

Karttjänst för framtida medelvattenstånd längs Sveriges kust



Pärbild.

Bilden är ett utsnitt från karttjänsten för framtida medelvattenstånd.

ISSN: 1654-2258 © SMHI

KLIMATOLOGI Nr 41, 2017

Framtida medelvattenstånd längs Sveriges kust

Förord

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

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

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

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

Klimatologi nr 41. Karttjänst för framtida medelvattenstånd längs Sveriges kust

Klimatologi nr 45. Beräkning av högsta vattenstånd längs Sveriges kust

Klimatologi nr 48. Framtida havsnivåer i Sverige

Oceanografi nr 123. Vattenståndsdynamik längs Sveriges kust

Oceanografi nr 124. Statistisk metodik för beräkning av extrema havsvattenstånd

Oceanografi nr 125. Lokala effekter på extrema havsvattenstånd

Sammanfattning

Havsnivån stiger och orsaken är den globala uppvärmningen. Effekterna av uppvärmningen på havets nivå kommer främst från den termiska expansionen samt bidrag från smältande glaciärer och de stora landisarna på Grönland och Antarktis.

Hur snabbt den globala havsnivån stiger beror på hur stora utsläppen av växthusgaser blir. Globala medelvattenstånd fram till år 2100 har framtagits inom IPCC och beskrivs utifrån klimatscenarier, som innebär olika antaganden om den framtida utvecklingen. Oavsett klimatscenario stiger havsnivån och den kommer att fortsätta stiga även efter år 2100. Störst osäkerhet råder, angående framtida havsnivåer, kring avsmältningen av de stora ismassorna på Grönland och Antarktis.

Medelvattenståndet är den nivå som avgör var strandlinjen normalt ligger och som höga och låga vattenstånd varierar kring. Medelvattenståndet längs Sveriges kuster kommer att förändras olika mycket, främst beroende på den pågående landhöjningen. Andra regionala processer som kan påverka medelvattenståndet är dåligt kända men bedöms i nuläget vara små.

Globala medelvattenstånd, framtagna inom IPCC AR5, i kombination med landhöjningsinformation från Lantmäteriet har använts för att göra beräkningar av framtida medelvattenstånd längs svenska kusten. Beräkningarna sträcker sig till år 2100. Medelvattenstånd vid observationsplatser längs kusten för referensperioden 1986-2005 används som utgångsvärde.

Resultaten har publicerats i en karttjänst som visar medelvattenståndet enligt tre olika utsläppsscenarier kring år 2050 respektive år 2100. Karttjänsten ger indikationer för vilka områden som kan vara sårbara för stigande havsnivåer.

Summary

Future mean sea levels along the Swedish coastline have been calculated based on the IPCC AR5 scenarios combined with information on the land uplift. Other regional processes were not included, since the effects are considered as small and not well-known. The results are available from a web map service.

Innehållsförteckning

1	BAKGRUND	1
2	SYFTE	1
3	MEDELVATTENSTÅND	1
3.1	Referenssystem	1
3.2	Landhöjning	2
4	GLOBAL HAVSNIVÅHÖJNING	3
4.1	Grönland och Antarktis	5
4.2	Globalt medelvattenstånd fram till år 2100.....	6
4.3	Globalt medelvattenstånd efter år 2100.....	8
5	REGIONALA EFFEKTER.....	9
5.1	Storskaliga regionala effekter	9
5.2	Småskaliga regionala effekter.....	9
6	LANDHÖJNINGSMODELL	12
6.1	Klimatrelaterade havsnivåförändringar	13
6.2	Jämförelse mot tidigare landhöjningsmodell	13
7	FRAMTIDA MEDELVATTENSTÅND.....	14
7.1	Metod för att beräkna framtida medelvattenstånd	14
7.2	Framtida medelvattenstånd för mätstation	14
7.3	Framtida medelvattenstånd per kommun.....	16
7.4	Karttjänst	17
7.5	Kommentar	17
8	REFERENSER	18
9	BILAGOR	21
	Bilaga 1 – Framtida medelvattenstånd per kustkommun	21
	Bilaga 2 – Medelvattenstånd och landhöjning per kustkommun	25
	Bilaga 3 – Framtagning av karttjänst.....	26

1 Bakgrund

Havsnivån vid strandlinjen varierar i ett komplext samspel mellan olika faktorer. Vattenståndet bestäms av importerat vattenstånd¹, regional vind, lokala effekter, tidvatten och regionalt lufttryck. På tidsskalor från några dygn och längre styrs vattenståndet i svenska farvatten, från Skagerrak till Bottenviken, av det storskaliga vädret. På kort tidsskala, timmar och dygn, är det främst vindar, lufttryck och tidvatten som påverkar vattenståndet.

Sett på en längre tidsskala, månader, påverkas vattenståndet i Östersjön även av de processer som fyller på eller sänker hela Östersjöns havsnivå. Det är en balans mellan nederbörd och avdunstning liksom tillflöden från floder samt in- och utflöden genom de danska sunden och Öresund.

På ännu längre tidsskalor, som flera år eller decennier, påverkas havsnivån av eventuell lokal landhöjning samt förändringar i det globala medelvattenståndet och regionala effekter av dessa.

Denna rapport beskriver framtagandet av den allmänna karttjänst över framtida medelvattenstånd som finns tillgänglig på smhi.se. I rapporten Schöld m.fl. (2017a) behandlas vattenståndsdynamiken utifrån observationer från mätstationer längs kusten och i Schöld m.fl.(2017b) beskrivs en metod för att bestämma teoretisk högsta stormflod. Rapporten Johansson m.fl (2017) behandlar lokala effekter på extrema vattenstånd.

2 Syfte

Klimatförändringarna medför att havet stiger, vilket kan leda till skador på bostäder, vägar och samhällsviktig verksamhet. Som ett underlag för planeringsbeslut har en karttjänst framtagits som visar det framtida medelvattenståndet längs Sveriges kust. Den ger en indikation om vilka områden som kan vara sårbara, och där hänsyn bör tas till stigande vattennivåer. I föreliggande rapport beskrivs hur karttjänsten framtagits och vilka underlag som använts samt de val som gjorts.

3 Medelvattenstånd

Att beräkna ett medelvärde av vattenståndet i en viss punkt längs vår kust är inte enkelt. Landhöjningen är en pågående process som inte sker med samma hastighet längs kusten. Samtidigt pågår en global havsnivåhöjning. Det gör att både land och havsyta rör sig i förhållande till varandra. En tidsserie av vattenståndsobservationer kan inte hanteras på samma sätt som tidsserier relaterade till en fast 0-punkt, exempelvis temperatur. För en kort tidsserie är det möjligt, men för längre tidsskalor måste hänsyn tas till eventuell landhöjning vid positionen och den globala havsnivåhöjningen.

3.1 Referenssystem

All höjdinformation behöver relateras till en nollnivå. Att relatera havsnivåer till markytan och höjder till havsnivån kan tyckas grundläggande. Eftersom varken marken eller havsnivån är fix relativt jordens centrum eller ens relativt grannpunkter behövs

¹ Importerat vattenstånd är vattenståndshändelser som till stor del har byggts upp av vädersystem över Nordsjön och Atlanten.

emellertid något annat. Därför definieras ett höjdsystems nollnivå av ett observerat medelvattenstånd på en bestämd plats över en viss, längre tidsperiod.

Det finns flera olika höjdsystem men för de längre tidsperioderna inom detta projekt används rikets höjdsystem RH2000, som är Sveriges nationella höjdsystem sedan år 2005. Nollnivån för denna definieras av Normaals Amsterdams Peil (NAP). Det är en punkt i Amsterdam som motsvaras av tidvattennivån i staden vid medelhögvatten år 1684. Även andra europeiska länder använder NAP som nollnivå vilket gör det lättare att relatera havsnivåer över landsgränser.

- Arbetet som beskrivs i denna rapport refererar till Sveriges nationella höjdsystem sedan år 2005, rikets höjdsystem RH2000.

3.2 Landhöjning

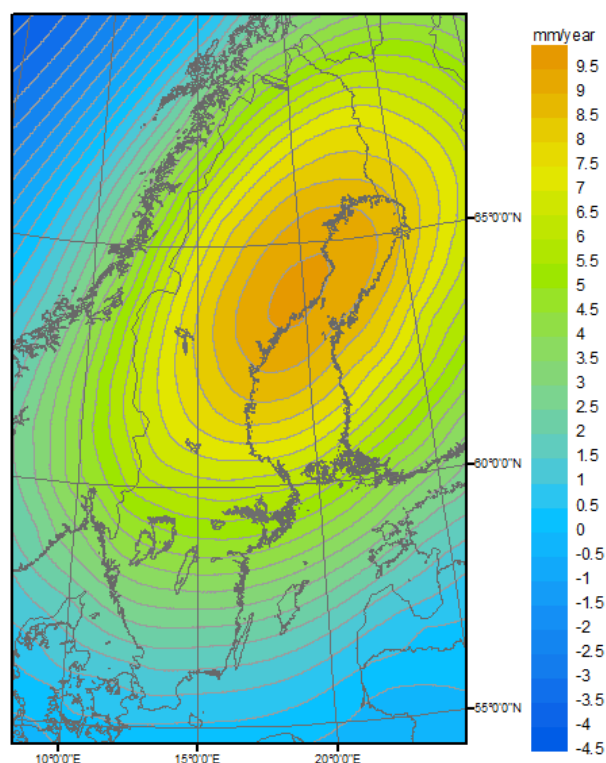
Under den senaste istiden var Skandinavien täckt av is vars tyngd pressade ned landytan. När isen försvann för nästan 10 000 år sedan påbörjades en återgång (relaxering) av jordskorpan till ursprunglig form. Processen är mycket långsam och jordskorpan stiger fortfarande. Hastigheten är olika på olika platser, men kan anses vara konstant för varje position under den tidsperiod som avses i detta sammanhang.

Jordskorpan stiger snabbast längs Bottniska vikens kust, med ett maximum på ca 10 mm/år (relativt geoiden²) i Norra Kvarkenområdet. Söderut minskar hastigheterna för att runt Skåne och Blekinge vara nära noll (figur 1). Att jordskorpan stiger i vår del av världen minskar delvis effekterna av stigande globala havsnivåer, eftersom både land och hav stiger. Men då hav och land inte stiger med samma hastighet blir det en nettoeffekt som är positiv eller negativ vad gäller havsnivån relativt fixa landpunkter på olika platser. För de tidsperioder som avses i denna rapport kan landhöjningen sägas stiga med konstant, om än geografiskt varierande, hastighet.

- Som underlag för beräkningar av den framtida havsnivån använder SMHI den avvägda landhöjningsmodellen, levererad av Lantmäteriet (NKG2016LU_lev)³.

² Geoiden = den nivåyta i jordens tyngdkraftsfält som bäst ansluter sig till den ostörda havsytans medelnivå och dess tänkta förlängning genom kontinenterna (NE)

³ Läs mer om landhöjningsmodellen i kapitel 5.1



Figur 1. Landhöjningshastigheter (relativt geoiden) från modellen NKG2016LU (läs mer i kapitel 5).

4 Global havsnivåhöjning

Enligt IPCC:s⁴ femte utvärderingsrapport AR5⁵ (Church *et al.*, 2013), fortsättningsvis benämnd IPCC AR5 i detta dokument, är det mycket sannolikt att den globala genomsnittliga hastigheten för havsnivåhöjningen var $1.7 (\pm 0.2)$ mm/år mellan 1901 och 2010, $2.0 (\pm 0.3)$ mm/år mellan 1971 och 2010 och $3.2 (\pm 0.4)$ mm/år mellan 1993 och 2010. Under de senaste 25 åren, sedan september 1992, har det globala medelvattenståndet stigit med $3,4 (\pm 0,4)$ mm/år enligt satellitmätningarna (TOPEX/Poseidon, Jason-1 and OSTM/Jason-2) (Beckley *et al.* 2015).

Den globala havsnivåhöjningen beror på den pågående globala temperaturökningen och höjningen kommer att fortsätta under mycket lång tid framöver. Att havet stiger härrör från flera olika komponenter som översiktligt redovisas här. För en mer fullständig beskrivning rekommenderas kapitel 13 i IPCC AR5.

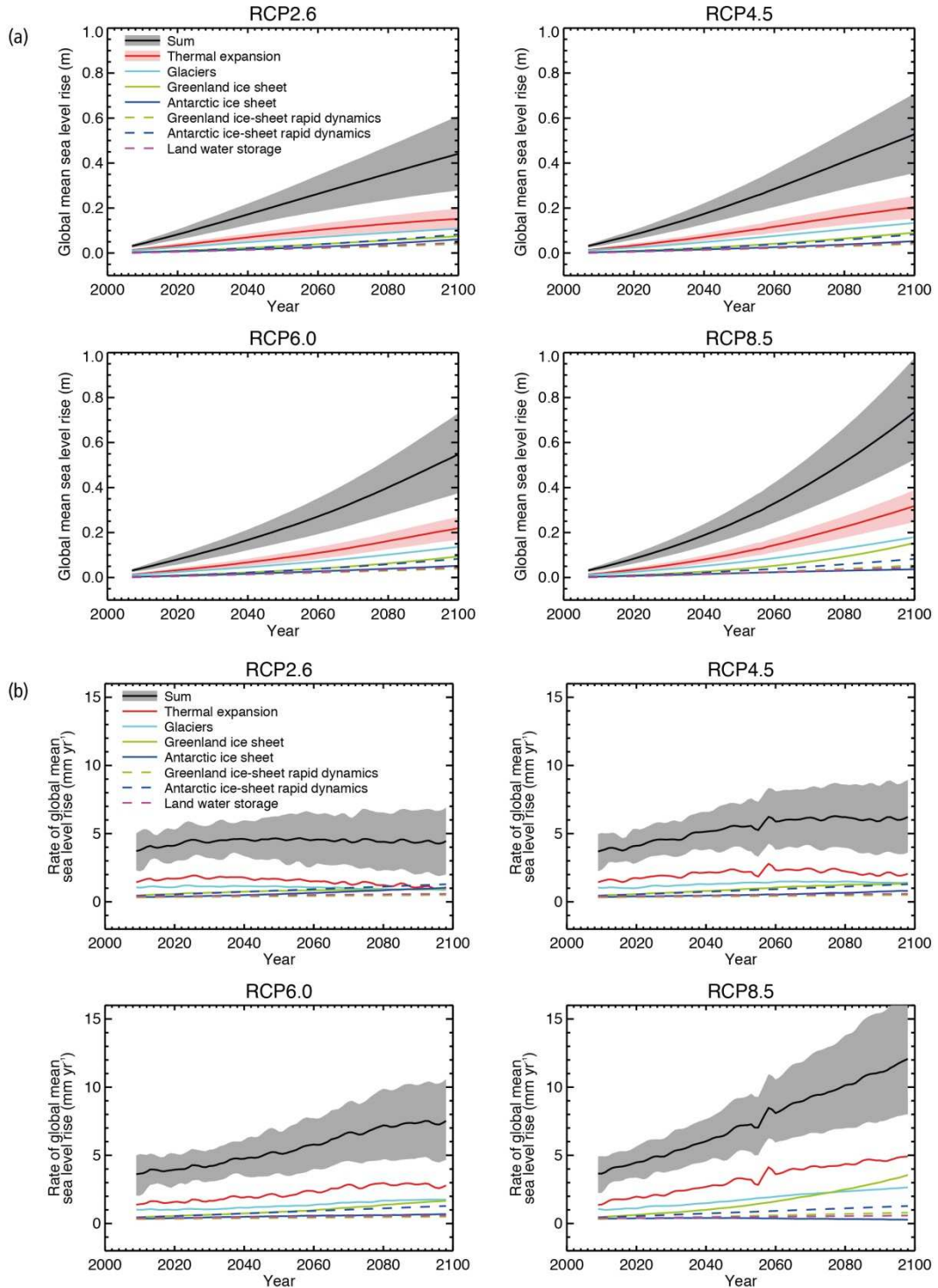
IPCC sammanställer också kunskapsläget över den framtida klimatutvecklingen. Enligt IPCC AR5 härrör den största pågående förändringen av det globala medelvattenståndet under detta århundrande från termisk expansion (röd linje i figur 2). Varmare hav kräver större utrymme rent fysikaliskt och då volymen endast har möjlighet att utvidgas uppåt stiger havsnivåerna. Det näst största bidraget kommer från glaciärer som smälter när lufttemperaturen ökar (ljusblå linje). Färskvattenreservoarer (röd streckad linje) utgör endast en liten del. Denna bedömning bygger främst på att det antropogena (av människan) uttaget av färskvatten förväntas öka.

⁴ IPCC= Intergovernmental Panel on Climate Change. Även kallad FN:s klimatpanel.

⁵ AR5 = Assessment Report No 5. Den femte utvärderingen från IPCC.

Det råder störst osäkerhet kring bidragen från Grönlandsisen samt isarna på och runt Antarktis (blå och gröna linjer i diagrammen). Processerna i dessa områden är dåligt kända samtidigt som det finns stor kapacitet att tillföra vatten.

Den termiska expansionen ger alltså det enskilt största bidraget. Summan av de övriga delarna är dock lite större (jämför medianen för "sum" med medianen för "thermal expansion" i figur 2).



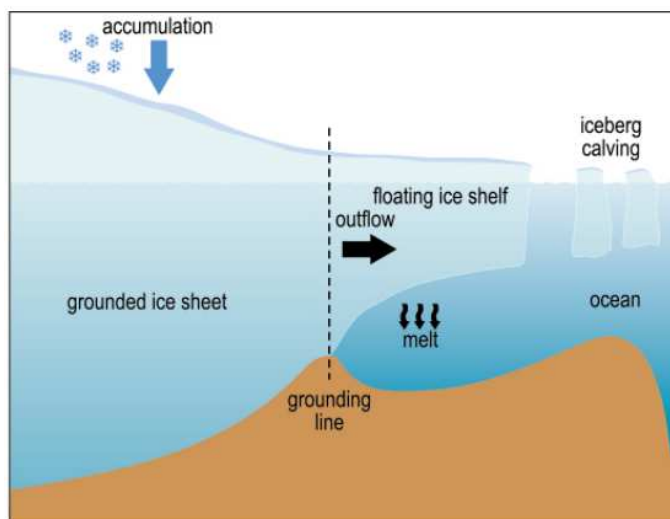
Figur 2. De olika bidragen till framtida globala havsnivåhöjningar för olika klimatscenarier (RCP-er, se vidare kapitel 3) i IPCC AR5. (a) havsnivåhöjning i meter och (b) hastigheten med vilken havsnivån stiger i mm/år (från Church et al, 2013).

4.1 Grönland och Antarktis

De stora ismassorna på Grönland och Antarktis har komplex dynamik. I vetenskapliga studier delas ismassorna upp i "istäcken" och "shelfis". Istäcket är den del som har markkontakt och shelfisen är den del som flyter ut över havet.

Istäcket studeras utifrån massbalans (heldragna blå och gröna linjer i diagrammen, figur 2). Massan växer till på samma sätt som glaciärerna genom att nederbörd i form av snö fyller på massan ovanifrån. Tyngden från isen och den nya snön gör sedan att istäcket sakta rör sig utför och ut mot havet. När isen når havet flyter den vidare ut över havet och bildar shelfis (figur 3). I shelfisen blir de dynamiska processerna som bryter ner isen viktiga (streckade blå och gröna linjer i diagrammen, figur 2).

De temperatur- och nederbördsförändringar som den globala uppvärmningen medför påverkar processerna i ismassorna. Havet påverkar isen underifrån och nya strömningsmönster och högre temperaturer kan snabbare bryta ned isen. Om nederbörden faller som regn, istället för som snö, kan den penetrera ner genom isen och göra den porösare jämfört med snö som lägger sig på ytan. När shelfisen minskar finns det även möjlighet för istäcket på land att börja röra sig snabbare ut mot havet och bilda ny shelfis som kan brytas ner.



Figur 3. Schematisk bild över geometri och isflöden där landis möter hav (från Church *et al*, 2013).

I nuläget saknas kunskap för att tillfredställande modellera alla processer i shelfisen. Det handlar om mycket avlägsna och otillgängliga platser där det är svårt och kostsamt att göra observationer på plats. Därför finns fortfarande stora osäkerheter kring hur stort bidraget blir från Grönlands- och Antarktisarna. Forskning inom området pågår och under den kommande 10-årsperioden förväntas framsteg (Griggs *et al.*, 2017).

Kalén (2017) beskriver att två isar på väst-Antarktis bidrar med totalt 137 86 Gt vatten per år. Thwaites-glaciären kan snart komma att bidra med ca 1 mm/år global havnivåhöjning (Scambos *et al.* 2017). Processerna vid isarnas undersida behöver beskrivas bättre liksom transporten av varmare vatten in under isen. Dessa processer påverkar hur snabbt isen smälter från undersidan. För en omfattande förbättring av kunskaperna behövs bättre observationer av atmosfären, oceancirkulationen, isens läge och dynamik samt även landmassan under isen. Modellering av isprocesser och deras inverkan på stigande hav måste förbättras utifrån ökad processförståelse. Lokal gravitation kan exempelvis motverka att smältningen eskalerar, eftersom den leder till att vattenståndet sjunker lokalt allt eftersom ismassan minskar (de Boer *et al.*, 2017).

Tidsskalan för kollaps av väst-Antarktis har modellerats i olika modellexperiment för olika framtida klimatscenarier, och varierar inom allt mellan några hundra år till flera millenier (Scambos *et al.*, 2017).

4.2 Globalt medelvattenstånd fram till år 2100

Beskrivningen nedan bygger framför allt på information från IPCC AR5 (Church *et al.*, 2013) eftersom den representerar det senaste utvärderade underlaget. Forskningsarbetet har fortsatt sedan dess och en nyligen publicerad amerikansk rapport (Griggs *et al.*, 2017) ger en god sammanställning över detta. Det finns dock ingen tillräckligt samstämmig information om utvecklingen efter IPCC AR5 för att i nuläget frånga resultaten därifrån. Nästa specialrapport från IPCC om havet kommer år 2019.

Beräknade globala medelvattenståndet i framtiden enligt IPCC AR5 finns redovisat i tabell 1. Värden visas för fyra olika scenarier kallade RCP⁶-er. Förenklat kan man säga att de olika scenarierna baseras på antaganden om hur växthuseffekter kommer att förstärkas i framtiden, så kallad strålningsdrivning. Scenarierna betecknas RCP2,6, RCP4,5, RCP6,0 och RCP8,5 där siffran motsvarar den antropogena strålningsdrivningen i W/m² i slutet av århundradet.

- Det lägsta scenariot RCP2,6 förutsätter en kraftfull klimatpolitik. Utsläppen kulminerar runt år 2020 för att sedan minska. Detta scenario ligger närmast ambitionerna i Klimatavtalet från Paris (UNFCCC, 2015).
- RCP4,5 och RCP6,0 representerar båda stabiliseringsscenarier där olika strategier för reducerade växthusgasutsläpp gör att strålningsdrivningen försätter öka en period för att sedan minska. I RCP4,5 ökar utsläppen fram till 2040 medan de i RCP6,0 ökar fram till 2060 för att i båda fall sedan avta.
- Det högsta scenariot RCP8,5 representerar en samhällsutveckling med fortsatt höga utsläpp av växthusgaser. I dagsläget ligger detta scenario närmast de uppmätta trenderna i koncentrationen av växthusgaser (Sanford *et al.*, 2014).

Den senaste rapporteringen över de estimerade globala utsläppen (Global Carbon Project, 2017) visar glädjande nog på att de fossila bränsleutsläppen nu börjar avvika från RCP8,5. Det är dock ännu långt till målet att nå stabilisering av klimatsystemet under 2°C (över förindustriell tid).

Havsnivåvärdena för respektive scenario baseras på beräkningsresultat från 21 olika processbaserade och kopplade hav-atmosfärmodeller (AOGCM⁷) inom WCRP⁸-projektet CMIP5⁹. Beräkningarna görs i ett globalt gridnät (rutor). Från dessa beräkningsmodeller erhålls en global medeltemperatur i luften vid mark/havsyta samt den termiska expansionen i havet. Lufttemperaturen används vidare för beräkning av glaciäravsmältning och massbalansräkningar av istäckena på Grönland och Antarktis. De olika bidragen (se figur 2) läggs ihop och ger en total havsnivåhöjning.

⁶ Representative Concentration Pathways

⁷ Atmosphere-Ocean General Circulation Models

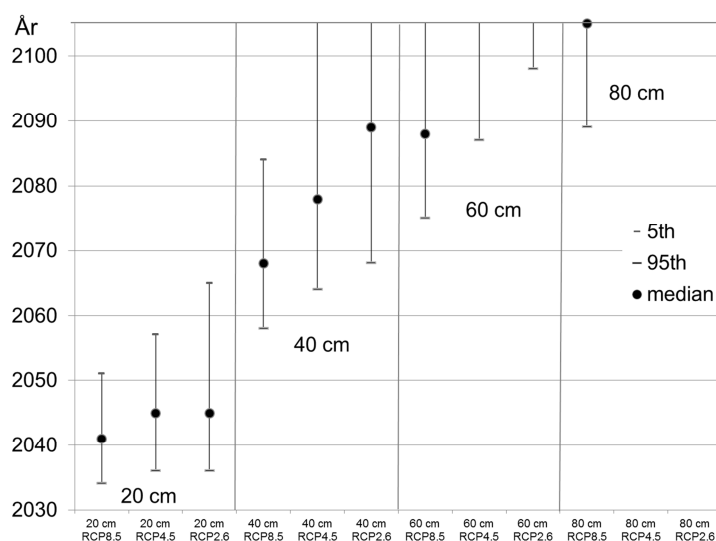
⁸ World Climate Research Programme

⁹ Coupled Model Intercomparison Project Phase 5

Tabell 1. Beräknat globalt medelvattenstånd i meter relativt referensperioden 1986-2005 för fyra olika scenarier. Median samt 5:e och 95:e percentilen visas för två tidsperioder samt för år 2100. Från IPCC AR5 tabell 13.5 (Church et al, 2013).

Globalt medelvattenstånd i meter	RCP2,6 Median (5:e - 95 percentil)	RCP4,5 Median (5:e - 95 percentil)	RCP6,0 Median (5:e - 95 percentil)	RCP8,5 Median (5:e - 95 percentil)
år 2046-2065	0,24 (0,17 – 0,32)	0,26 (0,19 – 0,33)	0,25 (0,18 – 0,32)	0,30 (0,22 – 0,38)
år 2081-2100	0,40 (0,26 – 0,55)	0,47 (0,32 – 0,63)	0,48 (0,33 – 0,63)	0,63 (0,45 – 0,82)
år 2100	0,44 (0,28 – 0,61)	0,53 (0,36 – 0,71)	0,55 (0,38 – 0,73)	0,74 (0,52 – 0,98)

Tabell 1 visar beräknade värden för framtida globalt medelvattenstånd som medianvärden, 5:e och 95:e percentilerna. Siffrorna avser olika tidsperioder samt år 2100. Intervallen härleddes från CMIP5 klimatprojektioner i kombination med processbaserade modeller samt genomgång av publicerade studier om glaciärers och landisars utbredning. IPCC AR5 anger att siffrorna är sannolika. Endast en kollaps av de havsbaserade sektorerna av Antarktis inlandsis skulle leda till en betydande höjning över det sannolika intervallet för 2000-talet. Om det sker kommer nivåerna i så fall överskridas med maximalt ett antal decimeter under 2000-talet.



Figur 4. Årtal då det beräknade framtida globala medelvattenståndet uppnår 20, 40, 60 respektive 80 cm över medelvattenståndet för referensperioden 1986-2005. Median, 5:e och 95:e percentilen visas för respektive RCP-scenario. Data från IPCC AR5.

Ett annat sätt att presentera informationen i tabell 1 är att visa vilka år som olika nivåer nås av de olika scenarierna (figur 4). Oberoende av scenario är det troligt att det globala medelvattenståndet år 2040 är 20 cm högre än under referensperioden 1986-2005. Lite längre fram på seklet, runt 2080, kan medelvattenståndet ha höjts 40 cm enligt alla scenarier. Enligt det högsta scenariot RCP8,5, kan det dessutom vara ännu högre. Ju längre tidshorisont desto större skillnad mellan scenarierna.

Havsnivåerna stiger i alla scenarier. Valet av scenario handlar därmed om hur fort det sker och när vissa eventuellt kritiska nivåer uppnås. Scenarierna RCP4,5 och RCP 6,0 är snarlika.

- SMHI väljer att använda IPCC AR5 som underlag för att bedöma det framtida medelvattenståndet längs svenska kusten.
- SMHI väljer att utgå från beräkningar över globala medelvattenstånd fram till år 2100 baserat på RCP2,6, RCP4,5 och RCP8,5.

4.3 Globalt medelvattenstånd efter år 2100

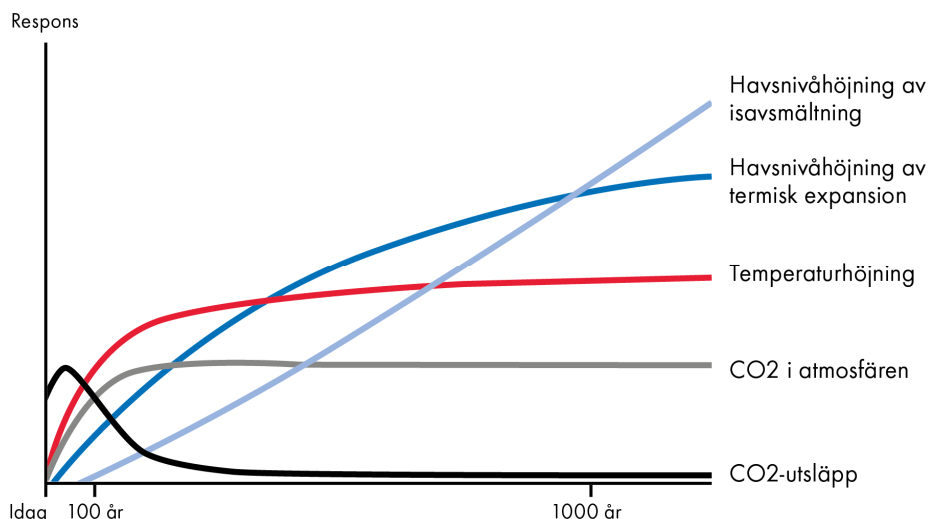
Endast ett fåtal beräkningar har gjorts längre än till 2100. Osäkerheten är därmed alltför stor för att ge kvantitativa svar om havsnivåerna efter kommande sekelskifte.

Tabell 2. Hastigheten med vilken det globala medelvattenståndet höjs i mm/år under perioden 2081-2100 för fyra olika scenarier. Medianvärden samt 5:e och 95:e percentilen. Från IPCC AR5 tabell 13.5 (Church et al, 2013).

Global medelvattenståndshöjning i mm/år	RCP2,6 Median (5 - 95 percentil)	RCP4,5 Median (5 - 95 percentil)	RCP6,0 Median (5 - 95 percentil)	RCP8,5 Median (5 - 95 percentil)
år 2081-2100	4,4 (2,0 – 6,8)	6,1 (3,5 – 8,8)	7,4 (4,7 – 10,3)	11,2 (7,5 – 15,7)

Inget av dagens scenarier pekar dock på att havsnivån kommer att stanna på en bestämd nivå runt nästa sekelskifte. Till och med det lägsta scenariots undre percentil (RCP2,6 5:e percentilen) visar en havsnivåhöjning på 2 mm/år under perioden 2081-2100 (se tabell 2 för övriga scenarier).

Havet fortsätter att stiga även efter år 2100. Havet är en enorm vattenmassa och det tar lång tid innan effekten av den globala uppvärmningen fullt ut utvecklas. Landprocesserna är snabbare och därmed märks effekter av förändringar i atmosfären tidigare på land än i hav. På samma sätt ger åtgärder för att minska utsläpp snabbare genomslag för landeffekter än för processer i havet.



Figur 5. Illustration av responsen i de olika atmosfär-land-hav-systemen. Efter IPCC TAR (IPCC, 2001).

Figur 5 visar responsen i klimatsystemet för förändringen av koldioxidutsläpp. Figuren är en teoretisk illustration och innehåller inte kvantitativa uppgifter. Den åskådliggör trögheten i de olika delarna av klimatsystemet. Om utsläppen antas nå kulmen någon gång under innevarande sekel och därefter snabbt avta (svart linje) kommer koldioxidhalten i atmosfären (grå linje) så småningom att nå en stabiliseringsnivå och

därefter mycket långsamt avta. Havsnivåhöjningen (blå linjer) kommer att pågå under mycket lång tid.

- Havet fortsätter stiga efter år 2100. Det finns i dagsläget inte tillräckligt underlag för en bedömning av med vilken hastighet det kommer att ske.

5 Regionala effekter

5.1 Storskaliga regionala effekter

Uppvärmningen av haven blir inte lika stor på alla platser utan påverkas av hur mycket temperaturen höjs regionalt. Förändringarna i vattenvolym blir därmed också ojämnt fördelade. I enlighet med de grundläggande fysikaliska lagarna rör sig vattenmassorna i den riktning som jämnar ut olikheterna. Därför kan det uppstå förändringar i de storskaliga strömningsmönstren.

Att mängden vatten blir olika på olika platser samt att Grönlands och Antarktis ismassor förändras påverkar i sin tur gravitationskrafterna regionalt. Stora ismassor drar till sig havsvatten med sin egen gravitationskraft. När ismassan minskar på grund av smältning, sjunker vattenståndet nära isen trots att det totalt har blivit mer vatten i oceanerna. Smältvattnet bidrar till, en relativt sett, högre höjning ju längre ifrån ismassan man kommer

Simpson *et al.* (2015) har gjort en översiktlig beskrivning av vilka faktorer som främst påverkar havsvattenståndet utanför Norge fram till år 2100. Efter uppvärmnings- och smälteffekter, är det näst största bidraget till havshöjning dynamiska förändringar i Antarktis istäcke. Processerna i Antarktis är särskilt viktiga eftersom avsmältningen påverkar mer ju längre ifrån ismassan man befinner sig. Vattennivån kring Sveriges kuster (liksom för Norge) stiger alltså mer om Antarktis isar smälter, jämfört med om Grönlands isar smälter.

5.2 Småskaliga regionala effekter

Sveriges västra kust står i direkt kontakt med Nordsjön-Kattegat och därmed den globala vattenståndshöjningen. Förändringar av vattenståndet i Nordsjön har potential att ge större förändringar än vad det globala medelvärde anger. Förutom den globala medelvattenståndshöjningen, som IPCC AR5 anger värden för uppemot 1m fram till år 2100 (tabell 1), förekommer också betydande regionala variationer på uppemot 0.3 m enligt Yin (2012). Nordatlanten är bland de regioner som har en hög spridning i beräkningsresultaten av vattenstånd från de globala modellerna. Osäkerheten är speciellt stor kring det högsta klimatscenarioet RCP8,5.

Östersjön är ett regionalt innanhav och står i kontakt med Nordsjön-Kattegat via Bälten och Öresund. De inre processerna i Östersjön påverkas av väderrelaterade vattenståndsförändringar som beror på nederbörd, avdunstning och tillrinning från de floder som mynnar i Östersjön samt vindar och lufttryck. På lång sikt kommer stigande globala havsnivåer även medföra att tvärsnittsarean i de danska sunden och Öresund ökar. Därmed förändras även flödena till Östersjön genom sunden.

Havsnivån i Östersjöområdet påverkas av ändringar i vindhastighet och färskvattenavrinning. Vid 30% ökad vindhastighet eller 35% mer färskvattenavrinning förändras medelnivån med några cm (Meier *et al.*, 2004).

Det råder betydande osäkerhet i hur både vindhastighet och färskvattenutflöden kan komma att förändras enligt de modeller som analyserats i IPCC AR5. Ett antal studier har därför gjorts på SMHI för att se hur olika processer (som exempelvis avrinning,

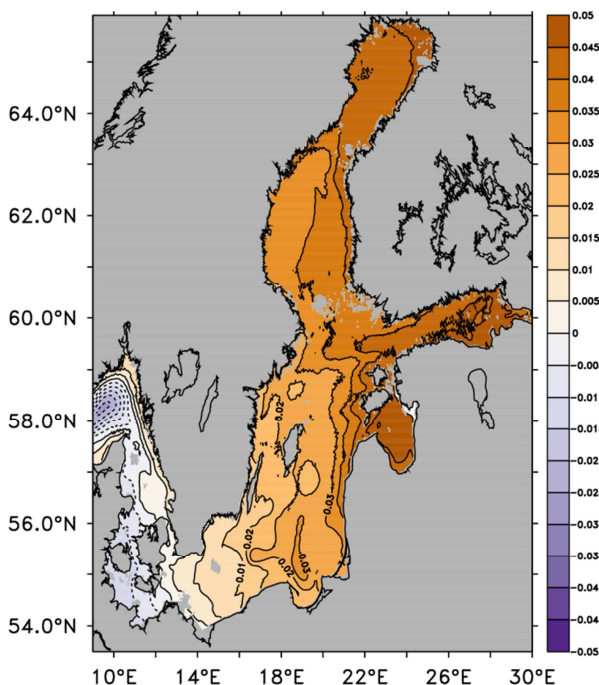
vindstress och tidvatten) påverkar vattenståndet i Östersjön och Nordsjön (Hieronymus *et al.*, 2017a; Hieronymus *et al.*, 2017b).

Tabell 3. De globala klimatmodeller vars utdata använts av RCA4-NEMO, de institut som gjort de globala beräkningarna, referenser och vilka RCP-er som använts.

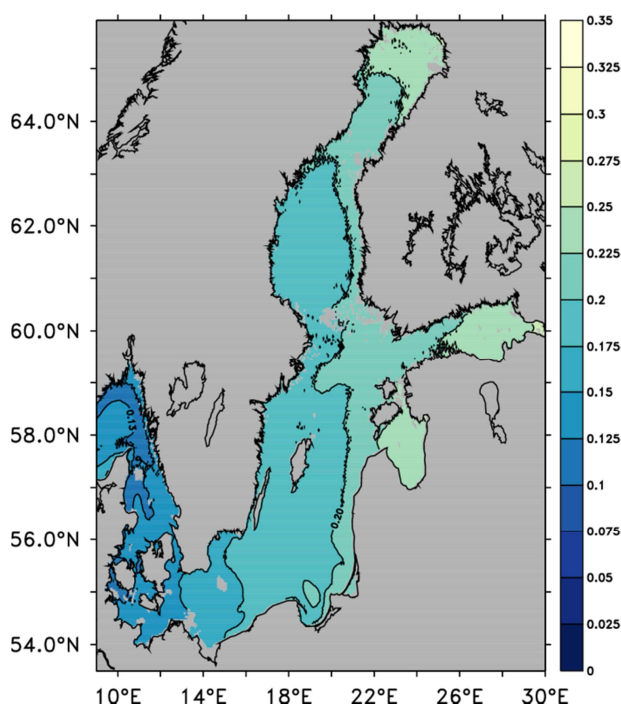
Global klimatmodell	Institut, tillhörighet	Referens	Europa + Sverige		
			RCP2,6	RCP4,5	RCP8,5
EC-EARTH	EC-EARTH, EU	Hazeleger <i>et al.</i> , 2010	X	X	X
IPSL-CM5A-MR	IPSL, France	Dufresne <i>et al.</i> , 2013		X	X
HadGEM2-ES	Hadley Centre, UK	Collins <i>et al.</i> , 2011	X	X	X
MPI-ESM-LR	MPI-M, Germany	Popke <i>et al.</i> , 2013	X	X	X
GFDL-ESM2M	NOAA GFDL, USA	Dunne <i>et al.</i> , 2012	X	X	X

Regionala nedskalningar av klimatscenarier med olika globala modeller som drivning har också genomförts (tabell 3). De regionala beräkningarna för Östersjön är gjorda med den sammankopplade atmosfärs- och havscirkulationsmodellen RCA4-NEMO (Dieterich *et al.*, 2013; Wang *et al.*, 2015).

De regionala variationerna i nedskalningarna med RCA4-NEMO visar på maximala vattenståndsförändringar för RCP8,5 på uppemot 5cm, utöver det globala medelvärdet, då perioden 2070-2099 jämförs med referensperioden 1970-1999 (figur 6). Dessa variationer beror alltså på lokala förändringar i vindar, nederbörd osv., men inte på förändringar av vattenståndet i Nordsjön. Effekten är alltså jämförbar med den i (Meier *et al.*, 2004) och störst amplitud ses i norra Östersjön.



Figur 6. Förändring av medelvattenstånd i Östersjön (m) enligt medelvärde av fem regionalt nedskalade RCP8,5 scenarier, i relation till det globala medelvärdet. Perioden 2070-2099 jämfört med 1970-1999.



Figur 7. Spridning i resultat (m) från beräkningar av medelhavsvattenstånd med fem regionalt nedskalade RCP8,5 scenarier för perioden 2070 -2099.

Figur 7 visar spridningen i modellresultat för medelvattenstånd i Östersjön enligt ensemble-beräkningar av RCP8,5, som har nedskalats med RCA4-NEMO. Det innefattar variationer av hur vind, nederbörd, havsnivå i Nordsjön utvecklas i globala modeller i RCP8,5 scenarier. Alla utvecklingar är lika sannolika. I större delen av Östersjön är största skillnaden mellan de fem modellerna omkring 20 cm. I de norra och östra vikarna är spridningen, och därmed osäkerheten, något större.

Det finns väl vedertagna bedömningar av den globala havsnivåhöjningen, med detta saknas för den regionala skalan. Vid nedskalningen av CMIP5-scenarier med den regionala klimatmodellen har vi använt information om ökningen av den globala medelhavsnivån och de regionala effekterna från de globala klimatmodellerna. För Nordatlanten finns en stor spridning i beräkningsresultaten från de globala modellerna. Denna modellosäkerhet går även in i de regionala beräkningarna. Dessutom adderas osäkerhet från den regionala modellen till havsnivåberäkningarna. Den sistnämnda effekten kan vara betydande men är idag alltför dåligt känd för att inkluderas i beräkningarna av framtida regionalt medelvattenstånd.

De regionala modellberäkningarna för Östersjön är fortfarande för få för att kunna undersöka skillnader mellan olika modeller. Troligen är spridningen mindre än vad de globala modellerna visar för Nordöstra Atlanten. Den beräknade medelhöjningen av havsnivån i Nordöstra Atlanten är några cm lägre än det globala värdet beroende på cirkulationsmönstren.

Med globala och regionala effekter inräknade bedöms medelvattenståndet i Östersjön att höjas ungefär som det globala medelvärdet, men med stor osäkerhet.

- Havsnivåerna i Nordsjön och Skagerrak skulle kunna bli något högre än det globala medelvattenståndet, beroende på storskaliga regionala effekter. Vi har valt att inte inkludera det i resultaten eftersom det i nuläget inte finns några entydiga svar på hur stort bidraget skulle kunna bli.

6 Landhöjningsmodell

Den postglaciala landhöjningen har i Sverige konstaterats sedan 1700-talet via observationer av havsvattenstånd. Under 1900-talet genomfördes tre nationella avvägningsskampanjer¹⁰ för att ta fram nationella riksnät i plan och höjd. Sedan 1990-talet har Lantmäteriet ett stort antal GPS-stationer som dygnet runt bestämmer sin position. Från dessa observationer erhålls jordskorpan rörelse i tre dimensioner vid varje station.

Lantmäteriet är den myndighet i Sverige som ansvarar för information om landhöjningen. Den modell (NKG2016LU) som använts i beräkningarna, för landhöjningsinformationen, är rekommenderad och tillhandahållen av Lantmäteriet.

NKG2016LU är en så kallad semi-empirisk landhöjningsmodell som lanserades av NKG¹¹ under 2016. Med semi-empirisk menas att det i botten är en empirisk modell, vilket betyder att den baseras på mätdata. I detta fall mätdata från upprepade avvägning och GNSS¹²-data från fasta referensstationer. Modellen är kombinerad med en geofysisk GIA¹³-modell som används för interpolation och extrapolation mellan och utanför observationspunkterna. NKG2016LU finns i nuläget inte beskriven i någon rapport. Den äldre och snarlika modellen NKG2005LU är beskriven i Ågren och Svensson (2007).

NKG2016LU levereras som ett grid¹⁴ och har lanserats i två olika versioner, dels som absolut landhöjning (NKG2016LU_abs) och dels som avvägd landhöjning (NKG2016LU_lev). Modellen anger landhöjningens hastighet i mm/år.

Med *absolut landhöjning* avses jordskorpan vertikala rörelse relativt jordens centrum, eller egentligen relativt ett globalt referenssystem för positionsangivelse som har origo i (eller nära) jordens centrum. Satellitnavigeringssystem, så kallade GNSS, dit t ex GPS¹⁵ hör, anger positioner i ett sådant referenssystem. Lantmäteriets fasta referensstationer registrerar därför den absoluta landhöjningen.

Landhöjningen orsakar förändringar i jordens tyngdkraftsfält (tungt mantelmateri flyter in under landhöjningsområdet och fyller på när jordskorpan rör sig uppåt). Ostörda vattenytor ändras med tiden sakta form. Havet och därmed vår referensyta för höjdangivelser, den så kallade geoiden, följer med landet upp men inte i samma takt som markytan. Havsnivå-/geoidhöjningen uppgår till cirka 6 % av landhöjningen. Med avvägning mäts höjden över geoiden (som är nollnivå i Lantmäteriets höjdsystem) och upprepade avvägning ger det som kallas *avvägd landhöjning* eller landhöjningen relativt den av nutida klimateffekter opåverkade havsytan. För beräkningar av den framtida havsnivån har SMHI använt den avvägd landhöjningsmodellen.

Tidigare levererades landhöjningsmodeller i en version för *apparent landhöjning*. Förutom den havsnivåändring som orsakas av landhöjningen i sig ingår då även nutida klimatrelaterade havsnivåförändringar. Den pågående havsnivåökningen är troligen inte konstant och NKG har, bland annat därför, beslutat att inte leverera NKG2016LU som apparent landhöjning.

¹⁰ Avvägning=bestämning av höjdskillnaden mellan bestämda punkter på jordytan. (NE)

¹¹ NKG = Nordiska Kommissionen för Geodesi, ett samarbetsorgan för geodesiorganisationer i Norden

¹² GNSS = Global Navigation Satellite Systems

¹³ GIA = Glacial Isostatic Adjustment

¹⁴ Grid = Rutnät, värdet avser mittpunkten i rutan

¹⁵ GPS= Global Positioning System

Ett arbete pågår för att bedöma osäkerheten i NKG2016LU (Lantmäteriet, september 2017). Det finns olika källor till osäkerheter men sammanvägt bedömer Lantmäteriet den totala/absoluta standardosäkerheten i modellen till ca 0.6 mm/år. Denna osäkerhet är av samma storleksordning som de regionala variationerna i medelvattenstånd, upp till 1 dm mot slutet på seklet.

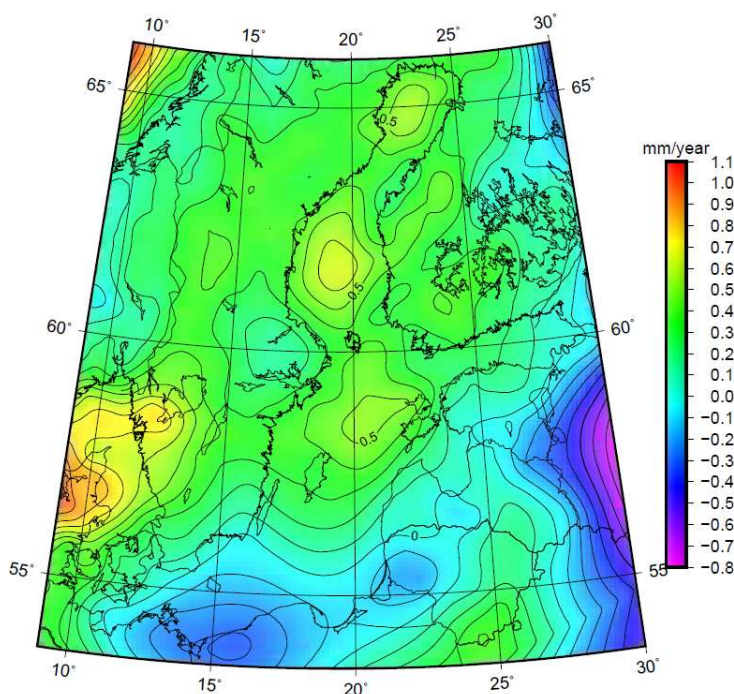
6.1 Klimatrelaterade havsnivåförändringar

Om klimatrelaterade havsnivåförändringar ska studeras utifrån vattenståndsobservationer behöver man först kompensera för landhöjningen, det vill säga den avvägda landhöjningen (NKG2016LU_lev). Den avvägda landhöjningen subtraheras från vattenståndsobservationer och havsnivåförändringen orsakad av klimatförändringar erhålls. För att bestämma framtida medelvattenstånd, för en viss plats och år, ska den avvägda landhöjningen inkluderas i beräkningen.

6.2 Jämförelse mot tidigare landhöjningsmodell

Landhöjningen är en av de största komponenterna i vårt närområde för hur havsnivåerna förändras, se kapitel 2.2. Därför är det intressant att jämföra den gamla landhöjningsmodellen (NKG2005LU) med den nya modellen (NKG2016LU) (figur 8). Den nya landhöjningsmodellen har generellt en landhöjning som är 0-0,8 mm/år högre längs Sveriges kust än sin föregångare.

I perspektivet 100 år bedöms landhöjningen bli 4-5 cm större längs Bottniska viken och 6-7 cm större längs västkusten, än i tidigare beräkningar baserade på NKG2005LU. För bedömning av framtida havsnivåer innebär det att landhöjningen minskar effekten av havsnivåhöjningen mer än vad som tidigare antagits i beräkningarna om NKG2005LU använts.



Figur 8. Skillnaden i landhöjningshastigheter mellan den nya landhöjningsmodellen NKG2016LU och den gamla NKG2005LU. Grönt och rött indikerar högre hastigheter i den nya modellen och blått visar lägre hastigheter. Källa: Lantmäteriet.

7 Framtida medelvattenstånd

Nedan beskrivs hur framtida medelvattenstånd kan bestämmas för olika platser längs svenska kusten.

7.1 Metod för att beräkna framtida medelvattenstånd

För att beräkna framtida medelvattenstånd vid en plats behöver referensnivån för vattenståndet och landhöjningen vid den positionen bestämmas. Dessutom ska scenario väljas för att få det globala medelvattenståndet.

Havsnivåerna i IPCC AR5 är relaterade till referensperioden 1986-2005. För att applicera de framtida havsnivåhöjningarna har vi valt att utgå från samma referensperiod i våra vattenståndsobservationer. Medelvärde för referensperioden antas representera vattenståndet år 1995, dvs. mitt i referensperioden. Landhöjningen i beräkningarna anges i cm/år och ska då multipliceras med antalet år som avses, från 1995 räknat.

Det framtida medelvärdet för havsnivån ($MV_{\text{år}}$) för valt år, scenario och position beräknas:

$$MV_{\text{år}} = MV_{\text{ref,plats}} + MV_{\text{global,RCP}} - (\text{år}-1995) \times LH_{\text{plats}}$$

Där $MV_{\text{ref,plats}}$ är referensnivån uträknad som medelvattenståndet för perioden 1986-2005 på en specifik plats, $MV_{\text{global,RCP}}$ är det globala medelvattenståndet för vald RCP och nivå (median, percentil), år är det år havsnivån ska beräknas för och LH_{plats} är avvägd landhöjning på den valda platsen.

Som tidigare beskrivits i rapporten finns flera osäkerheter i de olika termerna i beräkningen av framtida medelvattenstånd, dvs. medelvattenstånd för referensperioden, den globala havsnivåhöjningen och landhöjningen. Den första termen, medelvattenstånd för referensperioden, utgår från vattenståndsmätningar. För den tidsperiod som avses anser vi att beräkningen av medelvattenståndet för stationerna är tillförlitlig. Osäkerheten i avvägd landhöjning bedöms av Lantmäteriet till ca 0.6 mm/år (se kapitel 5).

Det framtida globala medelvattenståndet är osäkert och beror på det samlade kunskapsläget och olika antaganden. Tidsperioden motsvarar den referensperiod som IPCC använder. Andra alternativa beräkningssätt har testats och skillnaden i resultaten är endast några centimeter för vald period.

7.2 Framtida medelvattenstånd för mätstation

Medelvattenståndet för referensperioden och landhöjningen anges för SMHI:s mätstationer i tabell 4. Medelvattenståndet är beräknat från timvärden på vattenstånd i RH2000 över referensperioden. Endast stationer med mätvärden för hela referensperioden är medtagna. Förändringen av det globala medelvattenståndet, i relation till perioden 1986-2005 (representerar 1995), anges för specifika år och för olika scenarier i tabell 5.

Här visas exempel på överslagsberäkningar av framtida medelvattenstånd i RH2000 för två mätstationer, enligt formeln i kapitel 6.1. Siffrorna är tagna från tabell 4 och 5.

Exempel 1: Beräkna medelvattenståndet för mätstation *Simrishamn* år 2030.

Medelvattenståndet i RH2000 för perioden 1986-2005 (tabell 4): 14.0 cm

Landhöjningen (tabell 4): 0.09 cm/år

Antal år från referensperioden är 2030-1995: 35 år

Förändring i globalt medelvattenstånd, enligt medianvärden (tabell 5): 13 cm

Enligt formel: $14.0 + 13 - (35 \times 0.09) = 24 \text{ cm}$

Medelvattenståndet ökar ca 10 cm från år 1995 till år 2030.

Tabell 4. Medelvattenståndet för den valda referensperioden 1986-2005 samt den avvägda landhöjningen från NKG2016LU för vattenståndsstationer längs Sveriges kust som har en tidsserie som börjar senast 1986.

Station	Latitud	Longitud	MV RH2000 (1986-2005) [cm]	Landhöjning [cm/år]
Kalix	65°41' 49"	23°05' 46"	26,2	0,892
Furuögrund	64°54' 57"	21°13' 50"	22,5	0,945
Ratan	63°59' 10"	20°53' 42"	24,4	0,952
Skagsudde	63°11' 26"	19°00' 45"	19,8	0,947
Spikarna	62°21' 48"	17°31' 52"	20,1	0,892
Forsmark	60°24' 31"	18°12' 39"	18,9	0,677
Stockholm	59°19' 27"	18°04' 55"	18,9	0,536
Landsort norra	58°46' 08"	17°51' 32"	16,8	0,460
Marviken	58°33' 13"	16°50' 14"	15,5	0,450
Visby	57°38' 21"	18°17' 04"	13,1	0,290
Ölands norra udde	57°21' 58"	17°05' 50"	17,0	0, 268
Oskarshamn	57°16' 30"	16°28' 41"	13,9	0,264
Kungsholmsfort	56°06' 19"	15°35' 22"	14,1	0,133
Simrishamn	55°33' 27"	14°21' 28"	14,0	0.091
Skanör	55°25' 00"	12°49' 47"	12,6	0.077
Klagshamn	55°31' 20"	12°53' 37"	12,3	0.084
Barsebäck	55°45' 23"	12°54' 12"	9,7	0.104
Viken	56°08' 32"	12°34' 45"	6,1	0.131
Ringhals	57°14' 59"	12°06' 45"	6,7	0.252
Gbg-Torshamnen	57°41' 05"	11°47' 26"	6,9	0.289
Stenungsund	58°05' 36"	11°49' 57"	3,6	0.337
Smögen	58°21' 13"	11°13' 04"	1,3	0.340
Kungsvik	58°59' 48"	11°07' 38"	-1,2	0.399

Exempel 2: Beräkna medelvattenståndet för mätstation Kalix år 2070

Medelvattenståndet i RH2000 för perioden 1986-2005 (tabell 4): 26.2 cm

Landhöjningen (tabell 4): 0.89 cm/år

Antal år från referensperioden är 2070-1995: 75 år

Förändring i globalt medelvattenstånd är, om vi väljer medianvärdet för RCP8,5 (tabell 5): 42 cm

Enligt formel: $26.2 + 42 - (75 \times 0.89) = 1.4$ cm

Medelvattenståndet minskar ca 25cm från år 1995 till år 2070, eftersom landhöjningen är högre än höjningen av det globala medelvattenståndet enligt medianberäkningen av RCP8,5. Om hela spännvidden för globala medelvattenståndet år 2070 i tabell 5 används (21-54 cm) blir resultatet att medelvattenståndet i Kalix minskar ca 46 cm respektive ca 13 cm.

Tabell 5. Förändring i globalt medelvattenstånd (cm) för olika år och scenarier i relation till värdet perioden 1986-2005. Data från IPCC AR5, Tabell AIII.7.7 (IPCC, 2013).

År	RCP2,6 Median (5–95 percentil) [cm]	RCP4,5 Median (5–95 percentil) [cm]	RCP8,5 Median (5–95 percentil) [cm]
2007	3 (2 – 4)	3 (2 – 4)	3 (2 – 4)
2010	4 (3 – 5)	4 (3 – 5)	4 (3 – 5)
2020	8 (6 – 10)	8 (6 – 10)	8 (6 – 11)
2030	13 (9 – 16)	13 (9 – 16)	13 (10 – 17)
2040	17 (13 – 22)	17 (13 – 22)	19 (14 – 24)
2050	22 (16 – 28)	23 (17 – 29)	25 (19 – 32)
2060	26 (18 – 35)	0,28 (21 – 37)	33 (24 – 42)
2070	31 (21 – 41)	35 (25 – 45)	42 (31 – 54)
2080	35 (24 – 48)	41 (28 – 04)	51 (37 – 67)
2090	40 (26 – 54)	47 (32 – 62)	62 (45 – 81)
2100	44 (28 – 61)	53 (36 – 71)	74 (53 – 98)

7.3 Framtida medelvattenstånd per kommun

Beräkningar kan relativt enkelt göras i de punkter där referensnivån för medelvattenståndet och landhöjningen är känd, till exempel för SMHIs mätstationer. För att beräkna det framtida medelvattenståndet vid andra positioner, eller längs olika kuststräckor behövs en referensnivå mellan mätstationerna. Den kan interpoleras utifrån stationsdata. I bilaga 1 finns en lista över framtida havsnivåer per kommun. För de resultaten har referensnivån interpolerats med Arc-GIS IDW.

Landhöjningsinformationen från NKG2016LU levereras i griddat format vilket innebär att data finns för valfri position. Det framtida globala medelvattenståndet är ett globalt värde och framgår av tabell 5.

I bilaga 2 finns uppgifter om medelvattenstånd per kommun 1995 och landhöjning per kommun. Uppgifterna avser hela kommunen och är ungefärliga.

7.4 Karttjänst

Det framtida medelvattenståndet längs Sveriges kust presenteras i en karttjänst. Hur karttjänsten framtagits beskrivs i bilaga 3.

Användaren kan välja mellan tre olika RCP-scenarier, och år 2050 och 2100. Förhandsvalen på kartan är år 2100 och scenario RCP8,5.

Kartan visar inte effekter av stormar eller andra tillfälliga höjningar av vattenståndet. Karttjänsten finns på SMHI:s webbplats smhi.se.

7.5 Kommentar

Fram till år 2050 är skillnaderna mellan de olika klimatscenarierna små. Det ger ett stabilt beslutsunderlag som möjliggör ett klimatanpassningsarbete som kan förhindra skador och förluster. Efter år 2050 blir resultaten mer beroende av vilket scenario som väljs. Om konsekvenserna bedöms bli betydande bör högre scenarier övervägas som planeringsunderlag.

För att avgöra vilka havsnivåer som ska användas för samhällets olika planeringsprocesser krävs dialoger mellan berörda parter. Konsekvenser och andra faktorer behöver vägas in, såsom acceptabel risk, vilka värden som står på spel, det planerade objektets livslängd samt framtida möjligheter att anpassa sig till nya förutsättningar.

Karttjänsten visar medelvattenstånd, men hänsyn måste även tas till stormeffekter. I rapporten Schöld m.fl. (2017b) redovisas beräknade teoretiskt högsta stormrelaterade vattenstånd för mätstationer längs svenska kusten.

I Nerheim m.fl. (2017) finns beskrivet hur de olika underlag som framtagits inom projektet, kan användas vid planering.

Forskningen utvecklas allt eftersom och ny kunskap samt nya beräkningar framtas vartefter. Karttjänsten kan uppdateras när kunskapsläget gör det möjligt.

8 Referenser

- Beckley, B., Zelensky, N.P., Holmes, S.A., Lemoine, F.G., Ray, R.D., Mitchum, G.T., Desai, S. and Brown, S.T. (2015) *Global Mean Sea Level Trend from Integrated Multi-Mission Ocean Altimeters TOPEX/Poseidon Jason-1 and OSTM/Jason-2 Version 3*. PO.DAAC, CA, USA. Dataset accessed 2017-04-28 at <http://dx.doi.org/10.5067/GMSLM-TJ123>.
- Church, J.A., Clark, P.U., Cazenave, A., Gregory, J.M., Jevrejeva, S., Levermann, A., Merrifield, M.A., Milne, G.A., Nerem, R.S., Nunn, P.D., Payne, A.J., Pfeffer, W.T., Stammer, D. and Unnikrishnan, A.S. (2013) *Sea Level Change*. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1137–1216, doi:10.1017/CBO9781107415324.026.
- Collins, W.J., Bellouin, N., Doutriaux-Boucher, M., Gedney, N., Halloran, P., Hinton, T., Hughes, J., Jones, C.D., Joshi, M., Liddicoat, S., Martin, G., O'Connor, F., Rae, J., Senior, C., Sitch, S., Totterdell, I., Wiltshire, A. and Woodward, S. (2011) *Development and evaluation of an Earth-System model-HadGEM2*. Geosci. Model Dev., 4, 1051-1075, 2011.
- de Boer, B., Stocchi, P., Whitehouse, P.L., van de Wal, R.S.W. (2017) *Current state and future perspectives on coupled ice-sheet-sea-level modelling*. Quaternary Science Reviews, vol 169, 13-28.
- Dieterich, C., Schimanke, S., Wang, S., Väli, G., Liu, Y., Hordoir, R., Axell, L., Höglund, A. and Meier, H.E.M. (2013) *Evaluation of the SMHI coupled atmosphere-ice ocean model RCA4-NEMO*. SMHI Report Oceanography 47.
- Dufresne, J.-L., Foujols, M.-A., Denvil, S., Caubel, A., Marti, O., Aumont, O., Balkanski, Y., Bekki, S., Bellenger, H., Benshila, R., Bony, S., Bopp, L., Braconnot, P., Brockmann, P., Cadule, P. et al. (2013) *Climate change projections using the IPSL-CM5 Earth system model: From CMIP3 to CMIP5*. Clim. Dyn., 40, 2123-2165, 2013.
- Dunne, J.P., John, J.G., Adcroft, A.J., Griffies, S.M., Hallberg, R.W., Shevliakova, E., Stouffer, R.J., Cooke, W., Dunne, K.A., Harrison, M.J., Krasting, J.P., Malystev, S.L., Milly, P.C.D., Philipps, P.J., Sentman, L.T., Samuels, B.L., Spelman, M.J., Winton, M., Wittenberg, A.T. and Zadeh, N. (2012) *GFDL's ESM2 Global Coupled Climate-Carbon Earth System Models. Part I: Physical Formulation and Baseline Simulation Characteristics*. Journal of Climate Vol. 25. DOI: 10.1175/JCLI-D-11-00560.1, 2012.
- Global Carbon Project (2017) *Carbon Budget 2016*. <http://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/>
- Griggs, G., Árvai, J., Cayan, D., DeConto, R., Fox, J., Fricker, H.A., Kopp, R.E., Tebaldi, C., Whiteman, E.A. (California Ocean Protection Council Science Advisory Team Working Group) (2017) *Rising Seas in California: An Update on Sea-Level Rise Science*. California Ocean Science Trust, April 2017.
- Hazeleger, W. and Coauthors (2010) *EC-Earth: A seamless Earth-system prediction approach in action*. Bull. Amer. Meteor. Soc., 91, 1357-1363, 2010.
- Hieronymus, M., Dieterich, C., Andersson, H. and Hordoir, R. (2017a) *On the response of the Baltic Sea sea level to perturbations in mean sea level and wind speed*. PLOS ONE, submitted.

- Hieronimus, M., Hieronymus, J. and Arneborg, L. (2017b) *Sea Level modelling in the Baltic and the North Sea. The respective role of different parts of the forcing.* Ocean Modelling. Accepted.
- IPCC (2001) *Third Assessment Report (TAR)*. SYR Chapter 05, figure 5-2. www.ipcc.ch
- IPCC (2013) *Annex II: Climate System Scenario Tables* [Prather, M., G. Flato, P. Friedlingstein, C. Jones, J.-F. Lamarque, H. Liao and P. Rasch (eds.)]. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1395-1445, published 31 January 2014.
- Johansson, L., Gyllenram, W. och Nerheim, S. (2017) *Lokala effekter på extrema havsvattenstånd*. SMHI Oceanografi Nr 125.
- Kalén, O. (2017) *Ocean Circulation in the Amundsen Sea, West Antarctica*. PhD thesis, Göteborgs universitet, ISBN: 978-91-629-0214-8.
- Meier, H. E. M., Broman, B. and Kjellström, E. (2004) *Simulated sea level in past and future climates of the Baltic Sea*. *Clim Res Vol. 27*, pp. 59-75, doi:10.3354/cr02705904
- Nerheim, S., Schön, S., Persson, G. och Sjöström, Å. (2017) *Framtida havsnivåer i Sverige*. SMHI Klimatologi Nr 48.
- Popke, D., Stevens, B. and Voigt, A. (2013) *Climate and climate change in a radiative-convective equilibrium version of ECHAM6*. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, Vol. 5, 1-14, doi:10.1029/2012MS000191, 2013.
- Sanford, T., Frumhoff, P.C., Luers, A. and Gullede, J. (2014) *The climate policy narrative for a dangerously warming world*. *Nature Climate Change* 4, 164–166. doi:10-1038/nclimate2148
- Scambos, T. A., Bell, R. E., Alley, R. B., Anandakrishnan, S., Bromwich, D.H., Brunt, K., Christianson, K., Creyts, T., Das, S.B., DeConto, R., Dutrieux, P., Fricker, H.A., Holland, D., MacGregor, J., Medley, B., Nicolas, J.P., Pollard, D., Siegfried, M.R., Smith, A.M., Steig, E.J., Trusel, L.D., Vaughan, D.G. and Yager, P.L. (2017) *How much, how fast?: A science review and outlook for research on the instability of Antarctica's Thwaites Glacier in the 21st century*. *Global and Planetary Change*, 153, 16-34. doi:10.1016/j.gloplacha.2017.04.008
- Schöld, S., Hellström, S., Ivarsson, C.-L., Kållberg, P., Lindow, H., Nerheim, S., Schimanke, S., Södling, J. och Wern, L. (2017a) *Vattenståndsdynamik längs Sveriges kust*. SMHI Oceanografi Nr 123.
- Schöld, S., Ivarsson, C.-L., Nerheim, S. och Södling, J. (2017b) *Beräkning av högsta vattenstånd längs Sveriges kust*. SMHI Klimatologi Nr 45.
- Simpson, M.J.R., Nilsen, J.E.Ø., Ravndal, O.R., Breili, K., Sande, H.P., Kierulf, H., Steffen, H., Jansen, E., Carson, M., and Vestøl, Ø. (2015) *Sea Level Change for Norway*. Norwegian Centre for Climate Services, NCCS report no 1/2015.
- UNFCCC (2015) *The Paris Agreements. United Nations Framework Convention on Climate Change* http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php, 2015.
- Wang, S., Dieterich, C., Döscher, R., Höglund, A., Hordoir, R., Meier, H. E. M., Samuelsson, P., Schimanke, S. (2015) *Development and evaluation of a new regional coupled atmosphere-ocean model in the North Sea and Baltic Sea*. *Tellus A*, 67, 1867–1883, 2015.

- Yin, J. (2012) *Century to multi-century sea level rise projections from CMIP5 models*. Geophys. Res. Lett. 39, L17709
- Ågren, J. and Svensson, R. (2007) *Postglacial land uplift model and system definition for the new Swedish height system RH2000*. LMV-Rapport 2007:4. Lantmäteriet, Gävle.

9 Bilagor

Bilaga 1 – Framtida medelvattenstånd per kustkommun

Beräknade framtida medelvattenstånd (cm) i RH2000 för kustkommuner i Sverige baserat på interpolerade data för medelvattenståndet representerande år 1995 (se bilaga 2), landhöjningsinformation från NKG2016LU och framtida globala medelvattenstånd för olika scenarier enligt 5, 50 och 95 percentiler från tabell 5 i kapitel 6.1.

Kommun	RCP 2,6						RCP 4,5						RCP 8,5					
	år 2050			år 2100			år 2050			år 2100			år 2050			år 2100		
	5%	50%	95%	5%	50%	95%	5%	50%	95%	5%	50%	95%	5%	50%	95%	5%	50%	95%
Borgholm	18	24	30	19	35	52	19	25	31	27	44	62	21	27	34	44	65	89
Botkyrka	6	12	18	-8	8	25	7	13	19	0	17	35	9	15	22	17	38	62
Bromölla	22	28	34	27	43	60	23	29	35	35	52	70	25	31	38	52	73	97
Burlöv	22	28	34	29	45	62	23	29	35	37	54	72	25	31	38	54	75	99
Båstad	13	19	25	17	33	50	14	20	26	25	42	60	16	22	29	42	63	87
Danderyd	5	11	17	-10	6	23	6	12	18	-2	15	33	8	14	21	15	36	60
Falkenberg	10	16	22	10	26	43	11	17	23	18	35	53	13	19	26	35	56	80
Gotland	16	22	28	15	31	48	17	23	29	23	40	58	19	25	32	40	61	85
Gävle	-5	1	7	-29	-13	4	-4	2	8	-21	-4	14	-2	4	11	-5	16	40
Göteborg	6	12	18	3	19	36	7	13	19	11	28	46	9	15	22	28	49	73
Halmstad	11	17	23	13	29	46	12	18	24	21	38	56	14	20	27	38	59	83
Haninge	7	13	19	-6	10	27	8	14	20	2	19	37	10	16	23	19	40	64
Haparanda	-5	1	7	-36	-20	-3	-4	2	8	-28	-11	7	-2	4	11	-11	10	34
Helsingborg	16	22	28	22	38	55	17	23	29	30	47	65	19	25	32	47	68	92
Hudiksvall	-10	-4	2	-40	-24	-7	-9	-3	3	-32	-15	3	-7	-1	6	-14	7	31
Härnösand	-14	-8	-2	-48	-32	-15	-13	-7	-1	-40	-23	-5	-11	-5	2	-23	-2	22
Höganäs	15	21	27	20	36	53	16	22	28	28	45	63	18	24	31	45	66	90
Kalix	-6	0	6	-37	-21	-4	-5	1	7	-29	-12	6	-3	3	10	-12	9	33
Kalmar	19	25	31	21	37	54	20	26	32	29	46	64	22	28	35	46	67	91
Karlshamn	22	28	34	26	42	59	23	29	35	34	51	69	25	31	38	51	72	96

Kommun	RCP 2,6						RCP 4,5						RCP 8,5					
	år 2050			år 2100			år 2050			år 2100			år 2050			år 2100		
	5%	50%	95%	5%	50%	95%	5%	50%	95%	5%	50%	95%	5%	50%	95%	5%	50%	95%
Karlskrona	22	28	34	26	42	59	23	29	35	34	51	69	25	31	38	51	72	96
Kramfors	-15	-9	-3	-50	-34	-17	-14	-8	-2	-42	-25	-7	-12	-6	1	-25	-4	20
Kristianstad	23	29	35	28	44	61	24	30	36	36	53	71	26	32	39	53	74	98
Kungsbacka	8	14	20	6	22	39	9	15	21	14	31	49	11	17	24	31	52	76
Kungälv	4	10	16	0	16	33	5	11	17	8	25	43	7	13	20	25	46	70
Kävlinge	20	26	32	26	42	59	21	27	33	34	51	69	23	29	36	51	72	96
Laholm	13	19	25	16	32	49	14	20	26	24	41	59	16	22	29	41	62	86
Landskrona	18	24	30	25	41	58	19	25	31	33	50	68	21	27	34	50	71	95
Lidingö	5	11	17	-9	7	24	6	12	18	-1	16	34	8	14	21	16	37	61
Lomma	21	27	33	28	44	61	22	28	34	36	53	71	24	30	37	53	74	98
Luleå	-8	-2	4	-41	-25	-8	-7	-1	5	-33	-16	2	-5	1	8	-16	5	29
Lysekil	-2	4	10	-8	8	25	-1	5	11	0	17	35	1	7	14	17	38	62
Malmö	23	29	35	30	46	63	24	30	36	38	55	73	26	32	39	55	76	100
Munkedal	-5	1	7	-12	4	21	-4	2	8	-4	13	31	-1	5	12	13	34	58
Mönsterås	17	23	29	17	33	50	18	24	30	25	42	60	20	26	33	42	63	87
Mörbylånga	20	26	32	24	40	57	21	27	33	32	49	67	23	29	36	49	70	94
Nacka	6	12	18	-8	8	25	7	13	19	0	17	35	9	15	22	17	38	62
Nordanstig	-11	-5	1	-42	-26	-9	-10	-4	2	-34	-17	1	-8	-2	5	-17	4	28
Nordmaling	-15	-9	-3	-51	-35	-18	-14	-8	-2	-43	-26	-8	-12	-6	1	-26	-5	19
Norrköping	7	13	19	-4	12	29	8	14	20	4	21	39	10	16	23	21	42	66
Norrtälje	3	9	15	-15	1	18	4	10	16	-7	10	28	6	12	19	10	31	55
Nyköping	6	12	18	-6	10	27	7	13	19	2	19	37	9	15	22	19	40	64
Nynäshamn	6	12	18	-6	10	27	7	13	19	2	19	37	9	15	22	19	40	64
Orust	1	7	13	-4	12	29	2	8	14	4	21	39	4	10	17	21	42	66
Oskarshamn	15	21	27	13	29	46	16	22	28	21	38	56	18	24	31	38	59	83
Oxelösund	6	12	18	-5	11	28	7	13	19	3	20	38	9	15	22	20	41	65
Piteå	-11	-5	1	-45	-29	-12	-10	-4	2	-37	-20	-2	-8	-2	5	-20	1	25
Robertsfors	-13	-7	-1	-48	-32	-15	-12	-6	0	-40	-23	-5	-10	-4	3	-23	-2	22
Ronneby	22	28	34	27	43	60	23	29	35	35	52	70	25	31	38	52	73	97

Kommun	RCP 2,6						RCP 4,5						RCP 8,5					
	år 2050			år 2100			år 2050			år 2100			år 2050			år 2100		
	5%	50%	95%	5%	50%	95%	5%	50%	95%	5%	50%	95%	5%	50%	95%	5%	50%	95%
Simrishamn	25	31	37	32	48	65	26	32	38	40	57	75	28	34	41	57	78	102
Skellefteå	-13	-7	-1	-48	-32	-15	-12	-6	0	-40	-23	-5	-10	-4	3	-23	-2	22
Skurup	25	31	37	33	49	66	26	32	38	41	58	76	28	34	41	58	79	103
Sollentuna	5	11	17	-11	5	22	6	12	18	-3	14	32	8	14	21	14	35	59
Solna	5	11	17	-10	6	23	6	12	18	-2	15	33	8	14	21	15	36	60
Sotenäs	-2	4	10	-8	8	25	-1	5	11	0	17	35	1	7	14	17	38	62
Stenungsund	1	7	13	-3	13	30	2	8	14	5	22	40	4	10	17	22	43	67
Stockholm	6	12	18	-9	7	24	7	13	19	-1	16	34	9	15	22	16	37	61
Strömstad	-7	-1	5	-15	1	18	-6	0	6	-7	10	28	-4	2	9	10	31	55
Sundsvall	-12	-6	0	-44	-28	-11	-11	-5	1	-36	-19	-1	-9	-3	4	-19	2	26
Söderhamn	-8	-2	4	-36	-20	-3	-7	-1	5	-28	-11	7	-5	1	8	-11	10	34
Söderköping	8	14	20	-1	15	32	9	15	21	7	24	42	11	17	24	24	45	69
Södertälje	5	11	17	-9	7	24	6	12	18	-1	16	34	8	14	21	16	37	61
Sölvesborg	23	29	35	28	44	61	24	30	36	36	53	71	26	32	39	53	74	98
Tanum	-5	1	7	-13	3	20	-4	2	8	-5	12	30	-2	4	11	12	33	57
Tierp	-2	4	10	-24	-8	9	-1	5	11	-16	1	19	1	7	14	1	22	46
Timrå	-13	-7	-1	-46	-30	-13	-12	-6	0	-38	-21	-3	-10	-4	3	-21	0	24
Tjörn	2	8	14	-2	14	31	3	9	15	6	23	41	5	11	18	23	44	68
Torsås	21	27	33	25	41	58	22	28	34	33	50	68	24	30	37	50	71	95
Trelleborg	25	31	37	33	49	66	26	32	38	41	58	76	28	34	41	58	79	103
Trosa	6	12	18	-7	9	26	7	13	19	1	18	36	9	15	22	18	39	63
Tyresö	6	12	18	-7	9	26	7	13	19	1	18	36	9	15	22	18	39	63
Täby	5	11	17	-11	5	22	6	12	18	-3	14	32	8	14	21	14	35	59
Uddevalla	-1	5	11	-8	8	25	0	6	12	0	17	35	2	8	15	17	38	62
Umeå	-13	-7	-1	-49	-33	-16	-12	-6	0	-41	-24	-6	-10	-4	3	-24	-3	21
Valdemarsvik	10	16	22	2	18	35	11	17	23	10	27	45	13	19	26	27	48	72
Varberg	9	15	21	8	24	41	10	16	22	16	33	51	12	18	25	33	54	78
Vaxholm	5	11	17	-10	6	23	6	12	18	-2	15	33	8	14	21	15	36	60
Vellinge	24	30	36	32	48	65	25	31	37	40	57	75	27	33	40	57	78	102

Kommun	RCP 2,6						RCP 4,5						RCP 8,5					
	år 2050			år 2100			år 2050			år 2100			år 2050			år 2100		
	5%	50%	95%	5%	50%	95%	5%	50%	95%	5%	50%	95%	5%	50%	95%	5%	50%	95%
Värmdö	6	12	18	-8	8	25	7	13	19	0	17	35	9	15	22	17	38	62
Västervik	13	19	25	8	24	41	14	20	26	16	33	51	16	22	29	33	54	78
Ystad	25	31	37	33	49	66	26	32	38	41	58	76	28	34	41	58	79	103
Älvkarleby	-3	3	9	-27	-11	6	-2	4	10	-19	-2	16	0	6	13	-2	19	43
Ängelholm	14	20	26	19	35	52	15	21	27	27	44	62	17	23	30	44	65	89
Öckerö	6	12	18	4	20	37	7	13	19	12	29	47	9	15	22	29	50	74
Örnsköldsvik	-16	-10	-4	-52	-36	-19	-15	-9	-3	-44	-27	-9	-13	-7	0	-27	-6	18
Österåker	5	11	17	-11	5	22	6	12	18	-3	14	32	8	14	21	14	35	59
Östhammar	-1	5	11	-21	-5	12	0	6	12	-13	4	22	2	8	15	4	25	49

Bilaga 2 – Medelvattenstånd och landhöjning per kustkommun

Medelvattenstånd (MV) i RH2000 1995 (cm) och landhöjning (cm/år). Siffrorna avser medelvärden för hela kommunen. Landhöjningen representerar ett ungefärligt värde beräknat för en yta. Det kan förekomma att kommunen sträcker sig utöver den ytan.

Kommun	MV1995 (cm)	Landhöjning (cm/år)
Borgholm	14.5	0.23
Botkyrka	17.8	0.51
Bromölla	14.0	0.14
Burlöv	11.2	0.10
Båstad	6.3	0.16
Danderyd	18.9	0.54
Falkenberg	6.5	0.23
Gotland	14.6	0.27
Gävle	19.5	0.73
Göteborg	6.2	0.30
Halmstad	6.4	0.20
Haninge	18.0	0.50
Haparanda	26.1	0.86
Helsingborg	7.1	0.13
Hudiksvall	20.3	0.84
Härnösand	20.1	0.91
Höganäs	6.2	0.14
Kalix	26.0	0.87
Kalmar	14.0	0.20
Karlshamn	14.1	0.15
Karlskrona	14.1	0.15
Kramfors	20.0	0.93
Kristianstad	14.0	0.13
Kungsbacka	6.7	0.27
Kungälv	5.0	0.32
Kävlinge	9.7	0.11
Laholm	6.3	0.17
Landskrona	8.6	0.11
Lidingö	18.9	0.54
Lomma	10.5	0.10
Luleå	25.4	0.89
Lysekil	1.9	0.36
Malmö	11.7	0.09
Munkedal	0.9	0.39
Mönsterås	14.0	0.24
Mörbylånga	14.0	0.17
Nacka	18.8	0.53
Nordanstig	20.6	0.86
Nordmaling	21.5	0.96
Norrköping	15.7	0.46
Norrtilje	18.9	0.59
Nyköping	15.8	0.48
Nynäshamn	17.3	0.49
Orust	3.4	0.34

Kommun	MV1995 (cm)	Landhöjning (cm/år)
Oskarshamn	14.8	0.28
Oxelösund	15.8	0.46
Piteå	24.0	0.92
Robertsfors	24.0	0.96
Ronneby	14.1	0.15
Simrishamn	13.9	0.09
Skellefteå	23.2	0.95
Skurup	13.3	0.08
Sollentuna	18.8	0.55
Solna	18.9	0.54
Sotenäs	1.2	0.36
Stenungsund	3.9	0.34
Stockholm	18.8	0.53
Strömstad	-0.7	0.40
Sundsvall	20.5	0.89
Söderhamn	19.9	0.80
Söderköping	15.8	0.43
Södertälje	16.9	0.51
Sölvesborg	14.1	0.14
Tanum	0.1	0.39
Tierp	19.1	0.67
Timrå	20.2	0.90
Tjörn	4.1	0.32
Torsås	14.0	0.17
Trelleborg	12.9	0.07
Trosa	16.4	0.49
Tyresö	18.6	0.51
Täby	18.9	0.55
Uddevalla	2.8	0.37
Umeå	23.3	0.96
Valdemarsvik	16.0	0.40
Varberg	6.6	0.25
Vaxholm	18.9	0.54
Vellinge	12.4	0.08
Värmdö	18.7	0.52
Västervik	16.2	0.34
Ystad	13.5	0.08
Älvkarleby	19.3	0.70
Ängelholm	6.4	0.15
Öckerö	6.2	0.29
Örnsköldsvik	20.4	0.95
Österåker	18.9	0.55
Östhammar	18.9	0.65

Bilaga 3 – Framtagning av karttjänst

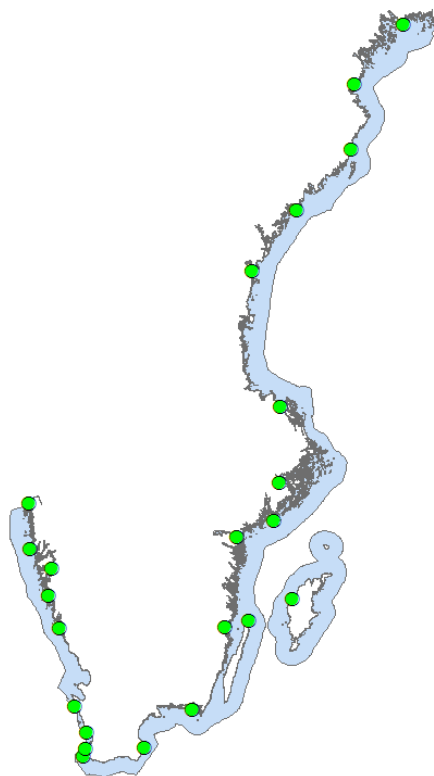
Interpolation av medelvattenståndet

Som indata användes medelvattenstånd för år 1995, beräknat som medelvärde av timvärden perioden 1986-2005. I tabellen listas mätstationer och medelvattenstånd (höjdsystem RH2000).

Nr	Station	RH2000 MV 1986-2005 (från timvärden, i cm)
2157	KALIX	26.2
2055	FURUÖGRUND	22.5
2056	RATAN	24.4
2321	SKAGSUDDE	19.8
2061	SPIKARNA	20.1
2179	FORSMARK	18.9
2069	STOCKHOLM	18.9
2507	LANDSORT NORRA	16.8
2076	MARVIKEN	15.5
2080	VISBY	13.1
2083	ÖLAND NORRA UDDE	17.0
2085	OSKARSHAMN	13.9
2088	KUNGSHOLMSFORT	14.1
2320	SIMRISHAMN	14.0
30488	SKANÖR	12.6
2095	KLAGSHAMN	12.3
2099	BARSEBÄCK	9.7
2228	VIKEN	6.1
2105	RINGHALS	6.7
2109	GÖTEBORG-TORSHAMNEN	6.9
2110	STENUNGSUND	3.6
2111	SMÖGEN	1.3
2130	KUNGSVIK	-1.2

Mätstationerna ligger för glest för att göra interpolation över en yta. Därför skapades fler punkter längs kustlinjen. I dessa punkter, som ligger mellan mätstationerna, interpolerades värden från de två stationer som ligger närmast.

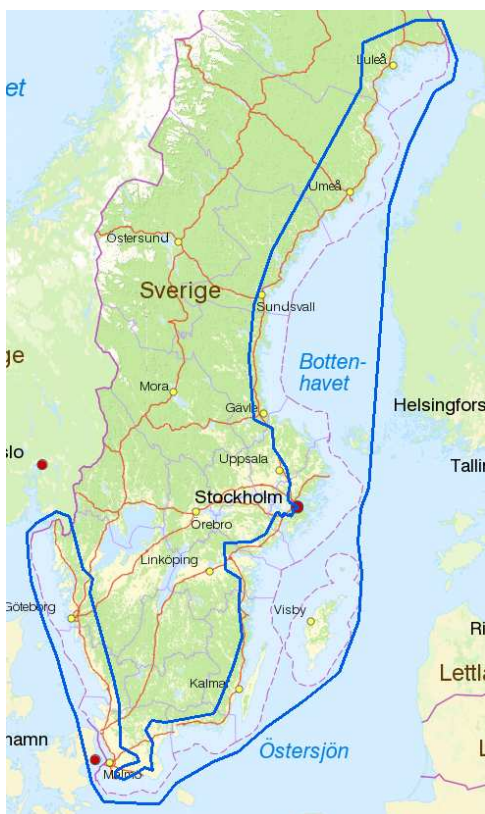
Sedan gjordes en interpolation över en yta av de interpolerade punkterna. Som avgränsare i interpolationen användes en linje som täcker hela kusten samt en bit upp på land och en bit ut i havet. Interpolationsverktyget som användes var IDW och upplösningen var 1000 m. På nästa sida visas de olika stegen.



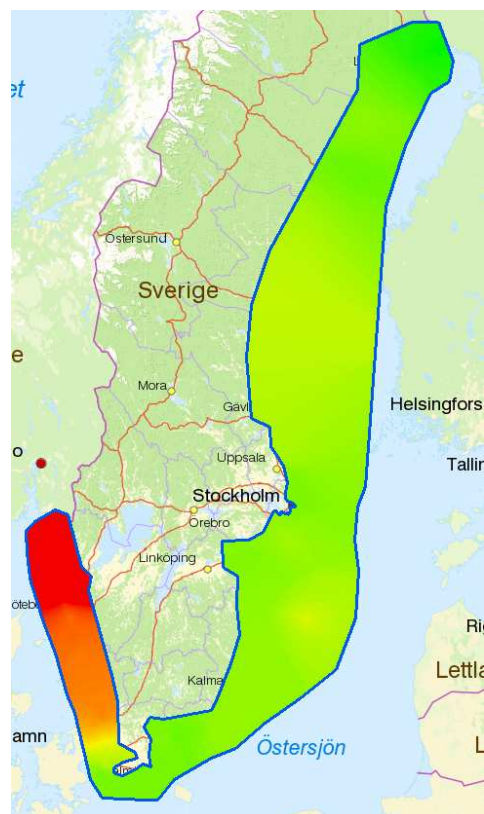
Mätstationer



Interpolerade punkter mellan mätstationerna



Linje som avgränsar interpolationen.



Resultatet av interpolationen.

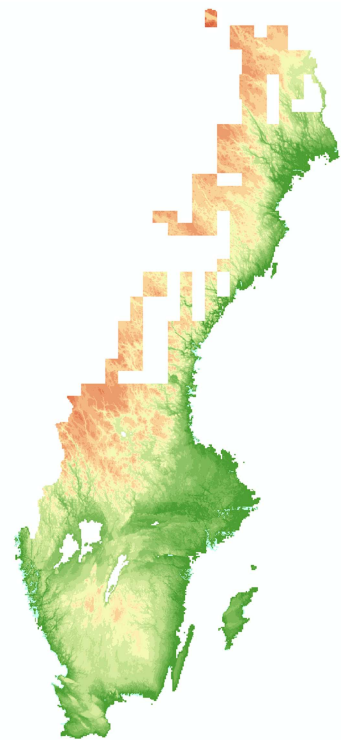
Landhöjning

Landhöjningsmodellen som användes var NKG2016LU_lev. Rastret för landhöjningsmodellen och rastret för medelvattenståndet anpassades till varandra. Samma yta som skapades för medelvattenståndet skapades även för landhöjningsmodellen. I landhöjningsmodellen anges landhöjningen i mm/år.

Höjddata

Höjddata är ett raster på $2 \times 2 \text{ m}^2$. GSD-Höjddata, grid 2+.

Alla höjder över 30 meter är borttagna och havsnivån är satt till 0 meter. På Västkusten är medelvattenståndet under 0 meter vilket ställer till problem, där sattes höjden för havsnivån till -5 meter istället. Även en del platser på norra Norrlandskusten är problematiska för beräkningarna. Där är landhöjningen större än klimatets påverkan på havsnivåhöjningen. I dessa områden kommer havsnivån vara lägre i framtiden än vad den är idag. Höjddata som används i beräkningarna innehåller inte höjddata för det som idag är havsbotten. Därmed går det inte att göra beräkningar för de platser där landhöjningen är större än havsnivåhöjningen. Därför visas havsnivån för dessa platser på samma nivå som dagens nivå.



Klimatförändringarnas påverkan på medelvattenstånd

Förändringarna av medelvattenståndet som beror på klimatförändringarna kommer från IPCC AR5. Framtida medelvattenstånd för scenarierna RCP2,6, RCP4,5 och RCP8,5 togs fram, som medelvärden samt 5:e och 95:e percentiler.

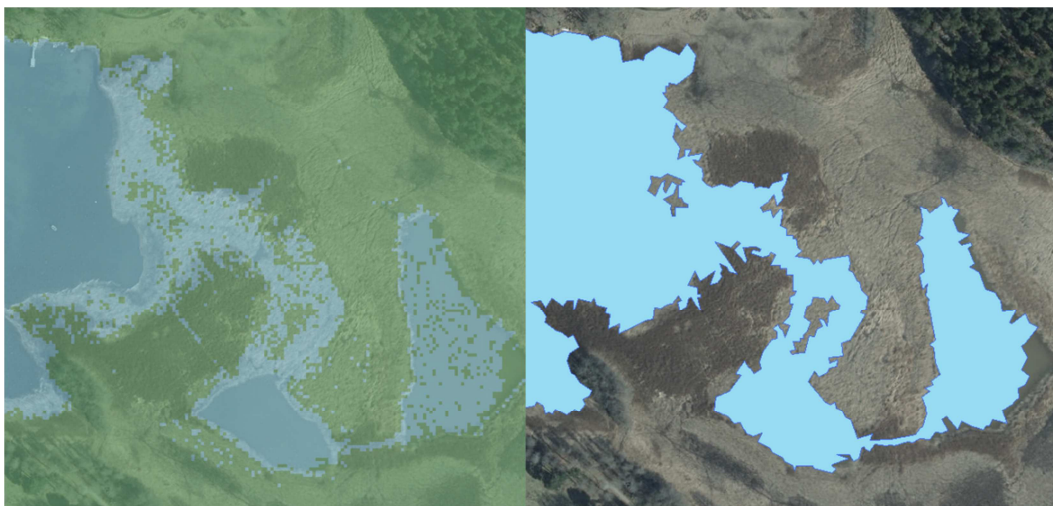
Beräkning av framtida medelvattenstånd

Det framtida medelvattenståndet beräknades i enlighet med beskrivningen i kapitel 6.1.

Resultatet av beräkningen blir ett raster på $1000 \times 1000 \text{ m}^2$. För att kunna jämföra rastret för det framtida medelvattenståndet med rastret för höjddata på $2 \times 2 \text{ m}^2$ måste rastret för det framtida medelvattenståndet skalas om till $2 \times 2 \text{ m}^2$.

För att beräkningarna inte ska bli för stora delades Sveriges kust in i mindre delområden. Hur stora delområdena är baserades på antalet öar längs kusten. Om det är många öar blir beräkningarna tyngre, därför är delområdena mindre i exempelvis Stockholms skärgård än delområden som saknar skärgård. Sverige är indelat i 16 delområden.

På de platser där höjdrastret har ett högre värde än det framtida medelvattenståndet blir det land och där det är tvärtom blir det hav.



På vissa ställen skapas det, av olika skäl, fel information när beräkningarna görs. Då ser det ut som på vänstra bilden. I havsområdet finns rutor markerade som land och på landområdet finns rutor markerade som hav.

För att bli av med sådan felaktig information görs rastret om till polygoner. De polygoner som ligger i havet, men är kodade som land, och har en area mindre än 100 m² bedöms vara hav. Polygoner, kodade som hav, men ligger på land och har en area mindre än 1000 m² bedöms vara land.

Kanterna på rastret jämnas även ut. Resultatet ses i bilden till höger.

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 Doescher, Henrik Smith (2011)
Uppdatering av den vetenskapliga grunden för klimatarbetet. En översyn av natur-vetenskapliga aspekter
- 5 Sten Bergström (2012)
Framtidens havsnivåer i ett hundraårsperspektiv – kunskapssammanställning 2012
- 6 Jonas Olsson och Kean Foster (2013)
Extrem korttidsnederbörd i klimatprojektioner för Sverige
- 7 FNs klimatpanel – Sammanfattning för beslutsfattare. Effekter, anpassning och sårbarhet. Bidrag från arbetsgrupp 2 (WG 2) till den femte utvärderingen (AR 5) från Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC (2014)
- 8 Att begränsa klimatförändringar. FNs klimatpanel – Sammanfattning för beslutsfattare. Bidrag från arbetsgrupp 3 (WG 3) till den femte utvärderingen (AR 5) från Intergovernmental Panel on Climate Change (2015)
- 9 Erik Kjellström SMHI. Reino Abrahamsson, Pelle Boberg, Eva Jernbäcker Naturvårdsverket. Marie Karlberg, Julien Morel
Energimyndigheten och Åsa Sjöström SMHI (2014)
Uppdatering av det klimatvetenskapliga kunskapsläget
- 10 Risker och konsekvenser för samhället av förändrat klimat – en kunskapsöversikt (2014)
- 11 Gunn Persson (2015)
Vägledning för användande av klimatscenarier
- 12 Lotta Andersson, Anna Bohman, Lisa van Well, Anna Jonsson, Gunn Persson och Johanna Farelius (2015)
Underlag till kontrollstation 2015 för anpassning till ett förändrat klimat
- 13 Gunn Persson (2015)
Sveriges klimat 1860-2014. Underlag till Dricksvattenutredningen
- 14 Anna Eklund, Jenny Axén Mårtensson, Sten Bergström, Emil Björck, Joel Dahné, Lena Lindström, Daniel Nordborg, Jonas Olsson, Lennart Simonsson och Elin Sjökvist (2015)
Sveriges framtida klimat. Underlag till Dricksvattensutredningen
- 15 Elin Sjökvist, Jenny Axén Mårtensson, Joel Dahné, Nina Köplin, Emil Björck, Linda Nylén, Gitte Berglöv, Johanna Tengdelius Brunell, Daniel Nordborg, Kristoffer Hallberg, Johan Södling, Steve Berggreen-Clausen (2015)
Klimatscenarier för Sverige - Bearbetning av RCP-scenarier för meteorologiska och hydrologiska effektstudier
- 16 Elin Sjökvist, Gunn Persson, Jenny Axén Mårtensson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson och Håkan Persson (2015)
Framtidsklimat i Dalarnas län – enligt RCP-scenarier

17. Linda Nylén, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Värmlands län – enligt RCP-scenarier
18. Gunn Persson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Örebro län – enligt RCP-scenarier
19. Alexandra Ohlsson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Västmanlands län – enligt RCP-scenarier
20. Elin Sjökvist, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson (2015)
Framtidsklimat i Uppsala län – enligt RCP-scenarier
21. Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Stockholms län – enligt RCP-scenarier
22. Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Södermanlands län – enligt RCP-scenarier
23. Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Östergötlands län – enligt RCP-scenarier
24. Gitte Berglöv, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Västra Götalands län – enligt RCP-scenarier
25. Alexandra Ohlsson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Jönköpings län – enligt RCP-scenarier
26. Gunn Persson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Kalmar län – enligt RCP-scenarier
27. Gitte Berglöv, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Kronobergs län – Enligt RCP-scenarier
28. Gunn Persson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Hallands län – enligt RCP-scenarier
29. Alexandra Ohlsson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Skåne län – enligt RCP-scenarier
30. Alexandra Ohlsson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Anna Johnell, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Blekinge län – enligt RCP-scenarier.

31. Gunn Persson, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Gotlands län – enligt RCP-scenarier
32. Gitte Berglöv, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Norrbottens län – enligt RCP-scenarier
33. Gitte Berglöv, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Linda Nylén, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Västerbottens län – enligt RCP-scenarier
34. Linda Nylén, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Jämtlands län – enligt RCP-scenarier
35. Linda Nylén, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Västernorrlands län – enligt RCP-scenarier
36. Linda Nylén, Magnus Asp, Steve Berggreen-Clausen, Gitte Berglöv, Emil Björck, Jenny Axén Mårtensson, Alexandra Ohlsson, Håkan Persson, Elin Sjökvist (2015)
Framtidsklimat i Gävleborgs län – enligt RCP-scenarier
37. Jonas Olsson, Weine Josefsson (red.) (2015) Skyfallsuppdraget - ett regeringsuppdrag till SMHI
38. Gunn Persson, Linda Nylén, Steve Berggreen-Clausen, Peter Berg, David Rayner och Elin Sjökvist (2015)
Från utsläppsscenarier till lokal nederbörd och översvämningsrisker
39. Anna Eklund, Jenny Axén Mårtensson, Sten Bergström och Elin Sjökvist.(2015)
Framtidens vattentillgång i Mälaren, Göta älv, Bolmen, Vombsjön och Gavleån. Underlag till Dricksvattenutredningen
40. Anna Bohman (Centrum för klimatpolitisk forskning, CSPR) vid Linköpings universitet, Lotta Andersson, SMHI och CSPR, Linköpings universitet samt Åsa Sjöström, SMHI. (2016)
Förslag till en metod för uppföljning av det nationella klimatanpassningsarbetet. Redovisning av ett regeringsuppdrag December 2016



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

ISSN 1654-2258