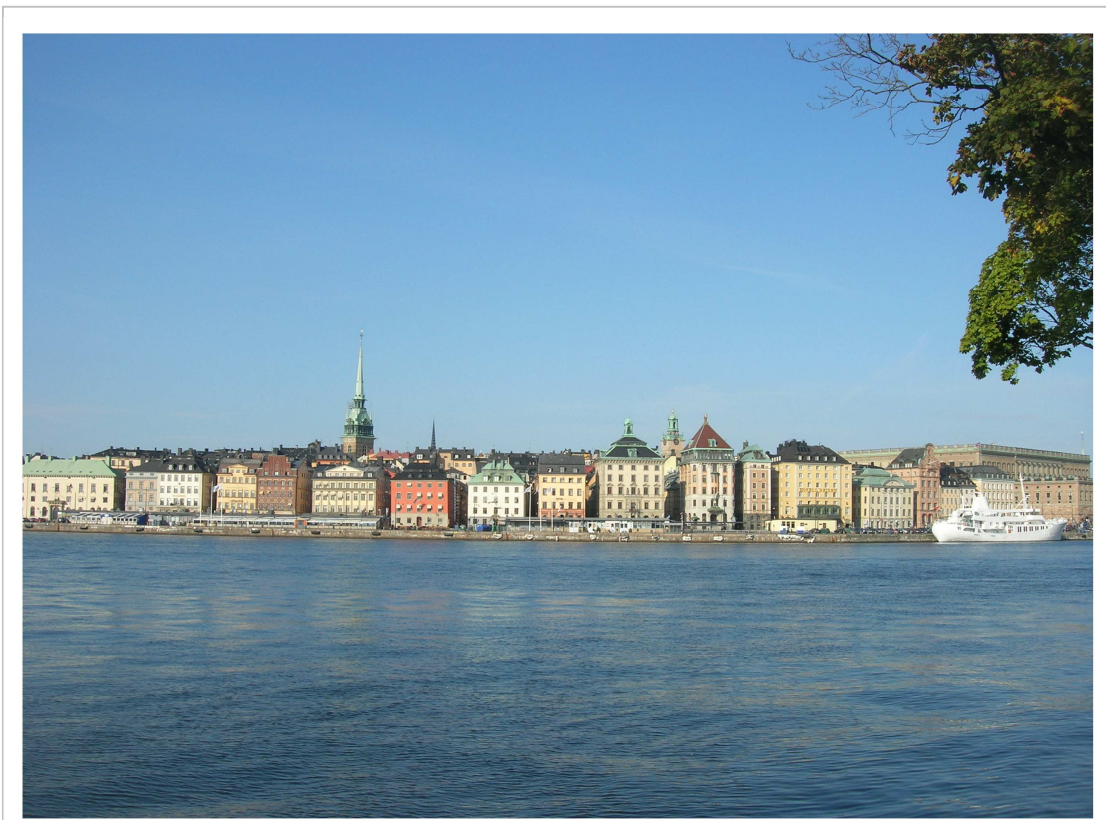


Signild Nerheim

RAPPORT NR 2011-62

Havsnivåer i Stockholm 2011-2110: En sammanställning



Pärmbild.

Gamla stan en solig septemberdag 2008. Bilden är tagen från Skeppsholmen där SMHIs havspegel Stockholm-Skeppsholmen ligger. Foto: Thomas Hammarklint, SMHI.

Författare: Signild Nerheim
Uppdragsgivare: Stockholms stad
Granskningsdatum: 2011-11-14
Granskare: Sofia Åström

Dnr: 2009/2254/204
Version: 1.1

Havsnivåer i Stockholm 2011-2110: En sammanställning

Uppdragstagare

SMHI
601 76 Norrköping

Projektansvarig

Signild Nerheim
031-751 8987
signild.nerheim@smhi.se

Uppdragsgivare

Stockholms stad
Exploateringskontoret
Box 8189
104 20 Stockholm

Kontaktperson

Monica Granberg
070-693 64 68
Monica.granberg@extern.stockholm.se
monica.granberg@structor.se

Distribution

Stockholms stad

Klassificering

Affärssekretess

Nyckelord

Havsvattenstånd i Stockholm, högsta högvatten, global havshöjning 1990-2100, vindpåslag

Övrigt

Denna rapport är en sammanställning av tidigare resultat. Den ersätter SMHI Rapport 2010-1 och SMHI PM 2011-06-10 (revision 4)

Innehållsförteckning

1	SAMMANFATTNING	1
2	BAKGRUND OCH SYFTE	3
2.1	Riktlinjer för dimensionering	3
2.2	Tidigare beräkningar	3
3	FAKTORER SOM PÅVERKAR VATTENSTÅNDET	5
3.1	Havsvattenståndsförändring till följd av global uppvärmning	6
3.1.1	Havshöjning i Stockholm och Sverige	7
3.2	Landhöjning	8
3.2.1	Årets beräknade medelvattenstånd och Rikets Höjdsystem	9
3.3	Kortvariga vattenståndsvariationer	10
3.3.1	Vindpåslag	11
4	METODIK	11
4.1	Medelvattenytans höjning.....	11
4.2	Extrema vattenstånd	11
4.2.1	Sannolikhet och risk.....	11
4.3	Metodik i tidigare arbeten	12
5	RESULTAT	13
5.1	Medelvattenstånd 1990-2100.....	13
5.1.1	Fortsatt havshöjning efter 2100	13
5.2	Extrema vattenstånd 1990-2100	14
5.2.1	Vindpåslag	15
6	DISKUSSION	15
7	SLUTSATSER.....	16
8	REFERENSER	17
9	BILAGA.....	19

1 Sammanfattning

SMHI har under flera år levererat uppdaterade beslutsunderlag rörande framtidens havsvattenstånd till Stockholm stad, till flera Stockholmskommuner och till Länsstyrelsen i Stockholms län. Denna sammanställning är en uppdatering och sammanfattning av det arbete som gjorts av SMHI på uppdrag av Stockholm stad rörande havsnivåer.

Syftet med rapporten är att redovisa de olika nivåer som SMHI beräknat som underlag för beslut om dimensionering av anläggningar i Stockholm med livslängd på ca 100 år fram till 2110, och att ge en helhetlig bild över det tillvägagångssätt som ligger till grund för beräkningarna. För dimensionering av laster används BKRs normer för vattenlaster som motsvarar vattenstånd med 50 års återkomsttid. För dimensionering av översvämningsskydd måste längre återkomsttider tillämpas.

Frågan om framtidens havsnivåer har blivit alltmer aktuell under de år som gått sedan IPCC presenterade sin fjärde Assessment Report (AR4) i januari 2007 (IPCC, 2007) och som utgick från den då tillgängliga klimatforskningen. AR4 angav 18-59 cm som ett intervall för höjningen av havsnivån, med regionala variationer. Sedan dess har flera vetenskapliga artiklar publicerats som betonar risken för att isavsmältningen kan komma att ske snabbare och att världshavet kan komma att stiga mer än vad som tidigare antagits.

SMHIs syn har formulerats i en klimatanalys till länsstyrelsen i Stockholms län enligt följande:

”Sammantaget pekar de internationella sammanställningar och bedömningar, som SMHI tagit del av, på att en övre gräns för hur mycket havsytans nivå kan komma att stiga är ungefär 1 m under perioden 1990-2100 sett som ett globalt medelvärde.”

För att ta fram dimensionerande nivåer för Stockholm stad 2100 har en global höjning på +1 m tillämpats för Stockholm med en korrektion för landhöjning. Extremvattenstånd från SMHIs mätserie Stockholm-Skeppsholmen 1886-2010 har analyserats med statistiska verktyg för att ta fram nivåer med 50 och 100 års återkomsttider. För det framtida klimatet används samma mätdata, men med ett tillägg för stigande havsnivåer. De beräknade extrema vattenstånden visas i tabellen nedan i Rikets Höjdsystem RH00 tillsammans med 90 % konfidensintervallet.

Vst i RH00	2011	2100
50 års återkomsttid	58 cm	108 cm
	50-73	101-124
100 års återkomsttid	65 cm	115 cm
	55-85	106-136
300 års återkomsttid		
300 års återkomsttid	77 cm	127 cm
	62-106	113-157

Medelvattenytan ligger idag på -40 cm i RH00. 2100 beräknas den ha stigit drygt 50 cm till +11 cm i RH00. Det högsta uppmätta vattenståndet i Stockholm, 77 cm i RH70 (eller 117 cm över medelvatten) har en återkomsttid på 300 år. Den ökande osäkerheten i beräknade långa återkomsttider indikeras av det stora konfidensintervallet för 300 års återkomsttid. SMHI ser ingen anledning att göra mer noggranna beräkningar för 2050.

Ett ytterligare bidrag från lokala vindeffekter har beräknats till 0.4 m, huvudsakligen från vindvågor då vinduppstuvning är försumbar i Saltsjön. Detta vindpåslag bör också beaktas.

Havet upphör inte att stiga 2100. En enkel beräkning av höjningen 2100-2110 visar att det kan röra sig om ytterligare 5-25 cm beroende på global höjningstakt. Detta är av samma storleksordning som konfidensintervallet för extrema vattenstånd enligt BKR (Tabell 4).

2 Bakgrund och syfte

Dagens och framtidens havsnivåer är av stor betydelse för Stockholms stad. Stigande havsnivåer kan leda till högre medelvattenstånd och ökade översvämningsrisker. Ett förhöjt medelvattenstånd har betydelse för tappningen från Mälaren och har beaktats i utredningar rörande tappningsstrategier (SMHI Rapport 2011-64). En sista aspekt vid de höga vattenstånden är att alla konstruktioner skall dimensioneras enligt erforderliga vattenlasten på konstruktioner.

SMHI har under flera år levererat uppdaterade beslutsunderlag rörande framtidens havsvattenstånd till Stockholm stad, till flera Stockholmskommuner och till Länsstyrelsen i Stockholms län. Denna sammanställning är en uppdatering och sammanfattning av det arbete som gjorts på uppdrag av Stockholm stad. Den innehåller också en beskrivning av tidigare resultat och hur nuvarande resultat skiljer sig från tidigare.

Syftet med rapporten är att ge en helhetlig bild över det tillvägagångssätt som ligger till grund för olika nivåer som används för dimensionering av anläggningar i Stockholm på 100 års sikt fram till 2110. Nya bilder och beskrivningar av höga vattenstånd används för att ge en ökad förståelse av hur ett extremt vattenstånd uppträder i Stockholm.

Rapporten är uppdelad i 9 delar. Kapitel 2 beskriver riktlinjer, tidigare beräkningar och SMHIs syn på framtidens klimat och utvecklingen av havets nivåer. Kapitel 3 innehåller en genomgång av faktorer som påverkar vattenståndet i Stockholm på lång och kort tidsskala, båda globala och lokala processer. Kapitel 4, metodik, beskriver hur resultaten i rapporten tagits fram och hur metodiken skiljer sig något jämfört med tidigare klimatanalyser som gjorts i Stockholms-regionen. Kapitel 5 och 6, resultat och diskussion, följs av kortfattade slutsatser (7) och referenser (8). I Kapitel 9, bilaga, visas tidigare resultat som redovisades i SMHI PM 2011-06-10 (revision 4).

2.1 Riktlinjer för dimensionering

En utmaning för alla som skall dimensionera för extrema havsnivåer är att det i dagsläget inte finns riktlinjer för dimensionerande havsnivåer vad gäller översvämningsrisker. Ett vanligt tillvägagångssätt hos många av de aktörer som SMHI kommit i kontakt med är att utgå ifrån en vattennivå med 100 års återkomsttid *eller* högsta uppmätta högvatten. Frågeställningen försvåras av en stigande havsnivå, eftersom skattningarna av hur mycket havet kan komma att stiga fram till 2100 är osäkra. Det är vanligt att olika aktörer löser detta genom att tillämpa någon form av extramarginal ovanpå de beräknade extrema vattennivåerna, ibland på mycket pragmatiskt vis.

För belastning på konstruktioner från vattnets tryck vid kortvariga extrema vattenstånd finns Boverkets konstruktionsregler (BKR-normen) som reglerar vilka vattenstånd som skall användas för dimensionering, dels för permanent last och dels för tillfällig last. För tillfällig last är det högsta uppmätta högvatten *eller* vattenståndet som har en 98 % sannolikhet att inte överskridas (vilket motsvarar 50 års återkomsttid) beroende på mätseriens längd.

2.2 Tidigare beräkningar

I SMHI Rapport 2008-18 användes resultaten från FN:s klimatpanels fjärde rapport (IPCC AR4) för att beräkna extrema havsnivåer med både kort och lång varaktighet i dagens klimat och för 2100. De högsta vattenstånden uppträder under en relativt kort tid och har betydelse för belastning på konstruktioner och för översvämning av stadsmiljö och i värsta fall att salt vatten tar sig in i Mälaren. Vid en hög nivå i Mälaren är det medelvattenståndet under flera dagar i sträck som är avgörande för Mälarens avbördningsförmåga (SMHI Rapport 2008-19). Dessa nivåer är alltså inte att jämföra med de kortvarigt höga vattenstånd som redovisas här (se vidare SMHI Rapport 2011-64). I kapitel 3.3, Figur 5, visas tre av de högsta uppmätta vattenstånden. Samtliga inträffade i samband med förhöjda medelvattennivåer, ca 40-60 cm över medelvatten.

Inför SMHI Rapport 2010-1 hade kunskapsläget uppdaterats. Extrema vattenstånd för 2100 beräknades både utifrån IPCC AR4 och från estimat från Holländska Deltakommittén (Tabell 1).

Under 2010 fortsatte SMHI sin uppdatering av kunskapsläget vilket ledde till en sammanvägd analys att +1 m global höjning av medelvattenytan var en rimlig högsta nivå. I samband med detta skrevs en promemoria till Stockholm stad med en beräkning baserad på de senaste resultaten och en jämförelse med tidigare resultat. PM:et innehöll också ett förtydligande av BKR-normen och en beräkning av återkomsttiden för högsta uppmätta vattenstånd i Stockholm.

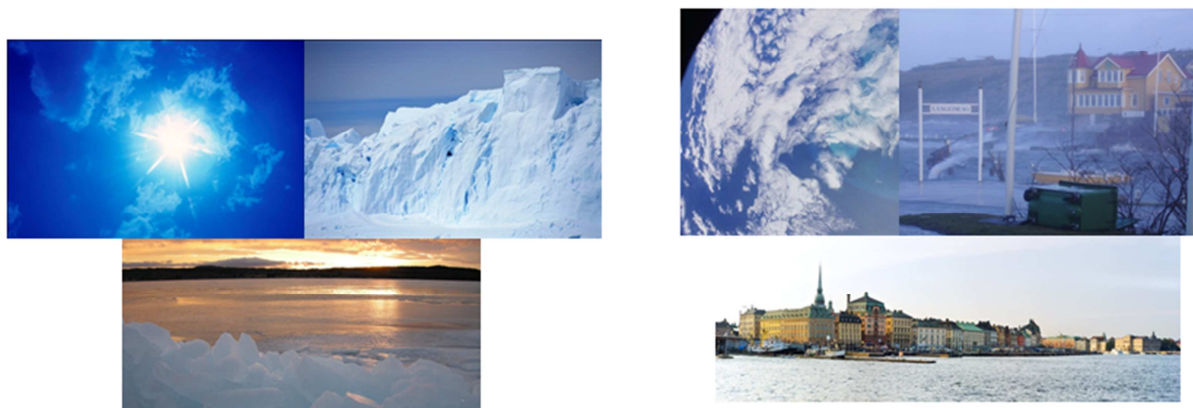
Under senare år har nya rön och bedömningar presenterats som rör framtidens klimat och utvecklingen av havets nivåer. Mer övergripande har SMHI som myndighet belyst frågan i utlåtandet till regeringen från Rummukainen m.fl. (2011). Där dras slutsatsen att ”Jämfört med genomgången av kunskapsläget i AR4 tyder nya resultat bland annat på att havsnivåhöjningen kan bli större vid slutet av detta sekel än vad som bedömdes 2007”.

Mer specifika och kundanpassade beslutsunderlag för fysisk planering och infrastruktur tillhandahålls av avdelningen Miljö och Säkerhet vid SMHI. I dessa underlag gör SMHI en tolkning av nuvarande kunskapsläge och forskningsresultat och översätter detta för att kunna besvara kundernas frågeställningar. Detta gäller exempelvis de klimatanalyser som levererats till flera länsstyrelser men även underlaget till Projekt Slussen. Här grundar sig SMHIs utlåtande på ett flertal internationella vetenskapliga sammanställningar och bedömningar, inklusive den holländska Deltakommitténs. Bedömningar från England, USA, Vietnam har vägts in liksom Norska bedömningar från Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap. Samtliga dessa källor anger att IPCCs slutsatser från 2007 troligen ligger för lågt.

SMHIs syn har formulerats i en klimatanalys till länsstyrelsen i Stockholms län enligt följande: ”Sammantaget pekar de internationella sammanställningar och bedömningar, som SMHI tagit del av, på att en övre gräns för hur mycket havsytans nivå kan komma att stiga är ungefär 1 m under perioden 1990-2100 sett som ett globalt medelvärde.” Denna siffra skall naturligtvis korrigeras för landhöjning och andra lokala effekter. SMHIs underlag ligger sedan som grund för de beslut som fattas av respektive kund där även andra faktorer vägs in som t. ex. risktagande, kostnader, objektets livslängd etc.

Det Arktiska rådets arbetsgrupps (AMAP) kunskaps-sammanställning anger nivåer som är högre än de som kommit från SMHIs övriga källor, men detta ändrar för närvarande inte SMHIs sammanfattande bedömning vad gäller stigande havsnivåer under det närmaste seklet. Vi arbetar kontinuerligt med att analysera nya forskningsresultat och internationella bedömningar för att successivt ta med dessa och förbättra våra beslutsunderlag.

3 Faktorer som påverkar vattenståndet



Figur 1. Vi skiljer på förändringar i havsvattenstånd som beror på globala och lokala faktorer. Förändringar i det globala vattenståndet sker över en längre tid och beror främst på uppvärmning/nerkylning och bidrag från smältande glaciärer. Kortvariga förändringar i vattenstånd och vattenståndsextremer sker som följd av vädret; lågtryck och kraftig pålandsvind ger höga vattenstånd. Bilderna till vänster visar sol och glaciärer, hav och havsis. Bilderna till höger visar en satellitbild över vädersystem, höga vattenstånd och vågor nära Göteborg under stormen Per och vattenstaden Stockholm. Samtliga bilder är hämtade från SMHIs bildarkiv eller Microsoft clipart.

Vattenståndet på en plats är effekten av många faktorer som verkar med olika kraft och variation över tiden. Exempelvis vindar, lufttryck, vattnets densitet, landhöjningen och världshavens vattenstånd (Figur 1).

Förändringar i det globala havsvattenståndet berör stora områden och sker under längre tid. Landhöjning och landsänkning är andra långsamma processer som är av mer regional karaktär. Effekterna av de långvariga processerna är kännbara först efter flera årtionden eftersom fenomenen på kort eller mellanlång sikt döljer de långsamma processerna.

Globalt sett är de viktigaste processerna den termiska expansionen (havets utvidgning vid uppvärmning) och bidrag från smältande glaciärer och de stora landisarna på Grönland och Antarktis (se Figur 1). Ändrade nederbördsförhållanden på dessa stora isar har också stor betydelse. Det finns också stora regionala och lokala skillnader som beror på ändrad salthalt, ändringar i det lokala vindklimatet, ändrade gravitationsfält när de stora isarna smälter samt även ändrade landhöjnings- och landsänkningsförhållanden när belastningen på jordskorpan förändras på grund av att trycket från de stora isarna minskar. Ännu kvarstår en hel del frågetecken rörande framtidens havsnivåer.

De förändringar i havsvattenståndet som vi upplever i vår vardag sker under månader eller dygn, och beror på storskaliga och lokala väderfenomen. Förhållanden som ger kortvariga höga vattenstånd är till exempel kraftiga lågtryck och kraftig vind mot kusten som ger vindstuvning in mot land (Figur 1, högra bilden). Medelvattenståndet är också en viktig faktor för hur hög vattennivå som uppnås vid varje tillfälle med extrema nivåer eftersom det bestämmer vattenståndets utgångsläge. Medelvattenståndet i Östersjön beror på om de rådande vindarna ger inflöde eller utflöde till Östersjön. Ett exempel på en period med höga medelvattenstånd är vintern 2006-2007 då ihållande västvindar ledde till mycket högre vattenstånd än normalt i Östersjön.

3.1 Havsvattenståndsförändring till följd av global uppvärmning

I början av 1990-talet skickades flera satelliter upp vars syfte var att mäta jordytan med stor precision. Dessa mätningar visar att havsytan globalt i medeltal stigit drygt 3 mm/år under perioden 1991-2003. Detta syns även i svenska mätserier. Det finns samtidigt områden som stigit mer, eller mindre, bland annat beroende på variationer i temperatur.

Frågan om framtidens havsnivåer har blivit alltmer aktuell under de år som gått sedan IPCC presenterade sin fjärde Assessment Report (AR4) i januari 2007 (IPCC, 2007) och som utgick från den då tillgängliga klimatforskningen. AR4 angav 18-59 cm som ett intervall för höjningen av havsnivån, med regionala variationer. Sedan dess har flera vetenskapliga artiklar publicerats som betonar risken för att isavsmältningen kan komma att ske snabbare och att världshavet kan komma att stiga mer än vad som tidigare antagits.

Nyare uppgifter från den internationella forskningen presenteras i Tabell 1. Den är baserad på de uppgifter som nått SMHI hittills och gör inte anspråk på att vara fullständig. Observera att siffrorna inte är helt jämförbara eftersom de utgår från olika referensperioder. Därför har den aktuella referensperioden angivits i tabellen.

Tabell 1. Sammanställning av internationella utredningar avseende stigande havsnivå.

Datum	Källa	Referensperiod	Höjning till ungefär år 2100 (cm)
Januari 2007	IPCC	1980-1999	18-59 (exkl. isdynamik)
Hösten 2008	Deltacommissie (Holland)	1990	55-120
April 2009	Rummukainen och Källén	2009	"det kan röra sig om en meter under de närmaste 100 åren"
Juni 2009	Ministry of Natural Resources and Environment, Vietnam	1980-1999	75 (65-100)
Juni 2009	UK Climate Projections science report (Lowe et al.)	1980-1999	11,6 – 75,8 cm runt Storbritannien och Irland (5-95 percentil baserad på låga till höga utsläpp).
September 2009	Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap I Norge	2000-2100	80
November 2009	Copenhagen diagnosis	1980-1999	"at least twice as much as projected by Working Group1 of the IPCC AR4" "it may well exceed 1 m"
November 2009	NOAA	"by the end of this century"	3 – 4 fot (90-120 cm)
November 2009	Netherlands Environmental Assessment Agency PBL m.fl.	1990-2100	55 -110 (40 -105 lokalt för Holland)
Februari 2010	Australian Department of Climate Change	1990-2100	110

Senare bedömningar av havets framtida nivåer skiljer sig från IPCCs siffror från 2007. En del av skillnaden är dock skenbar och kan till en del bero på att uppgifterna presenteras på ett annat sätt i AR4 än i IPCCs tredje Assessment Report (TAR) från 2001. IPCC tolkas också ibland alltför bokstavligt utan att man tar hänsyn till att IPCC – som det uttryckligen skrivs i sammanfattningen för beslutsfattare – inte medräknat effekterna av isflöden från inlandsisarna till havet, så kallade dynamiska effekter (Naturvårdsverket, 2007, sid. 33).

Ytterligare en orsak är att de olika källorna använder sannolikhetsnivåer som ofta skiljer sig åt. Jämförelsen mellan IPCC AR4 och den holländska Deltakommitténs bedömningar diskuteras ingående av Vellinga m.fl. (2008) i ett underlagsdokument till Deltakommittén. Man betonar att det holländska arbetet fokuserar på den övre gränsen av tänkbara utvecklingar genom att använda A1F1-scenariet för

framtida utsläpp. En stor skillnad ligger också i bedömningen av hur isarna på Antarktis och Grönland kommer att utvecklas. IPCCs högsta siffra (59 cm) och det högsta värdet från *UK Climate Projections science report* (75,8 cm) har gemensamt att de representerar 95-percentilen, vilket i detta sammanhang alltså inte kan ses som en övre gräns.

I Köpenhamns klimatanpassningsplan som kom ut på hearing i februari 2011 anges också en medelvattenhöjning på strax under 1 m som sannolik fram till 2100.

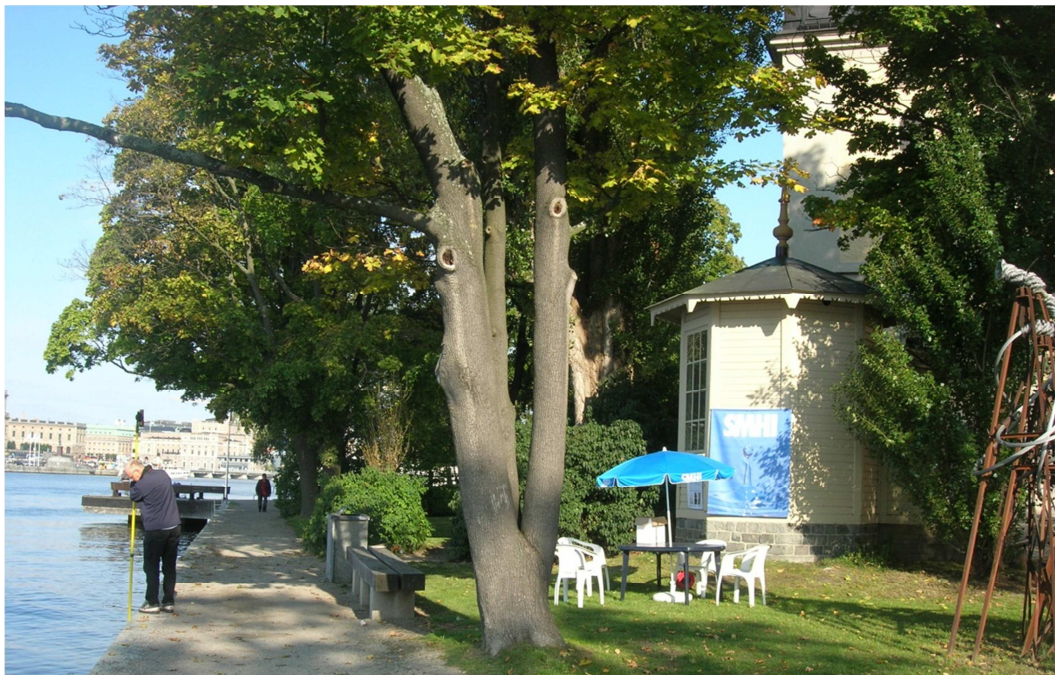
Det är slutligen viktigt att notera att de flesta uppskattningar som förekommer rörande framtida havsnivåer bygger på något eller några av IPCCs utsläppsscenarier. Det innebär att effekterna av eventuella utsläpps begränsningar till följd av internationella avtal inte medräknats. Om man lyckas genomföra utsläpps begränsningar så minskar stigningstakten, men den upphör inte helt på grund av klimatsystemets stora tröghet.

Sammantaget pekar de internationella sammanställningar och bedömningar, som SMHI tagit del av, att ett rimligt antagande av en övre gräns för hur mycket havsytan kan komma att stiga är ungefär 1 m under perioden 1990-2100, sett som ett globalt medelvärde. Utifrån detta värde och antaganden över lokala effekter, gällande att stormfrekvensen inte kommer att förändras väsentligt jämfört med det historiska klimatet, har framtida medelnivåer och extremnivåer beräknats för Stockholm. På grund av de osäkerheter som råder bör dock denna fråga följas noggrant i framtiden.

3.1.1 Havshöjning i Stockholm och Sverige

Mätningar av havsvattenstånd startade i Stockholm redan 1776 vilket gör den till en av världens längsta vattenståndsserier. Timvis registrering av vattenståndet startade 1886 på Skeppsholmen i Stockholm. Figur 2 visar pegeln under en pågående kontrollmätning.

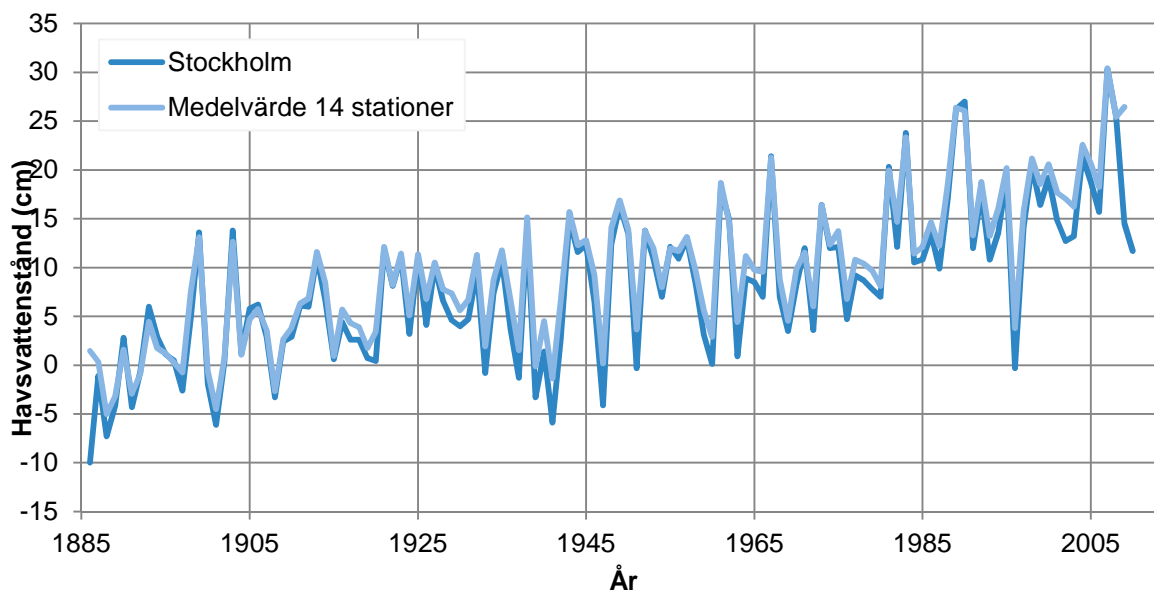
Vid eller nära många av SMHIs havspeglar finns GPS-stationer för mätning av absolut landhöjning, bland annat i Stockholm. Samlokalisering av mätstationerna gör att såväl den globala havsnivåhöjningen som den lokala landhöjningen kan följas med stor noggrannhet.



Figur 2. SMHIs havspegel (mareograf) på Skeppsholmen. Till vänster i bild pågår en kontrollavvägning av vattenståndet mot stationens fixar vid pegeln. Foto: Thomas Hammarklint, SMHI.

Analyser av långa tidsserier av havsvattenstånd visar att havet stigit i Stockholm och i Sverige. Figur 3 visar årsmedelvärdet av havsvattenstånd i Stockholm och på 14 stationer i Sverige 1886-2010. I figuren är effekten från landhöjningen borttagen, och man kan dels se att medelvärdet varje enskilt år varierar, samtidigt som även en stigande trend är väl synlig. En dataanalys visar att höjningen i Sverige varit ungefär 1,5 mm/år i denna period (Hammarklint, 2011). Sedan 1980 har den varit ungefär 3 mm/år. Satellitobservationer visar på en global höjning av vattenståndet på ca 3 mm/år från 1993-2005, och en något lägre höjning efter 2005 på 2,5 mm/år.

Höjning av havsvattenståndet 1886 - 2010



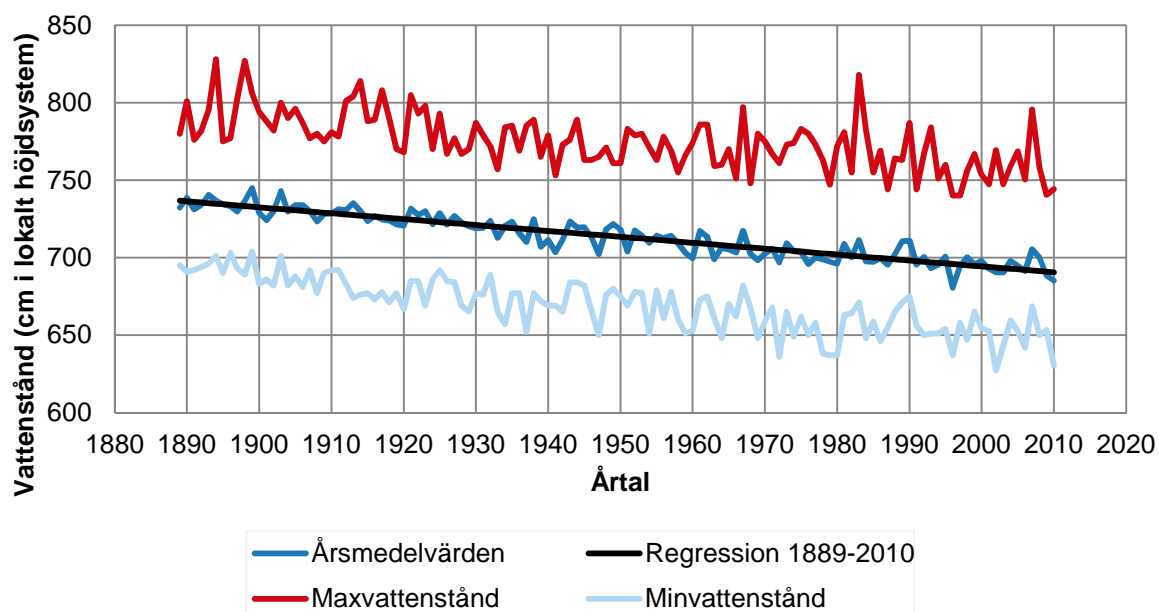
Figur 3. Havsvattenstånd (årsmedelvärde) från Stockholm och Sverige 1886-2010 när landhöjningen är borttagen. Det är en stor variation mellan åren, men även en tydlig stigande trend.

3.2 Landhöjning

I Sverige pågår en landhöjning som är störst i norra Sverige och avtar successivt söderut. I dagligt tal förväxlas ofta landhöjningen med den synbara landhöjningen som är relationen mellan havets höjning och landets höjning/sänkning. I och med den kraftiga landhöjningen i norra Sverige tar det längre tid där innan effekterna av den globala vattenståndsökningen märks. I områden där landhöjningen är liten höjs vattenståndet relativt land (en synbar landsänkning).

I Stockholm är landhöjningen 5,2 mm/år. Då värdet är högre än havens stigningstakt idag har vi nu en synbar landhöjning i Stockholm. Figur 4 visar årets medelvattenstånd och årets högsta och lägsta vattenstånd i ett lokalt fast höjdsystem för Stockholm 1889-2010. I kurvan för årsmedelvärdet ser man den synbara landhöjningen genom att årsmedelvärdet sjunker. Den synbara landhöjningen kommer att fortsätta till dess att medelvattenståndets höjningstakt överskrider landhöjningen.

Havsvattenstånd Stockholm-Skeppsholmen 1889 - 2010



Figur 4. Vattenståndet i Stockholm är kombinationen av landhöjning, havshöjning och variationer som beror på väderförhållanden. Den mörkblå linjen visar Stockholms medelvattenstånd, och trendlinjen visar tydligt att landhöjningens bidrag är större än havshöjningen från 1889 till idag. Den röda och ljusblå linjen visar årets högsta respektive lägsta vattenstånd, vilka har stora år- till år-variationer.

3.2.1 Årets beräknade medelvattenstånd och Rikets Höjdsystem

Vattenståndet mäts i ett lokalt höjdsystem som är specifikt för varje mätstation. Figur 4 visar årsmedelvärdet och årets högsta och lägsta vattenstånd i det lokala höjdsystemet som gäller för Stockholm-Skeppsholmen. SMHI redovisar sedan havsvattenstånd relativt den beräknade medelvattenytan som bestäms genom regression av många års årsmedelvärden. Årets beräknade medelvattenstånd är per definition alltid 0, och det värde som trendlinjen har i det lokala höjdsystemet är det värde som dras bort från de uppmätta värdena¹. Det krävs mer än 30 års värden för att någorlunda väl kunna bestämma lutningen på trendlinjer.

Svårigheten med det beräknade medelvattenståndet är att det förändrar sin relation till land. Fördelen är att effekten av den synbara landhöjningen tas bort så att alla mätdata blir jämförbara. Detta gör att statistiken över extrema vattenstånd är ändamålsenlig för dagens förhållanden trots att den beräknats med 150 år gamla data.

För att kunna beskriva havets relation till land används fasta höjdsystem. Alla konstruktioner eller platser på land har samma förhållande eller höjd relativt referensnivån men medelvattenytans förhållande till referensytan och därmed till fasta konstruktioner på land kan förändras på grund av land- och havshöjning. Höjdsystemen som används av Sveriges kommuner idag är RH00, RH70 och RH2000. Dessa tre har tagits fram genom lantmätning och referensnivån (0-nivån) bestämdes 1900, 1970 och 2000 för de tre systemen. Nollnivån i Rikets höjdsystem 2000 (RH2000) definieras av Normaals Amsterdams Peil (NAP), vilket är en punkt i Amsterdam som används som 0-punkt även i andra europeiska länder. Som nollnivå i RH00 valdes medelvattenytan i Stockholm år 1900, representerad av en markerad punkt på Riddarholmen i centrala Stockholm.

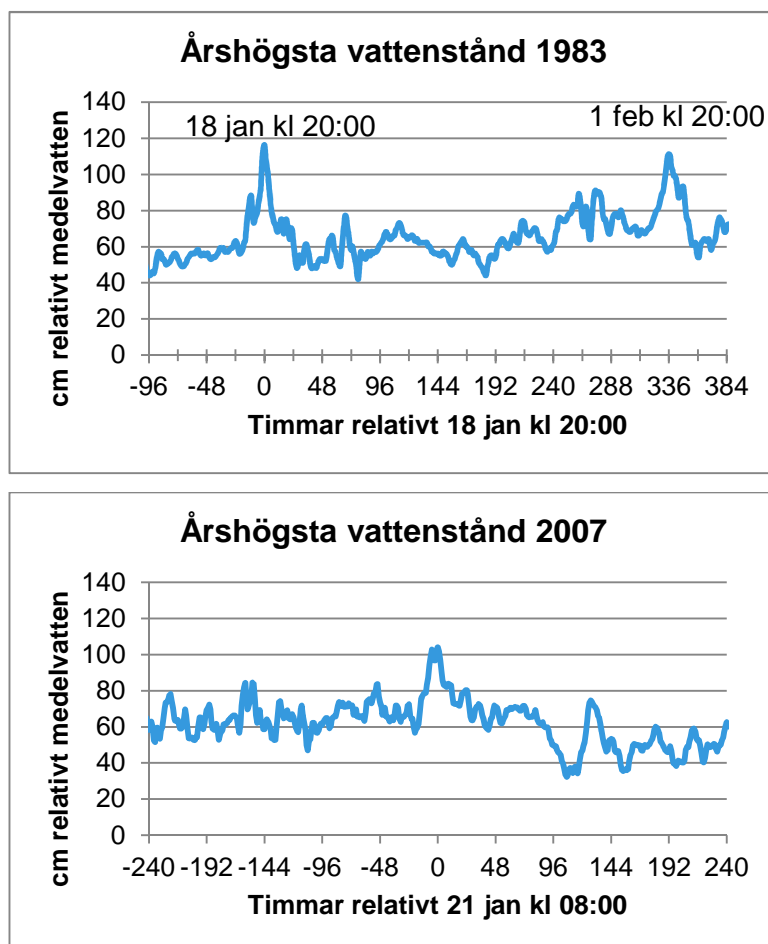
¹ T ex är det beräknade medelvattenståndet i Stockholm 2010 690,6 cm i det lokala höjdsystemet (Figur 3). Högsta högvatten 2010 var 744,3 cm i det lokala höjdsystemet, och 53,7 cm relativt medelvatten.

Årets medelvattenstånd i Stockholm 2011 är -40 cm i RH00, -4 cm i RH70 och 12 cm i RH2000 (Tabell 3). Också denna relation förändras med tiden på grund av den synbara landhöjningen: 1990 års medelvattenstånd enligt den regressionslinje som vi har idag är -32 cm i RH00, 4 cm i RH70 och 20 cm i RH2000. Detta beror på att den synbara landhöjningen, 0,38 cm per år, leder till att havet sjunkit relativt land (Figur 4).

Med stigande havsnivåer kommer inte den synbara landhöjningen att fortsätta som idag, utan havshöjningen eskalerar. Det är av stor betydelse att både förstå de fysiska processerna och hur man beskriver detta gentemot fasta punkter och höjdsystem på land.

3.3 Kortvariga vattenståndsvariationer

Figur 5 visar de tre högsta uppmätta vattenstånden i Stockholm relativt årets beräknade medelvattenstånd sedan 1886. Två av dessa inträffade i januari och februari 1983 och det tredje högsta i januari 2007. Gemensamt för alla tre är att vattenståndet innan extremvärdet är mycket högt, upp mot 60 cm. Vintern 2006-2007 är ett klassiskt exempel på betydelsen av förhöjde medelvattennivåer. Ihållande västvindar ledde till mycket högre vattenstånd än normalt i Östersjön och flera extrema vattenstånd uppmättes då i hela Östersjön. I figurerna kan man se att själva svängningen från utgångsläget inte är mer än ca 60 cm. Det är alltså kombinationen av något som sker under längre tid som höjer medelvattenståndet och en extrem händelse som ger de riktigt höga vattenstånden.



Figur 5. De tre högsta uppmätta vattenstånden i Stockholm, 117, 111 och 104 cm över medelvatten. Vattenståndsextremerna har relativt kort varaktighet, de högsta nivåerna förekommer under ca 6-12 timmar. Hela förloppet från utgångsläget och tillbaka till samma nivå tar ungefär 48 timmar i de tre fall som visas här.

3.3.1 Vindpåslag

Två ytterligare faktorer kan höja vattennivån lokalt, vinduppstuvning och vindvågor. Summan av dessa kallas för vindpåslag i ”PM Karaktäristiska vattenstånd för Slussen”.

Utöver den höjningen som sker på grund av vindskjuvning mot land kan också vinduppstuvning förekomma lokalt i vikar och sund. 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 ”stuvnas” upp i de inre vindutsatta delarna av viken. Med hjälp av formler kan uppstuvningseffekten i ett aktuellt vattenområde beräknas för en viss vindhastighet. I breda vikar kan vattnet ofta ta sig ut längs en av sidorna och här är inte heller fenomenet så vanligt förekommande.

Vindvågor kan också leda till förhöjda nivåer. SMHI har gjort en bedömning av våghöjderna en bit utanför slusskanalerna på Saltsjö- och Mälarsidan med fyra olika empiriska metoder. Med signifikant våghöjd menas medelvärde av de 33 % högsta våghöjderna. Metoderna som använts tar inte hänsyn till reflektion från kajer mm som lokalt skapar ytterligare förhöjda vågor.

4 Metodik

4.1 Medelvattenytans höjning

Då vattenståndshöjningen beskrivs relativt 1990 är alla framtida nivåer beräknade utifrån 1990. Ekvationen nedan visar hur medelvattenytan 2100 beräknats. Nivåerna beräknas för varje höjdsystem separat.

$$MW_{2100} = MW_{1990} + SLR_{1990-2100} - LH_{1990-2100}$$

MW är medelvattenstånd, SLR är Sea Level Rise och LH är landhöjningen.

4.2 Extrema vattenstånd

För beräkningen av extrema vattenstånd i dagens klimat har statistiska återkomsttider beräknats från årshögsta vattenstånd med hjälp av data från Stockholm-Skeppsholmen. För beräkningen av extrema vattenstånd i framtiden adderas medelvattenytans höjning innan den statistiska beräkningen görs för framtidens klimat. Metodiken bygger på ett antagande om att fördelningen av extrema vattenstånd är densamma som idag och att hela höjningen av vattenståndet beror på medelvattenytans höjning. De senaste forskningsresultaten från Rossby Centre/ENSEMBLES-projektet visar ingen tendens att stormar varken blir vanligare eller mer ovanliga och stödjer därmed denna ståndpunkt.

4.2.1 Sannolikhet och risk

Som mått på översvämningsrisker används ofta begreppet återkomsttid, vilket betecknar den genomsnittliga tiden mellan två översvämnningar av samma omfattning. I själva verket uttrycker begreppet en procentuell sannolikhet för att en händelse inträffar varje enskilt år. 100 års återkomsttid är egentligen en förenklad beskrivning av ett vattenstånd som har 1 % sannolikhet att inträffa varje enskilt år. 50 års återkomsttid motsvarar en sannolikhet på 1/50 eller 2 % varje enskilt år. Begreppet återkomsttid ger därför en falsk känsla av säkerhet, eftersom det anger sannolikheten för ett enda år och inte den sammanlagda sannolikheten för en period av flera år. Tabell 2 visar den sammanlagda sannolikheten för att ett vattenstånd med en viss återkomsttid skall överskridas under en längre tidsperiod. Ett vattenstånd med återkomsttiden 100 år har t.ex. 5 % sannolikhet att inträffa under 5 år, 39 % sannolikhet att inträffa under en 50-årsperiod och en sannolikhet på 63 % att inträffa under en 100 årsperiod.

Beräknade nivåer med återkomsttider på flera hundra år innehåller stora osäkerheter, men är det bästa som kan göras med statistisk extremvärdesanalys. I Flödeskommitténs ”Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar” anges tumregeln att den beräknade återkomsttiden inte

bör vara mer än dubbelt så lång som den underliggande tidsserien. Om återkomsttider långt utöver detta beräknas blir osäkerheten i beräkningen mycket stor. Normalt finns färre än 100 års observationer att utgå ifrån. För Stockholm finns drygt 120 års data och därför kan vattenstånd med mer än 200 års återkomsttid beräknas.

Tabell 2. Sannolikheten för ett visst vattenstånd uttryckt i procent under en period av år.

Återkomst-tid (år)	Sannolikhet under 5 år (%)	Sannolikhet under 10 år (%)	Sannolikhet under 20 år (%)	Sannolikhet under 50 år (%)	Sannolikhet under 100 år (%)
5	67	89	99	100	100
10	41	65	88	99	100
20	23	40	64	92	99
50	10	18	33	64	87
100	5	10	18	39	63

4.3 Metodik i tidigare arbeten

Tillvägagångssättet för hur framtidens extrema vattenstånd tagits fram har varierat beroende på tid, ort och syfte. Strax efter IPCC AR4 användes data från modellsimuleringar av Östersjöns havsvattenstånd.

Rosby Centre, SMHIs enhet för klimatforskning, har använt två utsläppsscenarioer (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 tidperioderna. 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.

Det högsta scenariot i tidigare beräkningar var simuleringen med drivning från globala modellen ECHAM4 och utsläppsscenarioet ”A2”. Denna innehöll en kraftig tendens till ökade västvindar, vilket senare modellversioner inte gör. Av denna anledning har SMHI nu lämnat Echam-A2-scenariet.

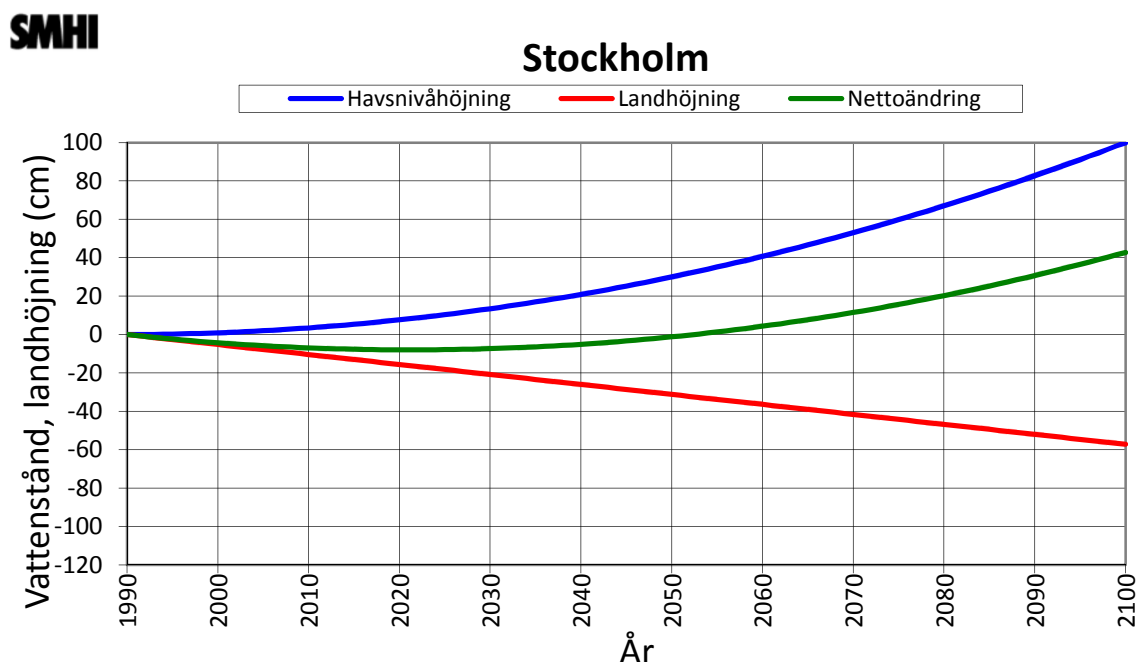
Den andra globala modellen, HadAM3H, ger inte denna västvindsdominans, och därför är underlag från denna i kombination med A2 scenariot bättre lämpad för klimatberäkningar utifrån den kunskap som finns idag. I områden där det saknas data, eller när man vill studera förändringar i vattenstånd i ett större geografiskt område är modelldata det bäst lämpade, och därför användes modelldata i klimatanalysen som gjordes på uppdrag av Stockholms län (SMHI Rapport 2010-78).

Scenarier för global havshöjning har också varierat. IPCCs huvudsakliga resultat innehöll inte ett tilläggsbidrag för regionala variationer, och i de rapporter där IPCC-resultat använts valde vi att ta med ytterligare ett bidrag från regional variation. Den totala höjningen i det så kallade IPCC högt scenario var 59+20 cm, d v s ca 0.8 m. I det nuvarande estimatet om +1 m är regionala effekter beaktade, särskilt eftersom bedömningen bygger på många estimat från Nordsjöländerna.

På senare tid är vår bedömning att den metod som är att föredra är att utnyttja mätdata där det finns tillräckligt långa tidsserier. Skillnader mellan resultat som bygger direkt på mätdata och resultat som bygger på modelldata kan bero på modellens statistiska klimat som skiljer sig något från det uppmätta klimatet. Det kan också bero på val av referensyta och att det modellerade klimatet ändrar sig från referensklimatet till slutet på seklet. Efterhand som mer data kommer in kan också små skillnader uppträda i extremvärdesanalys gjort med några års intervall.

5 Resultat

5.1 Medelvattenstånd 1990-2100



Figur 6. Medelvattenståndets utveckling (grön linje) vid Stockholm förutsatt en global havshöjning på 1 m 1990-2100 (blå linje) varav 30 cm av höjningen sker 1990-2050. Landhöjningen visas som en röd linje och kompenserar för havshöjningen fram till 2050 då havet stiger över den nivå som var 1990.

Figur 6 visar medelvattenytans utveckling 1990-2100 förutsatt att den globala havshöjningen är +30 cm fram till 2050 och +1 m fram till 2100. För Stockholms del blir det ingen nettohöjning jämfört med 1990 före 2050, men jämfört med 2011 höjs faktisk medelvattenytan något fram till 2050.

Tabell 3 visar medelvattenytans läge i Rikets Höjdsystem 1990, 2011 och 2100. Den förväntade höjningen av medelvattenståndet i Stockholm är ca 40 cm från 1990 till 2100. Hur den höjda medelvattenytan påverkar tappningsmöjligheterna för Mälaren framgår av SMHI Rapport 2011-64. Extrema vattenstånd kommer också att höjas motsvarande relativt land än vad de gör för samma väderleksförhållanden idag.

Den höjningen som beskrivs här kan innebära att det år 2050 är 5-10 cm högre vattennivåer i Stockholm än idag. Då osäkerheten i klimatscenarierna är relativt stor och detta är en mindre skillnad än konfidensintervallet för extrema vattenstånd enligt BKR (Tabell 4) ser SMHI inga skäl att göra mer noggranna beräkningar för 2050.

Tabell 3. Medelvattenytan i RH00, RH70 och RH2000 idag, 1990 (referensåret) och 2100 förutsatt +1 m global höjning av vattenståndet.

	MW i RH00	MW i RH70	MW i RH2000
1990	-32 cm	4 cm	20 cm
2011	-40 cm	-4 cm	12 cm
2100	11 cm	47 cm	63 cm

5.1.1 Fortsatt havshöjning efter 2100

Havshöjningen kommer inte att upphöra år 2100. De riktmärken som anges är att havets höjning år 2200 kan bli 2-4 meter högre än 1990 (Deltacommissie). Förutsatt en linjär höjning innebär det 10-30 cm ytterligare höjning på 10 år i tiden från 2100 till 2110. För Stockholms del reduceras även denna

höjning av landhöjningen, vilket innebär att medelvattenytans höjning lokalt blir 5-25 cm, beroende på stigningstakt. Utifrån samma resonemang som ovan är resultaten för 2100 användbara för 2110. SMHI vill dock betona att det faktum att havshöjningen inte slutar 2100 utgör skäl för att inte använda för snäva säkerhetsmarginaler. Antagandet om oförändrat stormklimat förändras inte heller på 10 års sikt.

5.2 Extrema vattenstånd 1990-2100

Tabell 4 och Tabell 5 visar statistiskt beräknade nivåer för återkomsttiderna 50 och 100 år. Det motsvarar 2 % respektive 1% sannolikhet att nivån överskrider varje enskilt år. För 2011 är vattenståndet med 100 års återkomsttid 65 cm i RH00. Det högsta uppmätta vattenståndet, 117 cm relativt medelvatten eller 77 cm i RH00 motsvarar ungefärlig en återkomsttid på 300 år (Tabell 6). Observera att osäkerheten är stor när återkomsttiden blir mycket längre än dataunderlaget vilket indikeras av det stora konfidensintervallet för 300 års återkomsttid.

Tabell 4. Höga vattenstånd med 50 års återkomsttid, d v s BKR:s norm för tillfälligt vattentryck, i Rikets Höjdsystem. Intervallerna visar 90 % konfidensintervallet, och värdet 2100 bygger på +1 m global höjning och reduktion för landhöjning.

Vst med 50 års återkomsttid	RH00	RH70	RH2000
2011	58 cm 50-73	93 cm 86-109	110 cm 102-125
2100	108 cm 101-124	144 cm 137-160	161 cm 153-176

Tabell 5. Höga vattenstånd med 100 års återkomsttid. Intervallerna visar 90 % konfidensintervallet, och värdet 2100 bygger på +1 m global höjning och reduktion för landhöjning.

Vst med 100 års återkomsttid	RH00	RH70	RH2000
2011	65 cm 55-85	101 cm 91-121	117 cm 107-138
2100	115 cm 106-136	151 cm 142-172	168 cm 158-188

Tabell 6. Höga vattenstånd med 300 års återkomsttid. Intervallerna visar 90 % konfidensintervallet, och värdet 2100 bygger på +1 m global höjning och reduktion för landhöjning.

Vst med 300 års återkomsttid	RH00	RH70	RH2000
2011	77 cm 62-106	113 cm 98-142	130 cm 114-158
2100	127 cm 113-157	163 cm 149-193	179 cm 165-209

5.2.1 Vindpåslag

En bedömning av vinduppstuvningseffekter i Stockholm gjordes i SMHI Rapport 2008-18. Då bottendjupet är relativt stort från Saltsjön och ut mot öppna havet bedöms uppstuvningseffekten i detta fall vara obetydlig.

Beräkningen av våghöjder gav följande resultat på Saltsjösidan: Vid varaktig ostlig kuling 15 m/s blir den signifikanta våghöjden, H_s , 0.4 m (resultaten spänner mellan 0.32 - 0.43 m). Dessa vågor är inte begränsade av djupet, vilket innebär att vågorna är oberoende av havsvattenstånd (dvs. vågorna kommer att vara lika höga 2110 som 2010, för nämnda vindriktning och vindstyrka)

Det totala bidraget från vindeffekter lokalt, d v s vindpåslaget, är alltså 0.4 m.

6 Diskussion

Som nämnt inledningsvis finns det inte än några riktlinjer för vad som är en dimensionerande nivå vad gäller översvämning från havet, även om signaler från Länsstyrelserna tyder på att det i när framtid kan komma att finnas bättre rekommendationer. Bristen på en definition på vad som är dimensionerande nivå för olika konstruktioner försvåras också av att det inte idag finns någon metod som kan ersätta extremvärdesanalys för att räkna ut återkomsttider. Eftersom våra mätserier inte är tillräckligt långa för att beräkna långa återkomsttider på de flesta orter är detta ett bekymmer. För Stockholms del är högsta uppmätta vattenstånd, 117 cm relativt medelvatten, en nivå som har 300 års återkomsttid, och mätserien är tillnärmelsevis så lång att vi kan säga detta med viss säkerhet. Detta är också ett gott exempel på att en nivå med en relativt lång återkomsttid faktiskt förekommer. Samtidigt har extrema vattenstånd en mycket kort varaktighet vilket innebär att belastningen från höga havsvattenstånd inte heller har någon lång varaktighet.

Dimensionerande nivå i framtidens klimat är en än svårare uppgift, eftersom framtidens höjning är en ytterligare osäker faktor. Samtidigt är havshöjningen en långsam förändring och vi kommer få klara indikationer på om våra prognoser idag är för höga, för låga eller exakt rätt undervägs. Kostnad och risk vägs mot varandra i all samhällsplanering och vissa av anpassningsåtgärderna som utförs för att skydda oss mot stigande hav lämpar sig väl för successiv anpassning.

7 Slutsatser

SMHI har beräknat medel och extrema vattenstånd för Stockholm 2011 och 2100 utifrån en global höjning på +1 m mellan 1990 och 2100. Medelvattenytans höjning blir drygt 50 cm högre än idag fram till 2100 enligt detta. Med denna höjningstakt kan det år 2050 förväntas 5-10 cm högre medelvattenstånd i Stockholm än idag. Då osäkerheten i klimatscenerierna är relativt stor och detta är en mindre skillnad än konfidensintervallet för extrema vattenstånd enligt BKR (Tabell 4) ser SMHI inga skäl att göra mer noggranna beräkningar för 2050.

Havshöjningen upphör inte år 2100. De riktmärken som anges är att havets höjning år 2200 kan bli 2-4 meter högre än 1990 (Deltacommissie). Förutsatt en linjär höjning innebär det 10-30 cm ytterligare höjning på 10 år i tiden från 2100 till 2110. För Stockholms del reduceras även denna höjning av landhöjningen, vilket innebär att medelvattenytans höjning lokalt blir 5-25 cm, beroende på stigningstakt. Höjningen har samma storleksordning som konfidensintervallet för extrema vattenstånd enligt BKR, och resultaten för 2100 är därför användbara också för 2110. SMHI vill dock betona att det faktum att havshöjningen inte slutar 2100 utgör skäl för att inte använda för snäva säkerhetsmarginaler. Antagandet om oförändrat stormklimat förändras inte heller på 10 års sikt.

2100 beräknas vattenstånd med 50 års återkomsttid, d v s den norm som gäller för att dimensionera efter laster från tillfälligt vattentryck, uppgå till 1.1 m i RH00. Vattenståndet med 100 års återkomsttid är 1.15 m år 2100. Det högsta uppmätta vattenståndet idag, 77 cm i RH00 är 12 cm högre än det beräknade vattenståndet med 100 års återkomsttid. 77 cm motsvarar en återkomsttid på 300 år.

Ett ytterligare vindpåslag på 0.4 m måste beaktas för översvämningar, dock ej för laster.

8 Referenser

- Andréasson, J. och Gardelin, M., 2008. *Dimensioneringsberäkning för Mälaren – delrapport inom projekt Slussen*. SMHI Rapport Nr 2008-19.
- Andréasson, J. och Gustavsson, H. (2010) *Förslag på Mälarens framtida reglering – Slutrapport fas 3*. SMHI-rapport nr. 2010-16.
- Andréasson, J. och Gustavsson, H. (2011) *Projekt Slussen - Förslag till ny reglering av Mälaren* SMHI-rapport 2011-64 (obs remissversion).
- Cazenave, A., et al., Sea level budget over 2003-2008: A reevaluation from GRACE space gravimetry, satellite altimetry and Argo. *Glob. Planet. Change* (2009), doi: 10.1016/j.gloplacha.2008.10.004.
- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), Australien. Sea Level Rise: Understanding the past – Improving projections for the future. <http://www.cmar.csiro.au/sealevel/>
- Copenhagen Diagnosis (2009) *Updating the World on the Latest Climate Science*. I. Allison, N.L. Bindoff, R.A. Bindshadler, P.M. Cox, N. de Noblet, M.H. England, J.E. Francis, N. Gruber, A.M. Haywood, D.J. Karoly, G. Kaser, C. Le Quéré, T.M. Lenton, M.E. Mann, B.I. McNeil, A.J. Pitman, S. Rahmstorf, E. Rignot, H.J. Schellnhuber, S.H. Schneider, S.C. Sherwood, R.C.J. Somerville, K. Steffen, E.J. Steig, M. Visbeck, A.J. Weaver. The University of New South Wales Climate Change Research Centre (CCRC), Sydney, Australia, 60pp.
- Deltacommissie (2008) *Working together with water - A living land builds for its future. Findings of the Deltacommissie 2008*. www.deltacommissie.com/doc/summary.pdf.
- Granberg, M. (2011) *PM Karaktäristiska vattenstånd för Slussen*. Teknisk rapport, Stockholm stad 2011-07-14.
- IPCC (2007) *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, 996 pp.
- Lindberg, A.E.B. och S. Åström (2010). *Havsvattenståndsberäkningar* Stockholm stad. SMHI Rapport Nr. 2010-1.
- Lowe, J. A., Howard, T. P., Pardaens, A., Tinker, J., Holt, J., Wakelin, S., Milne, G., Leake, J., Wolf, J., Horsburgh, K., Reeder, T., Jenkins, G., Ridley, J., Dye, S., Bradley, S. (2009) *UK Climate Projections science report: Marine and coastal projections*. Met Office Hadley Centre, Exeter, UK. http://ukclimateprojections.defra.gov.uk/images/stories/marine_pdfs/UKP09_Marine_report.pdf
- Ministry of Natural Resources and Environment (2009) *Climate Change, Sea Level Rise Scenarios for Vietnam*. Report from the Ministry of Natural Resources and Environment of Vietnam, Hanoi.
- Nakićenović, N., and R. Swart (eds.) (2000) *Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 599 pp.
- Naturvårdsverket (2007) *FNs klimatpanel 2007: Den naturvetenskapliga grunden. Sammanfattning för beslutsfattare*. Rapport 5677, Stockholm.
- Nerheim, S. och Wern, L. (2008) *Havsvattenstånd i Saltsjön – nu och i framtiden*. SMHI Rapport Nr 2008-18.
- Nerheim, S. (2011) *Vattenståndsstatistik Stockholm – revision 4* 2011-06-10. PM till Projekt Slussen.
- Netherlands Environmental Assessment Agency, Royal Netherlands Meteorological Institute and Wageningen University and Research Centre (2009) *News in Climate Science and Exploring Boundaries - A Policy brief on developments since the IPCC AR4 report in 2007*. Netherlands
- Nr. 2011-62 SMHI - Havsnivåer i Stockholm 2011-2110: En sammanställning

Environmental Assessment Agency (PBL), Bilthoven, November 2009 PBL publication number 500114013.

NOAA (2009) *NOAA Response to Congressional Questions Regarding Climate Change*. The Honorable Joe Barton and the Honorable Fred Upton. Questions for the Record from the March 25, 2009 Hearing on Climate Adaptation. Response Updated November 2009 to Include Additional Graphic (www.noaa.gov/images/climate_cooling_testimony111909.pdf).

Nikulin, G., Kjellström, E., Hansson, U., Strandberg, G. and Ullerstig, A. (2010) *Evaluation and future projections of temperature, precipitation and wind extremes over Europe in an ensemble of regional climate simulations*. Tellus A, no. doi: 10.1111/j.1600-0870.2010.00466.x.

Rummukainen, M., D. J. A. Johansson, C. Azar, J. Langner, R. Döscher, H. Smith (2011). Uppdatering av den vetenskapliga grunden för klimatarbetet. En översyn av naturvetenskapliga aspekter. SMHI Klimatologi Nr. 4, ISSN: 1654-2258.

http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.17826!RAPPORT_klimatologi%20nr%204.pdf

SOU (2007a). *Sverige inför klimatförändringarna – hot och möjligheter. Slutbetänkande av Klimat- och sårbarhetsutredningen*. SOU 2007:60, Stockholm.

SOU (2007b) *Översiktlig sårbarhetsanalys för översvämning, skred, ras och erosion i bebyggd miljö i ett framtida klimat*. Klimat- och sårbarhetsutredningen SOU 2007:60, bilaga B14.

Stensen, B., Andréasson, J., Bergström, S., Dahné, J., Eklund, D., German, J., Gustavsson, H., Hallberg, K., Martinsson, S., Nerheim S. och Wern., L., 2010. *Regional klimatsammanställning - Stockholms län*. SMHI-rapport 2010-78.

Svensk Energi, Svenska Kraftnät och SveMin (2007) *Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar – Nyutgåva 2007*.

SWECLIM (2001). *Expertstöd i klimatfrågan*, årsrapport.

van der Linden P., och J.F.B. Mitchell (eds.) (2009) *ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project*. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK. 160pp.

Vellinga, P., Katsman C.A., A. Sterl and J.J. Beersma, (eds) (2008) *Exploring high end climate change scenarios for flood protection of the Netherlands: - an international scientific assessment*. International Scientific Assessment. Background document to Deltacommissie (2008).

Hemsidor:

Lantmäteriet - Om referenssystem och höjdsystem.

http://www.lantmateriet.se/templates/LMV_Page.aspx?id=4210

9 Bilaga

Följande information beträffande olika statistiska parametrar för höga och låga vattenstånd redovisades i SMHI PM 2011-06-10 (revision 4). LHW och HLW betyder lägsta högvatten respektive högsta lågvatten och är uppmätta värden. MHW och MLW är medelvärden av varje års uppmätta högsta och lägsta vattenstånd, och MW betyder medelvatten. Tabellerna visar även tidigare resultat som nu frångåtts (IPCC högt scenario och höjning enligt Deltakommittén), men också kompletterande statistiska parametrar.

Tabell 7. Sammanfattande tabell över HHW, MHW, LHW, MW och motsvarande för låga vattenstånd i Stockholm Saltsjön för dagens klimat, samt för tre klimatscenarier angett i RH00. Det beräknade medelvattenståndet i Stockholm är 2010 -39,8 cm i RH00.

	Dagens klimat (2010)	IPCC högt scenario (2100)	+100 cm (2100)	Delta (2100)
HHW enligt BKR (variabel last: 98% sannolikhet att värdet inte överstigs, dvs 50 års upprepningsstid).	58	88	109	129
	51-74	80-103	101-124	121-144
Vattenstånd med 100 års återkomsttid (1 % sannolikhet att överskridas varje år, ackumulerad sannolikhet 63 % under en 100 års-period)	65	95	115	135
	56-86	85-115	106-136	126-156
MHW	22	51	72	92
LHW	-4	26	47	67
MW	-40	-10	11	31
HLW	-63	-34	-13	7
MLW	-84	-55	-34	-14
LLW enligt BKR (variabel last: 98% sannolikhet att värdet inte underskrids, dvs 50 års upprepningsstid).	-106	-77	-56	-36
	-(113-103)			

Tabell 8. Höga vattenstånd med 50 respektive 100 års återkomsttid eller upprepningsstid för dagens förhållanden och för tre klimatscenarier.

	Dagens klimat (2010)	IPCC högt scenario (2100)	+100 cm (2100)	Delta (2100)
HHW enligt BKR (variabel last: 98% sannolikhet att värdet inte överstigs, dvs 50 års upprepningsstid).	58	88	109	129
	51-74	80-103	101-124	121-144
Vattenstånd med 100 års återkomsttid (1 % sannolikhet att överskridas varje år, ackumulerad sannolikhet 63 % under en 100 års-period)	65	95	115	135
	56-86	85-115	106-136	126-156

SMHI

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