



Myndigheten för
samhällsskydd
och beredskap

SMHI

FORSKNING

Stigande havsnivåer och ökad översvämningrisk

- hur påverkar klimatförändringen Sveriges kuster?



Faktaruta

Rapporten är en leverans i forskningsprojektet Hazard Support – Risk-based decision support for adaptation to future natural hazards, finansierat av MSB för perioden 2015-2020.

Utförare: SMHI

Ansvarig forskare: Helén Andersson

MSB:s kontaktpersoner:
Ulrika Postgård, 010-240 5033

Foto: Skeppsbron, Göteborg under stormen Egon. Foto: GP

Publikationsnummer MSB1243 - juni 2018
ISBN 978-91-7383-854-2

MSB har beställt och finansierat genomförandet av denna rapport. Författarna är ensamma ansvariga för rapportens innehåll.

Förord

I det MSB-finansierade forskningsprojektet HazardSupport är syftet att främja arbetet med klimatanpassning i Sverige. För att åstadkomma detta utförs dialoger mellan forskare och användare av klimatinformationen. Det har ofta upplevts att den klimatinformation som tillhandahålls av forskarsamhället är svår att ta till sig och använda eftersom den inte är anpassad till användarnas behov. Det kan t.ex. röra sig om att informationen är på en felaktig geografisk skala, har tidshorisonter som inte är användbara, inte beskriver hur man skall förhålla sig till osäkerheter eller att den ges i form av text eller data som är svår att ta till sig.

I HazardSupport vill vi identifiera problem som kan uppstå vid klimatanpassningsarbete, studera om dialogen kan överbygga svårigheter att genomföra klimatanpassning samt se huruvida det är möjligt att anpassa forskningen så att den tar fram relevant kunskap för användarna.

Ett av fokusområdena i HazardSupport är att studera hur de stigande havsnivåerna och den medföljande ökande översvämningsrisken kommer att påverka Sveriges kuster. Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, SMHI och Stockholm Environment Institute, SEI har fört dialog med försäkringsbolaget Länsförsäkringar för att förstå behovet av klimatinformation kring stigande hav. Dialogerna gav vid handen att man inte beaktade ökad översvämningsrisk vid premiesättning av bostäder i Sydsverige idag. Det främsta behovet var att få tydlig och enkel information om klimatförändringen och hur den kan komma att påverka kustnära bebyggelse, dels för att öka den egna kunskapsnivån och dels för att informera kunder. För detta syfte har SMHI utfört forskning för att studera hur det regionala medelvattenståndet kan komma att förändras runt Sveriges kuster fram till år 2100. SMHI har även utfört forskning för att öka kunskapsläget kring ökade extremnivåer och hur återkomsttider för extremnivåer kan komma att förändras. Dessa kommer att publiceras i vetenskapliga facktidningar. För Länsförsäkringars räkning har SMHI tagit fram en folder som summerar fakta på ett enkelt sätt. Foldern kan användas inom Länsförsäkringar för att öka egen kunskap men kan också delas ut till kunder som kan behöva öka sin förståelse för ett naturfenomen som redan idag har betydande konsekvenser för samhället och som kan förväntas få det i än högre utsträckning i framtiden. Foldern ger också information om websidor på SMHI.se dit man kan vända sig för att få mer information och data om stigande hav och framtida översvämningsrisk. Dessa informationssidor uppdateras efterhand som kunskapsläget ökar. Denna rapport beskriver något utförligare materialet som finns i foldern.

Innehållsförteckning

1. Global klimatförändring	7
1.1 Globala klimatscenarier	8
1.1.1 RCP-scenarierna.....	9
2. Höjning av vattennivån i världshaven.....	11
2.1 Regionalt vattenstånd	12
2.2 Framtida vattenstånd längs Sveriges kuster.....	13
3. Stormfloder från havet	16
4. Klimatanpassning för framtida stormfloder från havet	21
5. Summering	23
6. Referenser	24
 Bilaga 1: Folder "Stigande havsnivåer och ökad översvämningsrisk – hur påverkar klimatförändringen Sveriges kuster?	 26

Sammanfattning

Den globala klimatförändringen leder till att vattennivån i världshaven höjs. Detta beror dels på att en varmare atmosfär leder till att havstemperaturen stiger och ett varmare vatten utvidgar sig och tar upp större volym än ett kallare vatten. Dels leder en varmare atmosfär till att glaciärer och landisar smälter snabbare än de byggs på. En höjning av globala havnivåer betyder att det även kommer att bli ett högre medelvattenstånd längs Sveriges kuster. Den pågående landhöjningen kommer under en tid att kompensera för globala vattennivåhöjningar i de norra delarna av landet men i de söder kommer stigningen att ge konsekvenser och låglänta kustområden kan komma att sättas under vatten. De stigande vattennivåerna kommer också att påverka frekvensen av översvämningar från havet. Under en storm kan vattennivåerna stiga snabbt till nivåer som ligger 1-1.5 m över normala vattennivåer och därmed orsaka svåra skador på bebyggelse. Redan i dag finns områden i framförallt södra Sverige där en storm kan ge stor påverkan på befintlig bebyggelse. Konsekvenserna i ett framtida klimat kan här bli betydande. Eftersom medelvattennivån kommer att stå högre i framtiden så kan även mildare oväder komma att ge vattennivåer som kan ge besvärliga översvämningar. Det finns ett behov av att förstå framtidens frekvens av stormfloder av olika svårighetsgrader för att redan nu kunna påbörja arbete med planering och klimatanpassning. Genom förståelse av viktiga processer som påverkar medelvattenstånd och extremvattenstånd vid Sveriges kuster samt hur detta kan komma att förändras i framtiden fås ett underlag för sådant arbete. I denna rapport går vi i genom aktuellt kunskapsläge för hur havsnivåökningen kan påverka Sverige. Detta baseras på observationer av dagens frekvens av olika vattennivåer samt information från oceanografiska modeller för haven runt Sverige och från globala klimatmodeller.

1. Global klimatförändring

FN:s klimatpanel, IPCC – Intergovernmental Panel of Climate Change - har i sin senaste syntesrapport från 2014 (IPCC, 2014) sammanfattat kunskapsläget kring den globala klimatförändringen. Man slår fast att människans påverkan på klimatsystemet är tydlig och att detta går att se i många olika typer av observationer från olika ställen på jorden. Förändringstakten som pågår i klimatsystemet är mycket hög jämfört med hur förändringstakten normalt sker i naturen. Vidare påpekar man att det finns en uppenbar risk att den mänskliga påverkan på klimatet riskerar att få svåra konsekvenser för naturmiljön och ekosystemen och att mycket av detta inte kan repareras. Det är därför av högsta vikt att ställa om till ett samhälle där utsläppen av växthusgaser reduceras.

Klimatförändringen pågår och kommer att göra det under en lång tid även om människan ställer om till ett samhälle med mindre påverkan på klimatet. Det är av stor vikt att förstå hur klimatet kommer att förändras under de närmsta decennierna och vilka konsekvenser detta kommer ge på såväl global som regional skala. För att förstå detta används så kallade klimatscenarier. Dessa beskriver utvecklingen av växthusgasutsläpp till atmosfären fram till år 2100. Globala klimatmodeller använder denna information som drivning för att simulera förändringen i olika parameterer i atmosfär, land och hav (Bild 1).



Bild 1. Människans aktiviteter påverkar vår jord på många olika sätt. De höga utsläppen av växthusgaser värmer klimatet. Detta får konsekvenser för havet, bl.a. genom stigande havsnivåer.

1.1 Globala klimatscenarier

Globala klimatscenarier har tagits fram på uppdrag av IPCC i olika omgångar. Den senaste omgången beskrivs i AR5 (IPCC 5th Assessment Report, <https://www.ipcc.ch/report/ar5/>), och använder sig av klimatscenarier som benämns som RCP-scenarier, vilket står för Representative Concentration Pathways. Dessa beskriver den strålningsbalans som skulle vara aktuell för jorden vid olika utsläppsnivåer av t.ex. växthusgaser och aerosoler i framtiden. Strålningsbalans uppkommer genom att jorden både tar emot och avger värme. Jorden tar emot värme från solen och avger värme till atmosfären.

Vilka nivåer av växthusgaser som kommer att finnas i atmosfären i framtiden beror mycket på människans aktiviteter: vilken teknikutveckling vi kommer att ha, hur mycket jordens befolkning kommer att öka samt den klimatpolitik som kommer att drivas. Tidigare IPCC scenarier, de s.k. SRES-scenarierna (IPCC Special Report on Emission Scenarios) tog hänsyn till sådana tänkbara utvecklingar och ett klimatscenario innehöll även socio-ekonomiska beskrivningar. Som exempel kan nämnas A1-scenarierna, där man tänkte sig en framtida värld med snabb ekonomisk tillväxt, en växande befolkning fram till mitten av 2000-talet som därefter skulle avta och snabb utveckling av nya och mer effektiva teknologier. I RCP-scenarierna är enbart olika nivåer av klimatpåverkande faktorer inkluderade och visar därmed klimatförändringen för ett antal möjliga, framtida utvecklingar. RCP-scenarierna anges med olika siffror, t.ex. 4.5 och 8.5, där siffrorna reflekterar den *strålningsdrivning* som är kopplat till utsläppsnivån. Här handlar det således om förändringen i jordens energibalans orsakad av en given störning (t.ex. ett utsläpp av växthusgaser). Det uttrycks vanligen som effekt per kvadratmeter (W/m^2) i medeltal över en given tidsperiod, och är ett mått på hur mycket jordens energibalans har rubbats på grund av störningen. På grund av den uppkomna obalansen måste jorden hitta ett nytt jämviktstillstånd, varför medeltemperaturen kommer att förändras. Vilken påverkan på den globala medeltemperaturen de olika scenarierna ger enligt klimatmodellerna visas i Bild 2, dels för de tidigare SRES-scenarierna och dels för de nya RCP-scenarierna.

Siffrorna inom parentes i figurerna visar hur många olika globala klimatmodeller som har använts för att simulera klimatförändringen i de olika scenarierna. Modellerna har först simulerat historisk tid, visad i grått och sedan olika utsläppscenarier som visas i olika färger. De tjockare linjerna visar medelvärdet av temperaturändringen från alla modellerna. Fälten runt medelvärdet visar spridningen av resultatet mellan de olika modellerna. Där får man också en indikation på osäkerheten i simuleringen. Som exempel kan man se på RCP 2.6 scenariot i den högra delen av Bild 2. Det har använts 26 olika modeller för simuleringen. Medelvärdet av dessa modeller visar en temperaturökning med ca 1 °C till år 2100. De olika modellerna ger dock olika svar, och spridningen i resultat

ligger till stor del mellan en ökning av 0.5 °C och 1.5 °C. Detta ger ett mått på osäkerheten i resultatet av ca ± 0.5 °C.

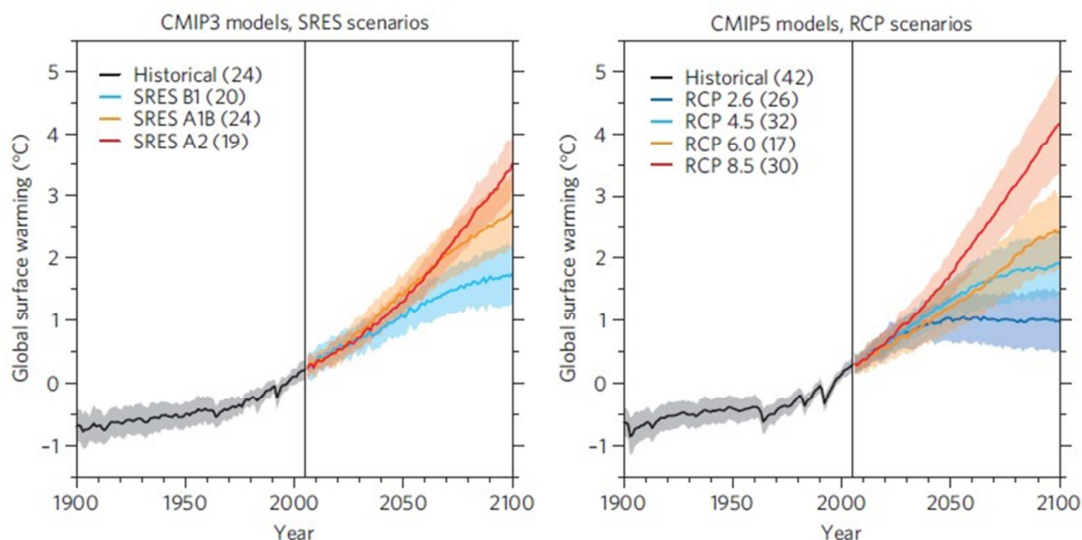


Bild 2. Förändringen av jordens medeltemperatur som den beräknas med klimatmodeller för olika drivningsscenarier definierade i SRES eller RCP. SRES-scenariot A2 motsvarar t.ex. förändringen som finns i RCP 8.5-scenariot. De tjocka linjerna visar medelvärdet av flera olika klimatmodeller och det skuggade området visar de osäkerhetsmarginaler (5% och 95%) som uppkommer genom att det finns en spridning mellan resultaten från de olika ingående modellerna. Antalet modeller som ingår i medelvärdet anges inom parenteserna (Källa: IPCC, <http://www.ipcc.ch/>).

1.1.1 RCP-scenarierna

Den senaste generationen klimatscenarier består av 4 stycken olika scenarier som beskriver olika höga utsläppsnivåer, från låga utsläpp till mycket höga utsläpp. Nedan beskrivs de i korthet.

- RCP 2.6-scenariot har låga utsläpp av koldioxid till atmosfären. Reduceringen har skett redan till år 2020 och atmosfärskoncentrationerna minskar från 2040. För att åstadkomma att detta scenario ska bli verklighet måste betydande insatser ske för att minska energikonsumtionen. Jordens befolkning beräknas ha stabiliserats kring 9 miljarder. RCP2.6 är det scenario som krävs för att åstadkomma det s.k. "tvågradersmålet", d.v.s. att jordens medeltemperaturstigning hålls under två grader, då den modellerade medeltemperatursökningen vid sekelskiftet är mellan 0.5-1.5°.
- RCP 4.5-scenariot innebär också att det åstadkoms minskning av koldioxidutsläppen. I början av scenariot sker först en ökning av

utsläppen, men vid mitten av seklet sker neddragningar och koldioxidnivåerna har stabiliserats vid 2100. Den globala medeltemperaturen vid sekelskiftet är ca 1.5–2.5°C varmare än referensperioden.

- I RCP 6.0-scenariot fortsätter utsläppen av växthusgaser till atmosfären fram till år 2060 för att sedan minska. Vid sekelskiftet har utsläppen stabiliserats på en nivå så ligger något över dagens nivåer. Klimatmodeller beräknar att jordens temperatur kommer att öka med ungefär 2.0–3.0 °C till år 2100.
- RCP 8.5 är ett scenario med höga utsläppsnivåer, ofta refererar man till detta som ett "business as usual"-scenario eftersom det i ett detta antagande inte sker neddragningar i utsläppsnivåer utan tvärt om en tredubbling av koldioxidutsläpp och snabb ökning av metan till år 2100. Den globala medeltemperaturen kommer att ha ökat med 3.5–5.0°C till slutet av seklet, jämfört med referensperioden 1986-2005.

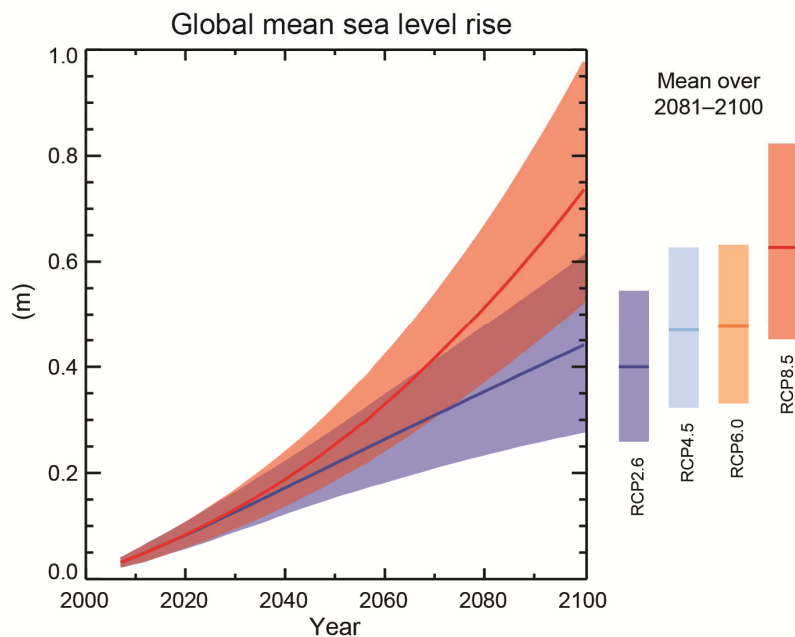


Bild 3. Ökning av den globala medelvattennivån fram till år 2100 för de olika RCP-scenarierna. Beroende på scenario uppskattas GMV öka med ca 0.2-1.0 m. (Källa: IPCC AR5, Summary for Policymakers, <http://www.ipcc.ch/>)

2. Höjning av vattennivån i världshaven.

Den globala klimatförändringen leder till att nivån i världshaven höjs. Detta beror dels på att en varmare atmosfär leder till att havstemperaturen stiger och ett varmare vatten utvidgar sig och tar upp större volym än ett kallare vatten. Dels leder en varmare atmosfär till att glaciärer och landisar smälter snabbare än de byggs på. Den globala medelvattennivån (GMV) beräknas som ett medelvärde i tiden och mellan de olika oceanerna.

Den globala medelvattennivån har ökat sedan senaste istiden p.g.a. uppvärmning av haven. Ökningen har för perioden 1870 till 2004 uppskattats till att vara ungefär 1.4 mm/år. Ökningen har dock varit större den senaste tiden och sedan 1990-talet uppskattar man ökningen till att vara ungefär 3.2 mm/år – mer än en fördubbling av hastigheten. Om den globala uppvärmningen fortgår kommer stigningen att öka ännu mer. Det råder stor osäkerhet kring den framtida ökningens storlek. Detta beror på hur stor temperaturökningen blir i framtiden vilket har betydelse för hur mycket havet expanderar. Det beror också på att det råder stor osäkerhet i hur snabb avsmältningen av landisarna, framför allt i Antarktis, kommer att vara.

De olika klimatscenerierna beräknas kunna ge upphov till ökad global medelvattennivå som ligger någonstans mellan 28 och 98 cm (Bild 3) vid slutet av seklet. Havsnivåerna kommer att fortsätta att stiga även efter år 2100 men ännu finns det få uppskattningar kring hur den stigningen kommer att förlöpa.

Uppskattningarna i Bild 3 bedöms av IPCC som sannolika, vilket betyder att det är en statistisk sannolikhet på mer än 66 % att framtidens globala medelvattenstånd ligger inom det spann som beskrivs i ovanstående RCP scenarier. För år 2100 betyder det att den globala havsnivån kan förväntas ha höjts mellan 52 cm och 98 cm jämfört med referensperioden 1986-2005 för det högsta utsläppsscenarioet. För det lägsta utsläppsscenarioet kan den globala havsnivån förväntas höjas mellan 28 cm och 61 cm fram till år 2100. Forskning som utkommit under senare år har visat att smältningen av det Västantarktiska istäcket skulle kunna gå snabbare än vad som hittills antagits. Det finns också studier som pekar på en högre havsnivåhöjning år 2100 än det spann som anges av IPCC, även om sannolikheten bedöms vara låg eller mycket låg.

I en nyligen utkommen rapport från US Global Change Program uppskattades sannolikheten för att medelvattennivån överstiger 0.5 m vid år 2100 till att vara 49% för RCP2.6, 73% för RCP4.5 och 96% för RCP8.5. I

samma rapport uppskattades sannolikheten för att 1.0 m kommer att överskridas vid år 2100 till att vara 2% för RCP2.6, 3% för RCP4.5 och 17% för RCP8.5 (Sweet mfl., 2017). SMHI sammanfattar en del av de nyare forskningsstudierna i rapporten "Framtida havsnivåer i Sverige" (Nerheim mfl, 2017).

2.1 Regionalt vattenstånd

Hur fördelningen av havsvatten sker över jordytan beror på flera dynamiska processer. Förändringar i vattnets täthet, densiteten, p.g.a. förändringar i såväl temperatur som salthalt har påverkan på vattenståndet. Ökad temperatur ger en expansion som gör att vattenytan står högre. Mycket färskvatten i området gör också att vattenytan står högre i området. Regionala volymförändringar uppkommer också genom ökad/minskad tillrinning från land, nederbörd och avdunstning. Förändringar i havsströmmar, t.ex. genom förändrande vindmönster, leder också till förändringar i havsytan, vilket även förändringar av lufttryck gör (Bild 4).

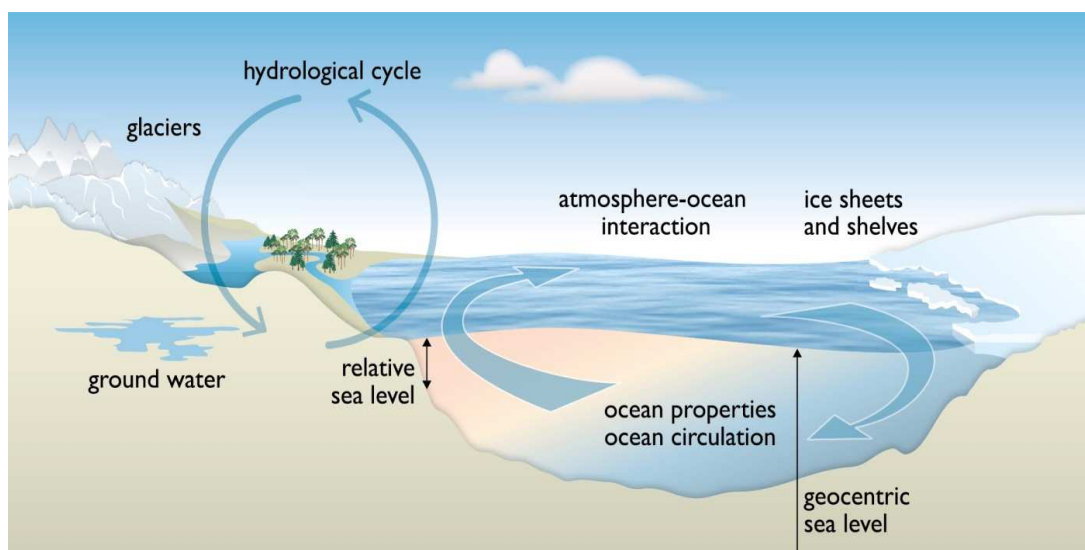


Bild 4. Olika komponenter som påverkar vattenståndet i haven. Från Church m.fl., 2013.

I Nordsjön förväntas medelhöjningen av havsnivån bli något lägre än det globala medelvärdet. Nordsjöns beräknade medelhöjning för perioden 2081-2100 visas i Tabell 1.

	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
Nordsjön (cm)	33 [12 - 54]	41 [19 - 63]	57 [31 - 84]
Globalt (cm)	40 [26 - 55]	47 [32 - 63]	63 [45 - 82]

Tabell 1. Beräknad, regional medelvattenhöjning av havsytan i Nordsjön och globalt för tre olika klimatscenarier. Siffrorna inom parantes visar spridningen mellan olika modellresultat. Värdena för Nordsjön är beräknade utifrån data från IPCC:s 5:e utvärderingsrapport.

2.2 Framtida vattenstånd längs Sveriges kuster

Hur högt medelvattenståndet längs Sveriges kuster kommer att vara i framtiden beror förstås på vilken nivå det globala medelvattenståndet i havet har. På kortare tidsskalor påverkas det dessutom av olika andra faktorer såsom tidvatten, vindar, lufttryck och vattnets densitet.

Tidvattenförändringar är relativt små i Sverige och märks främst i norra Skagerak. I Östersjön finns inget tidvatten. På kortare tidsskalor är därför vindar och lufttryck det som påverkar vattenståndet mest.

På längre tidsskalor är landhöjningen en betydande faktor i Skandinavien. Landhöjningen gör att havet sjunker relativt land. Den är som störst i norra Sverige, ca -10 mm/år i Bottenviken och avtar sedan söderut och är ca -1 mm/år i Skåne. Nollinjen, d.v.s. den linje där land varken höjs eller sänks går i Östersjön, söder om Sveriges kust (Bild 5). Det betyder att i Södra Sverige kommer medelvattennivån vara ungefär den samma som den globala medelvattennivån. I norra Sverige kommer medelvattenhöjningen däremot att kompenseras av landhöjningen. För att beräkna medelvattenståndet i framtiden längs Sveriges kuster behöver man således kompensera den globala medelvattennivåhöjningen med förändringen p.g.a. den pågående landhöjningen.

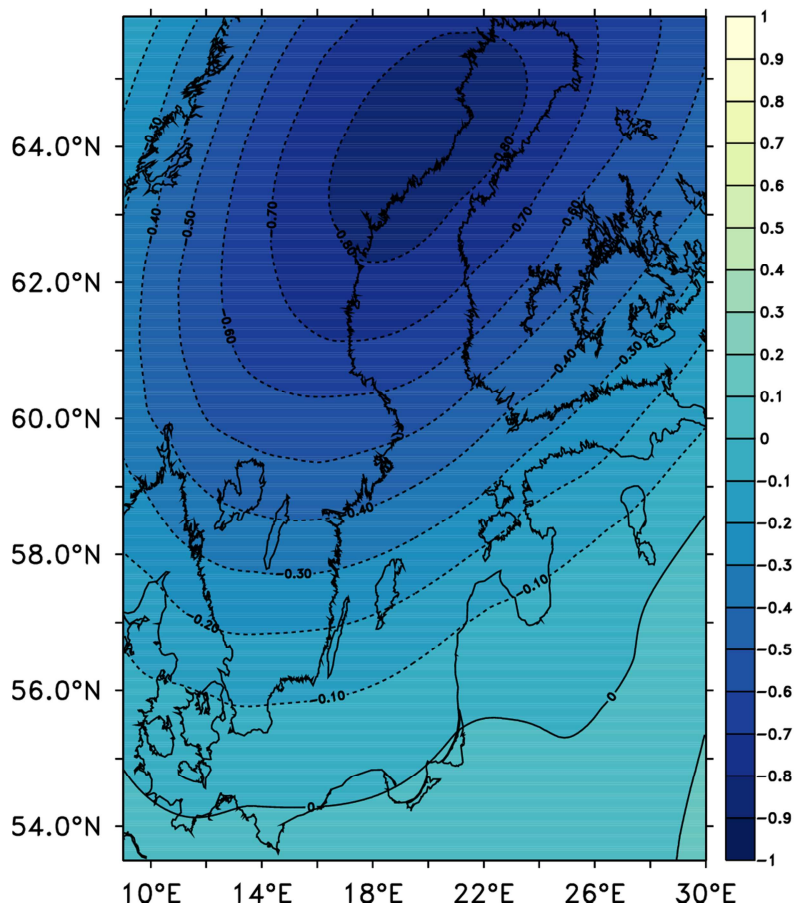


Bild 5. Nivåkurvor (m) över den pågående landhöjningens effekt på vattenståndet vid slutet av seklet (medelvärde 2070-2099) enligt Lantmäteriets modell NKG2016LU (Steffen m.fl., 2014, . Jivall m.fl., 2016).

I Tabell 2 visas medelvärdet av beräknad höjning av havsnivån för olika orter längs Sveriges västkust vid slutet av seklet och för tre olika klimatscenarier

	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
Kungsvik	2	9	24
Smögen	6	13	29
Stenungsund	9	16	32
Göteborg	12	19	35
Trubaduren	13	20	36
Ringhals	16	23	39
Varberg	17	24	40
Halmstad	22	29	44
Viken	27	34	50
Barsebäck	30	37	52
Malmö	30	37	53
Klagshamn	31	39	54
Skånör	33	40	55

Tabell 2. Beräknad medelhöjning av havsnivåerna (cm) för några olika orter vid slutet av seklet (medelvärde 2081-2100 relativt perioden 1986-2005). Värdena är baserade på data från IPCC och är kompenserade för landhöjningen i området. Landhöjningen beräknades med Lantmäteriets modell NKG2016LU.

3. Stormfloder från havet

En översvämningssituation från havet uppstår då en storm med hårda vindar trycker upp vattnet mot land. En klass 1-varning för höga vattenstånd utfärdas av SMHI då vattenståndet på västkusten förväntas överstiga 80 cm. Stormen Egon i januari 2015 orsakade höga vattenstånd i centrala Göteborg (Bild 6). Under Egon steg vattennivån med som mest 168 cm i centrala Göteborg. Vattennivåerna var mycket höga under ca 20 timmars tid.



Bild 6. Under stormen Egon i januari 2015 uppstod översvämningar i centrala Göteborg.
Foto: SMHI.

I Sveriges finns en lång tradition av att mäta havsvattenstånd. Världens längsta, regelbundna vattenståndsserie har uppmäts utanför Stockholm. Dessa mätningar startade år 1774. Regelbundna mätningar etablerades vid ytterligare ett antal platser längs Sveriges kust i slutet av 1800-talet. I dag finns det 24 stationer längs Sveriges kuster som registrerar vattenståndet varje timma. Av dessa finns 5 st. i Skagerrak och Kattegatt på västkusten, 14 st. finns i Östersjön och 5 st. i sundet mellan Östersjön och Kattegatt.

Extrema vattenståndsnivåer inträffar oftast i samband med kraftiga pålands- eller frånlandsvindar. Hur högt eller lågt det kan bli varierar längs med den svenska kusten. En riktigt svår storm inträffade 1872. Den kallas Backaflo den och drabbade södra Sverige svårt. Enligt noteringar steg vattnet till 240 cm i Falserbo. Även vid julstormen 1902 orsakade höga vattenstånd mycket skada. Noteringar vid Lomma visar att vattenståndet steg till en nivå av 206 cm över medelvattenståndet. Det högsta vattenståndet som har observerats vid SMHI:s mätstationer inträffade i Kalix och mätte +177 cm. Det lägsta uppmätta vattenståndet återfanns i Skanör och mätte – 158 cm. Värdena uppges relativt medelvattenstånd. Under en storm i början av januari 2016 slogs många högvattenrekord längs Sveriges ostkust (Bild 7).

I tabell 3, andra kolumnen, anges högsta uppmätta vattenstånd vid SMHI:s mätstationer för ett antal orter på Sveriges västkust. I tabellen visas även beräkningar av hur hög en 100-års stormflod kan bli vid dessa orter. 100-års återkomsttid beräknas statistiskt utifrån alla uppmätta värden i vattenståndsserien och ger en uppskattning av sannolikheten att en viss havsnivå överskrids minst en gång under en given tidsperiod. Sannolikheten för att 100-års nivån uppnås minst en gång under en period av 100 år är 63%. Sannolikheten att 100-års nivån inträffar minst en gång under en period av 200 år är 87% och minst en gång under 300 år är 95%. Man kan se i tabellen se att flera av de högsta uppmätta värden överskrider en beräknad 100-års händelse.



Bild 7. Badholmen, Oskarshamn, den 4 januari 2016. Under stormen nåddes ett nytt vattenståndsrekord i Oskarshamn som mätte 116 cm över medelvattenståndet. Detta

var 16 cm över tidigare rekordet från 1983. Foto Peter Rosén/Östra Småland-Nyheter

Vid SMHI har vi använt globala klimatmodeller, IPCC:s klimatscenarier och regionala klimatmodeller för att studera regionala klimatförändringar. Klimatförändringen kommer att påverka vår region med ökade temperaturer och ökad nederbörd som potentiellt också skulle kunna påverka framtida medelvattenstånd längs Sveriges kuster. Även regionala förändringar av vindar och lufttryck skulle kunna göra att framtida extremnivåer i havet kan förändras gentemot dagens klimat. Vad vi idag kan utläsa från klimatmodellerna kommer dock sådana förändringar vara av mindre betydelse (Dieterich, 2018a, 2018b). Vi antar därmed att de största förändringarna fram till 2100 kommer sig av en global höjning av medelhavsnivån och den regionala landhöjningen. Stormfloder från havet tros kunna inträffa med samma frekvens och samma amplitud som i dagens klimat, men utgå från en högre medelvattennivå. Den högre medelvattennivån innebär att nivån för en 100-års händelse, relativt dagens medelvattennivå, kommer att inträffa oftare i framtiden. Om vi inte anpassar bebyggelse till den högre medelvattennivån kommer således svåra översvämningar att ske oftare i framtiden. I tabell 3, kolumn tre – fem visas hur ofta dagens 100-års nivå kommer att inträffa i framtiden enligt simuleringar baserade på 3 olika klimatscenarier. I t.ex. Göteborg kan nivån av 154 cm över dagens medelvattennivå ha en återkomsttid av 32 år för RCP 2.6, 18 år i RCP 5.4 och 6 år i RCP 8.5 vid slutet av seklet. Frekvensen ökas således betydligt från dagens 100-års återkomsttid i alla tre klimatscenarier.

	Rekord (cm)	100 år (cm)	RCP2.6 (år)	RCP4.5 (år)	RCP8.5 (år)
Kungsvik	147	153 (129-177)	82	38	10
Smögen	150	137 (125-149)	35	14	4
Stenungsund	157	155 (142 – 168)	28	14	4
Göteborg - Torshamnen	150	154 (129 – 179)	32	18	6
Ringhals	165	156 (131-180)	26	16	6
Viken	167	171 (145 -197)	12	8	3
Barsebäck	159	149 (131 – 168)	7	5	3
Klagshamn	146	129 (122-136)	3	2	1
Skanör	154	135 (123 – 148)	2	1	1

Tabell 3. Högsta uppmätta vattenstånd (cm) vid ett antal orter på Sveriges västkust (kolumn 2), beräknad extremvattennivå med 100 års återkomst (kolumn 3) samt hur ofta denna nivå (relativt dagens medelvattennivå) kommer uppnås vid slutet av seklet om

medelvattennivån höjs längs Sveriges kuster pga. klimatförändringen (kolumn 4-6). Värdena är baserade på data från IPCC för de olika klimatscenerierna och är kompenserade för landhöjningen i området samt på SMHI:s databas av vattenståndsobservationer. Värden inom parenteser anger 95% konfidensintervall.

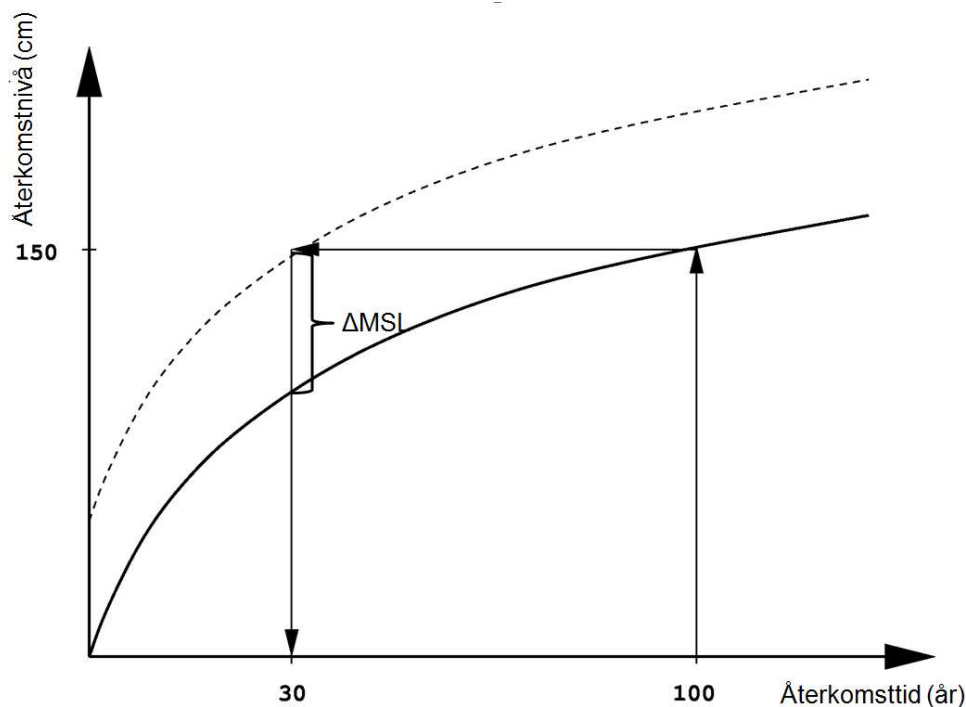


Bild 8. Schematisk bild av beräkning av återkomsttider och återkomstnivåer i dagens och framtidens klimat. Återkomsttiden beräknas med hjälp av statistiks metoder för de tillgängliga observationsserierna (heldragen linje). En ökning av medelvattenståndet med ΔMSL (cm) ger en ny fördelning som antas representera framtidens återkomstnivåer och tider (streckad linje).

I Bild 8 visas schematiskt hur återkomsttider och återkomstnivåer beräknas. En statistisk metod används på observationsserien för att få återkomsttid och återkomstnivå i dagens klimat. Detta representeras av den svarta linjen i diagrammet. I exemplet så kan man se att en stigning av vattenytan till 150 cm över medelvattenståndet sker med en 100 års återkomsttid. Om klimatförändringen höjer medelvattenståndet med en viss nivå, i figuren representerat av ΔMSL , fås en ny statistisk fördelning av återkomstnivå och återkomsttid. I figuren visas den av den streckade linjen. Vi kan i exemplet se att en framtida stigning till 150 cm över dagens medelvattenstånd kommer ske med en återkomsttid av 30 år. I våra beräkningar har vi använt perioden 1961-2005 som referensperiod för beräkning av medelvattenståndet i dagens klimat.

4. Klimatanpassning för framtida stormfloder från havet

För att säkert planera ny bebyggelse i kustnära områden är kommuner och länsstyrelser ofta intresserad av extremhändelser av relativt hög återkomsttid, d.v.s. händelser som sannolikt inträffar relativt sällan. Ofta vill man ta höjd för att klimatanpassa sig till den globala höjningen av medelvattennivån och utifrån detta se på återkomsttider för extremnivåer med återkomsttider på 100 år, 200 år eller längre - beroende på vilken typ av byggnation som är aktuell.



Bild 9. För att uppskatta extremvärden av vattenstånd i framtiden på en viss plats kan man addera den beräknade extremnivån för en viss återkomsttid till en förväntad ökad medelvattennivå vid en viss tidpunkt och station. För att veta vilken översvämning som detta kan åstadkomma behövs mer detaljerad information om topografi nära land och bebyggelse på land.

För att beräkna extremvärden i framtidens klimat kan man som en första approximation anta att frekvens och styrka på stormarna i vår region under den kommande 80-års perioden fram till år 2100 kommer att vara samma som idag. Det innebär att framtidens extremnivåer ges av att addera det förhöjda medelvattenståndet på en viss plats till det beräknade extremvärdet med en viss återkomsttid (Bild 9). Vilken översvämning det blir på land vid en viss extremnivå beror av en rad lokala effekter såsom topografi, bebyggelse o.s.v. och behöver beräknas separat med lokala modeller. Att det går att anta ett linjärt samband mellan medelvattenstånd och extremvattenståndet, d.v.s. att man kan addera stormnivån till en förväntad medelvattennivå vid en viss tidpunkt i svenska vatten har också studerats vid SMHI (Hieronymus m.fl., 2018).

Vilket klimatscenario man skall välja vid sin planering för framtida översvämningsrisk är inte självklart. Det går idag inte att säga att en klimatutveckling är mer sannolik än en annan. Den uttalade politiska ambitionen är att inte låta den globala uppvärmningen nå över 1.5°C. Om detta lyckas så kanske den globala medehöjningen i haven blir mindre än 20 cm fram till år 2100. Även denna mer modesta höjning kan ge betydande konsekvenser för känslig bebyggelse som ligger strandnära idag. Dagens utsläpp av växthusgaser till atmosfären motsvarar mer den utvecklingskurva som representeras av RCP 8.5. Om vi inte lyckas bryta denna trend så kan medelvattennivån nå upp mot 1 m höjning eller mer vid slutet av seklet. Detta kommer få stora konsekvenser för många platser längs Sveriges kust. I många länder använder man detta högre scenario för klimatanpassningsåtgärder. I Sverige finns det idag ingen nationell rekommendation om vilket scenario som skall användas vid klimatanpassning.

5. Summering

- Den pågående, globala uppvärmningen av jordens klimat kommer att leda till att den globala medelvattennivån kommer att höjas i världshaven.
- Hur stor höjningen kommer att vara vid sekelskiftet beror t.ex. på utvecklingen av utsläppen av växthusgaser till atmosfären. Beroende på klimatscenario och klimatmodell ger nuvarande kunskapsläge från FN:s klimatpanel en sannolik (>66% sannolikhet) nivåhöjning med mellan 28 och 98 cm till år 2100
- Medelvattennivån i haven runt Sverige, den regionala medelvattennivån, kan vid sekelskiftet med god approximation antas motsvara den globala medelvattenhöjningen med kompensation för landhöjningen.
- Återkomsttider och nivåer för havsvattenstånd i dagens klimat kan erhållas från observationsserier. Då dessa dataserier som längst är ca 100 år finns det dock en risk att de statistiska extremvärdesanalyserna underskattar stormfloder med låg sannolikhet, dvs. med återkomsttider av 200 år eller längre.
- En uppskattning av extremnivåer i havsvattenstånd i framtiden kan erhållas genom att addera stormfloder i dagens klimat till den framtida, beräknade regionala medelvattennivån.

6. Referenser

Church, J.A., P.U. Clark, A. Cazenave, J.M. Gregory, S. Jevrejeva, A. Levermann, M.A. Merrifield, G.A. Milne, R.S. Nerem, P.D. Nunn, A.J. Payne, W.T. Pfeffer, D. Stammer and A.S. Unnikrishnan, 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.

Dieterich, C., mfl., 2018: Extreme Sea Levels in the Baltic Sea under Climate Change Scenarios. Part 1: Model Validation and Sensitivity (manuskript under arbete).

Dieterich C., mfl., 2018: Extreme Sea Levels in the Baltic Sea under Climate Change Scenarios. Part 2: Projections and Model Uncertainty (manuskript under arbete)

Hieronymus, M., Dieterich, C., Andersson, H.C., Hordoir, R., 2018. On the response of the Baltic sea level to perturbations in mean sea level and wind speed (manuskrip under arbete).

IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Jivall, L., Norin, D., Lilje, M., Lidberg, M., Wiklund, P., Engberg, L.E., Kempe, C., Ågren, J., Engfeldt, A., Steffen, H., 2016. National Report of Sweden to the EUREF 2016 Symposium. Presented at the EUREF 2016 Symposium in San Sebastian, Spain, May 25-27, 2016, http://www.lantmateriet.se/globalassets/kartor-och-geografisk-information/gps-och-matning/geodesi/rapporter_publicationer/publikationer/sweden-national-report-euref16.pdf

Nerheim, S., Schöld, S., Persson, Gunn., Sjöström, Å., 2017. Framtida havsnivåer i Sverige. SMHI rapport Klimatologi, 48, 2017, 53 s.

Steffen H., Barletta V. R., Kollo K., Milne G. A., Nordman M., Olsson P.-A., Simpson M. J. R., Tarasov L., Ågren J. (2014): NKG201xGIA – a model of glacial isostatic adjustment for Fennoscandia. NKG, 17th General Assembly, September 1–4 2014, Göteborg, Sweden.

Sweet, W.V., Horton, R., Kopp, R.E., LeGrande, A.N. and Romanou, A. (2017) Sea level rise. In: Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I [Wuebbles, D.J., D.W. Fahey, K.A. Hibbard, D.J. Dokken, B.C. Stewart, and T.K. Maycock (eds.)]. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA, pp. 333-363, doi:10.7930/J0VM49F2

Bilaga 1: Folder "Stigande havsnivåer och ökad översvämningsrisk – hur påverkar klimatförändringen Sveriges kuster?"



Myndigheten för
samhällsskydd
och beredskap

Faktablad från MSB-finansierade forskningsprojektet Hazard Support

SMHI

Stigande havsnivåer och ökad översvämningsrisk - hur påverkar klimatförändringen Sveriges kuster?

Den globala klimatförändringen påverkar vår jord på många olika sätt. Då temperaturen ökar stiger världshaven eftersom vattnet expanderar och landisar och glaciärer smälter. Detta kommer även att påverka kusterna längs Sverige.

Att medelvattennivån i oceanerna stiger är en svår konsekvens av den pågående klimatförändringen. Många låglänta områden kommer att hamna permanent under vatten. Erosion och saltvatteninträning i grundvattnet kommer att öka.

Även översvämningar från havet kommer

att bli vanligare och svårare för nuvarande bebyggelse om medelhavsnivån är högre, eftersom en stormflod kommer att utgå från en högre havsnivå än idag.

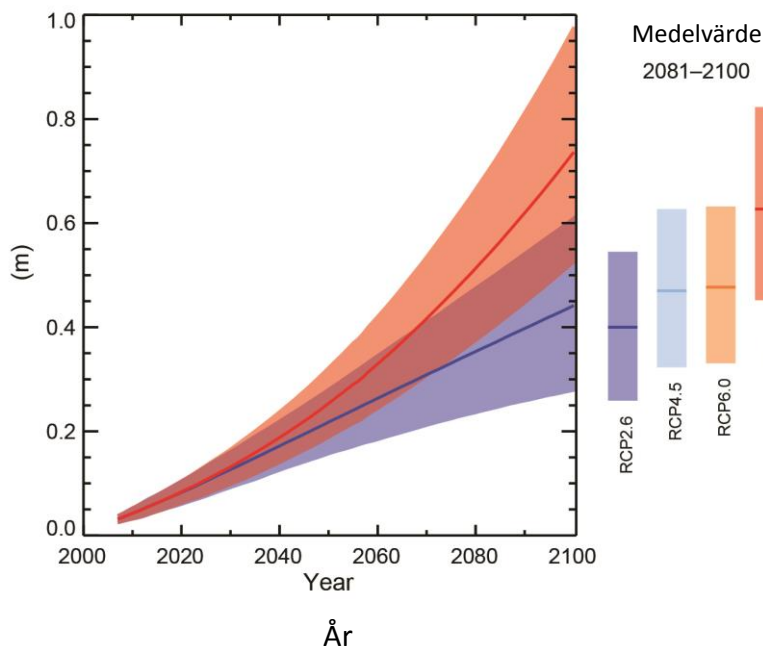
I södra Sverige kommer ökningen av det globala medelvattenståndet bli mest kännbar. I norra Sverige fördröjs konsekvenserna eftersom den pågående landhöjningen delvis kompenserar för stigande hav. Landhöjningen har pågått sedan senaste istiden och kommer att fortsätta i många tusen år till.

Vid ny havsnära bebyggelse är det redan nu dags att fundera över hur man kan skydda sig mot en ökad översvämningsrisk.



Hur högt kommer havet att stiga?

Global medelhavsnivåhöjning



FN:s klimatpanel, IPCC, har tagit fram scenarier som beskriver tänkbara utvecklingar av klimatet fram till år 2100. Scenarierna visar förändring av jordens medeltemperatur vid olika halter av växthusgaser i atmosfären. Den snabba klimatförändringen som nu pågår beror på att människans aktiviteter ger ökade halter växthusgaser i atmosfären. Hur mycket jordens medeltemperatur och havsnivåerna kommer att stiga inom de kommande decennierna beror på hur mycket vi lyckas begränsa nuvarande utsläppsnivåer. Det finns studier som pekar på en högre havsnivåhöjning år 2100 än det spann som anges av IPCC, även om sannolikheten bedöms vara låg.

RCP 2.6 – scenario med låga utsläppsnivåer

I detta klimatscenario är minskningen av växthusgaser till atmosfären ambitiös. Det beskriver en utveckling där dagens utsläppsnivåer fortsätter till år 2020, för att därefter minska rejält till sekelskiftet. Klimatmodeller som använder RCP 2.6-scenariot beräknar att jordens temperatur kommer att öka med ungefär 0.5- 1.5 °C till år 2100. Det kan medföra en ökning av det globala medelvattenståndet i havet med 0.28 – 0.61 m.

RCP 4.5 – medelhöga utsläppsnivåer

Även i detta klimatscenario är minskningen av växthusgaser till atmosfären ambitiös. Det beskriver en utveckling där dagens utsläppsnivåer ökar något i framtiden men minskar igen efter år 2040, för att stabiliseras vid sekelskiftet. Klimatmodeller som använder RCP 4.5-scenariot beräknar att jordens temperatur kommer att öka med ungefär 1.5- 2.5 °C till år 2100, vilket kan medföra en ökning av medelvattenståndet med 0.36 – 0.71 m.

RCP 6.0 – medelhöga utsläppsnivåer

I detta klimatscenario fortsätter utsläppen av växthusgaser till atmosfären fram till år 2060 för att sedan minska. Vid sekelskiftet har utsläppen stabiliserats på en nivå så ligger något över dagens nivåer. Klimatmodeller beräknar att jordens medeltemperatur kommer att öka med ungefär 2.0- 3.0 °C till år 2100. Det kan medföra en ökning av det globala medelvattenståndet i havet med 0.38 – 0.73 m.

RCP 8.5 – höga utsläppsnivåer

I detta klimatscenario sker ingen minskning av växthusgaserna. Vid år 2100 kommer utsläppsnivåerna vara ca 3 gånger så höga som idag. Klimatmodeller som använder RCP 8.5-scenariot beräknar att jordens temperatur kommer att öka med ungefär 3.5- 5.0 °C till år 2100. Det kan medföra en ökning av det globala medelvattenståndet i havet med 0.52 – 0.98 m.

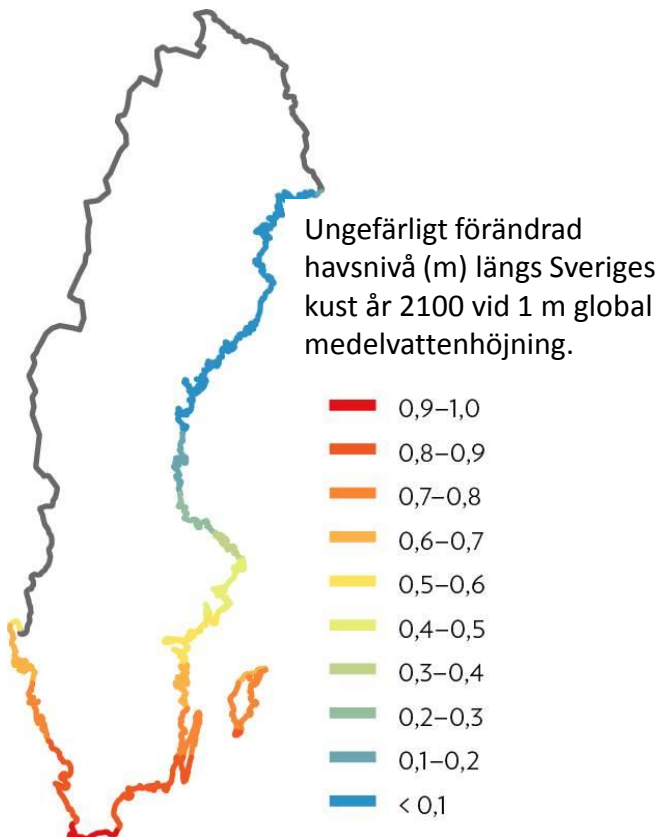
Hur blir medelvattenståndet längs Sveriges kuster?

Vattenståndet längs Sveriges kuster påverkas av olika faktorer. Det påverkas av det globala medelvattenståndet men också av regionala faktorer såsom vindar, lufttryck och tidvatten.

En långsam process som påverkar medelvattenståndet i Skandinavien är landhöjningen. Under förra istiden blev landmassan nedtryckt av tyngden av istäcket.

När isen drog sig tillbaka började land åter höjas relativt havsnivån. I norra Sverige är landhöjningen som högst; ca 10 mm/år i Bottenviken. Den avtar sedan söderut och är ca 1 mm/år i Skåne. Landhöjningen gör att ökade globala havsnivåer inte blir lika kännbara för de norra delarna av Sverige.

Om det globala medelvattenståndet skulle höjas med 1 m till år 2100 så blir höjningen bara lika stor i de allra sydligaste delarna av Sverige. I Mellansverige är höjningen ca 0,5 m och i norra Sverige blir höjningen mindre än en decimeter.



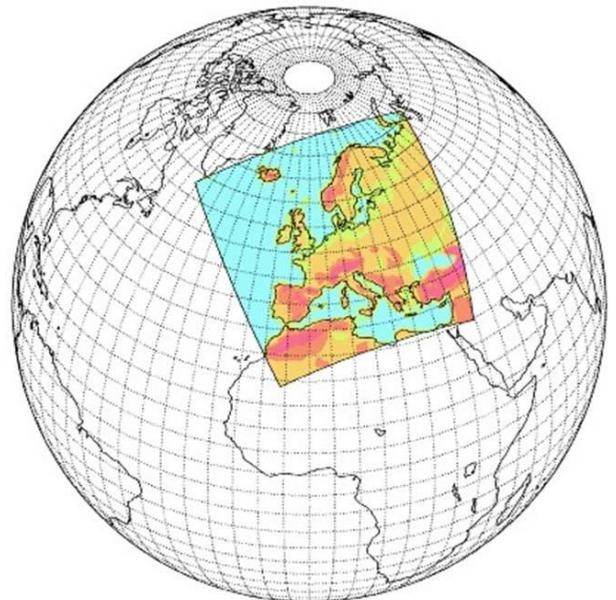
Kommer stormarna i Sverige att förändras fram till 2100?

För att studera hur klimatförändringen kommer att påverka Sverige utför SMHI regional klimatmodellering. De globala klimatscenerierna som tas fram av FN:s klimatpanel studeras i regionala modeller. Detta möjliggör att en mer detaljerad klimatinformation erhålls än vad som kan fås direkt från de globala klimatmodellerna.

I de regionala klimatmodellerna har vi studerat hur vindar och stormar kan komma att förändras fram till år 2100. Slutsatsen i nuläget är att det inte verkar bli en betydande förändring fram till sekelskiftet.

Med nuvarande kunskapsläge antar vi att stormar och stormvågor från havet fram till sekelskiftet kommer att vara ungefär som i dagens klimat.

För att uppskatta hur hög en stormflod kan bli de närmsta 80 åren kan man därmed beräkna hur hög en stormflod är i dagens klimat, addera den till den medelvattennivå som man tror blir möjlig samt justera för eventuell landhöjning.



När behöver havsnivåhöjning beaktas vid bebyggelse?

Vid vissa av Sveriges kuster är översvämning från havet ett problem redan i dagens klimat. Vid en svår storm kan havet plötsligt stiga betydande och mycket hastigt. Vid Backaflo den 1872 noterades i Falsterbo att vattnet steg till en nivå av 240 cm över medelvattenståndet och vid julstormen 1902 till en nivå av 206 cm över medelvattenståndet i Lomma. Under stormen Egon 2015 steg vattenståndet i centrala Göteborg till som mest 168 cm och låg på mycket höga nivåer i ca 20 timmars tid.

Observerade vattenståndrekord

Några av de högsta vattenstånden som uppmäts vid SMHI:s mätstationer vid Sveriges kuster följer nedan:

- Göteborg - Torshamnen: +150 cm
- Halmstad: + 231 cm
- Barsebäck: + 159 cm
- Skanör: +154 cm
- Ystad: +169 cm
- Simrishamn: +120 cm

Klimatanpassning

I delar av Sverige kommer medelvattenståndet i framtiden att vara högre än i dag. Hur högt beror på utsläppen av växthusgaser till atmosfären och vid vilket årtal i framtiden man beaktar. Den politiska ambitionen är att hålla uppvärmningen av jorden under 1.5 °C, dvs en utveckling som närmast beskrivs av scenariot RCP 2.6. Utvecklingen av utsläppsnivåerna har hittills dock snarare varit i linje med scenario RCP 8.5.

Riktigt svåra stormfloder sker relativt sällan. En stormflod enligt ovan kanske bara sker en gång på 100 eller 200 år. I framtiden är det dock möjligt att dessa nivåer inträffar med några års regelbundenhet relativt dagens havsnivå. Känslig bebyggelse i dessa områden bör således beakta detta vid planläggning.



Mer information:

Du kan hitta mer informationsmaterial om havsnivåer på smhi.se under fliken Klimat:

- Informationsfilm Stigande hav – så påverkas Sverige
- Fakta om havsnivåer
- Forskning om regional klimatförändring
- Karttjänst som visar framtida medelvattenstånd längs Sveriges kust

Hazard Support – forskning för klimatanpassning mot naturolyckor

Den här foldern är framtagen av SMHI och är en del av kommunikationen från ett forskningsprojekt, Hazard Support, som finansieras av MSB 2015-2020. Projektet arbetar tillsammans med användare av klimatinformation och syftar till att ta fram forskning och kunskapsunderlag som kan underlätta klimatanpassning av samhället.

Kontakt

Helén Andersson,
forskningschef, 011-495 8631
Helen.andersson@smhi.se

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap
651 81 Karlstad Tel 0771-240 240 www.msb.se
Publ.nr MSB1243 -juni 2018 ISBN 978-91-7383-854-2