

# **Havsvattenståndsberäkningar Vaxholms kommun**

**Amund E. B. Lindberg, Sofia Åström och Hans Björn**



# Havsvattenståndsberäkningar Vaxholms kommun

Amund E. B. Lindberg, Sofia Åström & Hans Björn

Uppdragstagare SMHI 601 76 Norrköping	Projektansvarig Hans Björn 011- 495 8590 e-post: hans.bjorn@smhi.se
Uppdragsgivare Vaxholms stad Stadsbyggnadsförvaltningen 185 83 VAXHOLM	Kontaktperson Åsa Keane Tel: 08 – 541 709 35 Fax: e-post: asa.keane@vaxholm.se
Distribution Vaxholms stad	
Klassificering (x) Affärssekretess	
Nyckelord Vattenstånd, Vaxholms stad, IPCC, framtidens klimat	
Övrigt	



## Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>SAMMANFATTNING .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>BAKGRUND .....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>HAVSVATTENSTÅND.....</b>	<b>3</b>
<b>3.1</b>	<b>Medelvattenståndet i framtiden.....</b>	<b>4</b>
<b>3.2</b>	<b>Extrema vattenstånd i framtiden.....</b>	<b>5</b>
<b>3.3</b>	<b>Uppstuvningseffekter.....</b>	<b>7</b>
<b>3.4</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>SLUTSATSER .....</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>REFERENSER.....</b>	<b>9</b>
	<b>APPENDIX I.....</b>	<b>11</b>
	<b>Vattenståndsförändringar i ett framtida klimat.....</b>	<b>11</b>
	<b>APPENDIX II.....</b>	<b>13</b>
	<b>Återkomsttid, risk och sannolikhet.....</b>	<b>13</b>
	<b>Allmänt om klimatscenarier.....</b>	<b>13</b>
	<b>Regional modellering av vattenstånd.....</b>	<b>14</b>



# 1 Sammanfattning

**De framtida klimatförändringarna i Vaxholms kommun går inte att beräkna med exakthet, men fram till 2100 är det sannolikt att havsytans medelnivå stiger och att höga vattenstånd blir vanligare. De högsta vattenstånden skulle i extrema fall kunna bli en meter och åttio centimeter högre än dagens medelvattennivå.**

Att beskriva framtida klimatförändringar och vilka effekter de får är ingen exakt vetenskap. Det SMHI har gjort för Vaxholm kommun är att beskriva dagsläget, samt tre olika scenarier. Dessa scenarier bygger på de senaste resultaten inom klimatforskningen.

Som grund för alla klimatscenarier finns modeller som beräknar de globala klimatförändringarna. Dessa har i sin tur brutits ned till regionala klimatmodeller. Desto mer lokalt klimatscenario man vill beräkna, desto mer lokala data behövs. Eftersom de lokala väderavvikelsena kan vara stora, så medför det också osäkerheter. Även inom en enskild kommun kan det exempelvis regna olika mycket på olika platser under ett år.

För Vaxholms kommun har SMHI tagit fram ett lågt och ett högt scenario fram till år 2100 för havsytans nivåer, baserat på IPCC (2007). I det högre scenariot tar man bland annat hänsyn till att vissa klimatförändringar kan accelerera. I tillägg har även scenario enligt den holländska Deltakommittén tagits fram eftersom det finns t.ex. resultat som pekar på polarisar och glaciärer smälter av allt snabbare.

## **Havsytans nivåer**

En betydelsefull effekt av ett varmare klimat är att havet stiger. I Vaxholms kommun kommer landhöjningen att fortsätta kompensera för en del av den globala havsvattenståndshöjningen. De senaste årens observationer visar dock att vattenståndshöjningen accelererat även utanför Vaxholm.

År 2100 beräknas medelvattenytan ligga 20 cm lägre än i dag i ett lågt scenario och 28 cm högre än idag för ett högt scenario. I scenariot med höjd medelvattenyta blir höga vattenstånd mer vanliga. Det är också så att de extrema vattenstånden höjs mer än medelvattenståndet, det vill säga att skillnaderna mellan högvatten och lågvatten blir större än idag.

Med hjälp av statistik över vattenståndsmätningarna kan man beräkna hur ofta ett visst vattenstånd uppnås. Med dagens förhållanden i Vaxholm uppstår högvatten på 96 cm över medelvattenstånd vart femtionde år (57 cm i höjdsystemet RH00). Dessa siffror ger ett intryck av exakthet som egentligen inte föreligger. I själva verket är dessa nivåer framräknade ur ett intervall med ett lägsta och ett högsta värde. Med samhällsplanering som utgångspunkt kan det ändå vara relevant att se vilket det högsta värdet är.

Risken för att höga vågor leder till tillfällig överspolning av områden högre upp än de nivåer som anges här har inte analyserats i rapporten.

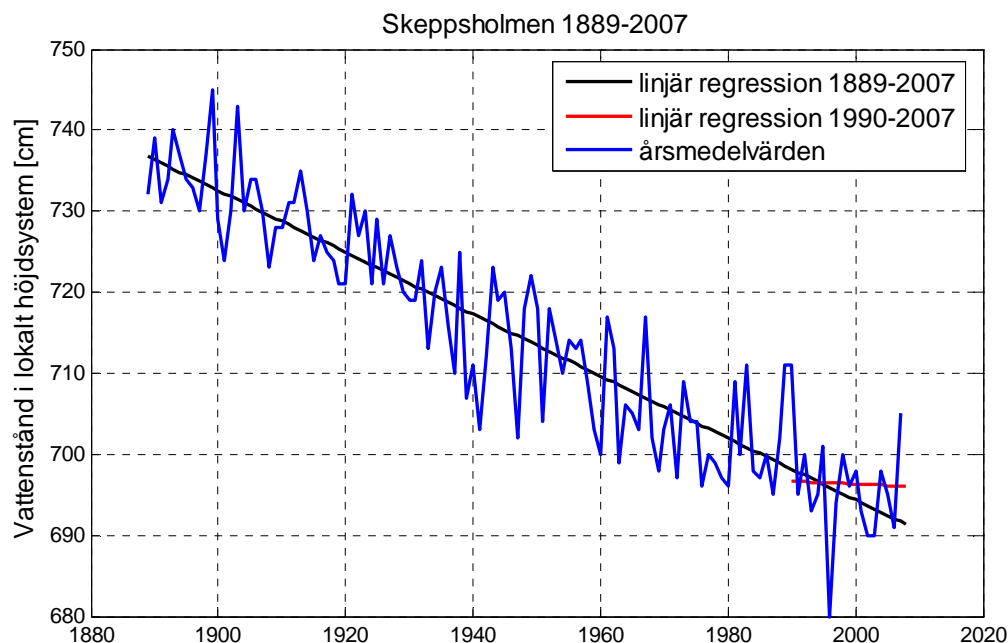
## 2 Bakgrund

Vaxholms stad är i behov av en översvämningskartering som kommunalt planeringsunderlag för riskbedömning. Syftet med karteringen är att den dels ska utgöra underlag i den översiktsplan som för närvarande håller på att tas fram, dels kunna fungera som vägledning i enskilda bygglovsärenden. SMHI har fått i uppdrag att ta fram extrema havsvattenstånd dels för dagens förhållanden och dels framtidens klimatpåverkade förhållanden samt även att redovisa vilka områden som riskerar att översvämmas vid dessa vattennivåer.

Eftersom det idag inte går att ta fram en säker bild är det viktigt att flera än ett scenario används i beslutsfattande. Som underlag till denna rapport har resultat från flera olika beräkningar använts. För vattenståndet presenteras ett högt och ett lågt scenario enligt IPCC (2007), samt en hög nivå enligt holländska Deltakommittén (2008).



### 3 Havsvattenstånd



Figur 1. Havsvattenståndet i Stockholm, baserat på årsmedelvärden under perioden 1889 – 2007.

Landhöjningen i Vaxholm har historiskt varit större än havsvattenhöjningen. Därför upplever man det som att havet sjunker relativt land. Figur 1 visar mätdata från Stockholm - Skeppsholmen 1889 – 2007 i det lokala höjdsystemet, vilket illustrerar denna effekt. Den absoluta landhöjningen i Vaxholm är 52 cm/100 år (mer om landhöjningen i Appendix I). Mellan 1990 – 2007 finns en antydning till att den minskning som orsakas av landhöjningen avtagit, d.v.s. att havsvattenståndet har höjts i snabbare takt, även om de naturliga mellanårsvariationerna är stora och gör det svårt att dra några definitiva slutsatser. Det finns all anledning att noga följa forskarnas signaler om utvecklingen av världshavens vattennivåer.

Högsta havsvattenstånd i Landsort 1886 – 2008 uppmättes 1983, 95 cm över medel-

#### Faktaruta

**Årets medelvattenstånd** är ett beräknat värde bestämt genom regression av många års årsmedelvärden. Det krävs mer än 30 års värden för att någorlunda väl kunna bestämma regressionslinjen. Respektive års medelvattenstånd betraktas som respektive års värde på regressionslinjen.

**RH00** Rikets höjdsystem 1900, baseras på den första precisionsavvägningen av Sverige som genomfördes under åren 1886 – 1905. Som nollnivå valdes medelvattenytan i Stockholm år 1900, representerad av en markerad punkt på Riddarholmen i centrala Stockholm.

vatten eller 59 cm i RH00. Under samma tid uppmättes 117 cm över medelvatten, 78 cm i RH00, i Stockholm.

I denna rapport redovisas ett referensscenario för dagens klimat. För framtidens klimat har ett högt och ett lågt scenario valts baserat på resultat från IPCC och SMHI-Rosby center (Tabell 1), samt Deltakommittén. Vi har tagit hänsyn till landhöjningen och att Nordsjöns medelvattenyta kan bli upp mot 0,2 m över IPCC:s globala nivåer.

Tabell 1. Beskrivning av de modellberäkningar som redovisas nedan.

Fall	Beskrivning
Referens	Vattenstånd baserat på modellerade data för en punkt i havet utanför Vaxholm för dagens klimat (1961-1990)
Lågt scenario	Rosby Centres 'lågt scenario' (H/B2) för Östersjön adderat till lågt scenario (18 cm + 20 cm för Nordsjön) för höjning av medelvattenytan från IPCC 2007 samt korrigerat för landhöjning
Högt scenario	Rosby Centres 'högt scenario' (E/A2) för Östersjön adderat till högt scenario (59 cm + 20 cm för Nordsjön) för höjning av medelvattenytan från IPCC 2007 samt korrigerat för landhöjning
Delta kommittén	Bidrag med isflöden och smältning av Grönland och Antarktis. Avser betydligt högre skydds nivå än IPCC. (100 cm + 20 cm för Nordsjön) samt korrigerat för landhöjning

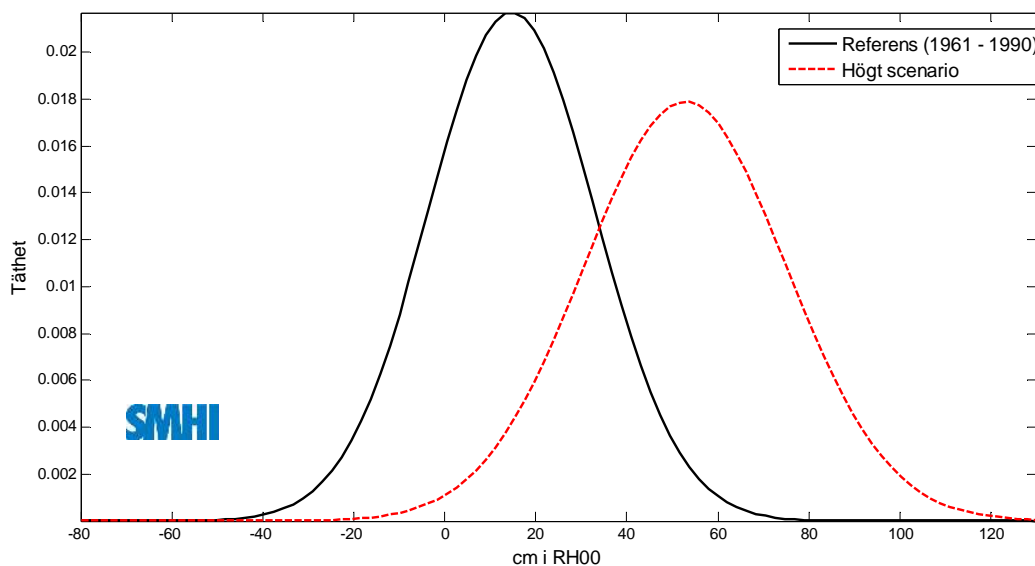
### 3.1 Medelvattenståndet i framtiden

Medelvattenytan utanför Vaxholm kan under perioden 2071 – 2100 komma att ligga mellan -59 cm till -11 cm för lågt respektive högt scenario i RH00 (Tabell 2). Det lägsta scenariot innebär att havet stiger långsammare än landhöjningen fram mot år 2100. Mellan 1993 – 2003 observerades en höjning som motsvarar 30 cm höjning/100 år, d.v.s. en snabbare höjning än lågt scenario. Den holländska Deltakommittén räknade med en högsta höjning om 120 cm. Det ger en medelvattenyta utanför Vaxholm på nästan 40 cm i RH00 år 2100, d.v.s. en nästan 5 dm högre höjning än IPCC:s höga scenario.

Tabell 2. Framräknat osäkerhetsintervall för medelvattenytan 2071-2100 i RH00 baserat på modell-data från RCAO-modellen. Medelvattenytan kan alltså ligga mellan -59 till -11 cm i RH00 beroende på vilket klimatscenario som beaktas. Skeppsholmens medelvattenyta ligger idag på -39 cm i RH00.

Fall	Mv-yta nivå (cm)
Lågt scenario	-59 (20 cm lägre än idag)
Högt scenario	-11 (28 cm högre än idag)

Konsekvensen av en förhöjd medelvattenyta är att det som idag är höga vattenstånd blir mer vanligt. Förändrat klimat med ökad förekomst av västvindar kan också innebära att höga vattenstånd relativt framtidens medelvatten blir än mer vanliga om 100 år jämfört med idag (Ref 2). Figur 2 visar frekvensfunktionen för dagens klimat (referenssimuleringen) jämfört med högt scenario som beskriver denna förändring. Data är normalfördelade.



Figur 2. Frekvensfunktion över havsvattenståndet i dagens och framtidens klimat (referens och högt scenario) för Vaxholm. Scenariot beskriver en ökad förekomst av högre värden. Vattenstånd som idag anses vara höga blir alltså vanligare i framtiden. Med framtidens klimat menas 2071-2100.

### 3.2 Extrema vattenstånd i framtiden

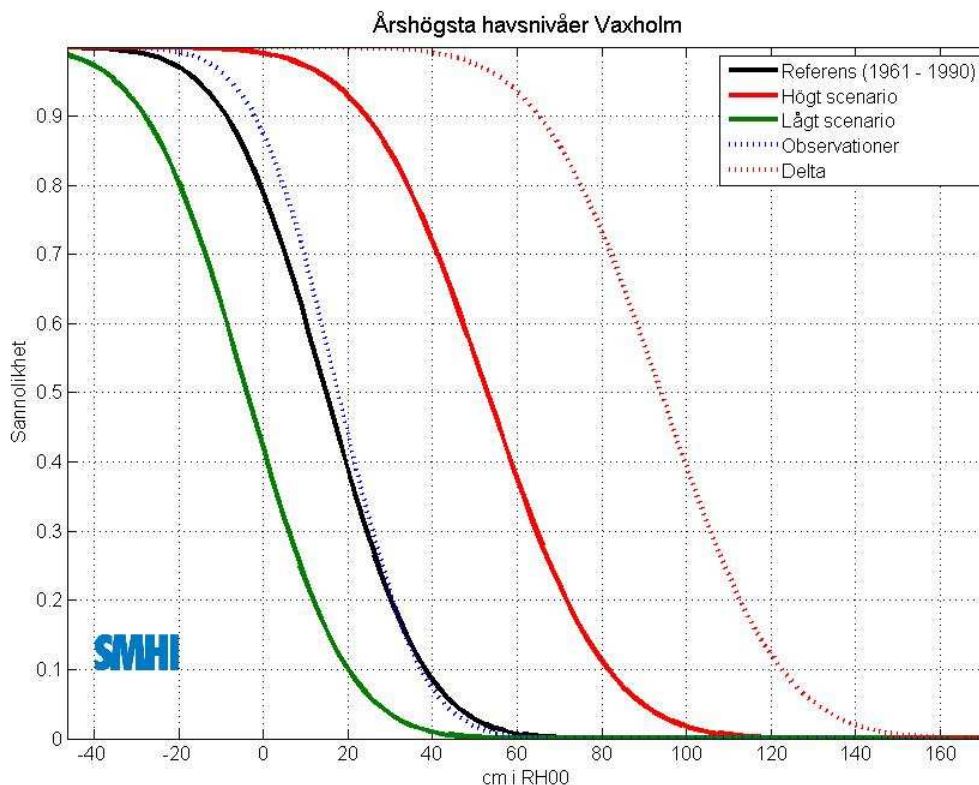
För analyser av extrema vattenstånd utgår man från årets högsta vattenstånd och hur det fördelar sig. Figur 3 visar sannolikheten för att en viss havsvattennivå skall överskridas varje år dels i dagsläget (svart linje) och dels i förhållande till hur det kan bli om ca 100 år (grön och röd linje för lågt respektive högt scenario). Mätdata från Skeppsholmen finns med i figuren (blå prickar). De olika scenarierna beskrivs i Tabell 1.

#### Faktaruta

**Årshögsta vattenstånd** är det högsta vattenstånd som uppnås under ett år. De högsta nivåerna är ofta kortvariga, storleksordning ca 6 timmar.

**Återkomsttid:** Om ett värde, t.ex. ett högt havsvattenstånd, har 100 års återkomsttid innebär det att värdet i medeltal uppnås eller överträffas en gång vart hundra år. 100 års återkomsttid betyder att en händelse har 1 % sannolikhet att inträffa varje enskilt år medan 10 års återkomsttid betyder att sannolikheten för händelsen är 10 % varje år.

**Konfidensintervall:** Med t.ex. ett 95-procentigt konfidensintervall menas att ett värde ligger inom intervallet med 95 procents sannolikhet.



Figur 3. Sannolikhet för att årets högsta vattenstånd når över en viss nivå för olika scenarier år 2100 jämfört med observerade data, se Tabell 1 för scenarier. Nivåer anges här i RH00. En sannolikhet på 0.5 motsvarar 2 års återkomsttid, d.v.s. att den nivån överskrids en gång vartannat år. En sannolikhet på 0.7 motsvarar att den nivån överskrids 7 gånger på 10 år.

Tabell 3. Beräknade havsvattenstånd för olika återkomsttider i Vaxholm angett i cm i RH00. Kursiverade siffror anger 95 %-igt konfidensintervall för det framräknade återkomstvärdet. Dagens klimat representerar perioden 1961 – 1990; med framtidens klimat menas 2071 – 2100.

	50 år	100 år
<b>Dagens klimat</b>	57	63
Vaxholm 1961-1990	50 – 71	55 – 81
<b>Lågt scenario</b>	39	45
Vaxholm 2071-2100	31 – 54	36 – 64
<b>Högt scenario</b>	104	111
Vaxholm 2071-2100	96 – 120	102 – 132
<b>Deltakommittén</b>	145	153
Vaxholm 2071-2100	137 – 161	143 – 173

Tabell 3 visar havsvattenstånd med olika återkomsttider i dagens och framtidens klimat. Det som idag är ett 50-årsvärde, 57 cm i RH00, motsvarar ungefär ett högvattenstånd som återkommer vart annat år i högt scenario för 2071 – 2100. I ett högt scenario beräknas vattenståndet nå upp till eller överstiga 111 cm i RH00 vart 100 år. För en ökad säkerhetsmarginal kan man räkna med högsta gränsen för konfidensintervallet, 132 cm. Mer om sannolikhet och återkomsttider i Appendix II.

Nyare forskningsresultat efter IPCC (2007) tyder på att haven kan höjas ytterligare. Om man räknar med den höjning som anges av den holländska Deltakommitténs vetenskapliga panel (4 dm för Vaxholm) blir vattenståndet med 100 års återkomsttid ca 150 cm i RH00, förutsatt samma lokala effekter inne i själva Östersjön. Observera dock att Deltakommitténs övre konfidensintervall är 173 cm.

### 3.3 Uppstuvningseffekter

I samband med att vind blåser över en vattenyta i t.ex. en vik förs vatten i vindens riktning från en sida av viken till den motsatta. Det transporterade vattnet strömmar sedan tillbaka, vanligen längs botten. Beroende på djupförhållandena sker denna återströmning mer eller mindre lätt och vatten kan ”stuvvas” upp i de inre vindutsatta delarna av viken. Med hjälp av formler kan uppstuvningseffekten i ett aktuellt vattenområde beräknas för en viss vindhastighet. Effekten är mindre i områden med djupt vatten.

Beräkningar med överslagsmetoder har utförts för sex vikar där det bedömts att uppstuvningseffekter kan förekomma. Resultaten i nedanstående tabell redovisas med centimeternoggrannhet vilket egentligen ger en alltför detaljerad bild, men för att kunna titta på skillnader mellan olika delar krävs denna redovisning. Uppgifterna gäller alltid det innersta partiet av respektive vik och vid en dimensionerande vindhastighet på 24 m/s.

Tabell 4. Beräknad stationär och kortvarig uppstuvning i sex vikar i Vaxholms kommun.

Läge	Stationär uppstuvning (m)	Kortvarig uppstuvning (m)
Furusundsviken (Tynningö)	0.07	0.12
Släpan/Ekefjord	0.06	0.10
Mellan Tornboda och Nibble	0.04	0.07
Säbyvik/Ladvik	0.05	0.09
Kyrkfjärden/Gröndalsholm	0.03	0.05
Karlsuddsviken	0.02	0.03

### 3.4 Diskussion

Följande moment bör beaktas vid användning av resultaten:

- Vi har räknat med samma landhöjning i hela kommunen. Över 100 år kan detta innebära några cm i osäkerhet.
- Modellens extrema vattenstånd har en lite annan fördelning än mätdata från Stockholms vattenståndsmätare vid Skeppsholmen. Den korrektion som gjorts har optimerat för 5 års återkomsttid vid Skeppsholmen, och modellens data torde beskriva vattenståndet med en noggrannhet på upp mot en decimeter.

Man kan naturligtvis fråga sig varför senare analyser skiljer sig så mycket från IPCC:s siffror. Ett problem är att IPCC inte tagit hänsyn till dynamiska processer i samband med isflöden (Naturvårdsverket, 2007, sid.33). Den största skillnaden mellan IPCC:s och Deltakommitténs uppskattning är bidragen från Grönland och Antarktis. Man bör också hålla i minnet att de holländska rekommendationerna, på grund av de förödande konsekvenser som ett dammbrott skulle medföra, avser en skyddsnivå som är betydligt högre (lägre sannolikhet) än vad som representeras av det intervall som IPCC angav med nivåerna 18 – 59 cm höjning av vattenytan globalt.

## 4 Slutsatser

Med underlag från senaste resultaten från IPCC och beräkningar hämtade från Rossby Center (SMHI:s klimatforskningsenhet) har vi beräknat det framtida havsvattenståndet utanför Vaxholms kommun. Fram mot 2100 är det sannolikt att havets stiger utanför Vaxholm.

En betydelsefull effekt av ett varmare klimat är att havet stiger. I Vaxholms kommun kommer landhöjningen att fortsätta kompensera för en del av den globala havsvattenståndshöjningen, och medelvattenytan beräknas år 2100 ligga någonstans mellan 20 cm lägre än i dag i ett lågt scenario och 28 cm högre än idag för ett högt scenario. I höjdsystemet RH00 är dagens medelvattenyta lika med -39 cm, och osäkerhetsintervall är alltså -59 till -11 cm uttryckt i RH00 år 2100.

Samtidigt som medelvattenytan höjs blir höga vattenstånd mer vanliga. Vattenståndet med 100 års återkomsttid, d.v.s. en sannolikhet på 1 % varje år, höjs med drygt 50 cm från dagens klimat till framtidens klimat (2071 – 2100) i ett högt scenario. De extrema vattenstånden höjs alltså mer än medelvattenståndet. Dagens vattenstånd med 100 års återkomsttid är 63 cm i RH00, i ett högt scenario är vattenstånd med 100 års återkomsttid 111 cm i RH00.

I det låga scenariot är också de extrema vattenstånden lägre än i dagens klimat. Enligt FN:s klimatpanel, IPCC (Naturvårdsverket, 2007) steg världshaven ca 1.8 mm/år under perioden 1961 – 2003 och ca 3.1 mm/år under perioden 1993 – 2003. Den beräknade vattenytan enligt ”lågt scenario” kan därför vara underskattad. Havet slutar sannolikt heller inte att stiga år 2100. De nivåer vi här räknat fram för perioden 2071 – 2100 kommer med stor säkerhet att överträffas ännu längre fram i tiden. Det kan ha betydelse för planering av strukturer och byggnationer som skall ha lång livslängd.

Risken för att höga vågor leder till tillfällig överspolning av områden högre upp än de nivåer som anges här har inte analyserats i rapporten.

## 5 Referenser

- 1) Meehl, G.A., T.F. Stocker, W.D. Collins, P. Friedlingstein, A.T. Gaye, J.M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J.M. Murphy, A. Noda, S.C.B. Raper, I.G. Watterson, A.J. Weaver and Z.-C. Zhao, 2007: Global Climate Projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- 2) Meier, H.E.M., B. Broman & E. Kjellström (2004): *Simulated sea level in the past and future climates of the Baltic Sea*. *Clim Res* 27:59-75.
- 3) Rummukainen, M., Bergström, S., Persson, G., Rodhe, J. and Tjernström, M. (2004). *The Swedish Regional Climate Modelling Programme, SWECLIM: A review*. *Ambio* 33:4-5, 176-182.
- 4) Naturvårdsverket (2007). FN:s klimatpanel 2007: Den naturvetenskapliga grunden. Sammanfattning för beslutsfattare. Rapport 5677, Stockholm.
- 5) SMHI Rapport 2009-15. Signild Nerheim, Hans Björn, Leandra Caldarulo, Sofia Åström, Klimatunderlag för Haninge Kommun, SMHI 2009.
- 6) Dutch Delta Committee (2008) Advice summary.  
[www.deltacommissie.com/doc/summary.pdf](http://www.deltacommissie.com/doc/summary.pdf)





## Appendix I

### Vattenståndsförändringar i ett framtida klimat

I IPCC:s Assessment Report 4 (AR4) presenteras resultaten om framtida vattenståndsnivåer som grundas på de senaste framstegen inom klimatmodellering fram till och med ungefär 2005. (IPCC, 2007). Fördröjningen på ca två år beror på att resultat måste vara vetenskapligt granskat för att kunna användas i processen, och det tar sin tid. För perioden 2071 – 2100 beräknas havet enligt IPCC stiga med 18 – 59 cm jämfört med referensperioden 1961 – 1990. Resultaten grundar sig på ett större antal förbättrade klimatmodeller och förbättrad information om osäkerheter i drivningen av modellerna. Osäkerhetsintervallet omfattar här 5 till 95-percentilen av modellomfånget. Det presenterade osäkerhetsintervallet är ett globalt medelvärde. I IPCC:s rapport från TAR (Third Assessment Report) försumrades en eventuell accelererad höjning av havsnivån fram till 2100 på grund av glaciärers hastiga respons på klimatförändringar. Senare års rapporter om isutbredningens förändringar i Antarktis och Grönland visar att modellerna inte fångar alla variationer. AR4 utgår ifrån den ökning i isflöde från Grönland och Antarktis som har observerats 1993 – 2003, men isflödet kan både öka eller minska i framtiden. Om förändringen ökar lineärt med ökande temperatur kan vattenståndet stiga med ytterligare 0.1 – 0.2 m. Det finns också regionala variationer. AR4 visar att medelvattenytan i Nordsjön kan ligga upp mot 0.2 m över det globala medelvärdet.

Efter AR4 har flera vetenskapliga artiklar publicerats som indikerar att ismältningen kan ske snabbare än vad som uppskattats tidigare. En vetenskaplig kommitté nedsatt av den holländska Deltakommittén presenterade år 2008 sin utvärdering av de senaste vetenskapliga resultaten. Man drog slutsatsen att man bör räkna med ett intervall på 0.65 – 1.30 meter som högsta höjning av havsnivån utanför Hollands kust för att säkra de livsviktiga skyddsvallarna och dammanläggningarna. Detta inkluderar 10 cm landsänkning. Den holländska Deltakommittén uttrycker det på följande sätt: *”These values represent plausible upper limits based on the latest scientific insights. It is recommended to take these into account so that the current decisions we make and the measures we take will be sustainable for a long time, set against the background of what we can expect”* (Dutch Delta Committee, 2008). Man gör också en bedömning av den mest extrema höjningen fram till år 2200 och kommer fram till en höjning på 2 – 4 meter. Detta inkluderar effekterna en landsänkning på ett par decimeter under samma period

För att få bästa möjliga bild över framtida extrema vattenståndsnivåer i Östersjön kombineras resultaten från IPCC, FN:s klimatpanel, med regionala modellberäkningar från Rossby Centre på SMHI (Ref 2)). Fyra modellscenarier för framtidens klimat (2071 – 2100) analyseras med avseende på medelvattenstånd och extrema vattenstånd. Mer om klimatscenarier, beräkningsunderlag och modeller, se Appendix II.

Den position i modellen som har använts för att beskriva vattenståndet utanför Vaxholm i dagens och framtidens klimat har koordinaterna 59.4°N, 18.6 °O, strax utanför Storön. Observerade data från Skeppsholmen har använts för att justera modellens havsvattennivåer så att modelldata ligger rätt mot uppmätta data. Korrigering har sedan gjorts för höjdsystemet RH00.

Den framtida medelvattennivån och extrema vattenstånd i Östersjöområdet bestäms både av havsvattenytans höjning och av landhöjningen. Den absoluta landhöjningen varierar och är högst i norra Sverige och lägst i södra Sverige. Den landhöjning som vi upplever på land är den apparenta<sup>1</sup> landhöjningen, och den definieras som differensen mellan den absoluta landhöjningen och höjningen av havets nivå. Den absoluta landhöjningen i Vaxholm är den som gäller för Stockholm, (52 cm/100 år). Landhöjningen har varit snabbare än vattenståndshöjningen, men på senare år har vattenståndshöjningen accelererat något.

Jämförelse mellan referenssimuleringen från en punkt i havet utanför Vaxholm och observerade data visar att modellen överskattar årliga extremvattenstånd för referensperioden med 23 cm. För modellens scenario (referens, högt scenario och lågt scenario) har vi därför dragit bort 23 cm på alla högvatten innan analysen av dagens och framtidens högvattenstånd gjorts för Vaxholm. Korrektionen ger bästa möjliga anpassning till vattenstånd med 5 års återkomsttid vid Skeppsholmen. Modellen överskattar i viss mån högvatten med längre återkomsttid och underskattar högvatten som är mer vanligt förekommande. Osäkerheten för andra återkomsttider rör sig om +/-5 cm.

---

<sup>1</sup> Apparent landhöjning = absolut landhöjning – vattenståndshöjning

## Appendix II

### Återkomsttid, risk och sannolikhet

Begreppen återkomsttid, risk och sannolikhet skapar ibland missförstånd. Med en händelses återkomsttid menas att den inträffar eller överträffas i genomsnitt en gång under denna tid. Det innebär att sannolikheten för exempelvis ett 100-års flöde är 1 på 100 för varje enskilt år. Eftersom man exponerar sig för risken under flera år blir den ackumulerade sannolikheten avsevärd. För ett hus som står i 100 år i ett område som endast är skyddat mot ett 100-års flöde, är sannolikheten för översvämning under denna tid hela 63 %. Detta är skälet till att man för större dammar ofta sätter gränsen vid, eller t.o.m. bortom, 10 000-årsflödet. Då blir ändå sannolikheten under 100 års exponering ca 1 %. Tabell I-1 visar sambandet mellan återkomsttid, exponerad tid och sannolikheten.

*Tabell I-1 Sambandet mellan återkomsttid, exponerad tid och sannolikhet i procent.*

Återkomsttid (år)	Sannolikhet under 50 år (%)	Sannolikhet under 100 år (%)
100	39	63
1000	5	9,5
10 000	0,5	1

Beräkningen av återkomsttider sker med en teknik som kallas frekvensanalys. Denna är dock behäftad med ganska stora osäkerheter, vilket gör att exempelvis ett 100-årsflöde ofta ändras i takt med att nya data flyter in. Beräkningarna försvåras speciellt om dataserierna är korta eller om de är påverkade av regleringar i vattendraget.

### Allmänt om klimatscenarier

För att skapa scenarier för det framtida klimatet i en region krävs resultat från en global klimatmodell och en regional tolkning av dessa. De framtidsscenarier som använts i detta arbete bygger på regionala klimatscenarier framtagna vid Rossby Centre vid SMHI:s forskningsavdelning. Dessa har i sin tur utnyttjat globala klimatberäkningar, en från Max-Planck institutet för meteorologi i Tyskland och en från Hadley Centre i England. För att ytterligare belysa osäkerheten i scenarierna har de globala klimatmodellerna körts med två olika antaganden om hur framtidens utsläpp av växthusgaser kommer att utvecklas. Därmed har två utsläppsscenarioer som definierats av IPCC använts, de s.k. SRES A2 respektive SRES B2 scenarierna. Med de två globala klimatmodellerna, de två utsläppsscenarioerna och med hjälp av den regionala klimatmodellen har följaktligen fyra olika regionala klimatscenarier erhållits. Vart och ett av dessa scenarier avser genomsnittliga förhållanden under perioden 2071 – 2100.

Den globala klimatmodellen från Hadley Centre har benämningen HadCM3/AM3H och den från Max-Planck institutet benämns ECHAM4/OPYC3. De fyra scenarierna

har för enkelhets skull i den fortsatta texten givits benämningarna H/A2 respektive H/B2 för Hadley Centres modell med tillämpat utsläppsscenario A2 respektive B2. Motsvarande benämning för den tyska ECHAM4/OPYC3 modellens scenarier är E/A2 och E/B2. Den regionala klimatmodellen från Rossby Centre, som används för tolkning av de globala modellernas resultat till svenska förhållanden, benämns RCAO-modellen.

Sammanfattningsvis visar de fyra klimatscenerierna för Sverige en temperaturhöjning mellan ca 2.5 och ca 4.5 °C för perioden 2071 – 2100 i jämförelse med 1961 – 1990. Störst är temperaturhöjningen vintertid och de riktigt låga temperaturerna stiger mest. Nederbörden beräknas öka framförallt på hösten, vintern och våren. Speciellt mycket ökar nederbörden i norra Sverige samt i de västra delarna av Svealand och Götaland.

Scenerierna från de två globala klimatmodellerna skiljer sig ganska mycket åt, speciellt beträffande den framtida nederbörden i Sverige. Detta beror på att dessa två modeller ger ganska skilda bilder av hur den storskaliga atmosfäriska cirkulationen kommer att utvecklas i framtiden. Enligt ECHAM4/OPYC3 modellen ändras den storskaliga cirkulationen så att den blir mer västlig medan HadCM3/AM3H modellen ger en framtida storskalig cirkulation som mer liknar dagens. Mer detaljer i de olika scenerierna finns beskrivna av Rummukainen et al. (2004).

Förutom med de fyra ovan beskrivna scenerierna har vissa studier gjorts med ett klimatscenario som kontinuerligt beskriver utvecklingen från dagens klimat fram till 2100. I detta fall bygger beräkningarna på den tyska globala ECHAM4/OPYC3 modellen med utsläppsscenario B2 tolkad till svenska förhållanden med en senare version av den regionala klimatmodellen från Rossby Centre, benämnd RCA3-modellen. Med denna kontinuerliga regionala beräkning kan klimatförändringens utveckling i tiden följas mer i detalj.

## **Regional modellering av vattenstånd**

Klimat effekter kan på sikt medföra en allmän höjning av havsytans nivå. Utvärdering av simuleringar och analyser inom detta område görs bland annat av Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), ett organ upprättat av Världsmeteorologiska organisationen (WMO) och FN. Nationella analyser för detaljerade förhållanden i svenska vatten görs av SMHI:s Rossby Centre. Beräkningarna baseras på de bästa möjliga antaganden som kan göras i dagsläget men innehåller ändå ett visst mått av osäkerhet eftersom vi inte vet hur utsläppssituationen ser ut i framtiden. Efterhand som mätserierna av klimatdata blir längre kommer precisionen i beräkningarna att höjas.

Rossby Centre har använt två utsläppsscenerier (A2 och B2) i kombination med två globala modeller (ECHAM4 & HadAM3H) för att driva simuleringen av framtida regionala förändringar av vattenståndsnivåer i Östersjön. Den modell som SMHI använt för Östersjön kallas RCAO. Simuleringarna har gjorts för referensperioden, 1961 – 1990, och för framtidens klimat, 2071 – 2100. I båda fall har modellen initialiserats med temperatur och salthalt observerat 1959 – 1962, och data finns som en nästan 100 år lång serie som representerar de två perioderna klimatologiskt. Data

representerar då inte en tidsserie som sådan, men ger korrekt statistik för de olika tidsperioderna.

Resultaten från referenssimuleringen med RCAO-modellen har jämförts med mätdata längs Sveriges kust. Modellen fångar väl variation och nivåer för egentliga Östersjön och norrut. Längs Sveriges sydligaste kuststräckor underskattas dock höga havsnivåer pga. modellens utformning.

Mer om RCAO-modellen i Ref. 2.



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