det betyder att de höga nivåerna kan bli högre, vilket medför en ökad risk för översvämningar. Hur mycket och hur snabbt havets medelnivå stiger beror på hur mycket klimatet förändras. Eftersom våra utsläpp av växthusgaser innebär att medeltemperaturen stiger beror den framtida medelhavsnivån också på hur vi lyckas begränsa utsläppen i framtiden.

FNs klimatpanel, IPCC<sup>1</sup>, har sammanställt forskning kring hur klimatet kan utvecklas vid olika nivåer av växthusgaser i atmosfären. Utsläppsnivåerna beskrivs i olika scenarier. Dessa kallas RCP<sup>2</sup>-scenarier och uttrycks som den strålningsdrivning som de olika utvecklingsvägarna ger upphov till. När det framtida klimatet beräknas är det RCP-scenarier som ger klimatmodellerna information om de förändrade förutsättningarna i atmosfären. Resultat från dessa klimatmodeller ligger till grund för en del av det arbete som presenteras i denna rapport.

SMHI:s vattenståndsdata är en viktig källa till kunskap om vattenståndsdynamiken längs Sveriges kust. Vattenståndsdata från 1880-talet och fram till idag har analyserats inom projektet.

Projektet har sammanställt tillgängliga resultat över globala förändringar i medelvattenstånd, ny kunskap om landhöjningen i Sverige och analyser av vattenståndsdata för att ta fram underlag för samhällsplanering som berörs av stigande hav och höga vattenstånd. Denna rapport presenterar en översikt över resultaten som tagits fram i projektet och avslutas med en beskrivning av hur framtidens höga havsnivåer kan bedömas.

## 2 Syfte

I regleringsbrevet för åren 2015, 2016 och 2017 specificerades att SMHI fick använda medel inom anslag 1:10 klimatanpassning till följande insats:

---

<sup>1</sup> IPCC= Intergovernmental Panel on Climate Change, [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)

<sup>2</sup> RCP= Representative Concentration Pathways

*”Framtagande av riktlinjer för beräkning av dimensionerande havsnivåer för olika delar av Sverige för dagens och framtidens klimatförhållanden”.*

I arbetet med denna uppgift har SMHI valt att frångå begreppet ”dimensionerande” och istället fokusera på höga havsnivåer. Anledningen är att begreppet ”dimensionerande” innebär en bedömning av risktagande och behöver knytas till en specifik funktion eller verksamhet. Dimensionerande värden kan tolkas alltför styrande eller begränsande. Genom att istället fokusera på höga havsnivåer ges en mer allmängiltig bild av havsnivåernas utveckling. Detta möjliggör framtagande av riktlinjer som kan användas inom ett bredare område och som därmed tillfredsställer fler behov.

SMHI:s ambition är också att belysa komplexiteten i de processer som föranleder höga havsvattenstånd och därmed öka förståelsen för orsaker till- och storleken hos olika osäkerheter. Dessa kan sedan vägas in i kostnads-nyttoanalyser.

Projektets syfte var att öka kunskapen om klimatförändringarnas påverkan på havets nivå runt Sveriges kust, och att tillhandahålla underlag för beslut i frågor som påverkas av nutida och framtida havsnivåer, med särskilt fokus på höga nivåer

Projektet bestod av tre huvuddelar:

1. Beräkning av medelvattenstånd kring Sveriges kust i ett framtida klimat.
2. Högsta beräknade havsvattenstånd vid storm för SMHI:s mätstationer.
3. Anvisningar för att beräkna höga havsvattenstånd, i dagens och framtidens klimat, för en given plats.

### **3 Medelvattenstånd**

Ungefär 71 % av jordens yta är täckt av hav. Haven är i ständig rörelse. Oceancirkulationen drivs av uppvärmning och nerkylning, vindars och lufttrycks påverkan på den fria vattenytan och av flodtillrinning från land, avsmältning och bildning av is.

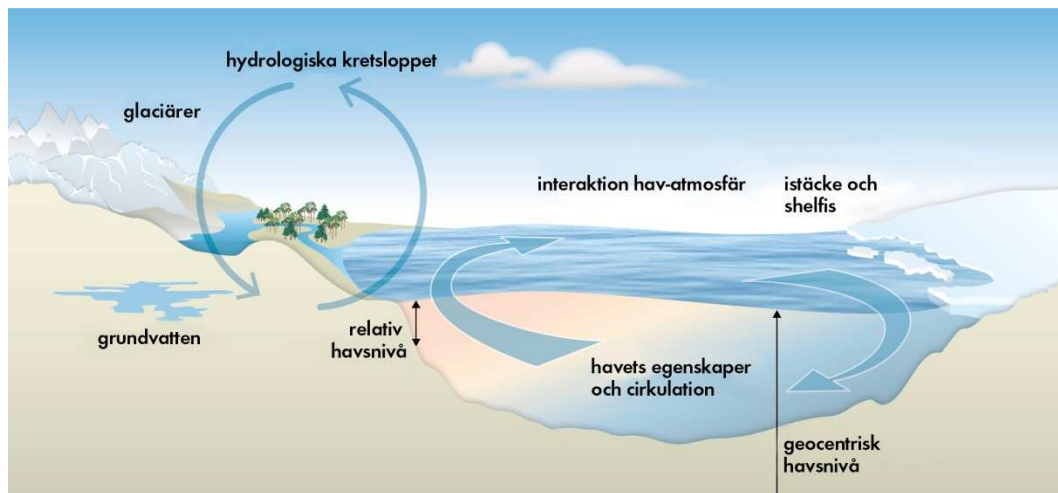
Det globala medelvattenståndet beror på den volym vatten som fyller världshaven. Volymen kan påverkas av att det tillförs eller tas bort vatten, antingen genom att landisar smälter eller byggs på, eller genom att andelen vatten som finns på land förändras och flyttas till haven. Volymen är också beroende av vattnets densitet vilken till stor del beror på temperaturen.

Den pågående globala uppvärmningen leder både till ökad isavsmältning och att temperaturen i världshaven höjs. IPCC skriver i sin femte utvärdering, AR5<sup>3</sup>, att den globala medeltemperaturen har ökat med i genomsnitt 0.85°C mellan 1880 och 2012 (Church *et al.*, 2013). De senaste tre decennierna har varit varmare vid jordytan än samtliga tidigare årtionden sedan 1850. Samtidigt har haven värmts upp, och temperaturen i det översta 75 m-skiktet har ökat med 0.11°C (0.09-0.13°C) per årtionde under perioden 1971-2010.

Andra observerade förändringar som beskrivs av IPCC i AR5 är en minskning av inlandsisarna på Grönland och Antarktis, samt minskade glaciärer och snötäcken under delar av året i många regioner. Avsmältningen har skett snabbare under det senaste decenniet än under det föregående. I figur 1 visas de olika processer som påverkar havsnivån översiktligt.

---

<sup>3</sup> AR5= Assessment Report no 5



Figur 1. Illustration av de faktorer som påverkar havsnivån. Glaciärer och grundvatten, stora inlandsisar och oceanens egenskaper såsom temperatur och cirkulation påverkas av interaktioner mellan atmosfär, hav och is, och av den hydrologiska cykeln. I bilden visas också att havsnivån mäts dels utifrån jordens mitt, men också relativt land. Källa: IPCC AR5, figur 13.1.

För att undersöka om förståelsen av de viktiga processerna stämmer jämförs skattningar av de olika variablerna på flera olika sätt. Detta redovisas bland annat i IPCC AR5. Den globala medelhavsnivåhöjningen uppskattas från mätningar. Från 1800-talet till idag finns mätningar från fasta mätstationer, som från 1993 och framåt kompletteras av bra satellitmätningar. Detta jämförs sedan med den sammanlagda beräknade medelhöjningen utifrån de olika komponenterna, såsom oceanernas observerade temperaturförändring, tillförsel från smältande inlandsisar, Grönland och Antarktis, och skattningar av förändringar i landvattenreservoaren.

Enligt IPCC AR5 är det mycket sannolikt att den globala genomsnittliga hastigheten för havsnivåhöjningen var  $1.7 (\pm 0.2)$  mm/år mellan 1901 och 2010 och  $2.0 (\pm 0.3)$  mm/år mellan 1971 och 2010.

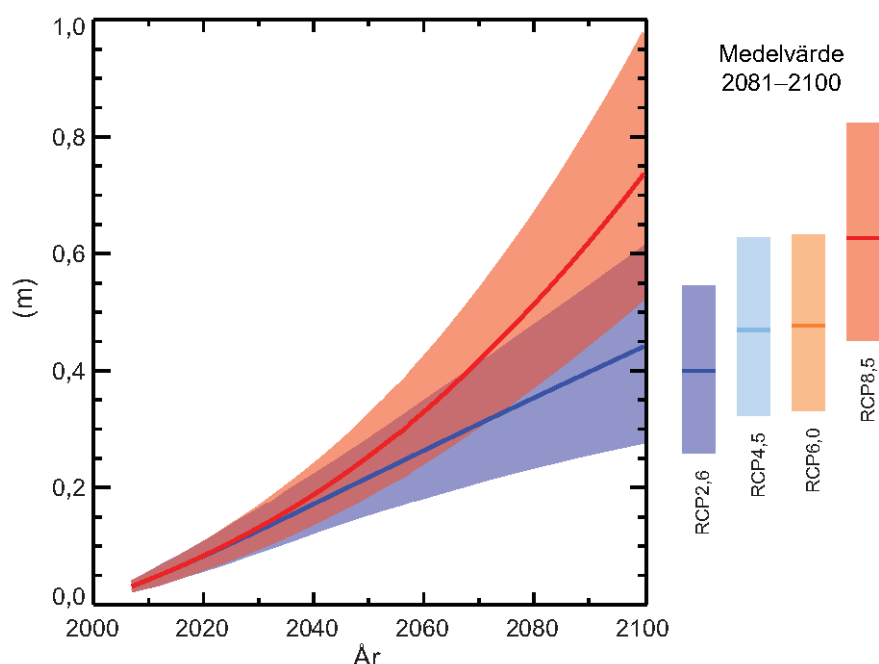
För åren 1993 till 2010 är den globala havsnivåhöjningen uppmätt till  $3.2 (\pm 0.4)$  mm per år (Beckley *et al.*, 2015). Det största bidraget till denna höjning är att världshavens temperatur förändras. Uppvärmningen av vattnet gör att det expanderar och tar mer plats än kallare vatten. Denna termiska expansion bedöms bidra med 1.1 mm/år. Avsmältning av landisar gör också att det blir mer vatten i oceanerna. Bidraget bedöms vara 0.76 mm/år för perioden 1993-2010. Sammanlagt representerar dessa förändringar nästan 60 % av den observerade höjningen. Bidraget från isavsmältningen på Grönland och Antarktis är totalt 0.60 mm/år och bidraget från landvatten 0.38 mm/år. Summan av dessa komponenter är 2.8 mm/år. Det saknas alltså 0.4 mm/år i denna jämförelse mellan olika processer och den uppmätta förändringen, men beräkningarna och skattningarna har blivit allt bättre under de senaste decennierna.

Det är tydligt att termisk expansion och inlandsisars bidrag har ökat från 1970-talet och framåt. Efterhand som klimatet förändras kan också den inbördes relationen mellan olika bidrag förändras.

### 3.1 Framtidens globala medelvattenstånd

Konsekvenserna av att havet stiger kan bli stora. På många håll är samhällen redan idag sårbara för översvämningar från havet. Låglänta områden som idag är bebyggda kan i framtiden komma att hamna under vatten. Problem såsom kusterosion och inträngning av saltvatten i grundvattenreservoarer kan komma att öka. Därför finns ett stort behov av att få så säkra uppskattningar som möjligt av hur snabbt havet kommer att stiga.

IPCC arbetar med att återkommande bearbeta och sammanställa kunskapsläget. Som underlag används bland annat synteser från samarbeten som klimatforskare driver kring stora modellexperiment. De resultat som anges av IPCC utgör en tämligen komplett sammanställning av kunskapsläget, för AR5:s del fram till 2012/2013.



Figur 2. Beräknad global framtida medelvattenståndshöjning under 2000-talet jämfört med perioden 1986-2005. Linjerna i diagrammet avser genomsnittliga värden för RCP2,6 och RCP8,5 och det sannolika intervallet för dessa RCP-er visas med skuggning. Staplarna avser medianvärden och sannolika intervall för perioden 2081-2100 för samtliga fyra RCP-er. Sannolikt är av IPCC definierat som 66-100% sannolikhet. Källa: IPCC AR5, figur SPM.9

Den globala framtida havsnivåhöjningen enligt IPCC:s projektioner visas i figur 2. Med projektioner avses modellberäkningar in i framtiden. Projektionerna baseras på olika möjliga framtida utsläpp av växthusgaser, formulerade som RCP-scenarier (tabell 1). De beskriver den antropogena<sup>4</sup> strålningsdrivningen, det vill säga hur människans aktiviteter kan komma att bidra till en ökad växthuseffekt i atmosfären.

Tabell 1. Kort beskrivning av RCP2,6, RCP4,5 och RCP8,5.

RCP2,6	RCP4,5	RCP8,5
Kraftfull klimatpolitik gör att utsläppen av växthusgaser kulminerar år 2020, och strålningsdrivningen når 2.6 W/m <sup>2</sup> år 2100. Detta scenario ligger närmast ambitionerna i Klimatavtalet från Paris.	Strategier för reducerade växthusgasutsläpp medför att strålningsdrivningen stabiliseras vid 4.5 W/m <sup>2</sup> före år 2100.	Ökande växthusgasutsläpp medför att strålningsdrivningen når 8.5 W/m <sup>2</sup> år 2100. Detta scenario ligger i dagsläget närmast de uppmätta trenderna i koncentration av växthusgaser.

I alla RCP-scenarier är koldioxidhalterna i atmosfären högre år 2100 jämfört med i dag som en följd av ytterligare ökning av koldioxidutsläppen under 2000-talet. Även övriga växthusgaser ingår i RCP-scenarierna.

<sup>4</sup> Antropogen = av människan skapad

I diagrammet i figur 2 kan ses att utvecklingen är tämligen likartad för olika utsläppsscenarioer fram till mitten av seklet. Detta innebär att havsnivåhöjningen tros utvecklas relativt lika fram till mitten av seklet oavsett scenario. Enligt NOAA<sup>5</sup> har den globala havsnivån höjts allt snabbare de senaste årtiondena. År 2016 var den globala havsnivån 82 mm över medelvärdet för 1993. Det är den högsta årsmedelnivån sedan 1993 enligt satellitmätningarna. NOAA bedömer att havsnivån stigit med 3.4 mm/år sedan 1993. Det är en snabbare takt än vad den lägsta nivån för RCP2,6 anger för framtidsperioden 2081-2100 (2.0 mm/år).

Tabell 2 visar medelvärdet av resultaten från figur 2 för två 20-årsperioder under kommande sekel, samt för året 2100.

Tabell 2. Global havsnivåhöjning (m) jämfört med referensperioden 1986-2005 utifrån RCP2,6, RCP4,5 och RCP8,5. Medianvärden för perioderna 2046-2065 och 2081-2100 samt för år 2100. Inom parentes anges 5-95 percentiler. Källa: Church et al., 2013.

	RCP2,6	RCP4,5	RCP8,5
	Median (5:e - 95 percentil)	Median (5:e - 95 percentil)	Median (5:e - 95 percentil)
år 2046-2065	0.24 (0.17 – 0.32)	0.26 (0.19 – 0.33)	0.30 (0.22 – 0.38)
år 2081-2100	0.40 (0.26 – 0.55)	0.47 (0.32 – 0.63)	0.63 (0.45 – 0.82)
år 2100	0.44 (0.28 – 0.61)	0.53 (0.36 – 0.71)	0.74 (0.52 – 0.98)

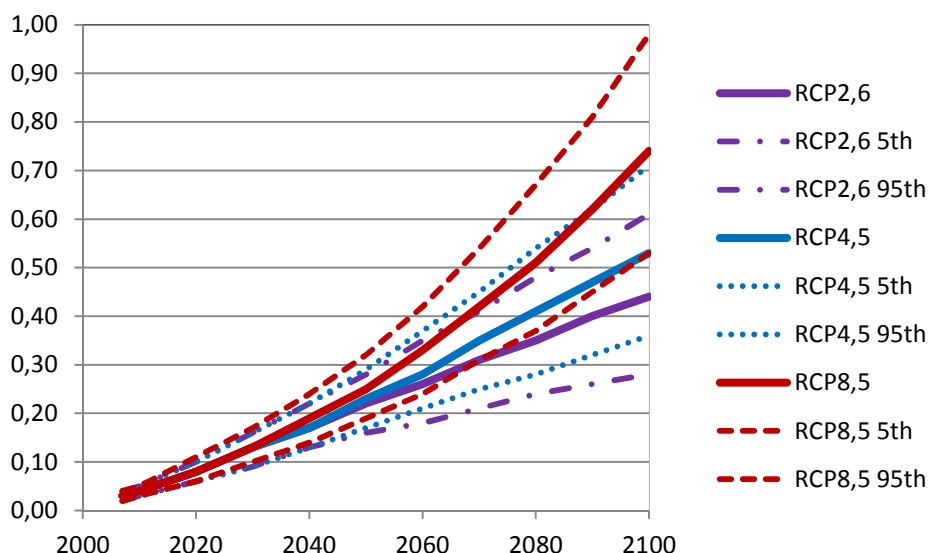
Resultaten bedöms av IPCC som sannolika, vilket betyder att det är en statistisk sannolikhet på mer än 66 % att framtidens globala medelvattenstånd ligger inom det spann som visas i figur 2. För år 2100 betyder det att den globala havsnivån kan förväntas ha höjts mellan 52 cm och 98 cm jämfört med referensperioden 1986-2005 för det högsta utsläppsscenarioet. För det lägsta utsläppsscenarioet kan den globala havsnivån förväntas höjas mellan 28 cm och 61 cm fram till år 2100.

Scenarierna RCP4,5 och RCP6,0 är snarlika. I detta projekt har vi därför valt att utgå från beräkningar över globala medelvattenstånd fram till år 2100 baserade på RCP2,6, RCP4,5 och RCP8,5 (figur 3). Siffrorna för kurvorna som beskriver RCP2,6 och RCP8,5 i figur 2 och figur 3 är identiska.

Fram till mitten av seklet är spännvidden för globala medelvattenståndet i dessa scenarier relativt liten. Kring år 2050 beräknas det globala medelvattenståndet ha ökat mellan 0.16 m och 0.32 m i relation till referensperioden 1986-2005. För år 2100 är variationen i resultat betydligt större mellan RCP-scenarierna och även mellan de olika klimatmodeller som ligger till grund för scenarierna.

IPCC:s bedömning av framtida globalt medelvattenstånd baseras på en samling av process-baserade klimatmodeller. För varje RCP-scenario beräknades ett medelvärde från 21 stycken modeller som ingår i CMIP5-projektet (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5, Taylor et al., 2012).

<sup>5</sup> NOAA= National Oceanic and Atmosphere Administration, climate.gov 11 september 2017



Figur 3. Global havsnivåhöjning relativt referensperioden 1986-2005 enligt IPCC för de tre RCP-scenarier som använts av projektet. Heldragen linje visar globalt medianvärde, medan prickade linjer visar 5 och 95-percentil.

Tabell 3. De olika bidragen till globalt stigande hav (m) för perioden 2081-2100 jämfört med referensperioden 1986-2005. Värden för året 2100 anges också i tabellen. Källa: IPCC AR5, Ch 13 Table 13.5. Church et al., 2013.

	RCP2,6	RCP4,5	RCP8,5
	Median (5- 95 percentil)	Median (5- 95 percentil)	Median (5 - 95 percentil)
<b>Termisk expansion</b>	0.14 (0.10 – 0.18)	0.19 (0.14 – 0.23)	0.27 (0.21 – 0.33)
<b>Glaciärer</b>	0.10 (0.04 – 0.16)	0.12 (0.06 – 0.19)	0.16 (0.09– 0.23)
<b>Grönland inlandsis avsmältning</b>	0.03 (0.01 – 0.07)	0.04 (0.01 – 0.09)	0.07 (0.03– 0.16)
<b>Antarktis inlandsis avsmältning</b>	-0.02 (-0.04 – 0.00)	-0.02 (-0.05 – -0.01)	-0.04 (-0.07– -0.01)
<b>Grönland inlandsis dynamiska förändringar</b>	0.04 (0.01 – 0.06)	0.04 (0.01 – 0.06)	0.05 (0.02– 0.07)
<b>Antarktis inlandsis dynamiska förändringar</b>	0.07 (-0.01 – 0.16)	0.07 (-0.01 – 0.06)	0.07 (-0.01– 0.16)
<b>Landvatten magasinering</b>	0.04 (-0.01 – 0.09)	0.04 (-0.01 – 0.09)	0.04 (-0.01 – 0.09)
<b>Total</b>	<b>0.40</b> <b>(0.26 – 0.55)</b>	<b>0.47</b> <b>(0.32 – 0.63)</b>	<b>0.63</b> <b>(0.45 – 0.82)</b>
<b>För år 2100</b>	0.44 (0.28 – 0.61)	0.53 (0.36 – 0.71)	0.74 (0.52 – 0.98)



Tabell 3 visar hur stora de olika källorna till ett stigande hav beräknas vara fram till år 2100 utifrån de tre RCP-scenarier som SMHI använt inom detta projekt. Termisk expansion och glaciäravsmältning fortsätter att vara de största bidragen. Bidraget från Antarktis inlandsis är till och med negativt, då det i dessa projektioner sker en nettoackumulering av is. Det är en effekt av att nederbörden ökar i ett område som fortfarande är så kallt att snön ackumuleras. Bidragen från Grönland och Antarktis är uppdelade på två delar, avsmältning<sup>6</sup> och dynamiska förändringar<sup>7</sup>. Diskussionerna kring Antarktis handlar ofta om huruvida den dynamiska förändringen kommer att eskalera innan år 2100, och ge upphov till en accelererande smältning.

### 3.1.1 Forskningsframsteg efter AR5

De största osäkerheterna i AR5, avseende havsnivåhöjningen, förknippades med avsmältning av isar. När ett stort istäckes massa minskar, förändras även gravitationen. Detta får bland annat till följd att havsnivån sänks i närheten av isen och höjs i andra områden (Mitrovica *et al.*, 2001, Kopp *et al.*, 2010). För Sveriges del kommer därför påverkan att bli större av förändringar som sker vid Antarktis snarare än Grönland. Det antarktiska istäcket har potentialen att ge det största bidraget till havsnivåhöjning, men stor osäkerhet kvarstår kring dess framtida utveckling. Grönlandsisen har bidragit mer fram till nu, men har inte samma potential som Antarktis. Stora delar av det västantarktiska istäcket mynnar ut i havet och bottenar under havsnivån. För det grönländska istäcket är sådana områden begränsade, vilket minskar potentialen för en kraftigt accelererande avsmältning (Bamber and Aspinall, 2013).

Sedan IPCC:s senaste utvärdering, AR5 som utkom 2013, har ett ökat forskningsfokus på framförallt Västantarktis visat att avsmältningen har gått mycket snabbare under det senaste decenniet än vad som tidigare antagits (Turner *et al.*, 2017). Instabilitet av de marina shelfisarna vid år 2100, vilket leder till en accelererande avsmältning, bedömdes som *osannolikt* (mindre än 33 % sannolikhet) i AR5, med konfidensgraden *troligt* att detta i så fall skulle bidra med en havsnivåhöjning på "ett flertal decimeter". Detta kan jämföras med en uppmärksammod modellstudie av DeConto och Pollard (2016), som bedömde att smältning på Antarktis skulle kunna bidra med upp till 114 cm i vattenståndshöjning år 2100 under RCP8,5-scenariot. Deras modell inkluderade för första gången dynamiska is-processer som sprickbildning genom perkolation<sup>8</sup> och strukturell kollaps av isväggar. Med hjälp av sedimentdata från den senaste interglaciala epoken visas att en sådan snabb avsmältning har inträffat tidigare och rimligen skulle kunna ske igen i framtiden.

Kunskapen om hur landisen kan komma att reagera på klimatets uppvärmning har förbättrats. Trots att kunskapsläget om de processer som styr isarna är bättre så har inte osäkerheten kring framtida avsmältning ökat. Istället har det lett till att ett större intervall formulerats av möjlig havsnivåhöjning under tjugoförsta århundradet (Oppenheimer and Alley, 2016). De har medfört ett behov av att sammanfatta det aktuella forskningsläget och presentera möjliga framtida utfall (Sweet *et al.*, 2017a; Simpson *et al.*, 2015). De stora osäkerheterna angående de stora landisarna har bidragit till att påskynda arbetet. Ett problem med att enbart använda ett *troligt* (mer än 66 % sannolikhet) intervall från IPCC är att det lämnar stort utrymme för tolkning. Det har visat sig kunna ge vitt skilda osäkerhetsintervall (Bakker *et al.*, 2017).

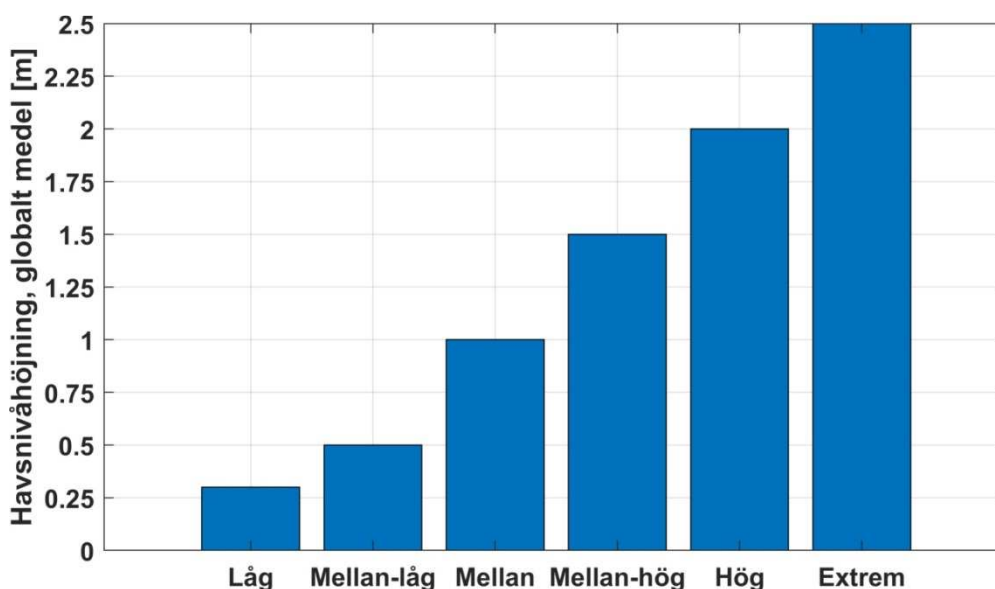
---

<sup>6</sup> Egentligen avses massbalansen, dvs. nettoeffekten av att is bildas av nederbörd ovanpå ismassan och förlusten av is till havet genom kalvning av isberg och smältning.

<sup>7</sup> Ändringar i isens hastighet vilka huvudsakligen kontrolleras av isens temperatur och styrka vid basen mot berggrunden.

<sup>8</sup> Perkolation sker när smältvatten rör sig nedåt i isen och bildar mindre kanaler

US Global Change program, som styrs av 13 statliga myndigheter i USA, har sammanställt en rapport om havsnivåhöjning (Sweet *et al.*, 2017b). Däri används sex scenarier av framtida global medelhöjning av havsnivån, framtagna med hjälp av ett antal aktuella forskningsstudier. Vattenståndshöjningen år 2100 i ”låg”-scenariot motsvaras av en fortsättning på den nuvarande hastigheten av höjning, 3 mm/år. Det ger 0.3 m år 2100, och liknar den lägsta nivån i RCP2,6 från IPCC AR5. De övriga fem scenarierna ligger i ett intervall mellan 0.5 m och 2.5 m. Det högsta scenariot, ”extrem”, baseras på uppvärmningen från IPCC:s resultat avseende RCP8,5, kombinerat med den maximalt fysikaliskt möjliga höjningen från issmältning enligt DeConto and Pollard (2016). Havsnivåer för de sex havsnivåscenarierna år 2100 relativt år 2000, visas i figur 4.



Figur 4. Medelvärden av global havsnivåhöjning år 2100 relativt år 2000, enligt sex scenarier. Källa: tabell 12.1 i Sweet *et al.*, 2017b.

I rapporten av Sweet *et al.* (2017b) diskuteras också sannolikheter för att överskrida havsnivåhöjningen i de sex scenarierna under olika utsläppsscenarier. Här hänvisas till probabilistiska studier som använder olika statistiska och fysikaliska modeller för att beräkna sannolikheter, däribland Kopp *et al.* (2014). Dessa projektioner innefattar dock inte de fysikaliska feedbackmekanismer som användas av DeConto och Pollard (2016). Därmed kan de eventuellt underskatta sannolikheten för en snabb acceleration av smältningen, speciellt för scenarierna från ”Mellan” till ”Extrem”.

Tabell 4. Sannolikheter att nivåerna från de sex scenarierna, i figur 4, överskrids år 2100 enligt Kopp *et al.* (2014) utifrån tre olika utsläppsscenarier. Källa: Sweet *et al.*, 2017b.

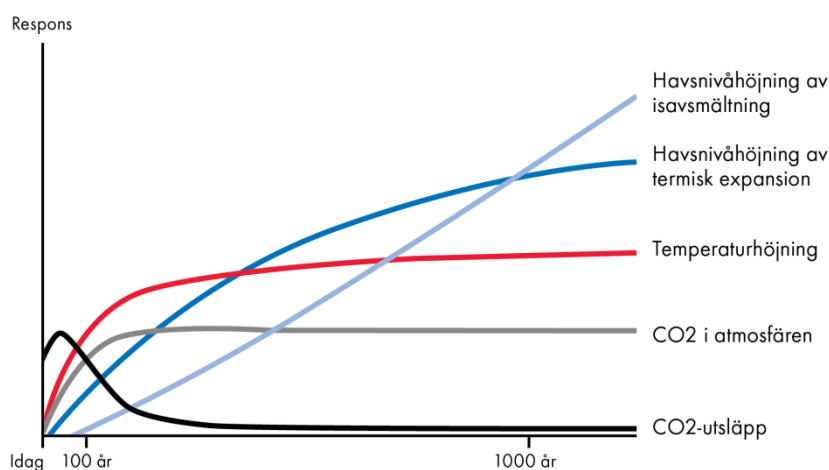
Scenario från Sweet <i>et al.</i> (2017b)	RCP2,6	RCP4,5	RCP8,5
Låg – 0.3 m	94%	98%	100%
Mellan-låg – 0.5 m	49%	73%	96%
Mellan – 1.0 m	2%	3%	17%
Mellan-hög – 1.5 m	0.4%	0.5%	1.3%
Hög – 2.0 m	0.1%	0.1%	0.3%
Extrem – 2.5 m	0.05%	0.05%	0.1%

Sannolikheterna för högre nivåer år 2100 än de från figur 4 redovisas i tabell 4 för de tre utsläppsscenarierna RCP2,6, RCP4,5 och RCP8,5. I tabellen framkommer att det anses vara 17 % sannolikhet att havet stiger mer än Mellan-scenariot, vilket motsvarar samma höjning som IPCC:s 95:e percentil för RCP8,5. Ytterligare högre nivåer har väldigt låga sannolikheter att överskridas, Mellan-hög scenariot har 1.3 % sannolikhet att överskridas om vi släpper ut växthusgaser enligt RCP8,5.

### 3.1.2 Bortom år 2100

Diskussioner om framtida havsnivåer landar ofta kring år 2100. Det är också den tidshorisont som de flesta av de tillgängliga globala modellsimuleringarna har. Resultaten pekar på stor osäkerhet, dels på grund av komplexiteten i klimatsystemet, men inte minst på grund av betydelsen av utsläppen av växthusgaser. En ytterligare aspekt är att havets stigning är en pågående och trög process som inte slutar år 2100. Även om vi lyckas begränsa utsläppen av växthusgaser inom en snar framtid, kommer havet att fortsätta att stiga.

Figur 5 är en teoretisk illustration av hur lång tid det tar för atmosfären, världshaven och kryosfären<sup>9</sup> att stabiliseras efter att utsläppen av växthusgaser bromsats upp (IPCC, 2001). Trögheten och därmed responsen i de olika delarna av klimatsystemet är olika. Om koldioxidutsläppen antas nå kulmen någon gång under innevarande sekel och därefter snabbt avta (svart linje) kommer koldioxidhalten i atmosfären (grå linje) så småningom att nå en stabiliseringsnivå och därefter avta mycket långsamt.



Figur 5. Illustration av responsen i de olika atmosfär-land-hav-systemen. Efter IPCC Third Assessment Report, Synthesis report (TAR-SYR), IPCC, 2001, figur 5.2, [www.ipcc.ch/report/graphics](http://www.ipcc.ch/report/graphics)

Eftersom havens förmåga att lagra värme är så mycket större än luftens kommer det ta hundratals till tusentals år för havsvattenståndet att nå jämvikt på grund av den termiska expansionen. På en flertusenårig skala finns det studier som indikerar att för varje grad som temperaturen ökar jämfört med den för-industriella nivån, så kommer havsnivån att ha stigit med 2.3 meter efter 2000 år (Levermann *et al.*, 2013).

Havsnivåhöjning på grund av isavsmältning är långsammare, men på sikt ökar betydelsen. Flera av processerna i Grönlandsisen samt Antarktis landisar är dåligt kända, samtidigt som det här finns stor kapacitet att tillföra vatten till havet. Ismodellernas förmåga att modellera smältning under inlandsisar blir bättre när fler detaljer beaktas (de Boer *et al.*, 2017). I en genomgång av kunskapsläget rörande Västantarktis beskriver Scambos *et al.* (2017) hur forskningens inriktning bör utvecklas för att bättre kunna

<sup>9</sup> Kryosfären = den del av jordens yta och atmosfär som består av is

förutse smältning och stora och snabba isförluster (kollapser). Det råder stor brist på mätningar både från glaciärerna, oceanerna och atmosfären runt Antarktis, och det behövs bättre upplösning och representation av fysikaliska processer i modellerna.

Största delen av smältningen beror på att relativt varmt havsvatten tränger in under den flytande glaciärisen och smälter den underifrån snarare än ökad solinstrålning ovanifrån. Smältning av redan flytande is medför ingen ökning av vattenståndet, men minskad buffertkapacitet och en ökad tillförsel av landis. Det västantarktiska istäcket innehåller tillräckligt mycket färskvatten för att höja den globala havsnivån med mer än 3 meter (Bamber and Aspinall, 2013). Osäkerheterna för framtidsprognoserna om istäckets kollaps är stora, och uppskattningar om tiden för när detta kan inträffa varierar inom allt mellan hundra år till flera millennier. Men det finns indikationer som tyder på att sönderfallet av några av utfallsglaciärerna i Amundsenhavet redan kan ha startat (Turner *et al.*, 2017).

Sommaren 2017 hölls en internationell havskonferens i New York<sup>10</sup> med deltagare från 37 länder. Konferensen mynnade bland annat ut i slutsatsen att om växthusgasutsläppen fortsätter utan motåtgärder (mitigering) kan den globala havsnivån stiga en meter eller mer under århundradet, flera meter till år 2300 och många meter över längre tidskalor. Med kraftfull reducering av utsläppen kan förändringarna minskas väsentligt, men även då kommer havsnivån att fortsätta stiga i många århundraden.

## 3.2 Landhöjningen

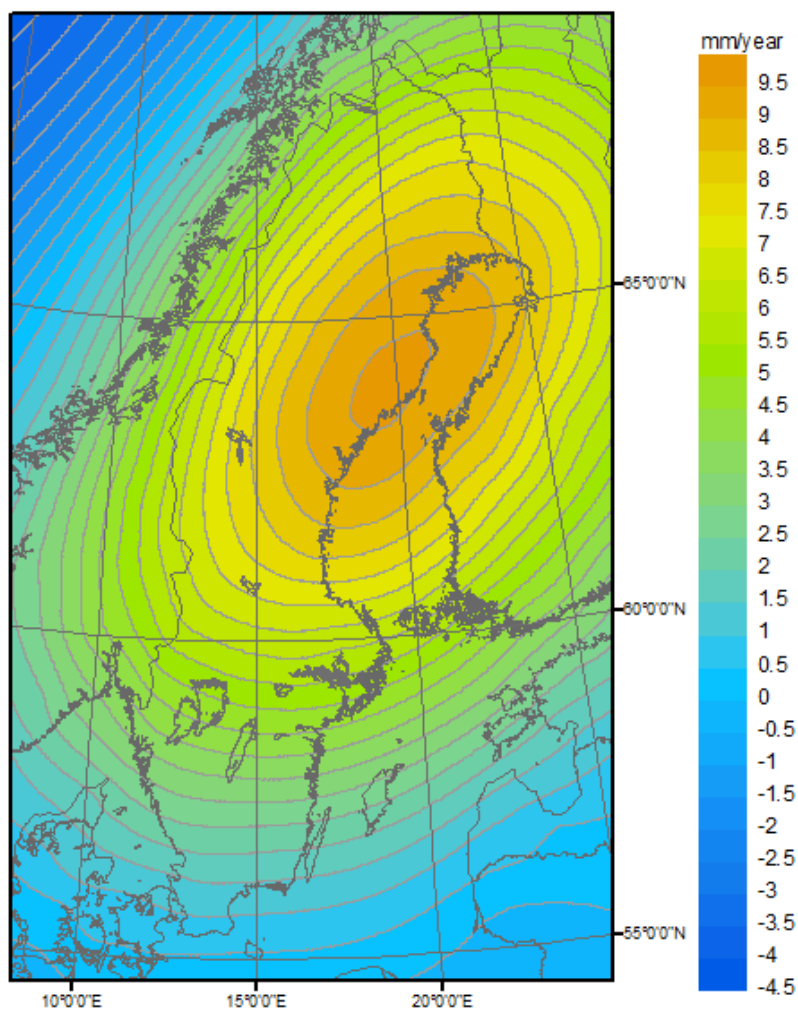
Under den senaste istiden var Skandinavien täckt av is vars tyngd pressade ned landytan. När isen försvann för nästan 10 000 år sedan påbörjades en återgång av jordskorpan. Processen är mycket långsam och jordskorpan stiger fortfarande. Hastigheten är olika på olika platser, eftersom istäckets tjocklek var olika i olika regioner, men kan anses vara konstant för varje position under den tidsperiod som används i projektets beräkningar.

Jordskorpan stiger snabbast längs Bottniska vikens kust, med ett maximum på ca 10 mm/år (relativt geoiden<sup>11</sup>) i Norra Kvarkenområdet, och i detta område är det ett sjunkande hav snarare än ett stigande hav som ställer till problem. Söderut minskar hastigheterna för att runt Skåne och Blekinge vara nära noll (figur 6). Att jordskorpan stiger i vår del av världen motverkar effekterna av stigande globala havsnivåer. Men då hav och land inte stiger med samma hastighet blir det en nettoeffekt som är positiv eller negativ vad gäller havsnivån relativt fixa landpunkter på olika platser. Landhöjningen kan sägas stiga med konstant, om än geografiskt varierande, hastighet. Havsnivåerna däremot har stigit med ökande hastighet (se kapitel 3.1).

---

<sup>10</sup> WCRP/IOC Sea Level 2017 Conference at Columbia University in New York. [https://www.wcrp-climate.org/conferences/sealevel2017/SeaLevel2017\\_Conference\\_Statement\\_Final\\_01Sep2017.pdf](https://www.wcrp-climate.org/conferences/sealevel2017/SeaLevel2017_Conference_Statement_Final_01Sep2017.pdf)

<sup>11</sup> Geoid = en yta som ungefär sammanfaller med havsytans genomsnittliga nivå



Figur 6. Landhöjningshastigheter (relativt geoiden) från modellen NKG2016LU.

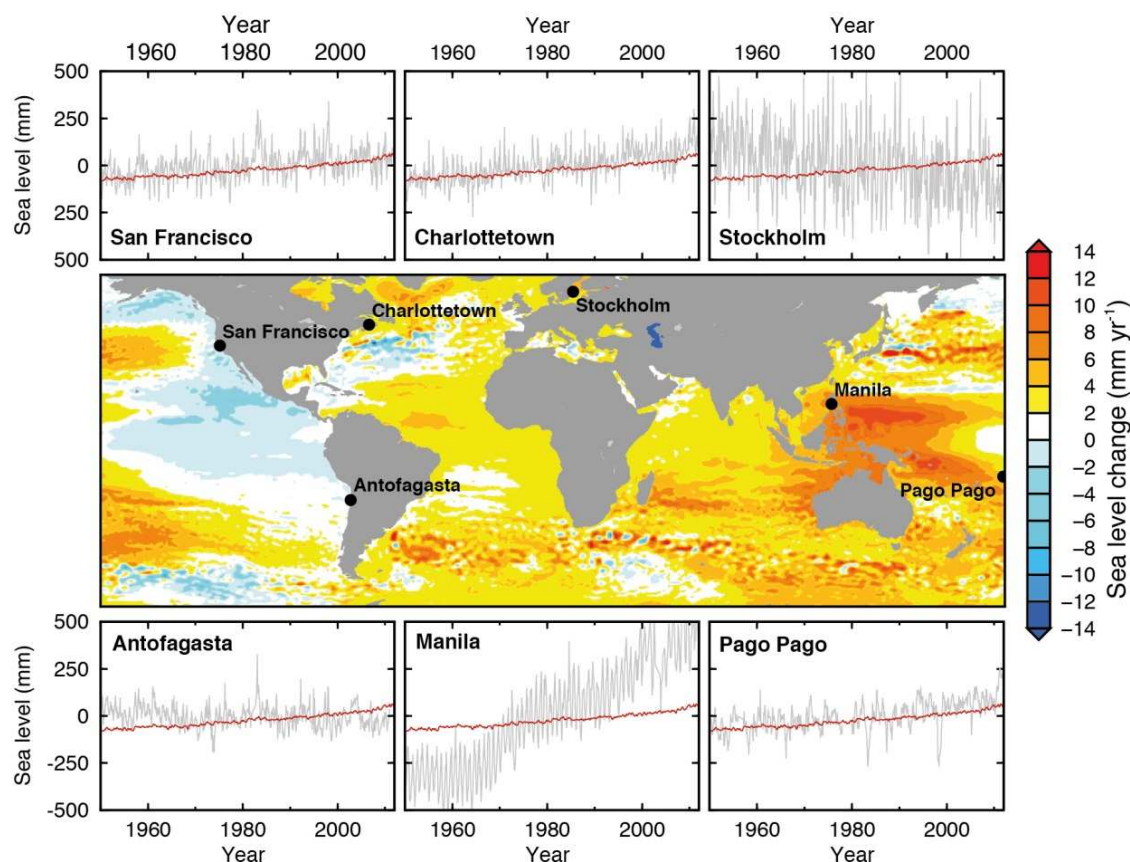
### 3.3 Regionala variationer i havsnivåhöjning

Havsvattenståndet förändras inte med samma takt över hela jorden. Figur 7 visar havsvattenståndsförändring för hela jorden under åren 1993-2012, baserat på satellitmätningar, samt tidsserier från sex olika orter från 1950 fram till idag. Det globala genomsnittet är på drygt 3 mm/år (gul färg), och kartan visar att vissa områden haft noll eller till och med negativ höjning, medan andra haft mycket större höjning. Västra Stilla havet har haft en havsnivåhöjning på mer än tre gånger större än det globala medelvärdet, medan värdena i östra Stilla havet är mycket lägre.

Variationerna uppkommer eftersom förändringarna i klimatsystemet ger olika påverkan på olika platser. Uppvärmning, förändring i sötvatteninnehåll, strömningsmönster som följd av storskaliga vädersystem och till och med förändring i tyngdkraften påverkar fördelningen av vattenståndsförändringar på klotet.

Tidsserierna för lokalt vattenstånd, det vill säga vattenståndets förändring relativt land, visas för sex olika platser i världen mellan 1950 och 2012. Det observerade vattenståndet, grå linje, jämförs med globala medelvärdet (röd linje). För Manila, som ligger i ett område där havsnivåhöjningen sker snabbare än det globala medelvärdet, ses en kraftig höjning av havsnivån. För Stockholm, längst upp till höger, är den i vårt område pågående landhöjningens effekt tydlig i och med att vattenståndet sjunker relativt land. Det finns också stora år-till-år-varianter vid de olika orterna, som till exempel för Pago

Pago längst ner till höger i figur 7. Variationerna i den här delen av Stilla Havet kring Pago Pago styrs till stor del av det storskaliga väderfenomenet El Niño med omväxlande varma och relativt kalla år.

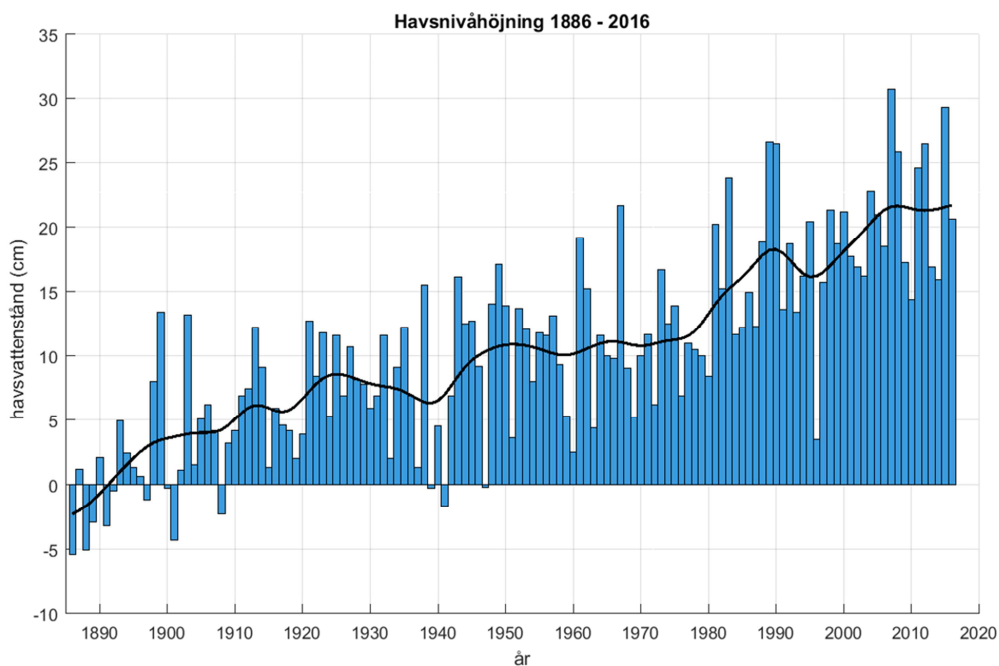


Figur 7. Kartan visar havsnivåförändringens hastighet (mm/år) för perioden 1993-2012 baserat på satellitmätningar. Diagrammen avser den relativa havsnivån uppmätt vid sex mätstationer (grå linjer) för perioden 1950-2012. Som jämförelse anges havets beräknade globala medelnivå för samma period. Figuren är hämtad från IPCC AR5 kapitel 13, FAQ13.1. (minustecken saknas för övre diagrammens skala)

Kunskaperna om de storskaliga regionala variationerna i det historiska vattenståndet indikerar att det kommer att finnas regionala variationer även i det framtida vattenståndet.

För Östersjön är havsnivåhöjningen nära eller strax över det globala genomsnittet för perioden 1993-2012 (figur 7). Enligt BACC (2015) kan värdet ligga runt 5 mm/år för Östersjön, för de senaste årtiondena, med en osäkerhet på +/- 3 mm/år. Den relativt stora osäkerheten beror på den stora variation som förekommer mellan olika år (se Stockholmsdiagrammet i figur 7). För Östersjön som helhet har, enligt samma referens, havsnivån höjts med ca 1.5 mm/år under 1900-talet. Till detta tillkommer effekten av landhöjningen, som sker med olika hastighet längs den svenska kusten.

Den genomsnittliga havsnivån mellan 1901 – 2010 har stigit med 0.19 m globalt (IPCC AR5). Havsnivåhöjningen i Sverige från 1886 till 2015 har sammanställts utifrån observationer från svenska mätstationer för havsnivåer (figur 8). Havsnivåhöjningen i Sverige liknar den globala, även om variationen mellan olika år är stor. Landhöjningens effekt har justerats för det lokala vattenståndet innan årsmedelvärdet beräknats.



Figur 8. Nettohavsnivåhöjning i Sverige 1886-2016 utifrån 14 svenska mätstationer för havsvattenstånd. Figuren har tagits fram genom att dra bort landhöjningens effekt på vattenståndet lokalt. Den svarta linjen visar ett utjämnat förlopp.

### 3.3.1 Regionala variationer för Sveriges kust

Likväl som det finns regionala variationer i vattenståndsförändringen historiskt, så ses regionala variationer i framtida vattenstånd i de globala modellsimuleringarna. För Sveriges del är det viktigt att utvärdera om det blir väsentliga skillnader mellan det globala medelvärdet och den regionala höjningen.

För Norge har en genomgång gjorts över framtidens vattenstånd (Simpson *et al.*, 2015). Den visar hur stora de olika bidragen är till den regionala havsnivåhöjningen. Till exempel spelar termisk expansion större roll för Norges kust än den gör globalt. Även förändringar i havens täthet och omfördelning av massa har stor betydelse för Norge.

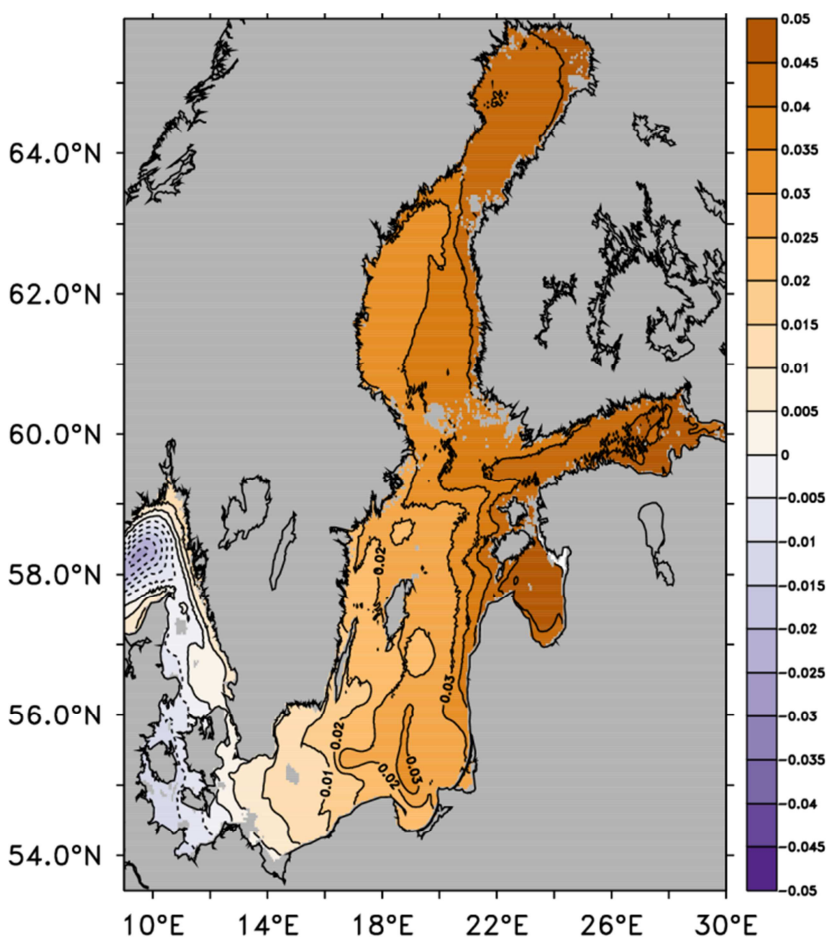
Östersjön är i allmänhet svår att representera i globala kopplade klimatmodeller. Dieterich *et al.* (manuskript) har gjort en nedskalning av modelldata för att mer detaljerat studera framtidens klimat i Östersjön. I studien används en metod framtagen av Wilcke och Bärning (2018) där ett mindre urval av modelldata används som är representativt för hela datasetet. Utifrån dataunderlaget har en skattning gjorts av medelvattenståndet för Östersjön och Västerhavet.

Slutsatsen dras att, liksom för Norge, har den termiska expansionen större betydelse för Sverige än för det globala medelvärdet. Den totala havsnivåhöjningen för Östersjön och Västerhavet är dock i genomsnitt lägre än det globala medelvärdet, cirka 15 cm för RCP8,5 med det urval modeller som använts (Dieterich *et al.*, manus). Det kan tilläggas att modellerna som använts för nedskalningsexperimenten stämmer bättre överens för termisk expansion än för övriga faktorer (Yin, 2012).

Resultaten har tagits fram genom att använda data från CMIP5-experimenten (Dufresne *et al.*, 2013), för Östersjön och Västerhavet för att studera havsvattenstånd med hjälp av lokal nedskalning. Nedskalning innebär att data från en modell med lägre upplösning används för att driva en modell med högre upplösning. Detta görs för att få mer geografiskt detaljerad information än vad som ges av de globala klimatmodellerna.

Därefter har mer detaljerad information för Östersjön och Västerhavet tagits fram. Resultaten (figur 9) visar variationer i den regionala medelvattenhöjningen jämfört med modellgenomsnittet. År 2100 är skillnaden i Nordsjön upp till 5 cm lägre än genomsnittet för Östersjön och Västerhavet, medan den i Östersjön är upp till 5 cm högre. Dessa variationer är mycket mindre än det totala osäkerhetsspannet i RCP8,5.

Eftersom skillnaderna mellan den globala medelvattenhöjningen och medelvattenhöjningen runt Sveriges kust är små, har SMHI i projektet valt att använda den globala medelvattenhöjningen och landhöjningen som de två enda bidragen till den regionala medelvattenhöjningen för Sverige.



Figur 9. Förändring av medelvattenstånd (m) jämfört med modellgenomsnittet för Östersjön, enligt medelvärde av fem regionalt nedskalade RCP8,5 scenarier. Perioden 2070-2099 jämfört med 1970-1999. Gulbruna färger visar positiva värden, vilket betyder att höjningen är större än modellgenomsnittet, som i sin tur är cirka 15 cm lägre än det globala medelvärdet.

### 3.4 Höjdsystem och höjdmodell

All höjdinformation behöver relateras till en nollnivå. Att relatera havsnivåer till markytan och höjder till havsnivån kan tyckas grundläggande. Eftersom varken marken eller havsnivån är fix relativt jordens centrum eller ens relativt grannpunkter behövs något annat. Därför definieras ett höjdsystems nollnivå ofta av ett observerat medelvattenstånd på en bestämd plats över en viss tidsperiod. Det finns flera olika



höjdsystem men för de längre tidsperioderna inom detta projekt används rikets höjdsystem RH2000<sup>12</sup>, som är Sveriges nationella höjdsystem sedan år 2005.

Den modell (NKG<sup>13</sup>2016LU) som använts i beräkningarna, för landhöjningsinformationen, är rekommenderad och tillhandahållen av Lantmäteriet. NKG2016LU är en så kallad semi-empirisk landhöjningsmodell som lanserades under 2016. NKG2016LU finns i nuläget inte beskriven i någon rapport. Den äldre och snarlika modellen NKG2005LU är beskriven i Ågren och Svensson (2007).

Med avvägning mäts höjden över geoiden och upprepad avvägning ger det som kallas avvägd landhöjning eller landhöjningen relativt den av nutida klimateffekter opåverkade havsytan. För beräkningar av den framtida havsnivån har SMHI använt den avvägd versionen av landhöjningsmodellen.

### 3.5 Framtida medelvattenstånd i Sverige

SMHI har i tidigare utredningar om framtida klimat, bland annat länsvisa övergripande klimatanalyser, utgått ifrån att de två parametrar som har störst effekt på det framtida medelvattenståndet i Sverige är den globala havsnivåhöjningen och landhöjningen, och att eventuella regionala avvikelser från det globala medelvärdet inte är signifikanta. Detta antagande stärks av den studie som genomförts i samband med detta projekt.

SMHI har, även i detta projekt, valt att utgå ifrån det globala medelvärdet för havsnivåhöjningen enligt IPCC (SMHI, 2017). Detta har använts för att beräkna medelvattenstånd för hela Sveriges kust för år 2050 och år 2100, för scenarierna RCP2,6, RCP4,5 och RCP8,5. Medelvattenståndets förändring lokalt har beräknats som den globala havsnivåhöjningen minus landhöjningen över de två tidsperioderna.

Tabell 5 visar medelvattenståndet år 2100 utifrån RCP8,5 för de kommuner där SMHIs mätstationer för havsvattenstånd är belägna. Medelvattenstånden anges som medianvärdet, samt 5:e och 95:e percentilen<sup>14</sup>. Samtliga resultat ifrån samtliga kustkommuner finns i SMHI (2017). Resultaten visar att effekten av den globala havsnivåhöjningen blir störst i södra Sverige, där landhöjningen är noll eller mycket liten. Här kan havets medelnivå stiga med upp till en meter vid seklets slut utifrån IPCC:s projektioner.

Resultaten presenteras också på webbplatsen [smhi.se](http://smhi.se), under rubriken Klimat. Här visualiseras resultaten i form av en interaktiv, zoomningsbar karttjänst (figur 10), och data och GIS-skikt finns tillgängliga för nedladdning.

I karttjänsten kan användaren välja mellan tre olika RCP-scenarier, och mellan beräkningar för år 2050 och år 2100. Kartan visar inte effekter av stormar eller andra tillfälliga höjningar av vattenståndet.

---

<sup>12</sup> För information om RH2000, se [www.lantmateriet.se](http://www.lantmateriet.se), exempelvis Enhetligt Geodetiskt Referenssystem, Infoblad N:o 3 Nytt Höjdsystem.

<sup>13</sup> NKG = Nordiska Kommissionen för Geodesi, ett samarbetsorgan för geodesiorganisationer i Norden

<sup>14</sup> Percentiler är värden på en skala mellan 0 och 100 som visar värden av en fördelning. Intervallet mellan 5:e och 95:e percentilen anger 90 % osäkerhetsspann.

Tabell 5. Medelvattenstånd vid SMHI:s mätstationer för referensperioden 1986-2005 och för år 2017. Medelvattenståndet 2017 har beräknats utifrån regressionsanalys för respektive mätstation. Beräknade framtida medelvattenstånd för kustkommuner i Sverige är baserade på interpolerade data för medelvattenståndet representerande år 1995 (SMHI, 2017), landhöjningsinformation från NKG2016LU och framtida globala medelvattenstånd för RCP8,5-scenarier enligt medianvärdet. Inom parentes anges 5 och 95 percentiler. Samtliga värden är angivna som cm i RH2000.

Medelvattenstånd i dagens klimat			Beräknade framtida medelvattenstånd enligt RCP8,5 för Sveriges kustkommuner		
SMHI:s mätstationer	1986-2005	2017	2050	2100	Kommun
Kalix	26	8	3 (-3 – 10)	9 (-12 – 33)	Kalix
Furuögrund	23	4	-4 (-10 – 3)	-2 (-23 – 22)	Skellefteå
Ratan	24	6	-4 (-10 – 3)	-2 (-23 – 22)	Robertsfors
Skagsudde	20	3	-7 (-13 – 0)	-6 (-27 – 18)	Örnsköldsvik
Spikarna	20	4	-3 (-9 – 4)	2 (-19 – 26)	Sundsvall
Forsmark	19	8	8 (2 – 15)	25 (4 – 49)	Östhammar
Stockholm	19	10	15 (9 – 22)	37 (16 – 61)	Stockholm
Landsort Norra	17	10	15 (9 – 22)	40 (19 – 64)	Nynäshamn
Marviken	16	12	16 (10 – 23)	42 (21 – 66)	Norrköping
Visby	13	9	25 (19 – 32)	61 (40 – 85)	Gotland
Ölands Norra udde	17	12	27 (21 – 34)	65 (44 – 89)	Borgholm
Oskarshamn	14	12	24 (18 – 31)	59 (38 – 83)	Oskarshamn
Kungsholmsfort	14	13	31 (25 – 38)	72 (51 – 96)	Karlskrona
Simrishamn	14	16	34 (28 – 41)	78 (57 – 102)	Simrishamn
Skanör	13	16	33 (27 – 40)	78 (57 – 102)	Vellinge
Klagshamn	12	13	32 (26 – 39)	76 (55 – 100)	Malmö
Barsebäck	10	12	29 (23 – 36)	72 (51 – 96)	Kävlinge
Viken	6	8	24 (18 – 31)	66 (45 – 90)	Höganäs
Ringhals	7	4	18 (12 – 25)	54 (33 – 78)	Varberg
Göteborg Torshamnen	7	3	15 (9 – 22)	49 (28 – 73)	Göteborg
Stenungsund	4	-1	10 (4 – 17)	43 (22 – 67)	Stenungsund
Smögen	1	-4	7 (1 – 14)	38 (17 – 62)	Sotenäs
Kungsvik	-1	-4	2 (-4 – 9)	31 (10 – 55)	Strömstad



Figur 10. Karttjänstens översiktsbild över Sveriges kust visar medelvattenståndet år 2100 enligt RCP8,5. De tre nivåerna för median och lägsta och högsta percentil anges med olika nyanser av blått. I figuren visas även en närbild över Skåne-Falsterboområdet.

## 4 Höga havsvattenstånd

I samband med stormar eller då kraftiga lågtryck passerar i Sveriges kustområden kan ibland mycket höga vattenstånd uppstå. Stormen Gorm drog exempelvis in över södra Sverige i slutet av november 2015 och orsakade mycket hastiga stegringar i vattenståndet längs Västkusten. I Halmstad steg vattenståndet till 235 cm över medelvattenståndet.

Det finns även belegg för kraftiga översvämningar längre tillbaka i tiden. De mer kända drabbade Sveriges sydkust och Öresund under 1872 respektive 1902 då stormfloder nådde omkring 2-3 meter över medelvattenståndet (Fredriksson *et al.*, 2016; Fredriksson m.fl., 2017).

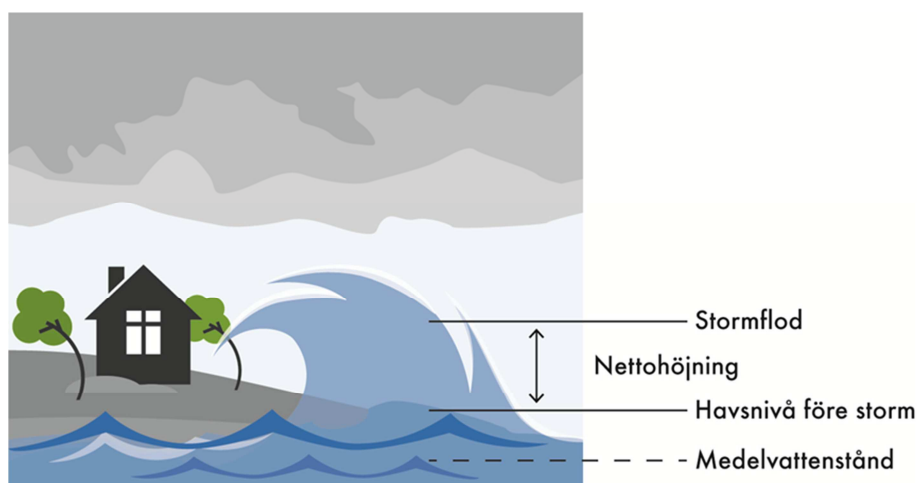
SMHI har studerat samtliga höga vattenstånd som observerats vid SMHI:s mätstationer med avseende på vattenståndsdynamik, varaktigheter och kopplingar till lågtrycksbanor (Schöld m.fl., 2017a). Ett mycket högt vattenstånd, en så kallad stormflod, kan sägas vara en kombination av olika faktorer (figur 11). Djupa lågtryck och stark pålandsvind medför en nettohöjning av havsnivån. Andra faktorer som spelar in är tidvatten, seicher<sup>15</sup> och en tillfälligt förhöjd havsnivå i området. I teorin skulle alla faktorer maximum kunna infalla

<sup>15</sup> Seiche = En stående våg i en bassäng. Vattenståndet sjunker och stiger växelvis i olika ändrar av bassängen. Seicher kan exempelvis uppkomma mellan olika delar av Östersjön.

samtidigt, och ge upphov till stormfloder som är ännu högre än de som redan observerats. Information om hur höga sådana stormfloder skulle kunna bli är av intresse vid planering av samhällskritisk verksamhet där översvämning medför allvarliga konsekvenser.

Det är känt att högre stormfloder har inträffat än vad som finns registrerat vid SMHI:s mätstationer. Flera av dessa händelser är tämligen väldokumenterade och visar att potentialen för höga havsvattenstånd är större än det som finns registrerat som mätdata. Inte heller dessa historiska extremvattenstånd utgör ett absolut tak för hur högt vattenståndet skulle kunna bli. Hur hög den värsta stormfloden längs Sveriges kust skulle kunna bli går inte att säga, förrän den faktiskt har inträffat. Inte ens då kan man med säkerhet veta att vattenståndet inte skulle kunna bli än lite högre.

Vi visar här att det finns potential för avsevärt högre havsvattenstånd än vad som hittills har observerats eller som har beräknats för 100- och 200 års återkomsttid. Sannolikheten för dessa höga havsvattenstånd är låg men väl värd att beakta i kostnads-nyttoanalyser och planering för känslig eller samhällsviktig verksamhet.



Figur 11. Principskiss över begreppen havsnivå före storm och nettohöjning.

Ett gott dataunderlag är ovärderligt för att ta fram underlag för planering. De tidsserier som finns idag lämpar sig för att ta fram återkomsttider på 100 till 200 år med hjälp av statistiska metoder. De högsta observerade vattenstånden är dock för många stationer högre än de statistiskt beräknade nivåerna. Havsvattenstånd med mycket lång återkomsttid baserade på 100-130 års data är i allmänhet inte särskilt tillförlitliga (se Södling och Nerheim (2017) för detaljerade beskrivningar av statistiska metoder).

Eftersom varken observerade värden eller vanliga statistiska metoder ger en komplett bild av de stormrelaterade höga vattenstånd som skulle kunna inträffa, behövs andra metoder för att ta fram skattningar för mycket höga vattenstånd. I detta kapitel beskrivs dataunderlaget och framtagandet av en sådan metod. Statistiska metoder och lokala effekter belyses också.

## 4.1 Mätserier

Mätdata behövs av många skäl. De är vår främsta källa för att förstå hur det brukar vara, och vad som är mer ovanligt. Mätdata behövs för att ta fram statistiska mått på hur sannolika olika händelser är. Det vanligaste begreppet är återkomsttid<sup>16</sup>. För att med

---

<sup>16</sup> Återkomsttid= Ett mått på hur ofta en extrem naturlig händelse kan förväntas inträffa. Med en händelses återkomsttid menas att händelsen i genomsnitt inträffar eller överträffas en gång under denna tid. Ett värde som har en återkomsttid på 100 år uppnås eller överträffas i genomsnitt en gång på 100 år.

tillfredsställande statistisk säkerhet kunna beräkna längre återkomsttider, är det önskvärt att ha tillgång till så långa tidsserier med data som möjligt. En tumregel är att det brukar gå att ta fram återkomsttider med acceptabel osäkerhet för en tidsperiod som är ungefär dubbelt så lång som mätdataserien (Södling och Nerheim, 2017).

I Sverige har vi tillgång till mycket långa och väl bevarade mätserier för havsvattenstånd, bland annat den så kallade Stockholmsserien där mätningar påbörjades vid Slussen i Stockholm redan år 1774. Från 1840-talet och framåt tillkom sedan ett antal mätstationer med daglig registrering, då man ville klargöra den så kallade ”vattenminskningen” (egentligen landhöjningen). Kung Oscar II beslutade att placera ut mareografer vid Ratan, Draghällan, Björn, Stockholm-Skeppsholmen, Landsort, Kungsholmsfort, Ystad, Varberg och Smögen. En enklare havspegel placerades även ut i Göteborgs hamn och under tidigt 1900-tal tillkom flera mätstationer som är aktiva än idag: Smögen, Furuögrund, Visby och Klagshamn. Dessa stationer representerar således de längsta tidsserier vi har tillgång till (SMHI, 2009; se även Stationslista havsvattenstånd i Kunskapsbanken på smhi.se).



Figur 12. Karta över mätstationer och indelning i kustområden. Bottenviken (röd), Bottenhavet (orange), Södra Bottenhavet (gul), Östersjön (grön), Södra Östersjön (mörkgrön), Öresund (ljusblå), Kattegatt (blå) och Skagerrak (lila).

Tabell 6. De mätstationer från SMHI:s observationsnät som använts i analysen, ID-nummer, position (lat-long) och mätperiod. Stationerna har indelats i kustområden. \*Fram till år 1959 finns data som icke-digitaliserade diagram vilka inte har analyserats. \*\*Data från mätstationen vid Stenungsund analyseras för både Kattegatt och Skagerrak.

Havsområde	Stationsnamn	ID	Lat WGS84	Lon WGS84	Timvärden tillgängliga
Bottenviken	Kalix	2157	65°41'49"N	23°05'46"E	1974 -
	Furuögrund	2055	64°54'57"N	21°13'50"E	1916 -
	Ratan	2056	63°59'10"N	20°53'42"E	1891 -
Bottenhavet	Skagsudde	2321	63°11'26"N	19°00'45"E	1982 -
	Spikarna	2061	62°21'48"N	17°31'52"E	1968 -
	Draghällan	2062	62°20'00"N	17°28'00"E	1897 - 1969
S. Bottenhavet	Björn	2067	60°38'00"N	17°58'00"E	1891 - 1978
	Forsmark	2179	60°24'31"N	18°12'39"E	1975 -
Östersjön	Stockholm	2069	59°19'27"N	18°04'54"E	1889 -
	Landsort Norra	2507	58°46'08"N	17°51'32"E	2004 -
	Landsort	2073	58°45'00"N	17°52'00"E	1886 – 2006
	Marviken	2076	58°33'13"N	16°50'14"E	1964 -
	Visby	2080	57°38'21"N	18°17'04"E	1960 -
	Ölands Norra udde	2083	57°21'58"N	17°05'50"E	1961 -
	Oskarshamn	2085	57°16'30"N	16°28'41"E	1960 -
S. Östersjön	Kungsholmsfort	2088	56°06'19"N	15°35'22"E	1886 -
	Simrishamn	2320	55°33'27"N	14°21'28"E	1982 -
	Ystad	2093	55°25'00"N	13°49'00"E	1886 – 1987
	Skanör	30488	55°25'00"N	12°49'46"E	1992 -
	Klagshamn	2095	55°31'20"N	12°53'37"E	1929 -
Öresund	Malmö	2098	55°37'00"N	13°00'00"E	1924 – 1963
	Barsebäck	2099	55°45'23"N	12°54'12"E	1992 -
	Viken	2228	56°08'32"N	12°34'45"E	1976 -
Kattegatt	Varberg	2104	57°06'00"N	12°13'00"E	1886 – 1982
	Ringhals	2105	57°14'59"N	12°06'45"E	1967 -
	Göteborg Klippan	2108	57°41'00"N	11°54'00"E	1887* – 1978
	Göteborg Torshamnen	2109	57°41'05"N	11°47'26"E	1967 -
	Stenungsund**	2110	58°05'36"N	11°49'57"E	1962 -
Skagerrak	Smögen	2111	58°21'13"N	11°13'04"E	1910 -
	Kungsvik	2130	58°59'48"N	11°07'38"E	1973 -

Tabell 6 och figur 12 visar de mätstationer som ingår i SMHI:s observationsnät av havsvattenstånd som analyserats i projektet (Schöld m.fl., 2017a,b). För att kunna använda mätningar för att dra slutsatser, till exempel av statistisk karaktär, är det viktigt att tidsserien är korrekt och komplett. Så har bedömts vara fallet för samtliga serier som använts i respektive analys. För att kunna analysera maxnivåer vid olika högvattenhändelser behöver dataserier även vara tillräckligt högupplösta i tid. I SMHI:s statistiska och empiriska analyser har timvärden använts i första hand. I de fall då extra avläsningar genomförts eller mer högupplöst data funnits tillgänglig har denna information använts för nivån på det högsta uppmätta havsvattenståndet i de empiriska analyserna. För mer information om SMHI:s mätningar av havsvattenståndet, se Schöld m.fl. (2017a,b) och *Stationslista havsvattenstånd* i Kunskapsbanken på smhi.se.

Korrekt betyder, bland annat, att instrumentet ska ha fungerat klanderfritt och vara rätt inmätt i ett fast höjdsystem. Kompletter betyder att sannolikheten att en observation saknas inte får bero på (vara betingad av) vattenståndet. Ett exempel på en icke-kompletter tidsserie är om mätaren slutar fungera över en given nivå.

Det är inte trivialt att ta reda på om en tidsserie är korrekt och komplett. Data bör i allmänhet granskas noga, till exempel genom att jämföra med data från närbelägna mätstationer. I värsta fall kan brister i dataserien ge fel i skattningen av återkomsttider (Södling och Nerheim, 2017). Att enstaka värden eller kortare perioder saknas har vanligen marginell betydelse, men en bedömning bör göras från fall till fall. Ibland kan en del av tidsserien tas bort så att resten av serien blir komplett – men kortare. Om databortfall misstänks påverka resultatet väsentligt måste en statistisk analys göras för att bestämma felets storlek (Johansson m.fl., 2017a).

## 4.2 Statistisk metodik

Statistiska metoder används ofta för att bestämma extremvärden. Som ett led i arbetet att förbättra metoderna för planeringsunderlag gällande höga havsvattenstånd har SMHI gjort en inventering av vanligen förekommande statistiska metoder för extremvärdesanalys (Södling och Nerheim, 2017). Metoderna har begränsningar när det gäller att ta fram statistik för händelser som har låg sannolikhet, det vill säga händelser med hög återkomsttid. Det beror på att alla möjliga händelser omöjligt kan ha hänt, vilket begränsar de statistiska modellernas förmåga att härma observationerna. Osäkerheten i statistiken speglas genom att konfidensintervallet ökar för ökande återkomsttider. Vi vet dessutom att historiska händelser ligger utanför konfidensintervallen för återkomsttider framtagna för vissa mätserier.

De två vanligaste metoderna vid statistisk extremvärdesanalys är varianter av blockmaximum-metoden och ”Peak over threshold” –metoden (POT). Blockmaximum-metoden kallas även Årsmax-metoden (Annual Maxima), och fungerar så att man applicerar olika statistiska fördelningar på en dataserie med årshögsta vattenstånd. I Södling och Nerheim (2017) har vi applicerat fördelningarna GEV (*Generalized Extreme Value*), Log-normal och Gumbel på årshögsta vattenstånd från ett urval av svenska vattenståndsdata. Peak over threshold är en metod som istället anpassar en fördelning till alla extremvattenstånd som är oberoende och över en vald tröskel. I Södling och Nerheim (2017) jämförs två fördelningar av denna sort, POT och ACER (*Average Conditional Exceedance Rate*). ACER-metoden är mycket lämplig för att ta fram vanligare förekommande återkomsttider, och är förhållandevis robust för nytillkommande data<sup>17</sup>.

I tabell 7 visas värden för 100-års återkomsttid beräknade med fem olika statistiska fördelningar. Analysen bygger på observerade vattenståndsdata till och med år 2015.

Slutsatsen av analysen var att det inte går att välja en metod som överlägsen den andra, då det gäller högre återkomsttider. I Södling och Nerheim (2017) beskrivs att Gumbel-fördelningen förefaller ge ett resultat som inte är fysikaliskt rimligt och att GEV och Log-normal fördelning ofta ger en kompletterande bild av fördelningen. Kunskap om den aktuella platsens oceanografiska förhållanden behövs för att utvärdera resultatens rimlighet. I alla analyser av höga vattenstånd är det viktigt att beakta datakvalitet och dataseriens längd. Resultat bör redovisas med konfidensintervall.

Beräkningarnas resultat avviker alltmer från varandra för de högre återkomsttiderna och indikerar därmed svårigheten att med hjälp av statistisk extremvärdesanalys ta fram pålitliga resultat för händelser som är mycket ovanliga. Som en följd av detta har en ny metod tagits fram baserad på analyser av stormar som registrerats vid SMHI:s mätstationer (se kapitel 4.1 och Schöld m.fl., 2017b).

För mer information om den statistiska analysen, se Södling och Nerheim (2017).

---

<sup>17</sup> När tiden går och nya mätdata tillkommer så förändras inte beräkningarna av återkomsttider särskilt mycket, värdena är robusta. ACER-metoden har som mål att vara mycket robust för 20 års återkomsttid.

Tabell 7. 100 års återkomsttid relativt medelvattenståndet för nio stationer med nära 100 års data. Inom parentes visas 5-95 percentiler (konfidensintervall). De tre första kolumnerna är extremvärdesfördelningar för blockmaximum-metoden och baseras på årligt maximum. POT och ACER bygger på att analysera data över ett tröskelvärde. Både själva värdet och konfidensintervallen varierar mycket mellan olika fördelningar.

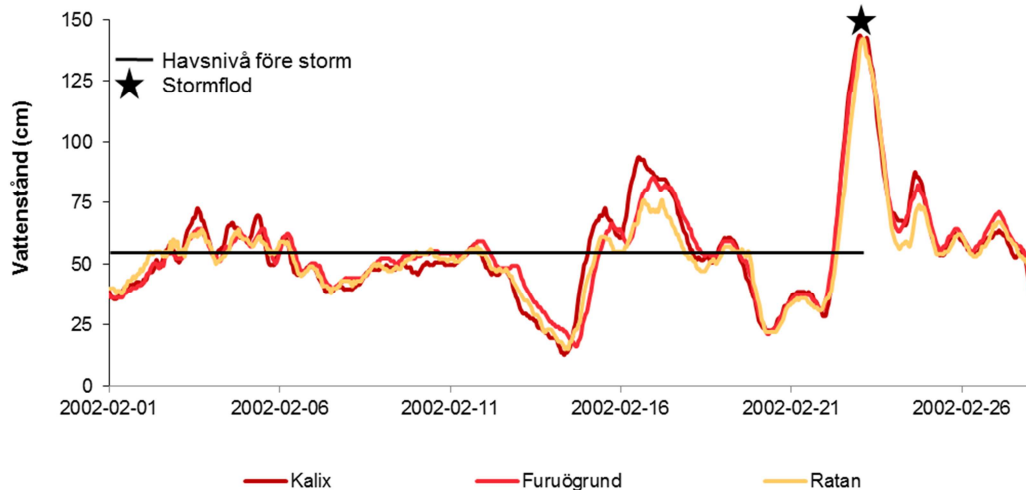
Station / 100 års återkomsttid	GEV	Log-Normal	Gumbel	POT	ACER
<b>Furuögrund</b>	145 (122 - 165)	154 (125 - 182)	162 (128 - 197)	150 (115 - 180)	138 (125 - 148)
<b>Ratan</b>	130 (113 - 143)	136 (115 - 156)	147 (120 - 174)	121 (91 - 146)	123 (115 - 129)
<b>Spikarna + Draghällan</b>	120 (103 - 134)	127 (105 - 149)	136 (109 - 164)	126 (95 - 154)	117 (107 - 125)
<b>Stockholm</b>	102 (88 - 113)	105 (89 - 121)	114 (93 - 135)	105 (85 - 119)	100 (93 - 107)
<b>Landsort + Landsort norra</b>	92 (80 - 104)	93 (80 - 107)	100 (83 - 118)	92 (81 - 102)	93 (86 - 100)
<b>Kungsholmsfort</b>	120 (105 - 133)	128 (108 - 147)	138 (112 - 163)	114 (89 - 136)	127 (114 - 136)
<b>Klagshamn</b>	135 (122 - 142)	163 (130 - 195)	173 (134 - 213)	158 (112 - 208)	167 (146 - 188)
<b>Ringhals + Varberg</b>	149 (132 - 163)	153 (133 - 172)	169 (140 - 197)	160 (127 - 190)	155 (139 - 165)
<b>Smögen</b>	142 (128 - 152)	150 (131 - 168)	173 (141 - 204)	155 (126 - 178)	145 (133 - 155)

### 4.3 Högsta beräknade havsvattenstånd

Begreppet ”högsta beräknade havsvattenstånd” avser värden framtagna utifrån SMHI:s observationsserier av havsvattenstånd. Metoden beskrivs här. Värdena avser inte högsta möjliga havsvattenstånd som någonsin kan inträffa, vilket kommenteras i slutet av kapitlet.

Majoriteten av de stormar som föranleder kraftiga höjningar av vattenståndet inträffar under höst- och vinterhalvåret. Vattennivån är då ofta förhöjd till följd av frekventa lågtryck och ihållande vindar. I teorin har en storm eller ett kraftigt oväder förutsättningen att höja vattenståndet en given bit i förhållande till utgångsläget. Många av de högsta havsvattenstånden har inträffat när utgångsläget varit förhöjt, men hur högt havsnivån befinner sig över det lokala medelvattenståndet innan stormen kan variera kraftigt. Det är alltså inte säkert att de häftigaste stormarna med de högsta nettohöjningarna har sammanfallit med en maximal havsnivå före stormen.





Figur 13. Havsvattenståndet (cm över medelvattenstånd) i februari 2002 vid stationerna Kalix, Furuögrund och Ratan i Bottenviken illustrerar vattenståndsvariationerna innan en stormflod.

Figur 13 visar ett exempel på en högvattenhändelse. Det råder höga nivåer innan stormfloden vid alla tre stationer i Bottenviken.

För att ta fram underlag till en metod för att beräkna hur högt havsvattenståndet skulle kunna bli om den högsta stormrelaterade nettohöjningen av havsvattenståndet sammanföll med en maximalt förhöjd havsnivå före stormen, analyserades alla SMHI:s längre tidsserier med vattenståndsdata med timupplösning. I analysen delades data upp i två delar; det genomsnittliga vattenståndet före en högvattenhändelse och nettohöjningen under en högvattenhändelse. Dessa delar benämns havsnivå före storm respektive nettohöjning, i enlighet med:

$$\text{stormflod} = \text{havsnivå före storm} + \text{nettohöjning}$$

Utgångsläget, havsnivå före storm, identifierades som medelhavsnivån under en sju-dygns-period två dygn innan en högvattenhändelse. Själva nettohöjningen under högvattenhändelsen räknades ut som nivån på stormfloden, alltså det högsta uppmätta havsvattenståndet under respektive händelse, minus havsnivån före storm. Detta gör att alla högvattenhändelser kan jämföras utifrån hur stor nettohöjningen är. Tidvattnet betraktas här som en del av den kortvariga nettohöjningen.

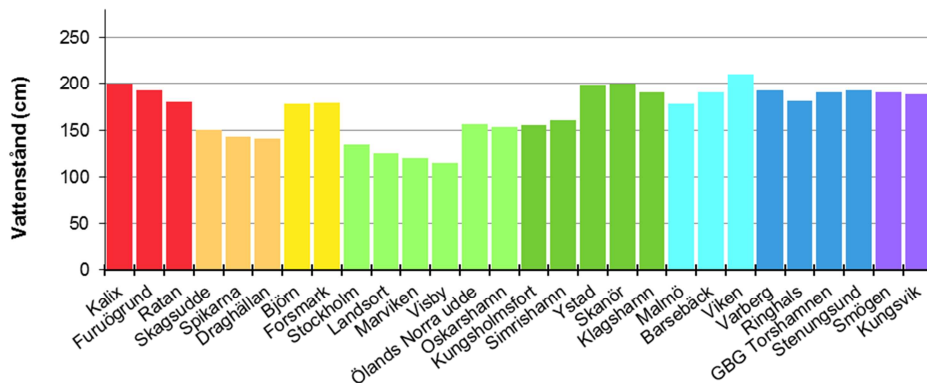
Beräkningarna har applicerats på hela tidsserierna för samtliga mätstationer i figur 14 och tabell 6. De höga nettohöjningar som har inträffat med en låg havsnivå före storm som utgångsläge är också inkluderade i analysen.

Hieronimus *et al.* (2017a) visar utifrån modellexperiment att långsamma och snabba vattenståndsvariationer i Östersjön ofta sammanfaller och ger höga vattenstånd som är större än de olika delarna för sig, det vill säga att de förstärker varandra, medan bidragen från olika komponenter inklusive tidvatten i Västerhavet oftast inte gör det.

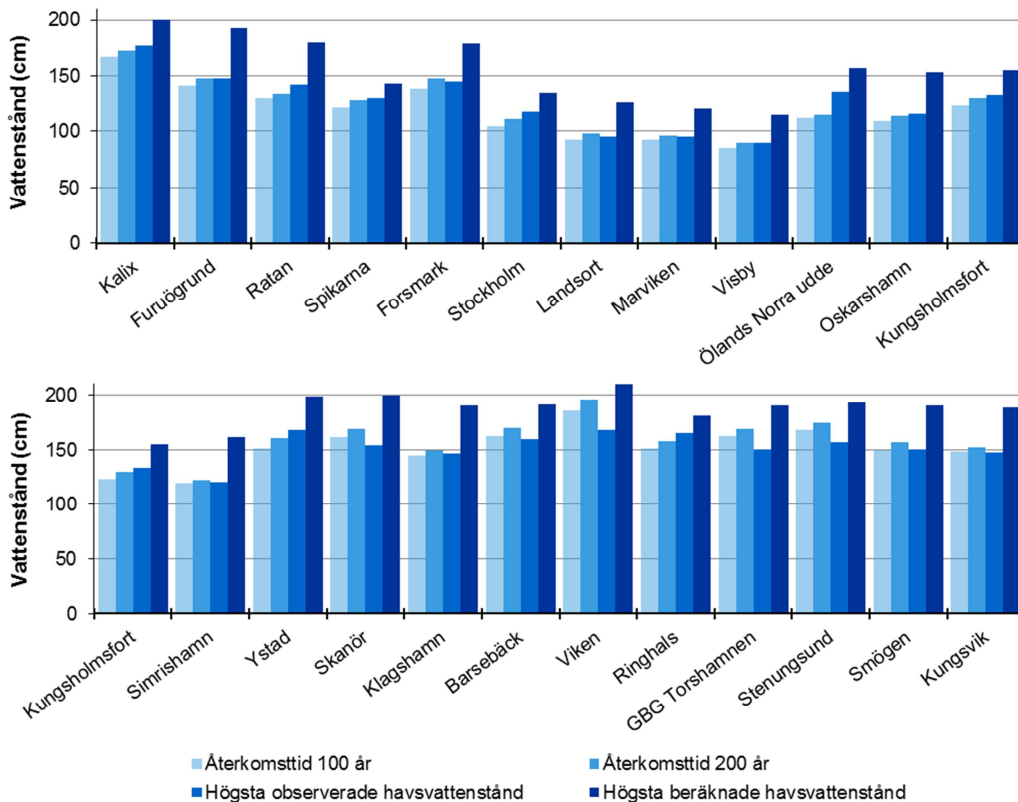
Havsvattenståndets maxnivåer sammanfaller generellt inte med högsta eller lägsta tidvattenstånd, utan inträffar oftast under den stigande fasen av tidvattnet på grund av icke-linjär interaktion mellan tidvatten och stormfloder (Horsburgh and Wilson, 2007).

Beräkningsmetoden tillämpades för SMHI:s mätstationer för havsnivå och resulterade i ett högsta beräknat havsvattenstånd för respektive mätstation. Eftersom samvariationen är stor över olika kustområden användes det högsta värdet för varje kustområde för havsnivå före storm. För mätstationen Visby användes stationens individuella högsta havsnivå före storm. Stationen är belägen långt ifrån övriga mätstationer vid fastlandskusten och därför är inte kustområdets högsta havsnivå före storm representativt för Visby. Resultatet av beräkningarna visas i figur 14. Högsta beräknade havsvattenstånd samt högsta

observerade vattenstånd presenteras också i en kartjänst som nås via SMHI:s webb och fliken Klimat. Sannolikheten för att högsta beräknade havsvattenstånd ska inträffa har inte beräknats, men bedöms vara låg.



Figur 14. Högsta beräknade havsvattenstånd (cm över medelvattenstånd).



Figur 15. Olika mått på höga vattenstånd för mätstationer längs Sveriges kust (cm över medelvattenstånd). Olika nyanser av blått visar 100 respektive 200 års återkomstnivå, högsta observerade havsvattenstånd och högsta beräknade havsvattenstånd.

Figur 15 visar högsta beräknade havsvattenstånd och nivåer med 100- och 200-års återkomsttid utifrån GEV-fördelningen, samt högsta observerade havsvattenstånd. Jämförelsen är inte helt rättvisande, eftersom mätserierna är olika långa. Genomgående är de högsta beräknade havsnivåerna 20-40 cm högre än de högsta observerade havsvattenstånden, och de högsta observerade nivåerna är dessutom ofta högre än de statistiska värdena.

Det finns vissa systematiska drag mellan de olika skattningarna för höga vattenstånd, beroende på kuststräcka. I Bottenhavet, i viss mån Södra Bottenhavet och i de norra

delarna av Östersjön är både högsta observerade och högsta beräknade havsvattenstånd lägre än längs övriga kuststräckor. I dessa områden finns långa mätdataserier på flera platser och därmed också en stor mängd högvattenhändelser att analysera och jämföra. Det är troligt att väderförhållanden, kustens utformning och läget relativt nära noden<sup>18</sup> i Östersjön gör att nivåerna här inte blir lika höga som på många andra platser. Vindar österifrån har en tämligen begränsad sträcka att blåsa över och förutsättningar saknas för att lika stora mängder vatten ska kunna pressas upp mot kusten som längs övriga kuststräckor. I Södra Bottenhavet blir de högsta beräknade nivåerna något högre längs den kuststräcka som böjer av österut och därmed blir utsatt för vind omkring nord. I större delen av Östersjön är havsnivån före storm tämligen hög och kan i vissa fall utgöra i stort sett hälften av högsta beräknat havsvattenstånd (Schöld m.fl., 2017b).

För Bottenviken, Södra Östersjön och i Västerhavet visar analysen av observerade stormfloder att nivåer på omkring två meter över medelvattenstånd är en rimlig högstanivå baserat på tillgängliga mätdata (figur 15). I Bottenviken kan nivån före storm vara över 70 cm över medelvattenstånd. Då krävs inga extrema väderförhållanden för att driva upp vattenståndet och förutsättningar finns för mycket höga vattenstånd om en kraftig storm skulle dra förbi. Längs Västkusten är det stormeffekten, alltså nettohöjningen, som är den viktigaste mekanismen för höga stormfloder. Här förekommer det att vattenstånden är förhöjda före de högsta stormfloderna, men generellt pågår detta inte under lika långa perioder som i Östersjön, och nivån blir inte riktigt lika hög. Vidare är vädret längs kusten i sig så kraftigt att det kan driva upp vattenstånden till mycket höga nivåer oavsett utgångsläge, och den vattenreservoar som Atlanten och Nordsjön utgör ger helt andra förutsättningar än den begränsade mängd vatten som finns i Östersjön (Schöld m.fl., 2017a).

En empirisk analys begränsas av de mätdata som finns tillgängligt för de stationer som analyserats. De beräknade nivåerna är att betrakta som mycket sällsynta men ändå fullt möjliga stormfloder i samband med en, med avseende på havsvattenståndet, mycket svår storm. Särskilt om denna storm skulle inträffa då utgångsläget i aktuellt kustområde redan är förhöjt. För att bestämma havsnivån före storm förefaller dataserierna kunna fånga nivåer nära ett förväntat maximum. För stormar och nettohöjningar är situationen en annan då denna parameter inte är begränsad uppåt på samma sätt som nivån före storm. SMHI har många långa dataserier men vi vet att det ändå förekommit stormar som på vissa platser drivit upp vattenståndet till högre nivåer än vad som finns registrerat i observationsserierna. De högsta beräknade havsnivåer som presenteras här kommer nära, eller i nivå med, dessa anekdotiska extremnivåer<sup>19</sup>. Den mest kända av dessa, Backaflo den 1872, har uppskattats till 2.4 m vid Falsterbonäset av Fredriksson *et al.* (2016), vilket är 40 cm högre än högsta beräknade havsvattenstånd för Skanör. Detta exemplifierar att metoden inte fångat de allra värsta stormarna som beskrivs i historiska källor, framförallt i sydvästra Östersjön.

Förekomsten av höga vattenstånd varierar mycket mellan årtionden. Beräkningsmetoden för höga havsvattenstånd ger ingen uppskattning av sannolikheten för att dessa vattenstånd ska inträffa, utan resulterar i en skattad övre gräns för det vattenstånd som kan uppträda under de förhållanden som rådde under den mätperiod som ligger till grund för beräkningarna.

---

<sup>18</sup> Noden = Mittpunkten vid periodiska svängningar av vattenståndet. Vid nodlinjen är svängningsamplituden vid en stående våg, en seiche, minimal.

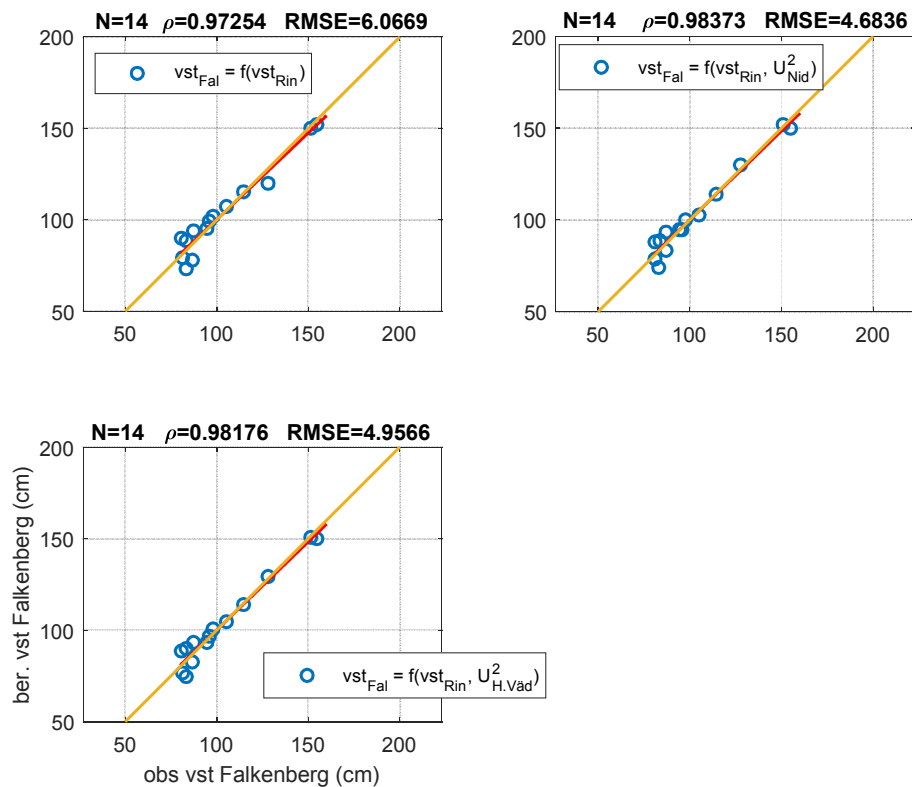
<sup>19</sup> Välkända och dokumenterade händelser men utan oceanografiska mätdata.

## 4.4 Lokala effekter

Med en *lokal effekt* avses förändringen av vattenståndet från en plats till en annan, närbelägen plats. Genom att ta hänsyn till lokala effekter kan vattenståndet vid en oceanografisk mätstation appliceras på en annan plats, där vattenståndet är okänt.

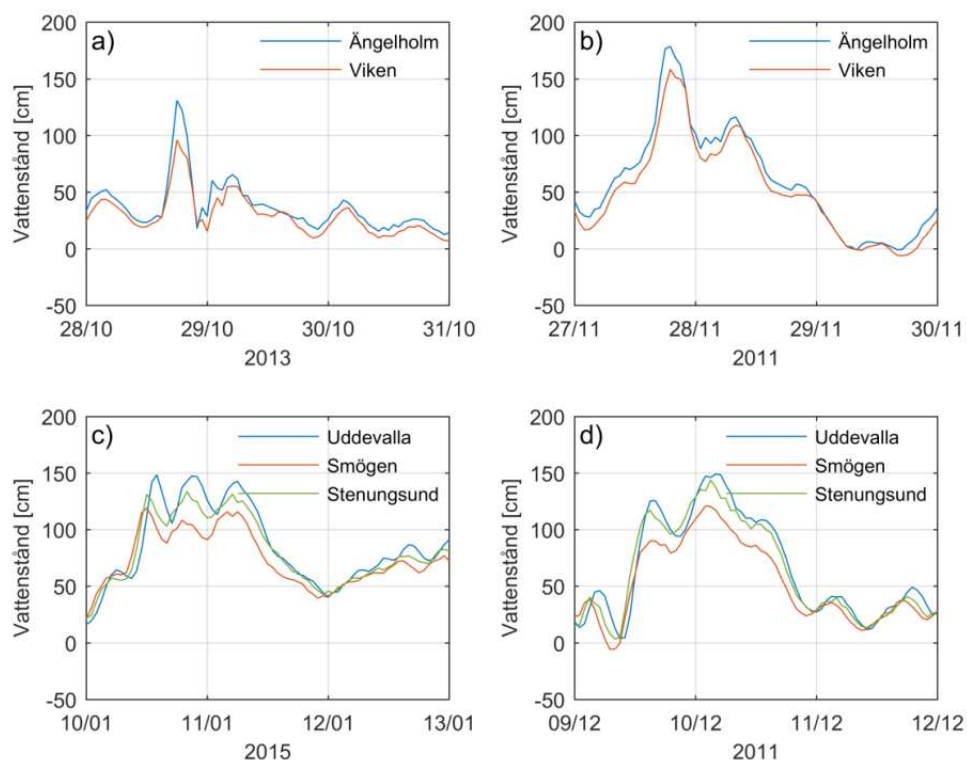
Om kustformen och botten djupet vid platserna liknar varandra, är det sannolikt att vattenstånden är ungefär lika. Vid en avvikande plats, exempelvis i en vik, på en udde eller på en kust med väsentligt större eller mindre djup, tillkommer större lokala effekter på vattenståndet.

Johansson m.fl. (2017a) visar att det går att beräkna vattenståndet lokalt på olika sätt, och att valideringsdata från den lokala platsen är nödvändiga för att resultatet ska vara tillförlitligt. I ett räkneexempel i kapitel 5 visas hur lokala data från Falkenberg i kombination med vinddata kan användas för att bygga en statistisk modell utifrån den längre tidsserien på Ringhals. Figur 16 visar sambandet mellan observerat vattenstånd i Falkenberg och beräknat vattenstånd i Falkenberg utifrån vattenstånd på Ringhals och vindhastighet i området. I detta fall beskrivs vattenståndet i Falkenberg väl utifrån vattenståndet i Ringhals och vind på Hallands Väderö.

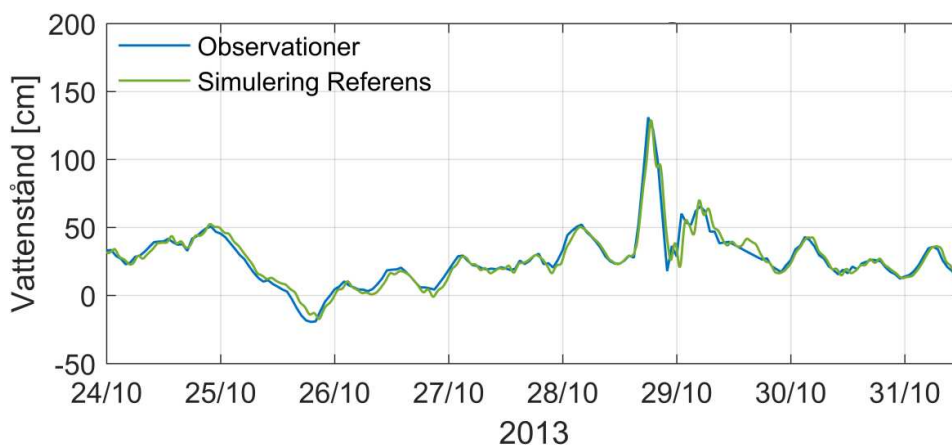


Figur 16. Statistisk regressionsanalys som visar beräknat mot observerat högvatten i Falkenberg. Överst t.v. med vattenståndet i Ringhals som förklarande variabel, t.h. vattenstånd Ringhals och vind på Nidingen och underst vattenstånd Ringhals och vind på Hallands Väderö. Regressionslinjerna är röda och referenslinjerna gula.

Lokala effekter är i allmänhet större om de topografiska effekterna är större, till exempel inne i en vik. Figur 17 visar vattenståndet i Ängelholm/Magnarp jämfört med Viken i norra Öresund, och i Uddevalla jämfört med Stenungssund och Smögen vid olika stormtillfällen. Mätningarna illustrerar att vattenståndet blir högre ju längre in i viken man kommer. Ängelholm visar högre högstnivå än Viken och likaså Uddevalla jämfört med Stenungssund. Smögen som ligger längst ut visar lägst högstnivå (se karta figur 19).



Figur 17. Havsvattenståndet i cm relativt medelvattenståndet i (a) Ångelholm/Magnarp och Viken under stormen Simone i slutet av oktober 2013, (b) Ångelholm/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.



Figur 18. Observerat och modellerat vattenstånd vid Ångelholm/Magnarp för perioden 24-31 oktober 2013.

SMHI har låtit modellera höga vattenstånd med tre olika numeriska modeller (Johansson m.fl., 2017b). Syftet med att jämföra resultat från olika modeller var att ta reda på om modellval i sig hade betydelse. Det visade sig att kvalitén på drivdata har störst betydelse för resultatet, och att valideringsdata är nödvändiga för att kalibrera modellerna. Valet av modell spelar däremot mindre roll. Figur 18 visar observerat och simulerat vattenstånd vid mätstationen Magnarp i Skälderviken i oktober 2013 (Andersson m.fl., 2017).

Kan lokala beräkningsmodeller kompensera för brister i storskaliga modeller? Eftersom drivdata är väsentliga för modellresultaten i de lokala modellerna är det inte möjligt att förbättra bristfälliga indata genom att sätta upp lokala modeller. Vissa brister i indata kan kompenseras för i en lokal modell förutsatt att det finns mätdata att validera mot.



Figur 19. Karta över svenska Västkusten med Uddevalla-systemet längst i norr och Ångelholm/Magnarp längst i syd.

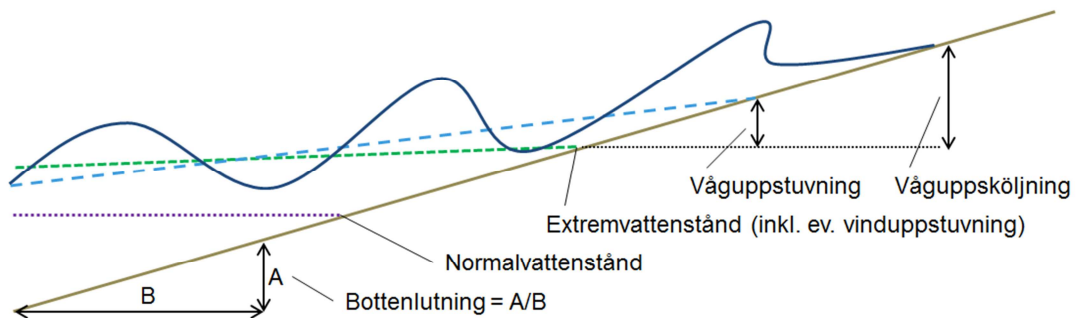
#### 4.4.1 Vågor

Vågor kan lokalt bidra till att höja vattenståndet och de uppträder ofta samtidigt som vattenståndet är högt. Såväl naturliga som konstruerade strukturer längs kusten kan orsaka kraftiga tillfälliga höjningar av vattennivån lokalt, beroende på vågor. Ofta är observationer av vattenstånd förlagda till platser som inte är påverkade av vågor, eller så filtreras vågsignalen bort. Därför finns denna inte med i den övergripande vattenståndsanalysen. Vågorna tillför inte bara ett bidrag till en eventuell översvämningsrisk, utan de påverkar också kusten med starka krafter som kan förstöra både naturliga och konstruerade strukturer. Vid analyser av höga vattenstånd för lokala syften behöver dessa förhållanden undersökas.

I Johansson m.fl. (2017a) beskrivs hur vågor påverkar vattennivåerna nära kusten och hur kustens utformning påverkar vågorna. Våguppstuvning och våguppsköljning är facktermer för de sätt som vågorna bidrar till att höja vattenståndet vid en strand. Våguppsköljningen ger en temporär effekt till vattenståndet och är störst för mellanbranta stränder. Våguppstuvningen finns så länge det finns vågor som bryter in mot stranden. Figur 20 och 21 illustrerar våguppsköljning och våguppstuvning för en slät strand.



Figur20. Brytande vågor på en långgrund sandstrand under en storm. Foto: Signild Nerheim



Figur 21. Våguppstuvning och våguppsköljning på en strand.

I Johansson m fl. (2017a) visas översiktligt kopplingen mellan våghöjd och bottenlutning. Vågeffekter kan leda till några meter högre uppsköljningshöjd än själva vattenståndet, beroende på kustens lutning för en ”slät, hård, tät och obeväxt” kust.

Uppsköljningshöjden är starkt beroende av vågornas karaktäristika, strandens utformning och andra förhållanden.

I en stadsmiljö kommer vågorna snarare in mot kajer och piler än mot sluttande stränder. I Johansson m.fl. (2017a), visas exempel på hur en våg omformas när den kommer in i en hamn, genom påverkan av hamnens geometri. Projektet har inte analyserat hur vågor transformeras när de träffar kajer eller stränder. Detaljer om detta finns bland annat i EurOtop (2016), vari beskrivs hur man kan beräkna volym vatten som kan spola över olika konstruktioner. Ett exempel på en vågbrytare som överspolas ses i figur 22.



Figur 22. Exempel på hur vågor spolar över konstruktioner, i detta fall en vågbrytare avsedd för att skydda jordbruksmarken mot havets krafter. Foto: Signild Nerheim

## 5 Att bedöma framtidens höga havsvattenstånd

Då havets globala medelnivå stiger i ett varmare klimat blir även de höga havsnivåerna högre eftersom både snabba och långsamma vattenståndsförändringar sker ovanpå ett högre rådande medelvattenstånd. I detta kapitel ges en översiktlig beskrivning av hur höga havsvattenstånd kan skattas för en valfri plats längs Sveriges kust, i dagens och framtidens klimat.

Det är svårt att veta hur vattenståndsdynamiken kommer att förändras i framtiden. Vi har utgått från antaganden att den inte förändras. Metoden tar inte heller hänsyn till eventuella framtida förändringar av stormarnas intensitet. Sannolikheten för ett givet framtida medelvattenstånd beror både på utsläpp av växthusgaser och av klimatsystemets respons på utsläppen. Dessa sannolikheter är till sin karaktär väsentligt annorlunda från den sannolikhet som förknippas med högvattenhändelser och extrema havsvattenstånd.

Principen för att ta fram framtida högvattenhändelser bygger på antagandet att framtidens höga vattenstånd liknar dagens och kan adderas till framtidens medelvattenstånd.

*Framtida högvattenhändelse = framtida medelvattenstånd + dagens högvattenhändelse*

Resultat som SMHI tagit fram (Hieronymus *et al.*, 2017a), stöder antagandet om att högvattenståndet kan läggas till medelvattenståndet. Förändringar i klimatet kan emellertid påverka förekomst av och intensitet i de kraftiga oväderssystem som i sin tur kan föranleda högvattenhändelser. Hur förändringar i klimatet kommer att påverka vindklimat och stormfloder i Nordsjön, och i förlängningen Skagerrak, Kattegatt och Östersjön, har visat sig vara svårt att fastställa eftersom det är svårt att skilja den naturliga variabiliteten i klimatet från effekter av regional klimatförändring (Schrum *et al.*, 2016). Klimatförändringar leder också till olika effekter som i sin tur påverkar stormars banor på motstridiga sätt (Shaw *et al.*, 2016). Även om några studier indikerar en generell ökning av västliga vindar över Nordsjön så förefaller ännu den naturliga variabiliteten i de oväderssystem som föranleder höga stormfloder vara större än eventuella effekter av klimatförändringen (May, *et al.*, 2016 och Schrum *et al.*, 2016). Tack vare att många av SMHI:s mätstationer har mycket långa dataserier för vattenstånd, så är denna naturliga variabilitet i klimat och havsvattenstånd, inkluderad i våra beräkningar i tämligen hög utsträckning.



I föregående kapitel presenteras underlag för att ta fram framtida medelvattenstånd och metodik för att ta fram nivåer för återkomsttider och högsta beräknade havsvattenstånd från långa mätserier. För att ta fram framtidens högvattenhändelser kombineras komponenterna för vald risknivå.

## 5.1 Behov av riskanalys

Som beskrivits i kapitel 2, definierades projektet i SMHI:s regleringsbrev som ”*Framtagande av riktlinjer för beräkning av dimensionerande havsnivåer för olika delar av Sverige för dagens och framtidens klimatförhållanden*”.

Då begreppet ”dimensionerande” behöver knytas till en specifik risk eller samhällsfunktion, har SMHI i sitt arbete inte entydigt definierat dimensionerande havsnivåer, utan strävat efter att skapa ökad förståelse för sannolikheterna för olika händelser, samt att åskådliggöra att sannolikheten för högvattenhändelser och sannolikheten för det ena eller det andra framtida medelvattenståndet i grunden är olika.

För att utvärdera hur stor risken är behöver dessutom konsekvenserna vid en händelse utvärderas. Risk definieras vanligen som:

$$\text{Risk} = \text{sannolikhet} \times \text{konsekvens}$$

Detta innebär att för att göra en riskanalys behövs inte bara en utvärdering av sannolikheter, utan även en utvärdering av konsekvenser. Vägledning för konsekvensanalys har tagits fram bland annat av Naturvårdsverket (2003). En indikation på konsekvenser av översvämningar fås genom att ta fram enklare översvämningsskarteringar, men för att göra en ordentlig analys krävs ingående kunskaper om de objekt som drabbas. Simonssen m.fl. (2017) har på uppdrag av MSB studerat skador vid inträffade översvämningar från havet från 1980 till 2017. En liknande enkätundersökning genomfördes under 2009 av SMHI (Bergelo, 2011). Dessa och liknande studier kan vara ett stöd för att förstå vad konsekvenserna kan bli vid tillfälliga högvattenhändelser från havet. Fredriksson m.fl. (2017) har studerat konsekvenser vid historiska högvattenhändelser och möjligheten att använda dessa som underlag vid riskanalyser.

Det är inte bara händelsen och objektet i sig som är av vikt för vilka konsekvenser en händelse får. Beredskapen inför och därmed agerandet under en högvattenhändelse har också betydelse. Byggnaders utformning och användande, till exempel placering av kritisk utrustning i en byggnad, spelar också stor roll. Att ha ställverk och liknande i källare har visat sig leda till stora konsekvenser. Med ett genomtänkt förhållningssätt till hur objekt används eller med hjälp av tekniska lösningar kan konsekvenser minskas. Konsekvenser kan också vara störningar då infrastruktur är otillgänglig under en period.

Kostnads-nyttanalys är ett viktigt stöd för beslutsfattande som bygger på att identifiera de kostnader och den samhällsnytta som en investering eller åtgärd kan medföra. Analysen syftar till att jämföra dessa med varandra (Rosén m.fl., 2008). I kostnads-nyttanalyser uttrycks kostnaden och nyttan i monetära enheter (till exempel kr eller Euro) i så stor utsträckning som möjligt. Kostnads-nyttanalys innefattas i det bredare begreppet konsekvensanalys (jfr Naturvårdsverket 2003). Kostnaderna för klimatanpassningsåtgärder kan exempelvis leda till en nytta i form av minskad konsekvens vid en översvämning. Den kan vägas mot att inte göra klimatanpassningsåtgärder och sannolikt få en större, eller mer kostsam, konsekvens.

Komplexiteten i riskanalyser är med andra ord stor, och kräver integrering av naturvetenskaplig och samhällsekonomisk kompetens.

När eventuella konsekvenser har bedömts kan en riskanalys genomföras och ett beslut fattas om vilken risk som är acceptabel för det objekt eller område som avses. Om konsekvenserna vid en översvämning bedöms som mycket stora bör sannolikheten för att

detta ska ske vara mycket låg. Om konsekvenserna bedöms som små kan, å andra sidan, en högre sannolikhet för översvämning accepteras.

## 5.2 Framtida högvattenhändelser

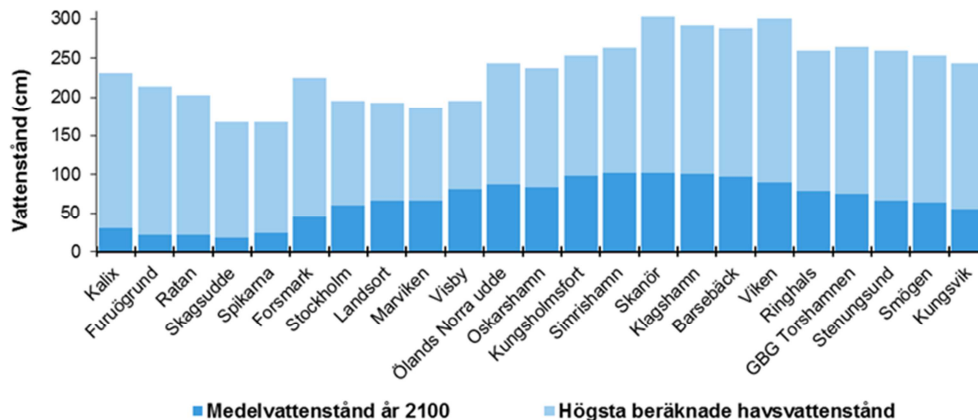
Framtida högvattenhändelser med låg sannolikhet kan skattas enligt den generella principen:

*Framtida högvattenhändelse med låg sannolikhet = framtida medelvattenstånd med låg sannolikhet + dagens högvattenhändelse med låg sannolikhet*

De högsta beräknade havsvattenstånden, som framtagits genom analyser av historiska högvattenhändelser vid SMHI:s mätstationer (kapitel 4.3), har mycket låg sannolikhet och appliceras här på ett framtida medelvattenstånd år 2100 (figur 23). Det framtida medelvattenståndet som valts är, i detta exempel, IPCC:s 95:e percentil för klimatscenario RCP8,5. Figur 23 visar bidraget från det framtida medelvattenståndet i en mörkare blå färg. Det framtida medelvattenståndet blir högst i södra Sverige eftersom landhöjningen där är mycket liten. Bidraget från de högsta beräknade havsvattenstånden visas med ljusblå färg i figur 23. Det sammanlagda resultatet leder till att de högsta beräknade vattenstånden relativt dagens medelvattenstånd blir störst i södra Sverige (jämför med figur 12). Eftersom vattenståndsdynamiken är sådan att södra Sverige dessutom kan drabbas av för svenska förhållanden mycket höga stormfloder, betyder det att södra Sverige är särskilt utsatt för klimatförändringens effekt på stigande hav.

Resultaten visar att ett högre framtida medelvattenstånd i kombination med en stormrelaterad högvattenhändelse resulterar i stormfloder som är väsentligt högre än hittills observerade nivåer.

Resultaten illustreras även i form av diagram i en karttjänst på SMHI:s webbplats.



Figur 23. Det högsta beräknade havsvattenståndet för varje mätstation kombinerat med en framtida havsnivå år 2100 baserad på den 95:e percentilen för scenario RCP8,5 och landhöjningen vid respektive mätplats. Nollpunkten representerar nollpunkten i RH2000. Medelvattenståndets läge i RH2000 under referensperioden 1986-2005 finns i tabell 5, tillsammans med medelvattenståndet för året 2017.

## 5.3 Framtida höga havsvattenstånd för en given plats

Grundprincipen för att ta fram höga vattenstånd i framtiden bygger på en förståelse av de faktorer som skapar det höga havsvattenståndet. SMHI:s resultat som visas i kapitel 5.2 är en utgångspunkt för planering längs Sveriges kuster, och kombinerar framtagna resultat för framtidens medelvattenstånd, med det empiriskt framräknade högsta beräknade havsvattenståndet för SMHI mätstationer.

Samma princip kan användas för att få fram planeringsunderlag för andra orter, och för olika risker eller samhällsfunktioner. I detta avsnitt redovisas hur underlag kan kombineras för att få fram olika scenarier för framtida händelser. Underlagen som kombineras innehåller osäkerhet av olika slag, som behöver hanteras. Minst lika viktigt som att ta fram nivåer för höga havsvattenstånd är att förstå de osäkerheter som förknippas med nivåerna. Detta eftersom osäkerheterna måste utvärderas mot de eventuella konsekvenser som en inträffad händelse skulle kunna medföra. Konsekvenserna är platsspecifika och beroende av den typ av objekt eller verksamhet som man vill skydda eller planera för.

Tabell 8 visar en grov översiktlig skattning av betydelsen av olika komponenter som ingår i bedömningen av det framtida havsvattenståndet. För många av komponenterna kring mycket höga vattenstånd bedöms osäkerheterna vara i storleksordningen 10 cm. Osäkerheten kring framtidens medelvattenstånd är tydligt större.

Tabell 8. En grov uppskattning av storleksordningen i osäkerheten för de olika komponenter som ingår i bedömningen av det framtida havsvattenståndet.

Komponent av vattenståndet	Osäkerhet, storleksordning
Medelvattenstånd i framtiden	50 cm
Vattenstånd med 100 års återkomsttid	10 cm
Lokal effekt vid homogen topografi	10 cm
Verkligt havsvattenstånd utifrån högupplöst data jämfört med timregistrering	10 cm
Lokal effekt i vikar	30 cm
Historisk stormflod där observationer <sup>20</sup> saknas men skattningar gjorts utifrån annan information	40 cm jämfört med högsta beräknade havsvattenstånd (Södra Östersjön)

I kapitel 5.2 beskrevs en framtida högvattenhändelse som summan av ett framtida medelvattenstånd plus en högvattenhändelse. När underlag framtagna för någon av SMHI:s mätstationer ska användas för att skatta de höga vattenstånden vid en närliggande plats, behöver även eventuella lokala effekter beaktas;

*Framtida högvattenhändelse = framtida medelvattenstånd + högvattenhändelse ± eventuell lokal effekt*

Den lokala effekten tillkommer eftersom det inte alltid finns ett fullständigt dataunderlag vid den plats som ska undersökas.

I beräkningen är det viktigt att kunna hantera höjdsystem. Ett höjdsystem kan vara fast, till exempel RH2000, eller relativt, till exempel årets medelvattenstånd, eller jämfört med en referensperiod. Enklart är att bestämma medelvattenståndet i det fasta höjdsystemet RH2000, och sedan applicera värden för höga vattenstånd och lokala effekter som en relativ förändring ovanpå ett utgångsläge.

Nivåer för framtidens klimat tas fram utifrån referensperioden 1986-2005, och det genomsnittliga vattenståndets nivå i RH2000 för SMHI:s mätstationer under denna period. Därefter beaktas höjningen fram till år 2050 eller år 2100, och landhöjningen för samma period. Ett framtida medelvattenstånd i det fasta höjdsystemet RH2000 kan alltså kombineras med en högvattenhändelse angiven i cm över medelvattenstånd, eftersom

<sup>20</sup> Observationer avser här mätningar utförda vid havsnivåstationer.

dessa högvattenhändelser utgår ifrån den nollnivå som utgörs av medelvattenståndet, oavsett vilket år de inträffat.

För att ta fram dimensioneringsunderlag ingår följande steg:

1. Utvärdera de platsspecifika förutsättningarna för den plats du tar fram underlag för.
2. Bestäm vilken tidshorisont som underlaget ska gälla för.
3. Bestäm vad som är en acceptabel översvämningsrisk, utifrån vad som ska skyddas från översvämning.
4. Utifrån plats, tidshorisont och acceptabel risk, ta fram planeringsunderlag.
5. Summera och utvärdera

I följande kapitel beskrivs de resonemang som vanligen ingår i punkterna 1-4. En fullständig bedömning av underlaget utifrån konsekvenserna kräver att en grundlig riskbedömning görs, men här visas hur man skulle kunna resonera för ett hypotetiskt fall. Beskrivningen görs stegvis och förtydligas med ett räkneexempel för Falkenberg (bilaga 1).

### 5.3.1 Platsspecifika förutsättningar

I allmänhet är förhållandena på platsen som ska undersökas kända. Platsens förutsättningar är dels geografiska, och dels förknippade med markanvändning. Med markanvändning avser vi det som finns på den aktuella platsen. Det kan exempelvis handla om naturvärden, kulturvärden eller bebyggelse.

De geografiska förutsättningarna påverkar det framtida medelvattenståndet då landhöjningen är platsspecifik. Om man efter nya forskningsframsteg kommer fram till att havsnivåhöjningens regionala variationer bör beaktas i Sverige kommer också dessa att vara platsspecifika. Även lokala höjddata har betydelse när man ska bedöma utsattheten för höga vattenstånd vid en viss plats.

Platsen har också geografiska förutsättningar vad gäller förekomst av höga havsvattenstånd, och närhet till en plats som har ett gott dataunderlag. Dataunderlaget behöver utvärderas mot, och eventuellt kompletteras med, lokala mätdata. Kortare mätdataserier kan man till exempel få ifrån Sjöfartsverkets mätstationer, som är fler till antalet än SMHI:s. Det förekommer också att lokala aktörer själva mäter havsvattenståndet vid olika platser. Om mätdata saknas helt kan en värdefull investering vara att själv mäta havsvattenståndet vid platsen.

Följande frågeställningar om platsen bör besvaras:

1. Var i Sverige finns den aktuella platsen med avseende på landhöjning?
2. Finns det ett bra dataunderlag från någon plats i närheten, det vill säga, är det långt eller kort avstånd till närmsta mätstation med liknande geografiska förutsättningar och lång mätdataserie?
3. Vilken vattenståndsdynamik förväntar vi oss vid platsen?
4. Finns topografiska förhållanden som påverkar vattenståndet lokalt? Är platsen utsatt för vågor eller inte?

Landhöjningen går att hämta från SMHI (2017) som ett medelvärde för varje kommun, eller i GIS-filer. Dataunderlaget beskrivs i Schöld m fl. (2017a), och där finns också en utförlig beskrivning av hur vattenståndet beter sig i det kustområde som platsen är en del av. Utvärdering av lokala effekter beskrivs i Johansson m fl. (2017), och kortfattat i kapitel 4.4.

### 5.3.2 Tidshorisont

Tidshorisonten hänger samman med den önskade livslängden, ofta för en planerad byggnation. För befintlig bebyggelse kan det vara aktuellt att titta på olika tidshorisonter till exempel för att utvärdera när ett område kan komma att drabbas av översvämningar, eller när naturvärden kan riskera att gå förlorade.

Många stora infrastrukturprojekt har en livslängd på mer än 100 år, vilket innebär att år 2100 är alltför kort tidshorisont. Osäkerheterna kring medelvattenståndet är ännu större för tiden bortom år 2100, än fram till år 2100. Observera att tidshorisont gäller objekt/verksamheters livslängd och ska inte blandas samman med återkomsttid, som avser sannolikhetsbedömningar.

### 5.3.3 Acceptabel översvämningsrisk

Inledningsvis beskrevs hur begreppet ”dimensionerande” frångåtts. Det beror på att begreppet dimensionerande behöver kopplas till en risk.

Samhällsviktig verksamhet definieras av MSB, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, som en verksamhet som uppfyller minst ett av följande villkor:

- Ett bortfall av eller en svår störning i verksamheten kan ensamt eller tillsammans med motsvarande händelser i andra verksamheter på kort tid leda till att en allvarlig kris inträffar i samhället.
- Verksamheten är nödvändig eller mycket väsentlig för att en redan inträffad kris i samhället ska kunna hanteras så att skadeverkningarna blir så små som möjligt.

Enligt Plan- och bygglagen, PBL, ska kommunen planera markanvändningen utefter ett områdes lämplighet. I detta ligger även att bedöma risken för översvämning (PBL 2 kap 5§). Dessutom bedriver Länsstyrelsen tillsyn med avseende på översvämning. I arbetet med varje plan ska markens lämplighet för ett visst ändamål bedömas. Observera att detta gäller för framtagande av nya planer. Flera kommuner har betydligt större utmaningar med befintlig bebyggelse.

De exempel som lyfts upp här kommer från insikter som vi fått i dialog med andra aktörer, exempelvis olika länsstyrelser, kommuner och Boverket. För dimensionering av kritisk infrastruktur är utgångspunkten ofta att en översvämning aldrig får ske inom objektets planerade livslängd, kanske till och med bortom den planerade livslängden, om man räknar med att även ersätta objektet med ett nytt på samma ställe. Kritisk infrastruktur kan handla om motorväg, järnvägssträcka eller järnvägstunnel, sjukhus, vårdhem eller el-/teleanläggningar<sup>21</sup>.

För annan bebyggelse kan frågan snarare vara hur sårbara olika områden är för översvämningar från havet, och vid vilka vattenstånd. I stället för att hitta en övre maximal gräns kan det röra sig om tröskelnivåer, varaktighet över en given nivå, eller hur ofta en nivå blir översvämmad. För en cykelbana kan det till exempel vara hanterbart att den blir översvämmad vart 10:e år, men inte 10 gånger varje vinter. För en strandzon kan det vara mest intressant hur mycket den kan komma att krympa framöver. Medelvattenståndets förändring är för det exemplet viktigare än kortvariga högvattenhändelser.

En översiktlig inventering av ett områdes utsatthet för översvämning kan tas fram med hjälp av GIS-verktyg. De flesta kommuner och länsstyrelser har detaljerade höjddata för

---

<sup>21</sup> Boverket arbetar för närvarande med ett regeringsuppdrag att ta fram en tillsynsvägledning avseende översvämningsrisker. Uppdraget ska redovisas till Regeringskansliet senast den 28 februari 2018.

sina områden. Det finns också ett övergripande verktyg hos MSB som visar höjdförhållanden för hela Sverige<sup>22</sup>.

### 5.3.4 Framtagande av planeringsunderlag

#### Medelvattenstånd

Medelvattenståndet lokalt bestäms utifrån vald plats och tidshorisont. Den lokala landhöjningen bedöms och önskat klimatscenario väljs ut. Det intervall som anges i IPCC:s underlag för framtida medelvattenstånd (exempelvis figur 2 i denna rapport) ligger inom 66 – 100 % sannolikhet. Sweet *et al.* (2017) har bedömt sannolikheten att högsta värdet från IPCC AR5 överskrids år 2100 till 17 %, förutsatt att utsläpp av växthusgaser motsvarar RCP8,5. Detta diskuteras mer ingående i kapitel 3.1.1.

I vårt exempel (bilaga 1) bedöms IPCC:s nivåer utifrån RCP8,5 vara en lämplig utgångspunkt för planering av samhällsviktig infrastruktur.

Medelvattenstånd för kustkommuner i ett framtida klimat finns i bilaga 1 i SMHI (2017). Där presenteras förväntade medelvattenstånd år 2050 och år 2100 baserat på lokal landhöjning och tre av IPCCs klimatscenarier; RCP2,6, RCP4,5 och RCP8,5 (figur 2). För varje scenario anges 5:e percentilen, medianen och den 95:e percentilen (se kapitel 3.1 för diskussion kring RCP-scenarier).

På SMHI:s hemsida finns även högupplöst data för framtida medelvattenstånd längs Sveriges kust att hämta som GIS-skikt.

Ny forskning tillkommer hela tiden. I kapitel 3.1.1 redovisas en del av den forskning som kommit efter IPCC AR5, med fokus på sannolikheten för högre nivåer. Sådana värden kan användas i en konsekvensanalys, när konsekvenser vid högre havsnivåhöjning är av intresse. Till exempel; om man vill utforska det Sweet *et al.* (2017) kallar ”högt” scenario, 150 cm höjning fram till år 2100, utgår man från värdet för RCP8,5 och 95:e percentilen (98 cm global höjning) och lägger till 52 cm.

Det kan också röra sig om att livslängden för kritisk infrastruktur bör vara längre än drygt 80 år, vilket innebär att år 2100 är för kort tidshorisont. Ansvar för planering av kritisk infrastruktur är reglerat, och ligger utanför SMHI:s expertområde.

Om man vill utvärdera ett framtida havsvattenstånd för till exempel år 2150 eller år 2200 behöver även en justering av landhöjningens effekt beaktas. Utgå då från värdet för år 2100, lägg till ett ytterligare globalt bidrag (tillägg), men dra bort landhöjningseffekten över 50 år respektive 100 år (se kap 7 i SMHI, 2017).

#### Höga havsvattenstånd

För att ta fram höga vattenstånd för en given plats adderas en platsspecifik högvattenhändelse till det platsspecifika medelvattenståndet. Beroende på plats och dataunderlag behöver en eventuell lokal effekt utvärderas. Olika mått på höga havsvattenstånd bör tas fram, exempelvis 100-års återkomsttid och högsta beräknade havsvattenstånd som beskrivs i kapitel 5.2. Vilket som väljs för planeringsunderlag beror på vilken risk vi är villiga att acceptera. Det är en god idé att undersöka högvattenhändelser med olika grad av sannolikhet.

Det geografiska läget avgör vilka dataunderlag<sup>23</sup> som finns att använda för beräkningarna. Långa tidsserier är ovärderliga för att ta fram bra underlag för extremer. En utvärdering av vilken av SMHI:s mätstationer som är mest representativ för platsen bör alltid göras. I

---

<sup>22</sup> <https://www.msb.se/sv/Forebyggande/Naturolyckor/Oversvammning/Kustoversvammning/>

<sup>23</sup> Se *Tillgänglighetsmatris havsvattenstånd under Stationslista havsvattenstånd* i Kunskapsbanken på smhi.se för mer information om tillgängliga mätdata för havsvattenstånd.

exemplet Falkenberg (bilaga 1) undersöks vilken mätdata som finns tillgänglig och om vattenståndsdynamiken vid Falkenberg överensstämmer med den vid de närbelägna mätstationerna.

### **Lokala effekter**

Utvärdering av lokala effekter beskrivs utförligt i Johansson m.fl. (2017a). I vissa fall är variationen mellan platsen och närmsta långa mätserie så liten att det inte finns behov av att göra någon mer noggrann analys. Den enklaste metoden är att utgå ifrån ett avståndsviktat medelvärde. Metoden fungerar när det är likartade förhållanden längs kusten (Johansson m.fl., 2017a).

I vissa områden krävs mer omfattande utvärderingar. Exempelvis har Öresund en komplicerad topografi och är därmed svårare att hantera. De lokala effekterna är i allmänhet större i vikar och vid större vattendrags mynnningar. I områden där vattendrag och hav möts behöver även hänsyn tas till höga vattenstånd som en följd av högt flöde i vattendraget och samtidigt högt vattenstånd i havet. Det enklaste sättet att utvärdera och skatta lokala effekter är om det finns lokala mätdata.

Efter en utvärdering av mätstationens lämplighet tas olika värden för högvattenhändelser fram. Dessa kan till exempel vara högsta observerade vattenstånd, nivåer för olika återkomsttider eller beräknat högsta vattenstånd, dels från närmsta långa mätserie, och dels justerat för lokala förhållanden. I samband med detta görs en allmän bedömning av vattenståndsdynamiken. Det kan avse hurvida det finns förutsättningar för ännu högre nivåer än de observerade, eller om de geografiska förhållandena är sådana att det finns en begränsning för hur mycket vatten som kan ansamlas vid kusten oavsett stormläge.

I räkneexemplet (bilaga 1) görs en bedömning av den lokala effekten mellan Falkenberg och Ringhals/Varberg. För högsta beräknade havsvattenstånd görs en avståndsviktad skalning. För 100-års återkomsttid görs bedömningen att storleksordningen av den lokala effekten är mindre än osäkerheten för det statistiska värdet. Det är ett val, att avrunda uppåt kan vara ett annat val.

I vikar och älvmynnningar kan vattenståndet vara uppåt 40-50 cm högre än vid öppna kusten. I de fall mätdata finns kan samma statistiska modell som tillämpats på Falkenberg tas fram (Johansson m.fl., 2017a, b). Numeriska modeller kan också användas, men de har samma krav på att mätdata finns att validera mot, samt att drivdata är av god kvalitet. Vågeffekter som kan ha betydelse måste studeras i detalj. För dessa är lokala förhållanden av så stor betydelse att inga generella resultat tagits fram.

### **Framtida högvattenhändelser**

För framtida högvattenhändelser adderas de beräknade nivåerna för olika högvattenhändelser baserat på historiska data till det framtida medelvattenståndet vid platsen. Högvattenhändelsen bör ha räknats ut relativt en medelvattenyta, annars finns risk att ett bidrag till vattenståndet från höjdsystemen adderas flera gånger om.

I en utvärdering av översvämningsrisker kan även lägre och mer vanligt förekommande högvattenhändelser vara intressanta. I framtiden kommer högvattenhändelser som idag är sällsynta att bli allt vanligare. Denna utveckling kommer att ske på alla platser där medelvattenståndet stiger. Vi har i projektet inte studerat hur förekomsten av högvattenhändelser förändras för alla platser i Sverige, men vet från tidigare analyser att havsvattenstånd som i dagens klimat har en återkomsttid på 100 år, på vissa platser får en återkomsttid på 2 år. I internationell litteratur har begreppet "nuisance flooding"<sup>24</sup> myntats för att beskriva hur framtidens översvämnningar kommer att bli fler och orsaka

---

<sup>24</sup> <https://oceanservice.noaa.gov/facts/nuisance-flooding.html>

störningar (Moftakhari *et al.*, 2017). Vid en riskanalys är det därför av intresse att ta fram värden för högvattenhändelser som blir mer vanligt förekommande och utvärdera dessa.

SMHI har kunnat konstatera stor systematisk variation i högvattenhändelser för olika kuststräckor, och även tagit fram olika mått på höga havsvattenstånd. Variabiliteten är störst i norra och södra Östersjön och längs Västkusten, och potentialen för höga vattenstånd är som lägst längs centrala Östersjökusten. Detaljerna finns i Schöld m fl. (2017a och b), Södling och Nerheim (2017) och för lokala effekter i Johansson m fl. (2017a).

Skillnaderna mellan vattenstånd med 100-års återkomsttid och högsta beräknade havsvattenstånd visar sig vara 20-50 cm (figur 13), dels beroende på att dataunderlaget är olika, och dels på vilken dynamik som styr vattenstånden. Variationen i olika skattningar av extremer är mindre än intervallet avseende framtida havsvattenstånd i de olika klimatscenerierna för år 2100. Eftersom alla värden för högvattenhändelser, inklusive högsta beräknade havsvattenstånd baseras på empiriska data, finns en möjlighet att även högre högvattenhändelser kan inträffa. Framförallt i sydvästra Östersjön finns flera historiska stormar, från innan mätningarna startade, med väldokumenterade skador (Fredriksson m fl., 2016 och 2017). I de fall där historiska data finns bör även dessa beaktas.

### 5.3.5 Summera och utvärdera

Det eller de värden som tagits fram utifrån de val som gjorts, måste jämföras med sårbara nivåer på platsen av intresse. I de fall där nivåerna ligger över eller nära kritiska områden, är det en klar indikation på att det finns ett behov av åtgärder inom den valda tidshorizonten. I de fall där de framräknade nivåerna ligger långt under kritiska nivåer kan det vara av intresse att gå vidare och utvärdera hur högt havet kan stiga på orten innan det blir problem. Därigenom kan man få en uppfattning om när eventuella åtgärder behöver planeras och genomföras, eller stöd för ett planeringsunderlag som är hållbart också på mycket lång sikt eller som tar hänsyn även till mycket osannolika havsvattenstånd.

Sweet *et al.* (2017) skattar sannolikheten för att en havsnivåhöjning på 1.5 meter kan överskridas fram till år 2100 som 1.3 % förutsatt utsläpp motsvarande RCP8,5. Högre höjningar skattas som ännu mer osannolika. Högre nivåer med låg sannolikhet kan vara mycket betydande för att utvärdera hur stora marginaler som finns, men för att hantera denna osäkerhet behövs verktyg som kan beakta både sannolikheterna för att en händelse sker, och de konsekvenser och kostnader som uppstår som följd av dessa. Ett sådant verktyg är kostnads-nyttoanalys.

Anpassning till ett framtida klimat kommer att behövas, och den kommer sannolikt att kosta pengar. I kostnads-nyttoanalysen kan det visa sig att nyttan av en klimatanpassningsåtgärd överstiger kostnaden förknippad med åtgärden. All klimatanpassning kommer inte att behövas nu. En riskanalys kan visa att åtgärder kommer att bli nödvändiga när havet stigit till en viss nivå, förutsatt att det finns utrymme att göra åtgärder. En del av en robust planering kan vara att skydda en extra bred strandzon på platser där sådana möjligheter finns. Det säkerställer både att det finns utrymme för viktiga naturvärden och rekreation idag och i framtiden, samt bereder möjlighet att skapa översvämningsskydd när dessa behövs. Som redan har konstaterats så kommer den globala havsnivån inte att sluta stiga förrän långt bortom år 2100 – oavsett hur framtida utsläpp kommer att se ut. För en verksamhet som aldrig får riskera att översvämmas, är det vanligt att utvärdera även de mest osannolika scenarierna. Det gäller både framtida medelvattenstånd och tillfälliga högvattenhändelser

Det är inte alltid som de allra mest extrema havsvattenstånden är av störst intresse. Även lägre, men mer frekventa högvattenhändelser, kan behöva utvärderas. Särskilt som dessa kan ha en förhållandevis lång varaktighet.



Sammanfattningsvis kan det vara mycket värdefullt att ta fram och utvärdera många olika scenarier och på så vis erhålla en helhetsbild av vattenståndsdynamiken vid den valda platsen både för dagens och för framtidens förhållanden. IPCC:s klimatscenarier och annan forskning rörande medelvattenståndet, i kombination med analyser av extremvattenstånd, mer vanligt förekommande högvattenhändelser samt frekvens och varaktighet hos dessa, ger mycket stora möjligheter att vara väl förberedd och ha god insikt i olika händelser som skulle kunna inträffa. Forskning rörande ett framtida klimat och mätdata för havsvattenstånd är på så vis en mycket värdefull resurs som kan ge den kunskap som behövs rörande höga havsvattenstånd. Dessa framräknade nivåer måste emellertid utvärderas och sättas i ett sammanhang där sannolikhet vägs mot konsekvens. Att utvärdera möjliga konsekvenser av översvämningar ligger utanför SMHI:s uppdrag, men det finns stöd att hämta till exempel i Simonsson m fl. (2017).

Det högsta beräknade havsvattenståndet representerar en extrem händelse som har låg sannolikhet för att inträffa inom den valda tidshorisonten. Det lämpar sig exempelvis som planeringsunderlag för samhällsviktiga funktioner. Följande är viktigt att notera:

- Havet fortsätter stiga efter år 2100. För ny bebyggelse och funktioner med längre livslängd än år 2100 bör därför högre nivåer beaktas.
- Havets stigning kan ske snabbare eller långsammare än de antaganden som ligger till grund för de beräkningar som presenteras här. Detta kan resultera i att de beräknade nivåerna för år 2100 nås tidigare eller senare.
- Befintlig bebyggelse och infrastruktur finns ofta på nivåer som är betydligt lägre än de som kan beröras av extrema havsvattennivåer. Sannolikheten för, och konsekvensen av, översvämning av dessa samt lämpliga åtgärder, måste bedömas ifrån fall till fall.

En översvämningens varaktighet är av stor konsekvens för vilka skador som uppkommer. Olika objekt kan ha olika tolerans för kortvariga och långvariga översvämningar. Schöld m.fl. (2017a) visar att varaktighet för höga vattenstånd kan variera mellan kustområden. Dessa faktorer bör också beaktas vid planering.

## 6 Slutsatser

Under perioden 2015-2017 bedrevs ett projekt på SMHI för att beskriva havsnivåer längs Sveriges kust i dagens och framtidens klimat, med avseende på medelvattenstånd och högvattenhändelser. Projektets syfte var att öka kunskapen om klimatförändringarnas påverkan på havets nivå längs Sveriges kust, och att tillhandahålla underlag för beslut i frågor som påverkas av nutida och framtida havsnivåer, med särskilt fokus på högvattenhändelser med låg sannolikhet.

Frågan om översvämningens risker från havet har aktualiserats av den pågående klimatförändringen, då global uppvärmning leder till att havet stiger. Högvattenhändelser startar från ett utgångsläge, vilket sett över en längre period alltid är medelvattenståndet. När utgångsläget höjs innebär det att en högvattenhändelse når högre upp på land. För att kunna planera för högvattenhändelser i framtidens klimat behövs goda kunskaper om det framtida havsvattenståndet, förekomst av höga vattenstånd och konsekvenser av högvattenhändelser.

I denna rapport beskrivs viktiga aspekter för havsvattenståndets variationer längs Sveriges kust, såväl medelvattenstånd och klimatförändring som högvattenhändelser med olika sannolikhet. Beslutsunderlag avseende havet kräver en god förståelse för de parametrar och processer som påverkar både tillfälliga högvattenhändelser och ett framtida medelvattenstånd. Dessutom måste sannolikheter för höga vattenstånd ställas i relation till konsekvenser, vilket i sin tur kräver god insikt i lokala förhållanden och kännedom om de objekt som kan komma att drabbas vid höga vattenstånd.

För framtida medelvattenståndet längs Sveriges kust har SMHI i projektet utgått från IPCC:s (FN:s klimatpanels) sammanställning från år 2013, AR5. Utifrån globala havsnivåhöjningen och ny landhöjningsinformation har vi tagit fram framtida medelvattenstånd för år 2050 och år 2100 för hela Sveriges kust.

Den stora skillnaden mellan olika klimatberäkningar, som baserar sig på olika utsläpp, visar att fortsatta ansträngningar för att minska utsläppen av växthusgaser är en viktig faktor för att minska sårbarheten för översvämning från havet. SMHI har också tagit del av forskningsresultat som tillkommit efter IPCC:s AR5, framförallt med avseende på snabbare isavsmältning. Vi konstaterar att:

- Havet stiger och kommer att fortsätta stiga efter år 2100 och under mycket lång tid framöver. Hur snabbt havet stiger beror på den globala uppvärmningen som i sin tur beror på utsläppen av växthusgaser till atmosfären.
- Beräkningar av framtida vattenstånd baserar sig på olika utsläppsscenarioer, RCP-scenarioer. Utsläppen av växthusgaser beror på världssamhällets totala agerande och politiska beslut. Inget av RCP-scenarierna kan därför sägas vara det mest sannolika.
- Fram till år 2050 är beräkningarna av havsnivåhöjningen, som presenteras i IPCC:s AR5, tämligen lika för de olika scenarierna. Mot slutet på seklet ger det högsta utsläppsscenarioet (RCP8,5) en avsevärt snabbare havsnivåhöjning än övriga scenarier.
- Det intervall av möjliga globala havsnivåhöjningar som redovisas i AR5 (28-98 cm) beskrevs där som ”sannolikt”, vilket innebär 66-100 % möjlighet för att framtida havsnivån ryms inom detsamma. Ett förbehåll gavs om att vissa processer inte fanns med i modellberäkningarna, nämligen snabb isavsmältning av de stora glaciärerna vid polerna.
- Forskning som tillkommit efter AR5 pekar på högre möjliga havsnivåer, men med låga till mycket låga sannolikheter. Sådana skattningar är värdefulla för planering av verksamhet som kräver mycket hög säkerhet.
- Nya forskningssammanställningar tillkommer vartefter och behöver följas löpande.

SMHI redovisar framtida medelvattenstånd längs hela Sveriges kust utifrån IPCC:s beräknade framtida globala havsnivåhöjning för tre utsläppsscenarioer och den senaste landhöjningsmodellen (NKG2016LU).

- Resultaten visar att landhöjningen kompenserar för en relativt stor havsnivåhöjning i norra Sverige, åtminstone fram till år 2100, och att det blir fortsatt landsänkning fram till år 2050. Södra Sverige påverkas mycket mer av havsnivåhöjningen.
- I framtagandet av medelvattenstånd längs Sveriges kust antogs att andra variationer i medelvattenståndet, än de som beror på landhöjningen, är försumbara.

Sverige har en komplicerad kust. Det innebär att olika och ibland komplexa väderhändelser kan orsaka högvattenhändelser vid olika delar av kusten. Kopplingar eller systematik mellan vädersituationer, specifika stormbanor och höga vattenstånd kan därmed vara svårt att kartlägga. I projektet har vattenståndsdynamiken kring Sveriges kuster studerats utifrån SMHI:s mätdata. Vi har visat att samvariationen är stor längs olika kuststräckor, och beskrivit vad som driver högvattenhändelser vid dessa. Beskrivningen bidrar till ökad förståelse av de meteorologiska och oceanografiska parametrar som föranleder högvattenhändelser på olika platser. Det är en viktig del i beslutsunderlag för kustnära planering.

- Vattenståndsdynamiken längs Sveriges kust påverkas till stor del av topografin, med högre högvattenhändelser i norra och södra delarna av Östersjön, samt längs Västkusten.
- Högvattenhändelser i Östersjön sker ofta som en kombination av en stormhändelse (nettohöjning) och ett förhöjt utgångsläge. I Västerhavet beror högvattenhändelser till större del på enbart stormhändelsen.
- SMHI har tillämpat olika verktyg för att beskriva högvattenhändelser utifrån mätdata. Ett vanligt verktyg är statistisk extremvärdesanalys som lämpar sig väl för att ta fram underlag avseende händelser med några hundra års återkomsttid. I projektet visas att resultaten skiljer sig åt beroende på val av statistisk fördelning och om nya data tillförs mätserierna. Vilken fördelning som är att föredra måste utvärderas från fall till fall med god kännedom om vad som karakteriserar vattenståndet på den aktuella platsen.
- Ett tillvägagångssätt beskrivs för att utvärdera om mätdata från någon av SMHI:s närbelägna mätstationer är representativt för en plats där mätdata saknas eller enbart finns för kortare tidsserier.
- Metoder redovisas för att ta fram data för orter där underlaget från närmsta belägna mätplats bedöms vara icke-representativt. Metoderna kan vara enklare samband för uppstuvning i vikar, statistiska modeller eller numerisk modellering. En viktig slutsats är att mätdata alltid behövs för att validera resultat, och att mätdata från andra orter ger värdefull information.

För planering av samhällsviktig infrastruktur är högvattenhändelser med mycket låg sannolikhet av stort intresse. Sverige har mätningar av havsvattenstånd med hög kvalitet vid flera orter längs Sveriges kust sedan sent 1800-tal. Genom att kombinera data på ett nytt sätt har ett värde, högsta beräknade havsvattenstånd, tagits fram för SMHI:s mätstationer. Eftersom högsta beräknade havsvattenstånd beskriver det högsta möjliga vattenståndet under *observerade* förhållanden kan vi inte utesluta att högre stormfloder kan förekomma, vilket redan har inträffat i sydvästra Östersjön.

- Högsta beräknade havsvattenstånd har definierats som den högsta stormhändelsen i kombination med det högsta utgångsläget före storm. Resultaten för SMHI:s mätstationer är 20-40 cm högre än högsta observerade havsvattenstånd.
- Högsta beräknade havsvattenstånd är en händelse med mycket låg sannolikhet, men den kan inträffa.
- All tillgänglig information om högvattenhändelser bidrar till förståelsen av vattenståndsdynamiken i ett kustområde. Även händelser där mätdata saknas, men historisk information finns att tillgå, kan vara värdefulla att utvärdera och beakta vid en riskanalys.

I rapporten exemplifieras hur SMHI:s resultat kan kombineras för att ta fram beslutsunderlag för en kuststräcka eller plats. Planeringsunderlag för ett framtida klimat kan tas fram utifrån det framtida medelvattenståndet, uttryckt i ett fast höjdsystem, och en högvattenhändelse. Vilket medelvattenstånd och vilken högvattenhändelse som används för planering måste kopplas till risk vid den specifika platsen. Risken är förknippad med hur marken används på platsen, och vad konsekvenserna blir vid en översvämning. Andra verktyg än de strikt naturvetenskapliga behövs som underlag för att hantera risk, till exempel kostnads-nyttanalyser. Det krävs också beslut om risktagande av de som råder över frågan.

- Projektets resultat baseras på antagandet att förekomsten av högvattenhändelser, och intensiteten i de stormar som föranleder de värsta högvattenhändelserna, i framtiden kommer vara ungefär som under de senaste 130 åren.

- Det kommer alltid att finnas osäkerheter kring hur snabbt medelvattenståndet stiger och storleksordningen på högvattenhändelser i framtiden. Osäkerheten bedöms vara större avseende medelvattenståndet.
- Sannolikheten för en högvattenhändelse i framtidens klimat består av såväl sannolikheten för ett framtida medelvattenstånd, som sannolikheten för en högvattenhändelse överlagrad medelvattenståndet.
- Vid all planering ska sannolikheten för en händelse ställas mot konsekvensen av händelsen. I riskanalyser där havsvattenstånd med olika grad av sannolikhet för att inträffa ingår kan även en höjning av medelvattenståndet bortom den som anses sannolik inkluderas. Samma förhållningssätt gäller vid planering för högvattenhändelser.
- För planering som sträcker sig bortom år 2100 är det lämpligt att beakta en höjning av den globala havsnivån utöver den som anges av IPCC:s intervall, vilket avser havsnivåhöjning fram till år 2100.

SMHI har utfört egen forskning både inom projektet och i angränsande projekt och har tagit del av andras forskning. Vi konstaterar att:

- De största osäkerheterna som rör det globala medelvattenståndet beror på hur isavsmältningen på Antarktis, framförallt Västantarktis, utvecklar sig. Osäkerheterna kring processerna är mycket stora.
- De högsta vattenstånden är ofta en kombination av ett förhöjt utgångsläge och en kortvarig höjning under en lågtryckspassage. SMHI:s forskning visar att dessa långsamma och snabba vattenståndsvariationer ofta sammanfaller i Östersjön och därmed förstärker varandra. Högvattenhändelsers maxnivåer sammanfaller å andra sidan oftast inte med högsta tidvattenstånd i Västerhavet, utan inträffar snarare under tidvattnets stigande fas.

Traditionellt planeras nybyggnation nära vatten med hjälp av riktlinjer baserade på frekvensanalyser av mätdata. Extrema väderhändelser med längre återkomsttider än vad som ryms inom statistiska metoder - händelser som inte "borde" ha inträffat - har påvisat vikten av att utvidga planeringsunderlaget. De visar också på behovet av att utgå från konsekvensbedömningar för att undvika skador på samhällsviktiga funktioner. Eftersom det handlar om extrema händelser är det svårt att göra noggranna bedömningar av sannolikheten att de ska inträffa inom en viss tidsrymd.

Forskningen gör hela tiden framsteg, och dessutom utvecklas vår bild av hur klimatet förändras allteftersom effekterna av lokala, nationella och globala policyval blir tydliga. Förändringar i havsnivån kan komma snabbare eller långsammare än vad dagens scenarier visar, och kommer även att pågå långt efter år 2100. Allt klimatanpassningsarbete bör utföras med målsättningen att vara flexibelt och robust samt kunna hantera ett klimat i förändring, snarare än ett visst statistiskt läge.

## 7 Slutord

Inom havsnivåprojektet har en stor mängd information inhämtats, analyserats och kartlagts rörande historiska, nutida och framtida havsvattenstånd. Under projektets gång har många nya idéer och hypoteser väckts, uppslag som ibland inte kunnat undersökas inom projektets ramar. I detta sista kapitel vill vi konkretisera och förmedla några av de uppslag som vi anser värdefulla att följa och analysera vidare.

Frågan om utvecklingen av framtidens havsnivåer berör de flesta av jordens länder. IPCC spelar en avgörande roll när det gäller att överblicka och värdera den stora mängden forskningsresultat inom klimatområdet. Detta gäller också framtidens havsnivåer. Det har nu gått fyra år sedan den senaste sammanställningen (AR5) från IPCC. Den

nästkommande är planerad till år 2021. Under mellantiden planerar IPCC att ge ut en rapport om 1.5 grads uppvärmning – Special Report on Global Warming of 1.5 °C (SR15)– i oktober 2018. Dessutom planeras en rapport om hav och kryosfär<sup>25</sup> – Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate – som ska vara klar i september 2019.

- SMHI kommer fortsatt att bidra till, följa och analysera den internationella forskningsutvecklingen rörande framtidens havsnivåer.

Betydelsen av regionala variationer i det framtida medelvattenståndet är inte fullt kända.

- SMHI har påbörjat regional modellering av såväl medelvattenstånd som högvattenhändelser i framtiden och planerar fortsätta utvärdera om regionala effekter är betydelsefulla framöver.

Ett antal stormar som har orsakat mycket höga havsvattenstånd har också studerats i projektet. Eftersom det gäller ett litet antal händelser är det svårt att bestämma återkomsttid för de höga vindhastigheter och djupa lågtryck som råder i samband med dessa stormar. Svårigheter med att uppskatta återkomsttider gäller även de historiskt kända högvattenhändelser som skett innan mätningar startade.

- Med hjälp av de mycket stora datamängder som finns från simuleringar med väderprognosmodeller och klimatmodeller skulle historiska återkomsttider för extrema lågtryck och höga vindhastigheter kunna kartläggas på ett bättre sätt. Exempelvis finns det för varje dag under de senaste dryga 20 åren två omgångar med 50 olika väderprognoser från Europeiska vädercentret. Materialet motsvarar möjliga väderlägen från flera tusen års väder i dagens klimat. Våra kollegor vid vädertjänsten i Nederländerna har gjort ett liknande arbete.

Inom projektet har en studie genomförts över möjliga förändringar av stormbanor i ett framtida klimat. Vi har också inhämtat information från den forskning som finns inom området. Slutsatsen är att förändrade stormbanor har potential att påverka framtida högvattenhändelser i stor utsträckning.

- Mer forskning behövs om stormbanornas eventuella förändring i framtida klimat. Intressant är förändringar av geografisk fördelning, frekvens och intensitet hos lågtryckssystemen över Nordatlanten och Europa.

Det är känt att exempelvis NAO<sup>26</sup> påverkar havsvattenståndet. Möjligheten att förutsäga under vilka år som de högsta eller mest frekventa högvattenhändelserna kommer att inträffa genom att koppla vattenståndet mot den naturliga variabiliteten i klimatet skulle kunna ge värdefull information till SMHI:s varningstjänst och andra aktörer som jobbar med översvämningsskydd.

- Ett intressant forskningsområde är att koppla NAO och annan storskalig variabilitet i klimatet till havsvattenståndet längs Sveriges kust. Denna frågeställning är gemensam med våra grannländer och bör göras i samarbete.

Projektet fann ingen tillfredsställande metod för att ta fram statistisk återkomsttid för de högsta havsvattenstånden.

- Vår avsikt är att söka expertis inom extremvärdesanalys för kombinerade händelser för att gå vidare med att ta fram återkomsttider även för högsta beräknade havsvattenstånd.

---

<sup>25</sup> Kryosfär = den del av jordens yta och atmosfären som består av is och snö.

<sup>26</sup> NAO = North Atlantic Oscillation

Höga vattenstånd som pågår under lång tid orsakar ofta problem. Flera av de högvattenhändelser som pågått under längst tid har föräntlets av två på varandra tätt följande lågtryck. Det är inte känt huruvida det är en tämligen unik väderhändelse som föräntleder dessa förlopp eller om det kan förväntas inträffa med en viss regelbundenhet.

- Vi vill gärna gå vidare med att undersöka vad som påverkar varaktigheten hos högvattenhändelser och hur vanligt det är med långdragna förlopp.

I Södra Östersjön och den södra delen av Öresund är vattenståndsdynamiken unik. Höga vattenstånd kan drivas upp av vind från olika riktningar och det finns seicher i området som rör sig mellan olika delar av Östersjön. Det är i samma område som flera av de mest extrema historiska högvattenhändelserna har inträffat, före det att SMHI började mäta havsvattenståndet. Dessa historiska storm- och högvattenhändelser kan ge värdefull information som kompletterar analyser av mätdata. Till exempel har Backafloden, som inträffade 1872, beskrivits i många danska och tyska källor. På senare år har sammanställd information om historiska extremvattenstånd även tillkommit med avseende på Sveriges sydkust. Eftersom denna del av Sverige har mycket liten landhöjning och dessutom har drabbats av extrema högvattenhändelser historiskt skulle mer ingående studier av vattenståndsdynamiken i området och de processer som föräntleder extrema högvattenhändelser vara väl motiverat. Flera samverkande väderfaktorer kan driva upp vattenståndet i området till mycket höga nivåer och det kan därmed vara intressant att studera de högsta högvattenhändelserna och deras återkomsttid även med en meteorologisk utgångspunkt.

- Vi vill om möjligt göra en fördjupad analys av de oceanografiska och meteorologiska parametrar och processer som kan föräntleda högvattenhändelser i nivå med historiska extremer, med fokus på Södra Östersjön och den södra delen av Öresund.

I delar av Sverige är landhöjningen så hög att medelvattenståndet sjunker, trots en global havsnivåhöjning. Det kan ställa till med problem för människor som bor längs kusten, men även för vissa organismer vars habitat torrläggs. Dessa effekter är dåligt kända.

- Vi vill gärna gå vidare med att undersöka vilka problem som ett lägre medelvattenstånd kan förorsaka.

De ovan identifierade frågeställningarna kräver samverkan mellan olika forskningsområden och bred expertis, framförallt inom naturvetenskap. I föregående kapitel har vi pekat på betydelsen av samverkan med även andra områden, till exempel samhällsekonomi, för att vidare belysa konsekvenserna för samhället. Framtidens havsvattenstånd, och de väder- och klimatfenomen det styrs av, har stor betydelse för många. Vår förhoppning är att ökad kunskap och integrering mellan olika forskningsområden kan leda till en bättre förståelse för de utmaningar och möjligheter som framtiden innebär för Sveriges kustområden, och till bättre förutsättningar för att använda dem på ett hållbart sätt.

## 8 Referenser

- Andersson, M. (2017) *Modellering av lokala effekter på extrema havsvattenstånd*. SMHI Rapport Nr 2017-48.
- BACC II Author Team (2015) *Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin*. Regional Climate Studies, Springer Open, 515 pp. DOI 10.1007/978-3-319-16006-1\_1.
- Bakker, A. M., Louchard, D., and Keller, K. (2017) *Sources and implications of deep uncertainties surrounding sea-level projections*. Climatic Change, 140(3-4), 339-347.

- Bamber, J. L., and Aspinall, W. P. (2013) *An expert judgement assessment of future sea level rise from the ice sheets*. *Nature Climate Change*, 3(4), 424-427.
- Beckley, B., Zelensky, N.P., Holmes, S.A., Lemoine, F.G., Ray, R.D., Mitchum, G.T., Desai, S. and Brown, S.T. (2015) *Global Mean Sea Level Trend from Integrated Multi-Mission Ocean Altimeters TOPEX/Poseidon Jason-1 and OSTM/Jason-2 Version 3*. PO.DAAC, CA, USA. Dataset accessed 2017-04-28 at <http://dx.doi.org/10.5067/GMSLM-TJ123>
- Bergelo, M. (2011) *Havsvattenståndets påverkan längs Sveriges kust*. SMHI Oceanografi Nr 106.
- Church, J.A., Clark, P.U., Cazenave, A., Gregory, J.M., Jevrejeva, S., Levermann, A., Merrifield, M.A., Milne, G.A., Nerem, R.S., Nunn, P.D., Payne, A.J., Pfeffer, W.T., Stammer, D. and Unnikrishnan, A.S. (2013) *Sea Level Change*. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1137–1216, doi:10.1017/CBO9781107415324.026.
- de Boer, B., Stocchi, P., Whitehouse, P.L. and van de Wal, R.S.W. (2017) *Current state and future perspectives on coupled ice-sheet sea-level modelling*. *Quaternary science reviews*, 169 . pp. 13-28.
- DeConto, R. M., and Pollard, D. (2016) *Contribution of Antarctica to past and future sea-level rise*. *Nature*, 531(7596), 591-597.
- Dieterich, C., Gröger, M., Arneborg, L. and Andersson, H.C. (manuscript) *Extreme Sea Levels in the Baltic Sea under Climate Change Scenarios*. Part 1: Model Validation and Sensitivity. Part 2: Projections and Model Uncertainty.
- Dufresne, J.-L., Foujols, M.-A., Denvil, S., Caubel, A., Marti, O., Aumont, O., Balkanski, Y., Bekki, S., Bellenger, H., Benshila, R., et al. (2013) *Climate change projections using the IPSL-CM5 Earth system model: From CMIP3 to CMIP5*. *Clim. Dyn.*, 40, 2123-2165, 2013.
- EurOtop (2016) *Manual on wave overtopping of sea defences and related structures. An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application*. Van der Meer, J.W., Allsop, N.W.H., Bruce, T., De Rouck, J., Kortenhaus, A., Pullen, T., Schüttrumpf, H., Troch, P. and Zanuttigh, B., [www.overtopping-manual.com](http://www.overtopping-manual.com)
- Fredriksson, C., Tajvidi, N., Hanson, H. and Larson, M. (2016) *Statistical Analysis of Extreme Sea Water Levels at the Falsterbo Peninsula, South Sweden*. *Vatten, Journal of Water Management and research* 72:129-142.
- Fredriksson, C., Feldmann Eellend, B., Larson, M. och Martinea, G. (2017) *Historiska stormhändelser som underlag vid riskanalys*. *Vatten, Journal of Water Management and Research* 73:93-108.
- Hieronimus, M., Dieterich, C., Andersson, H. and Hordoior, R. (2017a) *On the response of the Baltic Sea sea level to perturbations in mean sea level and wind speed*. *PLOS ONE*, submitted.
- Hieronimus, M., Hieronymus, J. and Arneborg, L. (2017b) *Sea Level modelling in the Baltic and the North Sea. The respective role of different parts of the forcing*. *Ocean Modelling*. Volume 118, October 2017, Pages 59-72.

- Hieronymus, M., Dieterich, C., Andersson, H. and Hordoior, R. (2017a) *On the response of the Baltic Sea sea level to perturbations in mean sea level and wind speed*. PLOS ONE, submitted.
- Horsburgh, K. J., and Wilson, C. (2007) *Tide-surge interaction and its role in the distribution of surge residuals in the North Sea*. Journal of Geophysical Research., 112, C08003.
- IPCC (2001) *Climate Change 2001: Synthesis Report*. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Watson, R.T. and the Core Writing Team (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA, 398 pp.
- IPCC (2013) *Annex II: Climate System Scenario Tables* [Prather, M., G. Flato, P. Friedlingstein, C. Jones, J.-F. Lamarque, H. Liao and P. Rasch (eds.)]. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1395-1445, published 31 January 2014.
- Johansson, L., Gyllenram, W. och Nerheim, S. (2017a) *Lokala effekter på extrema havsvattenstånd*. SMHI Oceanografi Nr 125.
- Johansson, L., Nerheim, S. och Andersson, M. (2017b) *Sammanställning av modellering av lokala effekter på extrema havsvattenstånd*. SMHI Rapport 2017-49.
- Kopp, R. E., Mitrovica, J. X., Griffies, S. M., Yin, J., Hay, C. C., and Stouffer, R. J. (2010) *The impact of Greenland melt on local sea levels: a partially coupled analysis of dynamic and static equilibrium effects in idealized water-hosing experiments*. Climatic Change, 103(3), 619-625.
- Kopp, R. E., Horton, R. M., Little, C. M., Mitrovica, J. X., Oppenheimer, M., Rasmussen, D. J., and Tebaldi, C. (2014) *Probabilistic 21st and 22nd century sea-level projections at a global network of tide-gauge sites*. Earth's future, 2(8), 383-406.
- Levermann, A., Clark, P. U., Marzeion, B., Milne, G. A., Pollard, D., Radic, V., and Robinson, A. (2013) *The multimillennial sea-level commitment of global warming*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 110(34), 13745-13750.
- May, W., Ganske, A., Leckebusch, G.C., Rockel, B., Tinz, B. and Ulbrich, U. (2016) *Projected Change – Atmosphere*. I Eds. Quante, M. och Colijn, F. North Sea Region Climate Change Assessment (NOSCCA): 149-173. Springer Open. ISBN 978-3-319-39743-6.
- Mitrovica, J. X., Tamisiea, M. E., Davis, J. L., and Milne, G. A. (2001) *Recent mass balance of polar ice sheets inferred from patterns of global sea-level change*. Nature, 409(6823), 1026-1029.
- Moftakhari, H. R., AghaKouchak, A., Sanders, B.F. and Matthew, R.A. (2017) *Cumulative hazard: The case of nuisance flooding*. Earth's Future, 5, 214–223, doi:10.1002/2016EF000494.
- Naturvårdsverket (2003) *Konsekvensanalys steg för steg: handledning i samhällsekonomisk konsekvensanalys för Naturvårdsverket*. Naturvårdsverket, Stockholm. <http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/620-5314-0.pdf?pid=2959>



- Oppenheimer, M., and Alley, R. B. (2016) *How high will the seas rise?* Science, 354(6318), 1375-1377.
- Persson, G., Nylén, L., Berggreen-Clausen, S., Berg, P., Rayner, D. och Sjökvist, E. (2016) *Från utsläppsscenarioer till lokal nederbörd och översvämningsrisker.* SMHI Klimatologi Nr 38.
- Rosén, L., Söderqvist, T., Back, P.E., Soutukorva, Å., Brodd, P. och Grahn, L. (2008) *Kostnads-nyttöanalys som verktyg för prioritering av efterbehandlingsinsatser. Metodutveckling och exempel på tillämpning.* Kunskapsprogrammet Hållbar Sanering. Naturvårdsverket, Stockholm.
- Scambos, T. A., Bell, R. E., Alley, R. B., Anandakrishnan, S., Bromwich, D.H., Brunt, K. and Yager, P. L. (2017) *How much, how fast?: A science review and outlook for research on the instability of Antarctica's Thwaites Glacier in the 21st century.* Global and Planetary Change, 153, 16-34. doi:10.1016/j.gloplacha.2017.04.008
- Schrum, C., Lowe, J., Meier, H.E.M., Grabemann, I., Holt, J., Mathis, M., Pohlmann, T., Skogen, M.D., Sterl, A. and Wakelin, S. (2016) *Projected Change – North Sea.* I Eds. Quante, M. och Colijn, F. North Sea Region Climate Change Assessment (NOSCCA): 175-217. Springer Open. ISBN 978-3-319-39743-6.
- Schöld, S., Hellström, S., Ivarsson, C.-L., Kållberg, P., Lindow, H., Nerheim, S., Schimanke, S., Södling, J. och Wern, L. (2017a) *Vattenståndsdynamik längs Sveriges kust.* SMHI Oceanografi Nr 123.
- Schöld, S., Ivarsson, C.-L., Nerheim, S. och Södling, J. (2017b) *Beräkning av högsta vattenstånd längs Sveriges kust.* SMHI Klimatologi Nr 45.
- Shaw, T.A., Baldwin, M., Barnes, E.A., Caballero, R., Garfinkel, C.I., Hwang, Y.-T., Li, C., O’Gorman, P.A., Rivière, G., Simpson, I.R. and Voigt, A. (2016) *Storm track processes and the opposing influences of climate change.* Nature Geoscience 9, 656–664.
- SMHI (2009) *Havsvattenstånd vid svenska kusten.* SMHI Faktablad nr 41.
- SMHI (2017) *Karttjänst för framtida medelvattenstånd längs Sveriges kust.* SMHI Klimatologi Nr 41.
- Simonsson, L., Liljedahl, B., Wikström, P. och Waleij, A. (2017) *Höga havsnivåer och översvämnningar. Bedömning av konsekvenser av inträffade händelser i Sverige 1980-2017.* FOI Rapport FOI-R-4446-SE. ISSN 1650-1942.
- Simpson, M.J.R., Nilsen, J.E.Ø., Ravndal, O.R., Breili, K., Sande, H.P., Kierulf, H., Steffen, H., Jansen, E., Carson, M., and Vestøl, Ø. (2015) *Sea Level Change for Norway.* Norwegian Centre for Climate Services, NCCS report no 1/2015.
- Sweet, W.V., Kopp, R.E., Weaver, C.P., Obeysekera, J., Horton, R.M., Thieler, E.R. and Zervas, C. (2017a) *Global and Regional Sea Level Rise Scenarios for the United States.* NOAA Technical Report NOS CO-OPS 083. NOAA/NOS Center for Operational Oceanographic Products and Services.  
[https://tidesandcurrents.noaa.gov/publications/techrpt83\\_Global\\_and\\_Regional\\_SLR\\_Scenarios\\_for\\_the\\_US\\_final.pdf](https://tidesandcurrents.noaa.gov/publications/techrpt83_Global_and_Regional_SLR_Scenarios_for_the_US_final.pdf)
- Sweet, W.V., Horton, R., Kopp, R.E., LeGrande, A.N. and Romanou, A. (2017b) *Sea level rise.* In: Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I [Wuebbles, D.J., D.W. Fahey, K.A. Hibbard, D.J. Dokken, B.C. Stewart, and T.K. Maycock (eds.)]. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA, pp. 333-363, doi:10.7930/J0VM49F2
- Södling, J. och Nerheim, S. (2017) *Statistisk metodik för beräkning av extrema havsvattenstånd.* SMHI Oceanografi Nr 124.

- Taylor, K.E., Stouffer, R.J. and Meehl, G.A. (2012) *An Overview of CMIP5 and the experiment design*. Bull. Amer. Meteor. Soc., 93, 485-498, doi:10.1175/BAMS-D-11-00094.1, 2012.
- Turner, J., Orr, A., Gudmundsson, G. H., Jenkins, A., Bingham, R. G., Hillenbrand, C. D., and Bracegirdle, T. J. (2017) *Atmosphere-ocean-ice interactions in the Amundsen Sea Embayment, West Antarctica*. Reviews of Geophysics, 55(1), 235-276.
- Wilcke, R.A.I. and Barring, L. (2016) *Selecting regional climate scenarios for impact modelling studies*. Environmental Modelling & Software vol 78, 191-201. doi = <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.01.002>
- Yin, J. (2012) *Century to multi-century sea level rise projections from CMIP5 models*. Geophys. Res. Lett., 39, L17709, doi:10.1029/2012GL052947.
- Ågren, J. and Svensson, R. (2007) *Postglacial land uplift model and system definition for the new Swedish height system RH2000*. LMV-Rapport 2007:4. Lantmäteriet, Gävle.

## 9 Bilaga 1. Räkneexempel

Här presenteras ett tänkt exempel över hur ett underlag kan tas fram. Syftet är att konkretisera beskrivningen i kapitel 5. Det är hypotetiskt och beskriver inga ställningstaganden från SMHI:s sida.

### Observera!

Detta exempel är avsett som en illustration. Vattenståndet vid en given plats drivs av många komplexa och interagerande faktorer. Det är omöjligt att ta fram räkneexempel som går att applicera på alla olika platser, risknivåer och tidshorisonter. Förståelse för vattenståndsdynamik är av största vikt. Avsaknad av lokala mätdata och observationer medför också en större osäkerhet. Det är vår rekommendation att beräkningar av havsvattenstånd utförs av expertis på området. Resultaten måste också ställas i relation till risker och behov vid den aktuella platsen.

### Uppgiften

Tjänsteperson A i kommunen Falkenberg har fått uppdraget att ta fram planeringsunderlag för Falkenbergs tätort. Syftet är att kunna planera för placering av samhällsviktig infrastruktur (exempelvis ett sjukhus) med lång livslängd och utvärdera om Falkenbergs tätort kommer att vara utsatt för översvämning från havet på 100 års sikt. A anlitar konsult B. Tillsammans kommer de fram till att utvärdera högsta beräknade havsvattenstånd och vattenstånd med 100-års återkomsttid i Falkenberg år 2100. Dessutom ska en översiktlig bedömning göras av högvattenhändelser som är relativt vanligt förekommande idag och hur dessa påverkas av ett stigande hav.

### Platsspecifika förutsättningar

Falkenberg ligger på Västkusten och i tätorten bor drygt 25 000 personer.

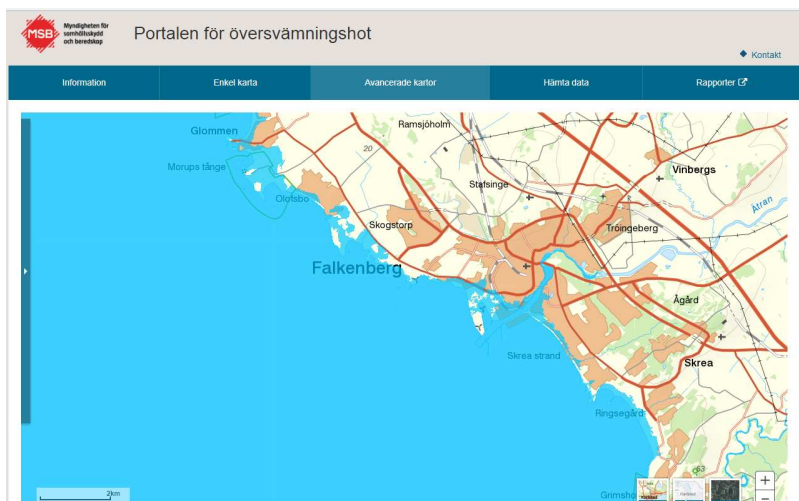
- Enligt bilaga 2 i SMHI (2017) är landhöjningen vid Falkenberg 0.23 cm/år.
- Falkenberg ligger längs Kattegattkusten där det är vanligt med, för svenska förhållanden, ganska höga vattenstånd.
- Falkenberg ligger mellan SMHI:s mätstationer Ringhals/Varberg och Viken.
- SMHI har inga mätdata från Falkenberg men för att jämföra observationer och skatta den lokala effekten kan en kortare mätserie från Sjöfartsverket användas.
- Topografien är ganska homogen, men kusten är öppen, så vågor kan ha betydelse.

### Val av tidshorisont

Eftersom syftet med beräkningen är att ta fram underlag för placering av samhällsviktig infrastruktur med lång livslängd väljer man att fokusera på år 2100. Den egentliga tidshorisonten är 100 år och därför är man även intresserad av vad som händer efter år 2100.

### Översiktlig bedömning av utsatthet för tätorten

- Underlaget som ska tas fram avser samhällsviktig infrastruktur, vilket betyder att sannolikheten för översvämning ska vara låg.
- Det finns även ett intresse av att belysa hur utsatt tätorten är för olika höga havsvattenstånd.
- En första skattning av risker för Falkenbergs tätort görs genom att ta reda på hur högt tätorten ligger över havet. Lämpliga verktyg är GIS-kartor som visar höjdkurvor, till exempel från MSB.
- Falkenberg ligger relativt högt, enbart små områden nära vatten berörs vid vattenstånd över 3.0 m i RH2000.



- Konsekvenserna om hela staden blir översvämmad är sannolikt stora och kostsamma, vilket betyder att det är eftersträvänsvärt att ha en hög säkerhet.

### Medelvattenstånd år 2100

Det framtida medelvattenståndet för Falkenbergs kommun, inklusive effekter av den globala havsnivåhöjningen och den globala landhöjningen, hämtas i bilaga 1 i SMHI (2017) (nivåer i RH2000):

RCP2,6		RCP4,5		RCP8,5	
år 2050	år 2100	år 2050	år 2100	år 2050	år 2100
16	26	17	35	19	56
(10-22)	(10-43)	(11-23)	(18-53)	(13-26)	(35-80)

Beräkningen ska göras för år 2100. I tabellen ovan ser vi att det beräknade medelvattenståndet för Falkenberg år 2100 är 10 – 80 cm i RH2000. Eftersom bedömningen är att den planerade infrastrukturen inte ska översvämmas alls, så väljs det högsta värdet i tabellen. Det motsvarar 95:e percentilen av havsnivåberäkningar enligt klimatscenario RCP8,5. Detta värde anges i tabellen som 80 cm.

### Bortom IPCC AR5

Falkenbergs tätort bedöms i exemplet som särskilt viktig, och riskerna för samhällsviktig infrastruktur ska utvärderas. En kostnads-nyttoanalys ska göras och för den bestäms att utvärdera scenariot mellan-hög från Sweet *et al.* (2017). Det innebär att ytterligare 52 cm adderas till RCP8,5 95:e percentil (se figur 4).

Ett framtida medelvattenstånd för Falkenberg med mycket låg sannolikhet (se kap 3.1.1) förutsatt strålningsdrivning enligt RCP8,5 blir:

$$80 + 52 \text{ cm} = 132 \text{ cm i RH2000}$$

### Efter år 2100 för Falkenberg

Havsnivåhöjningen efter år 2100 är mycket osäker, men två utfall för år 2150 bedöms lämpligt att utvärdera; den globala havsnivåhöjningen blir 1.5 m (a) alternativt 2.0 m (b) fram till år 2150. Utgångsläget är år 2100 och en global havsnivåhöjning på 98 cm. Bidraget från den globala havsnivåhöjningen från år 2100 till år 2150 blir ytterligare 52 cm respektive 102 cm för de två fallen.

Landhöjningen i Falkenberg är  $0.23 \text{ cm/år} = 0.23 * 50 = 11.5 \text{ cm/50 år}$

Medelvattenståndet i Falkenberg år 2150 bedöms alltså bli:

- $80 \text{ cm i RH2000} + 52 \text{ cm} - 11.5 \text{ cm} = 120,5 \text{ cm i RH2000}$
- $80 \text{ cm i RH2000} + 102 \text{ cm} - 11.5 \text{ cm} = 170,5 \text{ cm i RH2000}$

Exemplet visar att både havsnivåhöjningen och tidshorisonten spelar roll för det lokala medelvattenståndet.

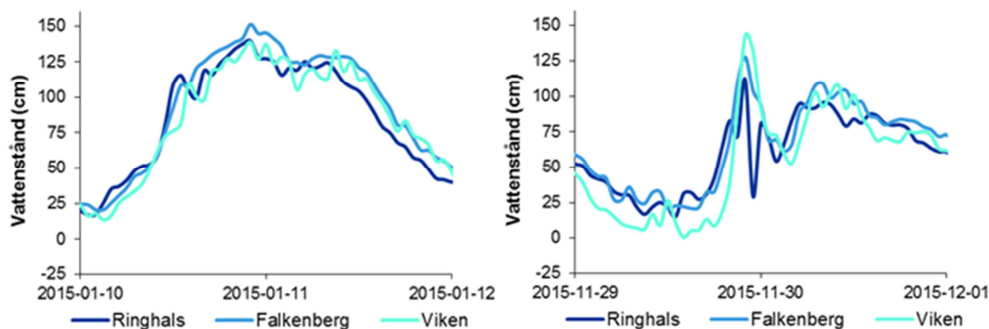
### Vilken mätdata finns tillgänglig?

Det finns bra data att tillgå från SMHI:s mätstationer Ringhals (mätdata tillgängligt sedan 1967) med stöd av Varberg (aktiv 1886-1982). Dessa två stationer ligger, liksom Falkenberg, längs öppen kust. Mätserien från Viken (från 1976) är kortare. Viken ligger i Öresunds mynning där kusten och vattenståndsdynamiken kan misstänkas ha andra karaktäristika än vid Falkenberg. Mätdata finns timvis eller med ännu högre upplösning och går att hitta under SMHI öppna data. SMHI har inga mätdata från Falkenberg, men för att jämföra observationer och skatta den lokala effekten kan en kortare mätserie från Sjöfartsverket användas.

### Överensstämmer vattenståndsdynamiken med närbelägna mätstationer?

Vid Falkenberg har Sjöfartsverket sedan slutet av 2014 en mätstation för havsvattenstånd. Under den tid som havsvattenståndet mätts vid Falkenberg har det överstigit 120 cm över medelvattenstånd vid tre olika tillfällen. Det högsta vattenstånd som uppmätts vid stationen är 159 cm. Högsta uppmätta havsvattenstånd under de betydligt längre mätdataserierna från Ringhals och Varberg är 165 respektive 145 cm (Schöld m.fl., 2017b). Vid Viken har 168 cm över medelvattenstånd observerats som högst. Under de tre högvattenhändelser över 120 cm som jämförs här har vattenståndet vid Falkenberg blivit mellan 12-16 cm högre än vid Ringhals. Jämfört med Viken har det blivit mellan 12 cm högre och 15 cm lägre vid Falkenberg. Olika tillfällen ger olika differens mellan mätstationerna.

Detta illustrerar väl den skillnad som variationer i vindriktning eller lågtrycksbanors passage vid olika stormtillfällen kan medföra, och vikten av att ha ett så stort urval av högvattentillfällen som möjligt att jämföra. Här förefaller det som att vattenståndet vid Falkenberg följer vattenståndet vid Ringhals med störst regelbundenhet vid olika oväderssituationer. Det verkar också som att högvattenhändelser blir något högre vid Falkenberg än de blir vid Ringhals.



### Slutsats

Vattenståndet vid Falkenberg liknar till stor del vattenståndet vid Ringhals. Eventuellt är det något högre vid Falkenberg än vid Ringhals, men skillnaden är liten.

### Välj värden för högsta beräknade havsvattenstånd

De närbelägna stationer som verkar ha mest gemensamt med Falkenberg rent topografiskt är Ringhals och Varberg. Det högsta beräknade havsvattenståndet för Ringhals och Varberg hämtas ur tabell 2 i Schöld m.fl., 2017a och är 181 respektive 192 cm över medelvattenstånd. Vid Viken är det högsta beräknade havsvattenståndet något högre, 210 cm över medelvattenstånd. Eftersom Falkenberg ligger närmast Varberg rent geografiskt, kan det vara mest lämpligt att använda värdet från Varberg.

Det kan ibland vara svårt att bilda en objektiv uppfattning om vilket värde som är mest lämpligt att använda från närliggande stationer, särskilt i de fall då överlappande data att

jämföra med saknas. Ett avståndsviktat medelvärde kan då vara ett fullgott alternativ. Ett sådant visar, i detta fall, att högsta beräknade havsvattenstånd vid Falkenberg blir strax under 200 cm över medelvattenstånd. Därför väljs 200 cm för beräkningarna.

### **Välj värden för 100 års återkomsttid**

Vattenstånd med 100 års återkomsttid har tagits fram med mätdata från Ringhals och Varberg kombinerat och återfinns i tabell 7 i denna rapport. Värdet varierar mycket mellan olika fördelningar. Exklusive konfidensintervall är värdet för 100 års återkomsttid vid Ringhals/Varberg mellan 149 cm och 169 cm över medelvattenstånd. Även här finns alltså en osäkerhet som behöver vägas mot eventuella konsekvenser vid en översvämning. Beslutet blir 155 cm över medelvattenstånd som ett medelvärde av fler fördelningar utifrån Ringhals/Varberg.

Utifrån skattningen av skillnaderna mellan Falkenberg och Ringhals (Johansson m fl 2017a), görs bedömningen att osäkerheten i det statistiska värdet är av samma storleksordning som osäkerheten i det statistiska värdet från Ringhals/Varberg.

Vågeffekter har inte beräknats för Falkenberg.

### **Sammanfattat för år 2100**

Värdet för medelvattenståndet för Falkenberg år 2100 (80 cm i RH2000) adderas till värdet för högsta beräknade havsvattenstånd över medelvattenståndet (200 cm) och resulterar i ett högsta beräknat havsvattenstånd för Falkenberg år 2100 på 280 cm i RH2000.

För 100 års återkomsttid och samma klimatscenario kan ett högt havsvattenstånd för Falkenberg år 2100 komma att bli 235-240 cm i RH2000.

### **Bortom år 2100**

I exemplet ovan togs olika möjliga havsnivåer fram för år 2150.

Långsam höjning – 150 cm global höjning → 120 cm i RH2000 lokalt

Högsta beräknade vattenstånd år 2150	= 320 cm i RH2000
100 års återkomsttid år 2150	= 280 cm i RH2000

Snabbare höjning – 200 cm global höjning → 170 cm i RH2000 lokalt

Högsta beräknade vattenstånd år 2150	= 370 cm i RH2000
100 års återkomsttid år 2150	= 320 cm i RH2000

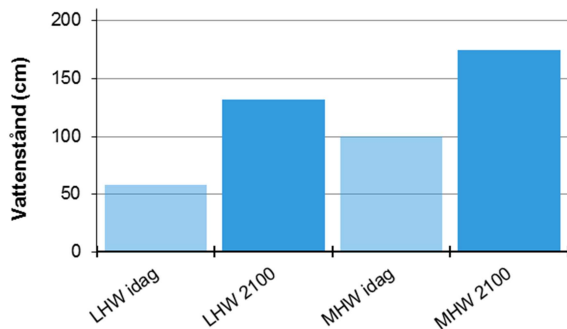
Detta är hypotetiska räkneexempel, och är en indikation på att en höjning av medelvattenståndet i den högre delen av scenarierna i kombination med en kraftig storm leder till en översvämningsrisk för Falkenberg.

### **Utvärdera vanligt förekommande högvattenhändelser**

För att få en uppfattning om hur vanliga högvattenhändelser skulle kunna se ut vid Falkenberg, givet klimatscenario RCP8,5 95:e percentilen, exemplifieras med data från Ringhals (figuren nedan).

Högsta uppmätta vattenstånd vid Ringhals är 165 cm relativt medelvattenstånd, motsvarande 169 cm i RH2000 för dagens medelvattenstånd.

Figuren visar lägsta årshögsta vattenstånd, LHW, och medelvärdet av årshögsta vattenstånd, MHW, i RH2000 vid dagens medelvattenstånd och vid medelvattenståndet som förväntas för RCP8,5 95:e percentilen. Medelhögsta vattenstånd är en nivå som uppskattas inträffa vartannat år.



Medelvärde för årshögsta vattenstånd år 2100 blir 174 cm i RH2000. Det överskrider värdet som uppmättes efter stormen Gudrun, 169 cm i RH2000, med fem cm. Det betyder att ungefär vartannat år kommer en nivå överskridas som är mycket hög idag. Dessutom kommer det lägsta årshögsta värdet att vara högre än medelvärdet av årshögsta vattenstånd idag.

### Utvärdering Falkenberg

Värden för höga vattenstånd för Falkenberg år 2100 har bedömts bli 235-280 cm i RH2000. Detta baseras på ett medelvattenstånd enligt IPCC AR5:s 95:e percentil till vilket skattningar av 100 års återkomsttid respektive högsta beräknat havsvattenstånd för Falkenberg har adderats.

En höjning av medelvattenståndet motsvarande de högre nivåerna som anges av IPCC kommer med andra ord att leda till att tätortens marginaler för översvämning vid en stormflod minskar kraftigt till år 2100.

Eftersom syftet med beräkningen är att utvärdera skyddet för samhällsviktig infrastruktur kan det vara viktigt att analysera högre värden, till exempel medelhögt scenario från Sweet *et al.* (2017). Det leder till 50 cm högre nivåer som behöver utvärderas utifrån hur högt tätorten ligger.

Utifrån den översiktliga undersökning av Falkenbergs tätort med hjälp av MSB:s karta förefaller nivåer över 3 meter att kunna leda till översvämningar inne i tätorten. Vid kraftiga stormfloder befarar vi alltså att det kan bli översvämningar som berör även tätorten. Vi vill understryka att vi inte alls diskuterat ökade erosionsrisker som följd av stigande medelvattenstånd.

### Kommentar

Exemplet beskriver ett tillvägagångssätt utifrån kapitel 5.3 om hur framtida höga vattenstånd för en given plats kan tas fram. Olika ställningstaganden görs i exemplet och de kan göras på annat sätt, utifrån andra bedömningar.

Det saknas vanligen platsspecifika detaljerade studier över framtida förhållanden avseende höga havsvattenstånd och höga flöden i vattendrag. I fallet Falkenberg finns dock en sådan.

Studie över framtida översvämningssrisker för Falkenberg presenterar slutsatsen att havsvattenståndet har stor betydelse för vattennivåerna i Ätran ända upp till Tullbron. Uppströms Tullbron är det storleksordningen på flödet som styr hur hög vattennivån blir i Ätran (Persson m.fl., 2016). Studien kombinerade analyser av framtida höga flöden i Ätran med högt havsvattenstånd.

## SMHIs publiceringar

SMHI ger ut sju rapportserier. Tre av dessa, R-serierna är avsedda för internationell publik och skrivs därför oftast på engelska. I de övriga serierna används det svenska språket.

Seriernas namn	Publiceras sedan
RMK (Report Meteorology and Climatology)	1974
RH (Report Hydrology)	1990
RO (Report Oceanography)	1986
METEOROLOGI	1985
HYDROLOGI	1985
OCEANOGRAFI	1985
KLIMATOLOGI	2009

### I serien KLIMATOLOGI har tidigare utgivits:

- |   |                                                                                                                                                                                                                                                                 |     |                                                                                                                                                                                                                                |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Lotta Andersson, Julie Wilk, Phil Graham, Michele Warburton (University KwaZulu Natal) (2009)<br>Local Assessment of Vulnerability to Climate Change Impacts on Water Resources in the Upper Thukela River Basin, South Africa – Recommendations for Adaptation | 7   | FNs klimatpanel – Sammanfattning för beslutsfattare. Effekter, anpassning och sårbarhet. Bidrag från arbetsgrupp 2 (WG 2) till den femte utvärderingen (AR 5) från Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC (2014)      |
| 2 | Gunn Persson, Markku Rummukainen (2010)<br>Klimatförändringarnas effekter på svenskt miljömålsarbete                                                                                                                                                            | 8   | Att begränsa klimatförändringar. FNs klimatpanel – Sammanfattning för beslutsfattare. Bidrag från arbetsgrupp 3 (WG 3) till den femte utvärderingen (AR 5) från Intergovernmental Panel on Climate Change (2015)               |
| 3 | Jonas Olsson, Joel Dahné, Jonas German, Bo Westergren, Mathias von Scherling, Lena Kjellson, Fredrik Ohls, Alf Olsson (2010)<br>En studie av framtida flödesbelastning på Stockholms huvudavloppssystem                                                         | 9.  | Erik Kjellström SMHI. Reino Abrahamsson, Pelle Boberg. Eva Jernbäcker Naturvårdsverket. Marie Karlberg, Julien Morel<br>Energimyndigheten och Åsa Sjöström SMHI (2014)<br>Uppdatering av det klimatvetenskapliga kunskapsläget |
| 4 | Markku Rummukainen, Daniel J. A. Johansson, Christian Azar, Joakim Langner, Ralf Doescher, Henrik Smith (2011)<br>Uppdatering av den vetenskapliga grunden för klimatarbetet. En översyn av natur-vetenskapliga aspekter                                        | 10. | Risker och konsekvenser för samhället av förändrat klimat – en kunskapsöversikt (2014)                                                                                                                                         |
| 5 | Sten Bergström (2012)<br>Framtidens havsnivåer i ett hundraårsperspektiv – kunskapssammanställning 2012                                                                                                                                                         | 11. | Gunn Persson (2015)<br>Vägledning för användande av klimatscenarier                                                                                                                                                            |
| 6 | Jonas Olsson och Kean Foster (2013)<br>Extrem korttidsnederbörd i klimatprojektioner för Sverige                                                                                                                                                                | 12  | Lotta Andersson, Anna Bohman, Lisa van Well, Anna Jonsson, Gunn Persson och Johanna Farelus (2015)<br>Underlag till kontrollstation 2015 för anpassning till ett förändrat klimat                                              |
|   |                                                                                                                                                                                                                                                                 | 13. | Gunn Persson (2015)<br>Sveriges klimat 1860-2014. Underlag till Dricksvattenutredningen                                                                                                                                        |



14. Anna Eklund, Jenny Axén Mårtensson, Sten Bergström, Emil Björck, Joel Dahné, Lena Lindström, Daniel Nordborg, Jonas Olsson, Lennart Simonsson och Elin Sjökvist (2015) Sveriges framtida klimat. Underlag till Dricksvattensutredningen
15. Elin Sjökvist, Jenny Axén Mårtensson, Joel Dahné, Nina Köplin, Emil Björck, Linda Nylén, Gitte Berglöv, Johanna Tengdelius Brunell, Daniel Nordborg, Kristoffer Hallberg, Johan Södling, Steve Berggreen-Clausen (2015) Klimatscenarier för Sverige - Bearbetning av RCP-scenarier för meteorologiska och hydrologiska effektstudier
16. Elin Sjökvist, Gunn Persson, Jenny Axén Mårtensson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson och Håkan Persson (2015) Framtidsklimat i Dalarnas län – enligt RCP-scenarier
17. Linda Nylén, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015) Framtidsklimat i Värmlands län – enligt RCP-scenarier
18. Gunn Persson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015) Framtidsklimat i Örebro län – enligt RCP-scenarier
19. Alexandra Ohlsson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015) Framtidsklimat i Västmanlands län – enligt RCP-scenarier
20. Elin Sjökvist, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson (2015) Framtidsklimat i Uppsala län – enligt RCP-scenarier
21. Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015) Framtidsklimat i Stockholms län – enligt RCP-scenarier
22. Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015) Framtidsklimat i Södermanlands län – enligt RCP-scenarier
23. Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015) Framtidsklimat i Östergötlands län – enligt RCP-scenarier
24. Gitte Berglöv, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015) Framtidsklimat i Västra Götalands län – enligt RCP-scenarier
25. Alexandra Ohlsson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015) Framtidsklimat i Jönköpings län – enligt RCP-scenarier
26. Gunn Persson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015) Framtidsklimat i Kalmar län – enligt RCP-scenarier
27. Gitte Berglöv, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015) Framtidsklimat i Kronobergs län – Enligt RCP-scenarier

28. Gunn Persson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015) Framtidsklimat i Hallands län – enligt RCP-scenarier
29. Alexandra Ohlsson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015) Framtidsklimat i Skåne län – enligt RCP-scenarier
30. Alexandra Ohlsson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015) Framtidsklimat i Blekinge län – enligt RCP-scenarier.
31. Gunn Persson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015) Framtidsklimat i Gotlands län – enligt RCP-scenarier
32. Gitte Berglöv, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015) Framtidsklimat i Norrbottens län – enligt RCP-scenarier
33. Gitte Berglöv, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015) Framtidsklimat i Västerbottens län – enligt RCP-scenarier
34. Linda Nylén, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015) Framtidsklimat i Jämtlands län – enligt RCP-scenarier
35. Linda Nylén, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015) Framtidsklimat i Västernorrlands län – enligt RCP-scenarier
36. Linda Nylén, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015) Framtidsklimat i Gävleborgs län – enligt RCP-scenarier
37. Jonas Olsson, Weine Josefsson (red.) (2015) Skyfallsuppdraget - ett regeringsuppdrag till SMHI
38. Gunn Persson, Linda Nylén, Steve Berggreen-Clausen, Peter Berg, David Rayner och Elin Sjökvist (2015) Från utsläppsscenarioer till lokal nederbörd och översvämningsrisker
39. Anna Eklund, Jenny Axén Mårtensson, Sten Bergström och Elin Sjökvist (2015) Framtidens vattentillgång i Mälaren, Göta älv, Bolmen, Vombsjön och Gavleån. Underlag till Dricksvattenutredningen
40. Anna Bohman (Centrum för klimatpolitisk forskning, CSPR) vid Linköpings universitet, Lotta Andersson, SMHI och CSPR, Linköpings universitet samt Åsa Sjöström, SMHI. (2016) Förslag till en metod för uppföljning av det nationella klimatanpassningsarbetet. Redovisning av ett regeringsuppdrag December 2016
41. Karttjänst för framtida medelvattenstånd längs Sveriges kust
42. Anna Eklund, Linda Tofeldt, Johanna Tengdelius-Brunell, Anna Johnell, Jonas German, Elin Sjökvist, Maria Rasmusson, Elinor Andersson (2017) Vattennivåer, tappningar, vattentemperaturer och is i Vättern Beräkningar för dagens och framtidens klimatförhållanden

43. Anna Eklund, Anna Johnell, Linda Tofeldt, Johanna Tengdelius-Brunell, Maria Andersson, Cajsa-Lisa Ivarsson, Jonas German, Elin Sjökvist och Elinor Andersson (2017)  
Vattennivåer, tappningar, vattentemperaturer och is i Hjälmarens  
Beräkningar för dagens och framtidens klimatförhållanden
44. Anna Eklund, Linda Tofeldt, Anna Johnell, Maria Andersson, Johanna Tengdelius-Brunell, Jonas German, Elin Sjökvist, Maria Rasmusson, Ulrika Harbman, Elinor Andersson (2017)  
Vattennivåer, tappningar, vattentemperatur och is i Vänerne  
Beräkningar för dagens och framtidens klimatförhållanden
45. Sofie Schöld, Cajsa-Lisa Ivarsson, Signild Nerheim och Johan Södling (2017) Beräkning av högsta vattenstånd längs Sveriges kust
46. Katarina Stensen, Johanna Tengdelius-Brunell, Elin Sjökvist, Elinor Andersson, Anna Eklund (2017)  
Vattentemperaturer och is i Mälaren.  
Beräkningar för dagens och framtidens klimatförhållanden
47. Jonas Olsson, Peter Berg, Anna Eronn, Lennart Simonsson, Johan Södling, Lennart Wern, Wei Young (2018)  
Extremregn i nuvarande och framtida klimat. Analyser av observationer och framtidsscenarioer

**SMHI**

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

ISSN