SMHI

KLIMATOLOGI Nr 5, 2012

Framtidens havsnivåer i ett hundraårsperspektiv - kunskapssammanställning 2012

Sten Bergström

En junikväll i Sankt Annas skärgård.
Foto: Författaren

ISSN 1654-2258 © SMHI

KLIMATOLOGI Nr 5, 2012

Framtidens havsnivåer i ett hundraårsperspektiv - kunskapssammanställning 2012

Sten Bergström

Sammanfattning

Frågan om den framtida utvecklingen av havets nivåer är svårbedömd och omdiskuterad. Den globala uppvärmningens effekter på havets nivå beror av många faktorer. De viktigaste är den termiska expansionen (havets utvidgning vid uppvärmning) samt bidrag från smältande glaciärer och de stora landisarna på Grönland och Antarktis. Men det finns stora lokala skillnader som beror på ändrade salthaltsförhållanden, ändringar i det lokala vindklimatet, ändrade gravitationsfält när de stora isarna smälter och landhöjnings- och landsänkningsförhållanden. Eftersom de mest extrema vattennivåerna oftast är mest intressanta så betyder ändrad frekvens, intensitet och riktning hos stormar också mycket.

Denna rapport är tänkt som ett underlag för bedömningar av hur framtidens havsnivåer påverkar Sveriges kustområden. Dokumentet syftar i första hand till att beskriva den vetenskapliga bakgrunden och att ge en bild av hur olika bedömningar varierar. Avsikten är inte att rekommendera vilka nivåer som ska användas i samhällets planeringsprocess. För detta krävs både en ingående dialog med de som är ansvariga för konsekvenserna samt att andra faktorer vägs in, såsom acceptabel risk, vilka värden som står på spel, det planerade objektets livslängd samt framtida möjligheter att anpassa sig till nya förutsättningar. Oftast redovisas exempelvis bedömningar av havets nivå fram till år 2100, men havet kommer med stor sannolikhet att fortsätta att stiga under lång tid därefter.

FN:s klimatpanel, IPCC, står för den mest spridda vetenskapliga bedömningen av klimatets utveckling och av havets globala framtida nivåförändring. I januari 2007 presenterade IPCC sin fjärde utvärderingsrapport (AR4) som utgick från den då tillgängliga klimatforskningen. Sedan dess har ett flertal nya vetenskapliga artiklar publicerats, som betonar risken för att världshavet kan komma att stiga i snabbare takt än vad IPCC angav 2007. Denna farhåga framhålls också i flera internationella syntesrapporter som tagits fram som stöd för klimatanpassning i kustområden. Mot denna bakgrund är IPCCs kommande femte utvärderingrapport (AR5) av speciellt stort intresse.

Innehållsförteckning

1 INLEDNING....9
1.1 Syfte och avgränsningar....9
1.2 Problembild....9
1.3 Metod....10

2 METODIK FÖR BEDÖMNING AV FRAMTIDENS HAVSNIVÅER....10

3 NATIONELLA OCH INTERNATIONELLA VETENSKAPLIGA SAMMANSTÄLLNINGAR OCH BEDÖMNINGAR....12
3.1 IPPC AR4 (januari 2007)....12
3.2 Uppdatering på uppdrag av Kommissionen för hållbar utveckling (april 2009)....13
3.3 A state of Knowledge Report from the U.S. Global Change Research Program (juni 2009)....13
3.4 Copenhagen diagnosis (november 2009)....14
3.5 Netherlands Environmental Assessment Agency PBL, Royal Netherlands Meteorological Institute KNMI och Wageningen University and Research Centre WUR (november 2009)....14
3.6 The Arctic Monitoring and Assessment Programme (2011)....14
3.7 Uppdatering av den vetenskapliga grunden för klimatarbetet på uppdrag av regeringen (september 2011)....15
3.8 Report for the World Bank by the Potsdam Institute for Climate Impact Research and Climate Analytics (november 2012)....15
3.9 Sammanfattning av vetenskapliga sammanställningar och bedömningar av framtida havsnivåhöjningar....16

4 NATIONELLA TOLKNINGAR AV KUNSKAPSLÄGET SOM UNDERLAG FÖR KLIMATANPASSNING....17
4.1 Den holländska Deltakommittén (hösten 2008)....17
4.2 Ministry of Natural Resources and Environment, Vietnam (juni 2009)....18
4.3 UK Climate Projections science report: Marine and coastal projections (juni 2009)....18
4.4 Det nasjonale klimatilpasningssekretariatet ved Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap i Norge (september 2009)....19
4.5 Australian Department of Climate Change (februari 2010)....20
4.6 Københavns Klimatilpasningsplan (2011)....20
4.7 U.S. Army Corps of Engineers (2011)....20
4.8 Sammanfattning av de nationella tolkningarna av kunskapsläget rörande global havsnivåhöjning, avsedda som underlag för klimatanpassning....20

5 UTVECKLINGEN EFTER 2100....22

6 LOKALA FÖRHÅLLANDEN....23

TACKORD....24

REFERENSER....25

1 Inledning

1.1 Syfte och avgränsningar

Denna rapport är tänkt som ett underlag för bedömningar av hur framtidens havsnivåer påverkar Sveriges kustområden. Dokumentet syftar i första hand till att beskriva den vetenskapliga bakgrunden och att ge en bild av hur olika bedömningar varierar. Avsikten är inte att rekommendera vilka nivåer som ska användas i samhällets planeringsprocess. För detta krävs både en ingående dialog med de som är ansvariga för konsekvenserna samt att andra faktorer vägs in, såsom acceptabel risk, vilka värden som står på spel, det planerade objektets livslängd samt framtida möjligheter att anpassa sig till nya förutsättningar.

Eftersom forskningen inom området stigande havsnivåer är begränsad inom Sverige baseras dokumentet till största delen på internationell forskning och kunskapsunderlag från olika institut och organisationer världen över.

Hittills har diskussionen om framtidens havsnivåer oftast begränsats till de kommande 100 åren. Det är också den tidsperiod som studerats mest ingående i den tillgängliga vetenskapliga litteraturen och som dominerat i andra internationella klimatanpassningsstudier. Föreliggande sammanställning är också i huvudsak begränsad till denna tidsperiod. För fysisk planering och annan långsiktig planering är det dock viktigt att beakta en betydligt längre tidshorisont.

1.2 Problembild

Frågan om den framtida utvecklingen av havets nivåer är svårbedömd och omdiskuterad. Framförallt är det den framtida avsmältningen av de stora landisarna som skapar osäkerhet. Utvecklingen av framtidens havsnivåer berör de flesta kustområdena i världen och många av världens stora städer. Frågan har blivit alltmer aktuell under de år som gått sedan IPCC presenterade sin fjärde utvärderingsrapport (AR4) i januari 2007 (IPCC, 2007) och som utgick från den då tillgängliga klimatforskningen. Efter AR4 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 (se exempelvis Rahmstorf, 2007; Horton m.fl., 2008; Pfeffer m.fl., 2008 och Jevrejeva m.fl., 2010).

Intressanta är också de sammanställningar och bedömningar som rör framtida havsnivåer för specifika regioner som gjorts av olika nationella organisationer som underlag för klimatanpassningsarbete. I rapporten redovisas ett antal sådana sammanställningar från Holland, Norge, Danmark, USA, Australien, Vietnam och Storbritannien. Det finns fler underlag, varför de som refereras här bör tas som exempel. Man kan dessutom förvänta sig både nya och uppdaterade bedömningar i framtiden. Ytterligare vägledning för bedömningen av framtidens havsnivåer kan väntas när IPCCs femte utvärderingsrapport (AR5) levererar sin delrapport om de naturvetenskapliga grunderna (WG I) i september 2013.

De flesta av de uppskattningar rörande framtida havsnivåer som föreligger bygger på något eller några av IPCCs SRES utsläppsscenarier från 2000 (Nakićenović m.fl., 2000). Det innebär att effekterna av eventuella utsläppsbegränsningar till följd av internationella avtal inte medräknats. Nyligen presenterade dock Jevrejeva m.fl. (2012) och Meehl m.fl. (2012) beräkningar med den nya generationens scenarier baserade på så kallade Representative Concentration Pathways (RCP,

Moss, 2010), vilka bland annat inkluderar ett scenario där utsläppen minskar och halterna av bl.a. koldioxid börjar sjunka under 2000-talet. Dessa bekräftar tidigare resultat som visar att havsnivåns stigningstakt minskar om utsläppsbegränsningar genomförs. På grund av klimatsystemets stora tröghet upphör höjningen dock inte helt och kommer att pågå en lång tid bortom år 2100.

I Sverige har frågan om framtidens havsnivåer aktualiserats i samband med ett flertal stora infrastrukturprojekt och utbyggnadsplaner i kustnära områden. Här intar ombyggnaden av Slussen i Stockholm samt problematiken kring Vänern och Göta älvdalen en särställning, men många fler kuststäder berörs också. Dessutom har riskerna för existerande bebyggelse och samhällsstrukturer fått förnyad uppmärksamhet i samband med av ett antal extrema väderhändelser. Det nederbördsrika året 2000 visade att riskerna för stora översvämningsproblem i kustområden även påverkas av höga vattenflöden från land.

1.3 Metod

I huvudsak har tre typer av underlag använts för sammanställningen av denna rapport:

1. Vetenskapligt granskade artiklar. Dessa har främst använts i kapitel 2.

2. Vetenskapliga sammanställningar och bedömningar. Dessa redovisas i huvudsak i kapitel 3.

3. Nationella tolkningar av kunskapsunderlag. Dessa har tagits fram som underlag för klimatanpassning i olika länder och redovisas i kapitel 4.

Det har inte varit möjligt att dra en knivskarp gräns mellan de olika typerna av underlag, speciellt beträffande de internationella vetenskapliga bedömningarna och de nationella tolkningarna av kunskapsläget. Därför rekommenderas läsaren att se dessa i ett sammanhang.

Rapporten bygger på kunskapsunderlag om stigande havsnivåer som varit tillgängligt för författaren fram till och med hösten 2012. Det finns naturligtvis mycket mer skrivet inom området, varför rapporten inte gör anspråk på att ge en fullständig bild av dagens kunskapsläge.

2 Metodik för bedömning av framtidens havsnivåer

Den globala uppvärmningens effekter på havets framtida nivå beror av många faktorer. De viktigaste är den termiska expansionen (havets utvidgning vid uppvärmning) samt bidrag från smältande glaciärer och de stora landisarna på Grönland och Antarktis. Ändrade nederbördsförhållanden och ändrad magasinering av vatten på land har också betydelse. Hur stor den lokala ändringen av havsnivån blir beror också på ändrade salthaltsförhållanden, ändringar i det lokala vindklimatet, ändrade gravitationsfält när de stora isarna smälter och landhöjnings- och landsänkningsförhållanden. Eftersom de mest extrema vattennivåerna oftast är mest intressanta lokalt så betyder ändrad frekvens, intensitet och riktning hos stormar också mycket. Om inget annat anges avses dock med havsnivå i detta dokument havsytan räknad som ett globalt medelvärde.

Det finns huvudsakligen tre ansatser för bedömning av utvecklingen av framtidens havsnivåer, processbaserade metoder, semi-empiriska metoder och historiska analogier. För en översikt hänvisas till Nichols m.fl. (2011), Church m.fl. (2011), Willis och Church (2012) samt Rahmstorf (2012).

Kortfattat kan man säga ett de processbaserade metoderna bygger på fysikaliska överväganden och modeller medan de semi-empiriska metoderna baseras på statistiska samband mellan jordens temperatur och havets nivå. Historiska analogier bygger på jämförelser med tidigare värmeperioder med snabba förändringar av havsytans nivå. Exempel på användning av process-baserade metoder återfinns i IPCC(2007), Pfeffer m.fl. (2008), Katsman m.fl. (2008) och Katsman m.fl. (2011). Exempel på semi-empiriska metoder är Rahmstorf, (2007), Horton m.fl. (2008), Grinsted m.fl. (2010), Vermeer och Rahmstorf (2009) samt Jevrejeva m.fl. (2012). Exempel på historiska analogier är Overpeck m.fl. (2006), Rohling m.fl. (2008) och Kopp m.fl. (2009).

De datormodeller som ligger till grund för de processbaserade metoderna har hittills inte klarat av att modellera så kallade isflöden, det vill säga is som transporteras direkt från land till hav från Grönland och Antarktis, och som ofta skapar isberg. Man har därför varit tvungen att använda sig av uppskattningar och expertbedömningar baserat på rådande trender (Alley m.fl., 2008; Church m.fl., 2011; Alley och Joughin, 2012). De semi-empiriska modellerna förutsätter att det observerade förhållandet mellan havsnivå och den globala temperaturen kommer att fortsätta att gälla i framtiden, ett antagande som är omdiskuterat (se IPCC, 2010; Rahmstorf m.fl., 2011).

De semi-empiriska modellerna ger i allmänhet högre värden på den framtida höjningen av havets nivå än de processbaserade metoderna, men spridningen mellan olika resultat är relativt stor (Rahmstorf, 2010).

Det är inte enkelt att jämföra resultaten i olika vetenskapliga artiklar, eftersom beräkningarna ofta bygger på olika förutsättningar och författarna uttrycker sig med olika grader av säkerhet och även använder formuleringar som inte är jämförbara. Med denna viktiga reservation sammanfattas översiktligt spridningen i ovan nämnda semi-empiriska beräkningar av havsnivåändringarna fram till år 2100 i Figur 1. För en mer komplett beskrivning av metoder, tidsperioder och utsläppsscenarier hänvisas till originalreferenserna.

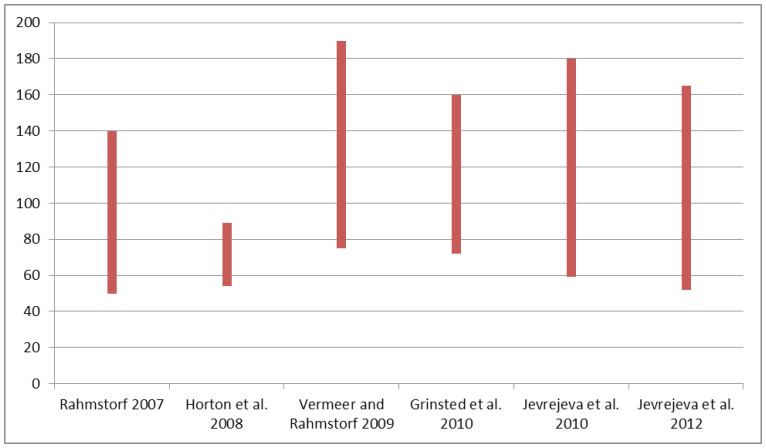


Fig. 1. Sammanfattning av spridningen inom och mellan olika semi-empiriska beräkningar av havsnivåhöjningen fram till år 2100, redovisade som spannet i cm mellan de högsta och de lägsta värdena. För en komplett beskrivning av metoder, tidsperioder, utsläppsscenarier och andra förutsättningar hänvisas till originalreferenserna.

Ett problem med att använda sig av historiska analogier för att göra förutsägelser om framtida havsnivåer är att dåtida klimatförutsättningarna och förutsättningar under kommande århundraden skiljer sig. Dessutom finns det osäkerheter i uppskattningen av de havsnivåer och lufttemperaturer som förelåg under historisk tid.

En gemensam källa till osäkerhet för de flesta semi-empiriska beräkningarna är slutligen att de är beroende av beräkningar av framtidens klimat. Scenarier för temperatur, värmelagring i havet och isavsmältningar har tagits fram med klimatmodeller utifrån olika antaganden om framtidens utsläpp av växthusgaser, något som in sin tur påverkas av befolkningstillväxten, den teknisk-ekonomiska utvecklingen och politiska överenskommelser om utsläppsbegränsningar. En svårighet vid jämförelsen mellan olika metoder är följaktligen att dessa ofta tillämpas med utgångspunkt från olika urval av utsläppsscenarier och klimatmodeller.

3 Nationella och internationella vetenskapliga sammanställningar och bedömningar

IPCCs slutsatser om framtidens havsnivåer och några senare genomförda vetenskapliga sammanställningar och bedömningar beskrivs kortfattat i följande avsnitt. Presentationen är gjord i kronologisk ordning. Som tidigare nämnts gör sammanställningen inte anspråk på att vara fullständig.

3.1 IPCC AR4 (januari 2007)

I IPCCs fjärde utvärderingsrapport (Assessment Report 4, AR4) från 2007 presenteras uppskattningar av framtida vattenståndsnivåer som grundas på resultaten från klimatmodeller fram till och med ungefär 2006 (IPCC, 2007). Fördröjningen beror på att resultat måste vara publicerade för att kunna användas i processen, och detta tar tid.

För perioden 2090-2099 beräknas haven enligt IPCC ha stigit med 18-59 cm jämfört med 1980-1999. Osäkerhetsintervallet omfattar här 5 % till 95 % -percentilerna av beräkningarna (dvs., det finns möjliga utfall som ligger utanför intervallet) som bygger på flera olika utsläppsscenarier och klimatmodeller. I AR4 betonas också att isflöden från Grönland och Antarktis fortfarande är lite kända. IPCC formulerade detta på följande sätt i ”Summary for Policymakers” (Översatt till den svenska sammanfattningen för beslutsfattare, Naturvårdsverket, 2007, sid. 33):

”Dynamiska processer i samband med isflöden som inte har tagits med i dagens modeller, men som antyds av observationer på senare tid, skulle kunna öka inlandsisarnas känslighet för uppvärmning, vilket skulle kunna öka den framtida höjningen av havsytenivån.”

IPCC anger vidare att om bidrag från isflöden från Grönland och Antarktis ökar linjärt med ökande temperatur skulle havsnivån fram till 2090-2099 kunna stiga med ytterligare 0,1-0,2 m (utöver de redan angivna 0,18-0,59 m). IPCC poängterar även att detta inte är det högsta möjliga värdet:

”Högre värden kan inte uteslutas, men kunskaperna om dessa effekter är alltför begränsade för att sannolikheten ska kunna bedömas eller för att man ska kunna ange ett troligaste värde eller en övre gräns för höjningen av havsytenivån” (Naturvårdsverket, 2007, sid 29).

Church m.fl. (2011, sid. 133) diskuterar detta och skriver att: ”*However, it is important to recognize that there is no firm theoretical or observational basis for linear (or any other) scaling and that larger sea level rise may be possible.”*

I IPCC AR4 redovisas också regionala variationer i havsnivåhöjningarna från perioden 1980-1999 till perioden 2080-2099. Ökningen av medelvattennivån i Nordsjön på grund av lokala förhållanden kan ligga upp emot 0,2 m över det globala medelvärdet. De flesta regionala avvikelserna från det globala medelvärdet är dock tämligen osäkra.

3.2 Uppdatering på uppdrag av Kommissionen för hållbar utveckling (april 2009)

På uppdrag av regeringens rådgivande kommission för hållbar utveckling gjorde Rummukainen och Källén (2009) en översiktlig genomgång av forskning om klimatfrågans naturvetenskapliga grund sedan IPCC AR4. Där berörs även havsnivåerna. Genomgångens syfte var att identifiera om det hade tillkommit nya resultat som skiljer sig från slutsatserna i AR4. I rapporten konstaterades om havsnivåer att:

”Nya studier av landismassors känslighet för uppvärmning och därmed deras avsmältningshastighet pekar på att havsytan kan höjas mer än vad som angavs i AR4, det kan röra sig om en meter under de närmaste 100 åren. Studierna är dock behäftade med stora osäkerheter.”

3.3 A State of Knowledge Report from the U.S. Global Change Research Program (juni 2009)

I USA presenterades i juni 2009 en rapport om klimatförändringar och dess påverkan på landet framtagen av en rådgivande kommitté som tillsatts under the Federal Advisory Committee Act, for the Subcommittee on Global Change Research. Arbetet genomfördes på uppdrag av USAs regering. Rapporten tar ett brett grepp över problemställningen med framtida havsnivåer med huvudsakligt fokus på konsekvenser av klimatförändringar. Rapporten inleds med en analys av det vetenskapliga kunskapsläget. Beträffande stigande havsnivåer formulerar man sig på följande sätt (Global Climate Change Impacts in the United States, 2009, sid 25. Referenser borttagna från citatet):

“Because of this uncertainty, the 2007 assessment by the IPCC could not quantify the contributions to sea-level rise due to changes in ice sheet dynamics, and thus projected a rise of the world’s oceans from 8 inches to 2 feet by the end of this century.

More recent research has attempted to quantify the potential contribution to sea-level rise from the accelerated flow of ice sheets to the sea or to estimate future sea level based on its observed relationship to temperature. The resulting estimates exceed those of the IPCC, and the average estimates under higher emissions scenarios are for sea-level rise between 3 and 4 feet by the end of this century. An important question that is often asked is, what is the upper bound of sea-level rise expected over this century? Few analyses have focused on this question. There is some evidence to suggest that it would be virtually impossible to have a rise of sea level higher than about 6.5 feet by the end of this century.”

(3-4 fot motsvarar ca 90-120 cm, och 6,5 fot motsvarar ca 195 cm.)

De uppgifter som U.S. Global Change Research Program anger ska inte uppfattas som rekommendationer utan mer som en beskrivning av kunskapsläget. Mer handfasta rekommendationer har tagits fram av U.S. Army Corps of Engineers (2011), vilket redovisas i avsnitt 4.7, nedan.

3.4 Copenhagen diagnosis (november 2009)

Climate Change Research Centre vid University of New South Wales, i Sydney, Australien publicerade i november 2009 en uppdatering av kunskapsläget om klimatfrågan inför FN:s klimatförhandlingar (COP 15) i Köpenhamn i december (The Copenhagen Diagnosis, 2009). Beträffande havsnivåer sammanfattades slutsatserna på följande sätt:

"Sea-level predictions revised: By 2100, global sea-level is likely to rise at least twice as much as projected by Working Group1 of the IPCC AR4; for unmitigated emissions it may well exceed 1 meter. The upper limit has been estimated as ~ 2 meters sea level rise by 2100. Sea level will continue to rise for centuries after global temperatures have been stabilized, and several meters of sea level rise must be expected over the next few centuries."

De drar alltså slutsatsen att havet kan stiga dubbelt så högt som IPCC anger i AR4 och mycket väl kan stiga mer än en meter till år 2100. Den övre gränsen uppskattas till två meter.

3.5 Netherlands Environmental Assessment Agency PBL, Royal Netherlands Meteorological Institute KNMI och Wageningen University and Research Centre WUR (november 2009)

En holländsk analys av utvecklingen av kunskapsläget om klimatfrågan sedan IPCCs fjärde utvärdering publicerades i november 2009 (Netherlands Environmental Assessment Agency m.fl., 2009). Slutsatserna rörande havsnivåer formulerades på följande sätt:

" For 2100, a plausible and physically-based high-end projection for average global sea level rise is higher than the global estimates reported by the IPCC AR4, being 0.25 to 0.76 metres (for the A1FI scenario), relative to 1990 levels, versus 0.55 to 1.1 metres, implying a rise along the Dutch coast of 0.40 to 1.05 metres."

Scenariet A1FI är ett av de tidigare nämnda SRES-scenarierna och bland dessa det som har de största växthusgashaltökningarna framöver. Rapporten anger alltså en havsnivåhöjning av 0,55-1,1 m fram till 2100 som ett globalt medelvärde. Bedömningen skiljer sig något från Deltakommitténs (se nedan avsnitt 4.1) från 2008. Den lokala siffran för havet utanför Nederländerna på 0,4-1,05 meter ska troligen jämföras med den holländska Deltakommitténs 0,55-1,2 meter. En anledning till att dessa skiljer sig åt är att den nyare rapporten försökt att mer direkt ta hänsyn till att avsmältningen av de stora landisarna även påverkar det lokala gravitationsfältet och jordens lokala deformation.

3.6 The Arctic Monitoring and Assessment Programme (2011)

The Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP) är en arbetsgrupp inom ramen för Arktiska rådet. Våren 2011 publicerade de en sammanfattning av rapporten *Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic* (AMAP, 2011). Rapporten angav siffror på framtidens havsnivåer som var högre än tidigare allmänt spridda uppgifter. Detta uttrycktes på följande sätt:

"Latest models predict a rise of 0.9 to 1.6 m above the 1990 level by 2100, with the Arctic ice making a significant contribution".

AMAPs bedömning av framtidens havsnivåer bygger på resultat från semi-empiriska beräkningar (Rahmstorf, 2007, Grinsted m.fl., 2010 och Pfeffer m.fl., 2008), kompletterat med viss information om landisar och författarnas expertbedömning.

3.7 Uppdatering av den vetenskapliga grunden för klimatarbetet på uppdrag av regeringen (september 2011)

I september 2011 publicerade SMHI en uppdatering av den vetenskapliga grunden för klimatarbetet, gjord på uppdrag av regeringen (Rummukainen, m.fl., 2011). Rapporten var en genomgång av kunskapsläget för klimatarbetet ur ett naturvetenskapligt perspektiv och byggde på IPCC:s kunskapssammanställningar, senaste publicerade forskningsresultat och genomgångar av expertgrupper som samlat vetenskapligt material. Det huvudsakliga syftet med genomgången var att belysa hur ny kunskap och nya forskningsresultat påverkar slutsatserna i tidigare sammanställningar om klimatförändringar och klimateffekter samt de vetenskapliga förutsättningarna för det så kallade tvågradersmålet och för ett 1,5-gradersmål.

Beträffande havets framtida nivåer konstaterade SMHI i rapporten att:

”Sammanfattningsvis kvarstår betydande osäkerheter om hur stor den globala havsnivåhöjningen blir till år 2100, och osäkerheterna är förstås stora också på längre sikt. Senare resultat om de landbaserade isarna visar ändå att de kommer att ge ett bidrag som gör de högre värdena i intervallet 0,18–0,59 meter i AR4 mer tänkbara än de lägre värdena.”

3.8 Report for the World Bank by the Potsdam Institute for Climate Impact Research and Climate Analytics (november 2012)

I november 2012 utkom en rapport från Världsbanken som skrivits av en grupp vid Potsdam Institute for Climate Impact Research and Climate Analytics (PIK), med stöd av flera vetenskapliga granskare (World Bank, 2012). Rapporten belyser riskerna med en global temperaturhöjning på 4 grader. I rapporten finns ett avsnitt om framtidens havsnivåer där såväl semi-empiriska som fysikaliskt baserade metoder diskuteras. Dessutom inkluderar den resultat med den nya generationens klimatscenarier baserade på de så kallade Representative Concentration Pathways som tidigare nämnts (Moss, 2010).

I rapportens Executive Summary sammanfattar man riskerna för ett stigande hav på följande sätt:

”Warming of 4°C will likely lead to a sea-level rise of 0.5 to 1 meter, and possibly more, by 2100, with several meters more to be realized in the coming centuries. Limiting warming to 2°C would likely reduce sea-level rise by about 20 cm by 2100 compared to a 4°C world. However, even if global warming is limited to 2°C, global mean sea level could continue to rise, with some estimates ranging between 1.5 and 4 meters above present-day levels by the year 2300. Sea-level rise would likely be limited to below 2 meters only if warming were kept to well below 1.5°C.”

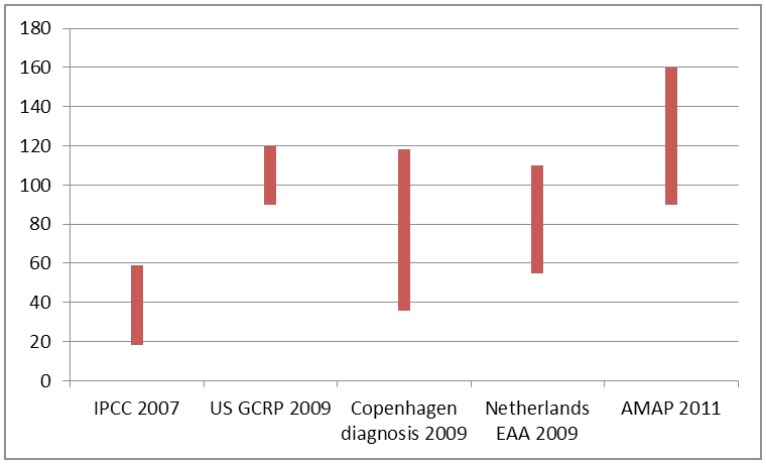
3.9 Sammanfattning av vetenskapliga sammanställningar och bedömningar av framtida havsnivåhöjningar

I tabell 1 redovisas en sammanställning av de ovan beskrivna vetenskapliga bedömningarna av den framtida havsnivån gällande fram till ungefär år 2100. Observera att siffrorna i tabellen inte är helt jämförbara, eftersom de utgår från olika referensperioder, utsläppsscenarier och klimatmodeller. Den aktuella referensperioden anges i tabellen där så är möjligt. Ytterligare en svårighet är att ändringarna av havsnivåerna representerar olika sannolikheter och att dessa ofta inte framgår klart av källmaterialet.

Med ovanstående reservationer redovisas uppgifterna i tabell 1 även i diagramform i figur 2. Där har det varit nödvändigt att göra vissa ytterligare förenklingar. Exempel på detta är uppgifterna från Copenhagen Diagnosis (2009) som redovisas som en dubblering av IPCCs nivåer även om detta inte stämmer ordagrant med rapportens formulering. Rapporten från Världsbanken och SMHIs rapporter till regeringen (Rummukainen och Källén, 2009; Rummukainen m.fl., 2011) har inte tagits med i figur 1, eftersom den bedömda nivåhöjningen uttrycks mer kvalitativt. De angivna intervallen är det som författarna uppgivit i respektive publikation och är inte fullt jämförbara. För en komplett beskrivning av metoder, intervallindelning, utsläppsscenarier och andra förutsättningar hänvisas till originalreferenserna.

Tabell 1.Sammanfattning av olika vetenskapliga sammanställningar och bedömningar av framtida havsnivåhöjningar. För en komplett beskrivning av metoder, perioder, utsläppsscenarier och andra förutsättningar hänvisas till originalreferenserna.

Datum	Källa	Referensperiod	Höjning till ungefär år 2100	Litteraturhänvisning
Januari 2007	IPCC	1980-1999	18-59 cm (exkl. isdynamik)	IPCC (2007)
April 2009	Rummukainen och Källén	2009	*”det kan röra sig om en meter under de närmaste 100 åren” (0,7 - 1,5 m)*	Rummukainen och Källén 2009
Juni 2009	U.S. Global Change Research Program		3-4 fot (90-120 cm)	Global Climate Change Impacts in the United States (2009)
November 2009	Copenhagen Diagnosis	1980-1999	*“at least twice as much as projected by Working Group the IPCC AR4”* *“it may well exceed 1 m”*	The Copenhagen Diagnosis (2009)
November (2009)	Netherlands Environmental Assessment Agency m.fl.	1990	55 -110 cm (40 -105 cm lokalt för Holland)	Netherlands Environmental Assessment Agency m.fl. (2009)
Våren 2011	Arctic Monitoring and Assessment Programme	1990	0,9-1,6 m	AMAP (2011)
September 2011	Uppdatering av den vetenskapliga grunden för klimatarbetet		*”...de högre värdena i intervallet 0,18-0,59 m i AR4 mer tänkbara än de lägre värdena”*	Rummukainen m.fl. (2011)
November 2012	Report for the World Bank		*“0.5 to 1 m and possibly more”*	World Bank (2012)



Figur 2. Sammanfattning av olika vetenskapliga sammanställningar av framtida havsnivåhöjningar ungefär fram till 2100 i cm. Observera de ovanstående reservationerna som omgärdar diagrammet. För en komplett beskrivning av metoder, perioder, utsläppsscenarier och andra förutsättningar hänvisas till originalreferenserna.

Varför skiljer sig då senare bedömningar så mycket från IPCCs siffror från 2007? Den viktigaste orsaken till skillnaderna är att senare bedömningar baseras på studier som har försökt uppskatta det potentiella bidraget från framtida förändringar av isflöden, samt på studier som använder semi-empiriska modeller (se kapitel 2 ovan). Ytterligare en orsak är att valet av utsläppsscenarier varierar mellan olika studier.

4 Nationella tolkningar av kunskapsläget som underlag för klimatanpassning

Den stora betydelsen av utvecklingen av framtidens havsnivåer har föranlett flera nationella organisationer att försöka tolka kunskapsläget och utarbeta underlag och rekommendationer som vägledning för praktisk klimatanpassning av fysisk planering, bebyggelse och infrastruktur. I det följande redovisas några sådana tolkningar.

4.1 Den holländska Deltakommittén (hösten 2008)

Den holländska Deltakommittén lät en internationell vetenskaplig kommitté göra en ny utvärdering av riskerna för ett stigande världshav, baserad på de senaste observationerna och den senast tillgängliga litteraturen. Resultatet presenterades hösten 2008 och ingick i Deltakommitténs rapport (Deltacommissie, 2008). Deltakommitténs ”upper limit scenario” (”övre gräns scenario”) är en havsnivåhöjning på 0,55-1,10 meter fram till år 2100 som ett globalt medelvärde (0,55-1,20 lokalt för Holland). Förutsättningarna beskrivs på följande sätt (Deltacommissie, 2008, sid 111):

”The upper limit scenario for global sea level rise assumes a global temperature increase of 2 to at most 6°C, in agreement with the IPCC assessment report 4 (AR4) emission scenario A1FI (2007). An estimate has also been made of the possible effects of rapid ice dynamics on the contribution of the Greenland and Antarctic icecaps to global sea level rise.”

Deltakommittén gör också en bedömning av en möjlig höjning fram till år 2200 och kommer fram till ett intervall på 1,5-3,5 meter. Kring dessa siffror resonerar kommittén på följande sätt (Deltacommissie, 2008, sid 114):

"The upper limit scenarios for 2200 presented here give an indication of the possible sea level rise, not the most probable. The scenarios for the 21st century are bounded because we know the current rate of sea level rise from observations and because a rapid acceleration of this rate is unlikely on a time scale of several decades. No such limits exist for the 22nd century."

Det vetenskapliga underlaget till detta scenario finns redovisat i ett underlagsdokument till Deltakommittén (Vellinga m.fl., 2008).

Den holländska Deltakommitténs arbete har fått stort genomslag och citeras flitigt i olika klimatanpassningsstudier världen över.

4.2 Ministry of Natural Resources and Environment, Vietnam (juni 2009)

Liksom Holland är Vietnam speciellt utsatt om havet stiger. Vietnams ministerium för naturresurser och miljö lade i juni 2009 fram en teknisk rapport om klimatförändringar och havsvattenstånd (Ministry of Natural Resources and Environment, 2009). Där finns en tabell (tabell 2) som avser höjningen av den regionala havsnivån i cm i relation till perioden 1980-1999 enligt beräkningar med tre utsläppsscenarier. Ministeriet för naturresurser och miljö i Vietnam rekommenderar en planeringsnivå på 75 cm för år 2100, dock med reservationen att dessa siffror kommer att uppdateras efterhand på grund av osäkerheter i de vetenskapliga förutsättningarna.

Tabell 2. Höjningen av havsnivån för Vietnam i cm i relation till perioden 1980-1999 beräknad med tre utsläppsscenarier (Ministry of Natural Resources and Environment, 2009).

SLR Scenario	Decades in the 21 Century								
	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
Low (B1)	11	17	23	28	35	42	50	57	65
Medium (B2)	12	17	23	30	37	46	54	64	75
High (A1FI)	12	17	24	33	44	57	71	86	100

4.3 UK Climate Projections science report: Marine and coastal projections (juni 2009)

Ett flertal myndigheter i Storbritannien står bakom *UK Climate Projections Science Report: Marine and coastal projections.* Rapporten är speciellt intressant eftersom de presenterade analyserna inkluderar Skagerack och Kattegatt och därför även är relevanta för den svenska västkusten. Man har använt sig av såväl engelska som internationella klimatmodeller och gjort omfattande analyser av osäkerheterna i uppskattningarna (Lowe m.fl., 2009).

Rapporten utgår från intervallet 18-59 cm för den globala havsnivåhöjningen från IPCC (2007), och egna modellberäkningar för regionala förändringarna runt de brittiska öarna (Millin, 2009; Lowe m.fl., 2009, sid 23-24). Uppgifterna i tabell 3 visar resultatet av kombinationen av global havsnivåhöjning och regionala förändringar. Siffrorna är dock inte justerade för lokal landhöjning eller landsänkning. Ändringarna av havsnivån avser perioden 2090-2099 i relation till perioden 1980-1999. I rapporten finns också diagram som visar utvecklingen under hela århundradet.

Tabell 3. Beräknad höjning av havsnivån runt Storbritannien och Irland i cm, under förutsättning av tre olika utsläppsscenarier. Siffrorna inkluderar bidrag från isavsmältning och är inte justerade för landhöjning eller landsänkning. Ändringarna avser från perioden 1980-1999 till perioden 2090-2099 (Lowe m.fl., 2009).

	5th Percentile	Central estimate	95th Percentile
High emissions	**15.4**	**45.6**	**75.8**
Medium emissions	**13.1**	**36.9**	**60.7**
Low emissions	**11.6**	**29.8**	**48.0**

På grund av den osäkerhet som råder kring de stora landisarnas stabilitet redovisas även ett ”High-plus-plus (H++) scenario i *UK Climate Projections Science Report*. Övre gränsen på detta scenario ligger så högt som 2,5 meter för perioden 1990-2095. Denna nivå bygger på indirekta observationer av havsnivåer från tidigare värmeperioder, s.k. interglacialer. Dessa extremt höga värden omgärdas dock av starka reservationer som formuleras på följande sätt (Lowe m.fl., 2009, sid. 10):

“The H++ range is not intended to replace our likely range of SLR and future surges, but rather it provides users with estimates of SLR and surge increase beyond the likely range but within physical plausibility. It is useful for contingency planning when a higher level of protection might be needed. H++ might also be used to justify a monitoring strategy. Unlike the other results presented in UKCP09 this range should not be interpreted as a likely range; the upper end of H++ is in fact very unlikely to occur by 2100”.

På sidan 32 i samma rapport upprepas denna reservation med en annan formulering (Lowe m.fl., 2009, sid. 32):

“We reiterate that while we cannot rule out this amount of global sea level rise, recent observations and model projections do not provide any evidence to suggest it will occur. This amount of sea level rise would require a massive increase in the current observed contribution of ice sheets to sea level rise.”

4.4 Det nasjonale klimatilpasningssekretariatet ved Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap i Norge (september 2009)

I Norge lade Det nasjonale klimatilpasningssekretariatet ved Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap fram en rapport om havsnivåhöjning i september 2009 (Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, 2009). I denna värderas såväl IPCCs bedömning som senare forskning. Rapporten betonar att det finns stora osäkerheter men samtidigt, med visst eftertryck, att IPCCs bedömningar inte räcker som underlag: *”Det er derfor ikke anbefalt å bruke estimatene fra IPCC (2007) for planlegging tilknyttet framtidig havsnivåstigning.”* Denna norska rapport väljer att utgå från en global havsnivåhöjning på 80 cm under innevarande sekel.

I mars 2012 publicerade det norska Kartverket regionala prognoser för havsnivåhöjningen, där hänsyn tagits till en rad lokala faktorer (Simpson m.fl., 2012). Dessa beräkningar utgår från en global höjning av havsnivåerna i intervallet 56-114 cm (centralt värde 85 cm).

4.5 Australian Department of Climate Change (februari 2010)

Australiens regering publicerade 2009 en rapport med titeln *Climate Change Risk to Australia's Coast – A first pass national assessment.* En uppdaterad version gjordes tillgänglig på webben i februari 2010 (Australian Department of Climate Change, 2010). Till rapporten finns ett supplement som behandlar riskerna för kustnära bebyggelse och infrastruktur (Australian Department of Climate Change, 2011). Rapporten anger ett intervall på 0,496-1,100 meter för ett lågt utsläppscenario (SRES-B1) och ett högt (SRES-A1FI) (Australian Department of Climate Change, 2010, sid. 27). Siffrorna avser troligen det globala genomsnittet, men detta framgår inte helt tydligt från rapporten.

I de australiensiska rapporterna diskuteras riskerna med ett stigande världshav ingående. Rapporterna betonar att tidigare uppskattningar från IPCC ligger lågt och behöver omprövas men också att det finns stora osäkerheter. I den omfattande konsekvensanalys som redovisas i supplementet tas utgångspunkt i en ökning med 1,1 meter till slutet av seklet. Slutsatsen som leder till denna siffra formuleras på följande sätt. *"Under a high-emission scenario, a sea-level rise up to a metre or more by the end of the century is plausible."* (Australian Department of Climate Change, 2010, sid. 21). Rapporten betonar också att detta är ett dynamiskt forskningsområde vilket innebär att bedömningarna kan behöva omvärderas i framtiden.

4.6 Københavns Klimatilpasningsplan (2011)

Köpenhamns klimatanpassningsplan publicerades 2011 (Københavns Kommune, 2011). Man har förlitat sig på experthjälp från Danmarks Meteorologiske Institut och formulerat sig på följande sätt beträffande framtidens havsnivåer (sid. 29):

"Havet omkring København kommer til at stige op mod 1 meter i løbet af de næste hundrede år, vurderer Danmarks Meteorologiske Institut på baggrund af de seneste beregninger."

4.7 U.S. Army Corps of Engineers (2011)

U.S. Army Corps of Engineers ansvarar för ett stort antal dammanläggningar i USA, bland dem skyddsvallarna i New Orleans. I ett dokument från oktober 2011 beskriver U.S. Army Corps of Engineers (2011) hur deras anläggningar ska anpassas till stigande havsnivåer. I princip används tre olika havsnivåutvecklingar, beroende på hur stora konsekvenser ett haveri för med sig. Exakt hur valet av nivåer går till är det dock svårt att sluta sig till från det refererade dokumentet.

U.S. Army Corps of Engineers (2011) räknar med en havsnivåhöjning mellan 0,5 och1,5 m under perioden 1990-2100.

4.8 Sammanfattning av de nationella tolkningarna av kunskapsläget rörande global havsnivåhöjning, avsedda som underlag för klimatanpassning

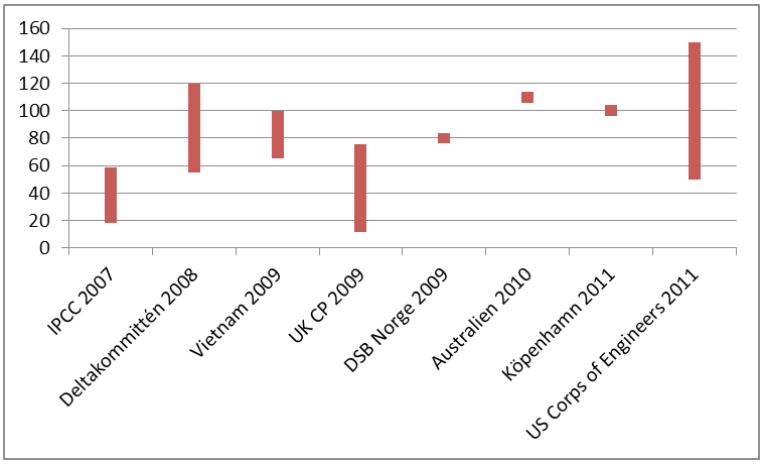
Nedan följer en sammanställning av de ovan beskrivna nationella tolkningarna av kunskapsläget, som är avsedda som underlag för klimatanpassning (tabell 4). Observera att siffrorna, på samma sätt som angivits för tabell 1, inte är helt jämförbara eftersom de utgår från olika referensperioder. Den aktuella referensperioden har angivits i tabellen. Ytterligare en svårighet är att valet av utsläppsscenarier varierar mellan olika studier och att de angivna ändringarna av havsnivåerna

representerar olika sannolikheter och att detta ofta inte framgår klart av källmaterialet. De nedre gränserna är dessutom ofta baserade på helt skilda antaganden, varför de lägsta värdena inte är jämförbara. Tabellen ger ändå en översiktlig bild av de olika ländernas och organisationernas bedömningar av havsnivåstigningar.

Med ovanstående reservationer redovisas uppgifterna i tabell 4 även i diagramform i figur 3. Där har det varit nödvändigt att göra vissa ytterligare förenklingar. IPCCs bedömning från 2007 är medtagen som jämförelse trots att denna inte kan kategoriseras som ett nationellt underlag för klimatanpassning. Som tidigare nämnts ingår inte isdynamik i IPCCs bedömning. Dessutom anger IPCC att nivån lokalt för Nordsjön kan komma att stiga cirka 20 cm mer än det globala genomsnittet (IPCC, 2007, sid. 813).

Tabell 4. Sammanfattning av olika nationella tolkningar av kunskapsläget rörande global havsnivåhöjning, avsedda som underlag för klimatanpassning. För en komplett beskrivning av metoder och andra förutsättningar hänvisas till originalreferenserna. IPCCs uppgifter från 2007 har tagits med som jämförelse och avser ett globalt medelvärde. För Nordsjön ska ungefär 20 cm läggas till IPCCs nivåer.

Datum	Källa	Referensperiod	Höjning till ungefär år 2100	Litteraturhänvisning
Januari	IPCC	1980-1999	18-59 cm (exkl. isdynamik) (lokalt för Nordsjön 38-79)	IPCC (2007)
Hösten 2008	Holländska Deltakommittén	1990	55-110 cm (lokalt för Holland 55-120)	Deltacommissien (2008)
Juni 2009	Ministry of Natural Resources and Environment, Vietnam	1980-1999	75 cm (65-100)	Ministry of Natural Resources and Environment,(2009)
Juni 2009	UK Climate Projections science report	1980-1999	11,6 – 75,8 cm runt Storbritannien och Irland	Lowe et al. (2009)
September 2009	Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap i Norge	2000	80 cm	Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (2009)
Februari 2010	Australian Department of Climate Change	1990	110 cm	Australian Department of Climate Change 2010
Februari 2011	Københavns Klimatilpasnings-plan	2010	100 cm (till år 2110)	Københavns Kommune (2011)
Oktober 2011	U.S. Army Corps of Engineers	1990	50-150 cm	U.S. Army Corps of Engineers (2011)



Figur 3. Sammanfattning av olika nationella tolkningar av kunskapsläget om havsnivåhöjningen som underlag för klimatanpassning gällande ungefär fram till 2100 i cm. Observera reservationerna i texten ovan. För en komplett beskrivning av metoder och andra förutsättningar hänvisas till originalreferenserna. Uppgifterna från Köpenhamn, Norge och Australien redovisas som ett litet intervall i stället för en punkt för att värdet ska framträda i diagrammet. IPCCs uppgifter från 2007 har tagits med som jämförelse och avser ett globalt medelvärde. För Nordsjön ska ungefär 20 cm läggas till IPCCs nivåer.

5 Utvecklingen efter 2100

Föreliggande sammanställningar fokuserar på havets nivåer i ett 100- årsperspektiv. För den fysiska planeringen och andra långsiktiga projekt är naturligtvis perioden bortom år 2100 också av stort intresse. I IPCC AR4 diskuterades också utsikter bortom år 2100. Den termiska expansionen förväntas fortsätta att höja världshavets nivå hundratals år framöver. Den största frågan rör dock i vilken utsträckning inlandsisarna på Grönland och i Antarktis kommer att påverkas. Här är osäkerheten mycket stor eftersom framtida utsläpp och en rad återkopplingsmekanismer, som är lite kända, kommer in i bilden. Sammantaget kan den långsiktiga nivåhöjningen bli flera meter enligt IPCC. Ett mindre antal beräkningar för tidsperioder efter år 2100 finns publicerade i den vetenskapliga litteraturen efter AR4 av exempelvis Vellinga m.fl. (2008), Katsman m.fl. (2011) och Jevrejeva m.fl. (2012).

En intressant fråga är hur havsnivån skulle stiga om den globala uppvärmningen begränsades till två grader. I SMHIs rapport till regeringen (Rummukainen m. fl., 2011) utvecklades detta:

”Det råder osäkerhet kring vilka klimateffekter som uppstår vid olika temperaturmål, men det är väletablerat att klimateffekter i vissa regioner, bland annat i Arktis, kan bli stora även om tvågradersmålet uppnås. En begränsad global uppvärmning minskar riskerna med klimateffekter, men även om tvågradersmålet uppnås, stiger havsnivån, havsförsurningen ökar och det kan bli olika betydande effekter på den biologiska mångfalden.”

I en nyligen utkommen artikel av Schaeffer m.fl. (2012) redovisas beräkningar av havets nivå ifall mänskligheten lyckas uppnå klimatmålen att begränsa uppvärmningen till 1,5 respektive två grader. Enligt den semi-empiriska modellen som används i studien skulle även en stabilisering av klimatet vid två grader över förindustriella temperaturer innebära en havsnivåhöjning på mellan 1,6-4 meter fram till år 2300 (Schaeffer m.fl., 2012). Slutsatsen av studien är att även uppfyllandet

av dessa ambitiösa klimatmål kommer att leda till en avsevärd höjning av havets nivåer under kommande århundraden. Meehl m.fl. (2012) drar liknande slutsatser som de formulerar på följande sätt:

”Though sea-level rise cannot be stopped for at least the next several hundred years, with aggressive mitigation it can be slowed down, and this would buy time for adaptation measures to be adopted.”

6 Lokala förhållanden

Lokala förhållanden har stor betydelse, inte minst för de mest extrema havsvattenstånden. För att analysera dessa krävs det bland annat bedömningar av de framtida extrema vindarna, vad avser styrka, frekvens och riktning. Detta kräver detaljerade analyser, helst med nedskalade högupplösta regionala klimatmodeller och oceanografiska modeller. Sådana beräkningar har genomförts vid Rossby Centre (se exempelvis Meier m.fl., 2006). Dessa beräkningar bygger på äldre regionala klimatscenarier än de som idag finns tillgängliga inom exempelvis det europeiska ENSEMBLES-projektet (van der Linden och Mitchell, 2009). Inom ENSEMBLES-projektet studerades bland annat variationen mellan olika regionala klimatscenarier.

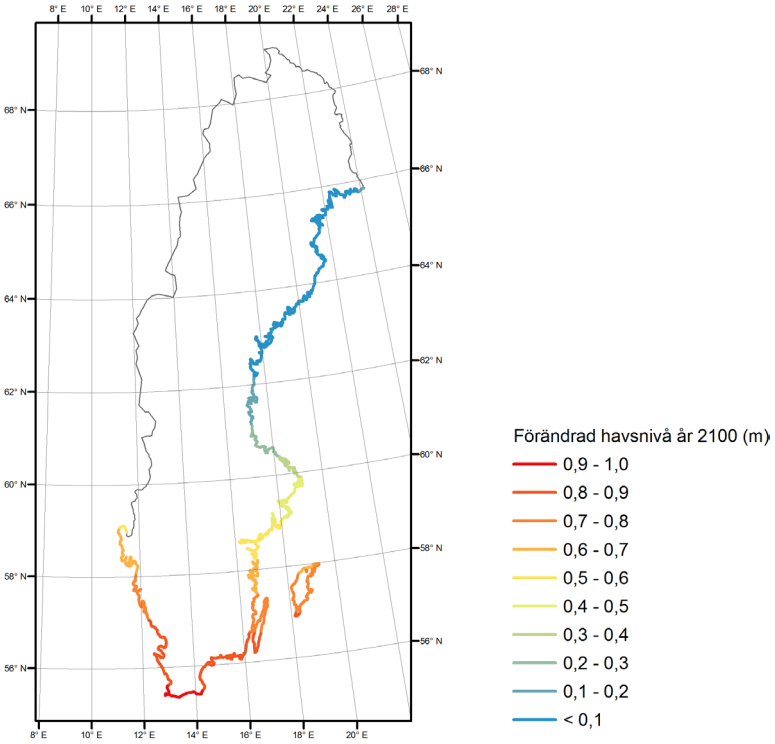
När de stora isarna smälter ändras gravitationsfältet runt jorden. Det är en källa till osäkerhet inför framtiden eftersom skillnaden i vad som händer med grönlandsisen och isen på Antarktis påverkar havsnivån i närheten av dessa landisar. Vid ett scenario där grönlandsisen smälter snabbare än isen på Antarktis gör gravitationseffekterna att havsnivåhöjningen kring Grönland (och även runt Nordeuropas kuster) blir mindre än det globala medelvärdet (se exempelvis World Bank, 2012).

I *UK Climate Projections Science Report* diskuteras också lokala effekter. Där finns resultat som även är relevanta för den svenska västkusten. Man betonar att riskerna för ökande flodvågor nu tonats ned något jämfört med tidigare bedömningar. Beträffande vindvågor drar man följande generella slutsats (Lowe m.fl., 2009, sid. 50):

“Seasonal mean and extreme waves are generally expected to increase slightly to the SW of the UK, reduce to the north of the UK and experience little change in the North Sea. There are large uncertainties especially with the projected extreme values.”

I mars 2012 publicerade det norska Kartverket ganska detaljerade regionala prognoser för havsnivåhöjningen längs den norska kusten, där hänsyn tagits till en rad lokala faktorer (Simpson m.fl., 2012).

De beräkningar som hittills gjorts av det framtida vindklimatet längs Sveriges kuster uppvisar stor spridning, speciellt vad beträffar extrema vindar (Nikulin m.fl., 2011). I många fall är samverkan med höga flöden i floder och vattendrag ett stort problem. Då krävs det även hydrologiska beräkningar av framtidens flöden och sannolikhetsbedömningar av samverkande faktorer.



Figur 4. Nettoeffekten av havsnivåhöjning minus landhöjning i Sverige under förutsättning av en global havsnivåhöjning på 1 meter under 100 år. Beräkningen av landhöjningen är baserad på Lantmäteriets landhöjningsmodell NKG2005LU (Ågren och Svensson, 2007).

Landhöjning eller landsänkning påverkar också de lokala effekterna av stigande världshav. Landhöjningen medför att den lokala havsnivåhöjningen blir lägre i de mellersta och norra delarna av Sverige, medan Skåne knappast alls kan dra fördel av denna effekt. I figur 4 visas hur stor nettoeffekten av havsnivåhöjning minus landhöjning blir längs Sveriges kuster under förutsättning av en global havsnivåhöjning av 1 meter under 100 år. Beräkningen av landhöjningen är baserad på Lantmäteriets landhöjningsmodell NKG2005LU (Ågren och Svensson, 2007).

Tackord

Denna rapport är framtagen under en lång process där ny information har tillkommit och diskuterats efterhand. Författaren vill framföra ett tack till alla medarbetare och kollegor som bidragit i detta arbete. Ett speciellt tack riktas till Per Wikman-Svahn, på Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI, för värdefulla synpunkter.

Referenser

Alley, R. B., Fahnestock, M., och Joughin, I. (2008) Climate change. Understanding glacier flow in changing times. Science (New York, N.Y.), 322(5904), 1061-2. doi:10.1126/science.1166366

Alley, R. B., och Joughin, I. (2012) Modeling Ice-Sheet Flow. *Science*, 336(6081), 551-552. doi:10.1126/science.1220530

AMAP (2011) Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA): Climate Change and the Cryosphere. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway. xii + 538 pp.

Australian Department of Climate Change (2010) Climate Change Risks to Australia´s Coast – A first pass national assessment. Updated version February 23, 2010. www.climatechange.gov.au/en/publications/coastline/climate-change-risks-to-australias-coasts.aspx

Australian Department of Climate Change (2011) Climate Change Risks to Coastal Buildings and Infrastructure - A supplement to the first pass national assessment. Published on the web June 6, 2011.www.climatechange.gov.au/en/publications/coastline/climate-change-risks-to-coastal.aspx

Church, J.A., J.M. Gregory, N.J. White, S.M. Platten, och Mitrovica, J.X. (2011) Understanding and projecting sea level change. *Oceanography* 24(2):130–143, http://dx.doi.org/10.5670/oceanog.2011.33.

Copenhagen Diagnosis (2009) Updating the World on the Latest Climate Science. I. Allison, N.L. Bindoff, R.A. Bindschadler, 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.

Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (2009) Havsnivåstigning – Estimater av framtidig havsnivåstignong i norske kystkommuner. Rapport från Det nasjonale klimatilpasningssekretariatet ved Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap. Reviderad utgåva september 2009. www.regjeringen.no/upload/MD/Kampanje/klimatilpasning/Bilder/Bjerknessenteret/Havnivaastigning-rapp.pdf

Global Climate Change Impacts in the United States (2009) [Karl, T.R., Jerry M. Melillo, J.M. och Peterson, T.C. (eds.)]. Cambridge University Press, 2009.

Grinsted, A., Moore, J.C. och Jevrejeva, S. (2010). Reconstructing sea level from paleo and projected temperatures 200 to 2100 AD. *Climate Dynamics*, 34:461-472.

Horton, R., C. Herweijer, C. Rosenzweig, J. Liu, V. Gomitz, och Ruane, A. C. (2008). Sea Level Rise Projections for Current Generation CGCMs Based on the Semi-Empirical Method. *Geophysical Research Letters*, vol. 35. L02715

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 och H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

IPCC (2010) Workshop Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Workshop on Sea Level Rise and Ice Sheet Instabilities [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. Allen och P.M. Midgley (eds.)]. IPCC Working Group I Technical Support Unit, University of Bern, Bern, Switzerland, pp. 227.

Jevrejeva, S., Moore, J. C. och Grinsted, A. (2010) How Will Sea Level Respond to Changes in Natural and Anthropogenic Forcings by 2100? *Geophysical Research Letters*, vol. 37, L07703

Jevrejeva, S., Moore, J. C. och Grinsted, A. (2012) Sea level projections to AD2500 with a new generation of climate change scenarios. *Global and Planetary Change* 80-81, 14-20.

Katsman, C.A., Sterl, A., Beersma, J.J., van den Brink, H.W. , Hazeleger, W. and 15 co-authors (2011) Exploring high-end scenarios for local sea level rise to develop flood protection strategies for a low-lying delta - the Netherlands as an example, *Climatic Change*, 2011, doi:10.1007/s10584-011-0037-5.

Katsman, C.A., Hazeleger, W., Drijfhout, S.S., van Oldenborgh, G.J. och Burgers, G.J.H. (2008) Climate scenarios of sea level rise for the northeast Atlantic Ocean: a study including the effects of ocean dynamics and gravity changes induced by ice melt *Clim Change* 91:351–374.

Kopp, R., Simons, F., Mitrovica, J., Maloof, A., och Oppenheimer, M. (2009) Probabilistic assessment of sea level during the last interglacial stage. *Nature* 462, 863–867.

Københavns Kommune (2011). Københavns Klimatilpasningsplan. http://www.kk.dk/sitecore/content/Subsites/Klima/SubsiteFrontpage/~/media/1366A5817180444D88FD0DAE316229A0.ashx

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. och 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

Meehl, G.A., Hu, A., Tebaldi, C., Arblaster, J.M., Washington. W.M., Teng, H., Sanderson, B.M., Ault, T., Strand, W.G. och White III, J.B. (2012) Relative outcomes of climate change mitigation related to global temperature versus sea-level rise. *Nature Climate Change*, Vol 2, August 2012, www.nature.com/natureclimatechange

Meier, H.E.M., Andréasson, J., Broman, B., Graham, L.P., Kjellström, E., Persson, G., och Viehhauser, M. (2006) Climate change scenario simulations of wind, sea level, and river discharge in the Baltic Sea and Lake Mälaren region – a dynamical downscaling approach from global to local scales. SMHI Reports Meteorology and Climatology, No. 109. Norrköping.

Millin, S (ed.) 2009 UKCP09 sea level change estimates. UKCIP Briefing Notes. http://www.ukcip.org.uk/resources/ukcp09-sea-level-change/

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.

Moss, R.H., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A., Manning, M.R., Rose, S.K., van Vuuren, D.P., Carter, T.R., Emori, S. Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G.A., Mitchell, J.F.B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S.J., Stouffer, R.J., Thomson, A.M., Weyant, J.P. och Wilbanks, T.J. (2010) The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463 (7282), 747-756 .

Nakićenović, N., Alcamo, J., Davis, G., de Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Grübler, A., Jung, T.Y., Kram, T., La Rovere, E.L., Michaelis, L., Mori, S., Morita, T., Pepper, W., Pitcher, H., Price, L., Riahi, K., Roehrl, A., Rogner, H.-H., Sankovski, A., Schlesinger, M., Shukla, P., Smith, S., Swart, R., van Rooijen, S., Victor, N. och Dadi, Z. (2000) IPCC Special Report on Emission Scenarios. Cambridge Univ. Press, 599 pp.

Naturvårdsverket (2007) FN:s klimatpanel 2007: Den naturvetenskapliga grunden. Sammanfattning för beslutsfattare. Bidraget från arbetsgrupp I (WG I) till den fjärde utvärderingsrapporten från Intergovernmental Panel on Climate Change. Rapport 5677, februari 2007, Stockholm.

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

Nicholls, R. J., Marinova, N., Lowe, J. a., Brown, S., Vellinga, P., de Gusmao, D., Hinkel, J., et al. (2011). Sea-level rise and its possible impacts given a “beyond 4 C world” in the twenty-first century. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 369(1934), 161–181. doi:10.1098/rsta.2010.0291

Nikulin, G., Kjellström, E., Hansson, U., Strandberg, G. och Ullerstig, A. (2011) Evaluation and future projections of temperature, precipitation and wind extremes over Europe in an ensemble of regional climate simulations. *Tellus*, vol. 63A, 24-40.

Overpeck, J. T., Otto-Bliesner, B. L., Miller, G. H., Muhs, D. R., Alley, R. B. och Kiehl, J. T. (2006) Paleoclimate evidence for future ice-sheet instability and rapid sea level rise. *Science* 311, 1747–1750. (doi:10.1126/science.1115159)

Pfeffer, W. T., Harper J. T. och O’Neel, S. (2008) Kinematic Constraints on Glacier Contributions to 21st-Century Sea-Level Rise. *Science*, vol. 321, p. 1340-1343

Rahmstorf, S. (2007) A Semi-Empirical Approach to Projecting Future Sea Level Rise. *Science*, vol. 315, no. 5810, p. 368-370.

Rahmstorf, S. (2010) A New View on Sea Level Rise. *Nature reports climate change*, vol. 4, April 2010.

Rahmstorf, S. (2012) Modeling sea level rise. Nature Education Knowledge 3(3):4. http://www.nature.com/scitable/knowledge/library/modeling-sea-level-rise-25857988

Rohling, E., Grant, K., Hemleben, C., Siddall, M., Hoogakker, B., Bolshaw, M., Kucera, M. (2008) High rates of sea-level rise during the last interglacial period. *Nature Geosciences* 1, 38–42.

Rummukainen, M., Johansson, D.J.A., Azar, C., Langner, J., Döscher, R. och Smith, H. (2011) Uppdatering av den vetenskapliga grunden för klimatarbetet – En översyn av naturvetenskapliga aspekter. SMHI Klimatologi nr 4.

Rummukainen, M. och Källén, E. (2009). Ny klimatvetenskap 2006-2009. En kort genomgång av forskningen om klimatfrågans naturvetenskapliga grunder sedan IPCC AR4/WG I från 2007. Rapport till Kommissionen för hållbar utveckling. Stockholm.

Schaeffer, M., Hare, W., Rahmstorf, S. och Vermeer, M. (2012) Long-term sea-level rise implied by 1,5 ^{0}C and 2 ^{0}C warming levels. *Nature Climate Change* DOI: 10.1038/NCLIMATE1584 www.nature.com/natureclimatechange Macmillan Publishers Limited.

Simpson, M., Breili, K., Kierulf, H. P., Lysaker, D., Ouassou, M. och Haug, E. (2012). Estimates of Future Sea-Level Changes for Norway. Technical Report of the Norwegian Mapping Authority.

U.S. Army Corps of Engineers (2011) Sea-level Change Considerations for Civil Works Programs. CECW-CE Circular No. 1165-2-212

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

Vellinga, P., Katsman C.A., Sterl, A. och Beersma, J.J. (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).

Vermeer, M. och Rahmstorf, S. (2009) Global Sea Level Linked to Global Temperatures. Proceedings of the National Academy of Sciences, Early Edition, 6pp

Willis, J. K., & Church, J. a. (2012). Climate change. Regional sea-level projection. *Science* 336(6081), 550–1. doi:10.1126/science.1220366

World Bank (2012) Turn Down Heat the Heat – Why a 4° warmer World Must be Avoided. A Report for the World Bank by the Potsdam Institute for Climate Impact Research and Climate Analytics. November 2012, Washington DC.

Ågren, J. och Svensson, R. (2007) Postglacial Land Uplift Model and System Definition for the New Swedish Height System RH 2000. Reports in Geodesy and Geographical Information Systems. LMV-Rapport 2007:4, Gävle.

I serien KLIMATOLOGI har tidigare utgivits:

1 Lotta Andersson, Julie Wilk, Phil Graham, Michele Warburton, (University KwaZulu Natal) (2009)
Local Assessment of Vulnerability to Climate Change Impacts on Water Resources in the Upper Thukela River Basin, South Africa – Recommendations for Adaptation

2 Gunn Persson, Markku Rummukainen (2010)
Klimatförändringarnas effekter på svenskt miljömålsarbete

3 Jonas Olsson, Joel Dahné, Jonas German, Bo Westergren, Mathias von Scherling, Lena Kjellson, Fredrik Ohls, Alf Olsson (2010)
En studie av framtida flödesbelastning på Stockholms huvudavloppssystem

4 Markku Rummukainen, Daniel J. A. Johansson, Christian Azar, Joakim Langner, Ralf Döscher, Henrik Smith (2011)
Uppdatering av den vetenskapliga grunden för klimatarbetet. En översyn av naturvetenskapliga aspekter

ISSN 1654-2258

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