



Myndigheten för
samhällsskydd
och beredskap

FORSKNING/STUDIE

HazardSupport

Stigande havsnivåer och ökad översvämningsrisk



HazardSupport: Stigande havsnivåer och ökad översvämningsrisk

Tidsperiod: 2016 - 2020

Utförare: SMHI

Ansvarig: forskare/författare Christian Dieterich (SMHI)

Sammanfattning av studie av stigande havsnivåer och ökad översvämningsrisk – hur påverkar klimatförändringen Sveriges kuster?

© Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)

MSB:s Kontaktperson: Ulrika Postgård, 010-240 50 33

Foto omslag: Bilden är hämtad från SMHIs arkiv

Text: Christian Dieterich, Lars Arneborg, Lena Strömbäck

Tryck: DanagårdLiTHO

Publ. nr: MSB1722 – mars 2021

ISBN: 978-91-7927-122-0

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

Förord

SMHI har utfört denna fallstudie inom ramen för HazardSupport, ett projekt finansierat av MSB. Lena Strömbäck vid SMHI:s forskningsavdelning var projektledare och Christian Dieterich var ansvarig för genomförandet av fallstudien.

Målet med HazardSupport är att 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. Projektet fokuserar på tre fallstudier, värmeböljor i Stockholm, översvämning i Karlstad, och havsrelaterade översvämningar på västkusten.

Denna rapport behandlar slutresultat för fallstudien ”stigande havsnivåer och ökad översvämningsrisk”. Den sammanfattar resultaten av SMHIs utvecklings och forskningsarbete inom havsnivåområdet under projektet. Rapporten tar inte upp detaljer om stigande havsnivå och ökad översvämningsrisk eftersom bästa tillgängliga planeringsgrundlag för klimatanpassning utvecklas kontinuerligt. För att tillhandahålla en uppdaterad resurs för information om anpassning till stigande havsnivå och ökad översvämningsrisk finns de specifika resultaten från detta delprojekt i elektronisk form på SMHIs webbsidor.

Karin André, Linn Järnberg och Åsa Gerger Swartling, forskare vid Stockholm Environment Institute, har faciliterat kontakterna mellan SMHI och Länsförsäkringar. Särskilt tack till Susanna Fagerberg, Länsförsäkringar AB samt alla deltagare från Länsförsäkringar Skåne, Länsförsäkringar Halland, Länsförsäkringar Göttinge-Kristianstad och Länsförsäkringar AB, för engagemang under projektet.

Norrköping, 2021-02-01

Christian Dieterich
Oceanograf, SMHI

Innehåll

Sammanfattning.....	5
1 Introduktion.....	6
2 Vad avgör havsnivån i Östersjön	7
2.1 Huvudorsaker till variation av havsnivå.....	7
2.2 Påverkan av klimatförändringar på havsnivåer	8
3 Varför finns det osäkerhet i nivåerna i Östersjön?.....	10
4 Havsnivåer vid stormflod i ett framtida Östersjön.....	11
5 Samarbete med Länsförsäkringar.....	14
6 Referenser.....	14

Sammanfattning

Utgångspunkten för denna fallstudie har varit framtida naturolyckor med inriktning på havsnivåhöjning och försäkringsfrågor. Vad händer om en byggnad som idag har en risk för översvämning en gång per 100 år i framtiden riskerar att råka ut för en översvämning varje år? Hur ska man resonera vid nybyggnation där det ofta är populärt att bygga vid kust och sjönära områden som man med stor sannolikhet vet kommer att riskera översvämning i framtiden?

Det är omöjligt att ange en bestämd nivå till vilken havet kommer att stiga i framtiden. Länders politiska beslut, klimatåtgärder, näringslivets och enskilda individers agerande för att minska utsläppen påverkar klimatförändringen och därmed framtida havsnivåer. Det finns också stora osäkerheter i hur snabbt de stora inlandsisarna på Antarktis och Grönland kommer smälta när den globala uppvärmningen ökar, speciellt bortom 2000-talet. Längs vår svenska kust gör dessutom landhöjningens geografiska variation att de framtida havsnivåerna blir olika på olika platser.

I det här projektet har den senaste informationen om den globala havsnivåhöjningen kombinerats med de regionala projektionerna för klimatförändringar i Östersjön. Från dessa uppgifter uppskattas havsnivåhöjningen i Östersjön samt historiska och framtida stormflodsnivåer. Havsnivåhöjningen i Östersjön är förenlig med den globala genomsnittliga havsnivåhöjningen men är behäftad med stora osäkerheter som måste beaktas i samband med det långsiktiga klimatanpassningsarbetet. Enligt den kunskap som har skapats i HazardSupport, kommer de framtida stormflodsnivåerna att vara jämförbara med den framtida medelnivån på liknande sätt som de har gjort historiskt. Det finns dock ett betydande bidrag av naturlig variation till osäkerheten för stormflodsnivåer som inte går att minska. I slutändan är det dock osäkerheter runt den globala havsnivåhöjningen som orsakar den största osäkerheten för framtida stormflodsnivåer.

Därför är genomförandet av Parisavtalet som beslutades av världens länder vid COP 21 från 2015 och som är kopplat till FN:s klimatkonvention viktigt eftersom det hjälper till att minska risken för stora bidrag till havsnivåhöjning från västra Antarktis. Samtidigt minskar det osäkerheterna vid framtida stormflodsnivåer.

1 Introduktion

I den här rapporten om havsnivåfallstudien i HazardSupport beskrivs de mekanismer som leder till havsnivåförändringar i Östersjön. Förändringen av havsnivån i Östersjön orsakas inte bara av regionala processer utan påverkas också av globala förändringar. Rapporten ger en översikt av dessa processer och därmed en förståelse för de många olika aspekterna av havsnivåhöjningen och hur de samverkar. Havsnivåhöjning är ett hett ämne som ofta ger rubriker i pressen. Intresset från allmänheten är stort, men det kan vara svårt för den som inte är insatt i området att bedöma hur ett enskilt forskningsresultat förhåller sig till den generella bilden av framtida havsnivåhöjningar. Forskning om havsnivå måste ske på en detaljerad nivå för att bidra till en gedigen kunskapsbas, men för att bygga en mer generell kunskap som även kan användas för riktlinjer och beslutsfattande, måste det ske en diskussion och kunskapsuppbyggnad över ämnesdiscipliner.

Vi har, med dagens kunskapsläge, inte kvantitativ kännedom om alla faktorer som påverkar havsnivåhöjning. Vi vet till exempel inte hur stor risken är för att inlandsisar och glaciärer i västra Antarktis ska falla sönder och bidra till en betydande global havsnivåhöjning. Vi vet att risken ökar med temperaturen, men sambandet är inte kontinuerligt, utan det finns en tröskel. Om tröskeln överskrids, blir inlandsisen instabil och havsnivån höjs markant. Forskning pågår för att få bättre förståelse för dessa samband och hur klimatsystemet svarar på antropogena störningar. Det finns också osäkerheter som beror på hur utsläppen av växthusgaser förändras i framtiden. Den globala medeltemperaturen och hastigheten av den globala genomsnittliga havsnivåhöjningen beror på utsläppen av växthusgaser, och utsläppen beror på politik och samhällsekonomisk utveckling i våra samhällen. När det gäller stormfloder är den naturliga variabiliteten en annan viktig källa till osäkerhet. Som för alla extrema väderhändelser är ytterligheter sällsynta och oförutsägbara, vilket gör det svårt att kvantifiera risker, och denna typ av osäkerhet kommer att finnas kvar även i ett framtida klimat.

I den här rapporten sammanfattar vi den aktuella statusen för havsnivåforskning och beskriver hur ett förändrat klimat och andra processer bidrar till förändringar i Östersjön. Vi ger också en översikt av observerade förändringar samt uppskattningar av framtida förändringar vid slutet av detta århundrade.

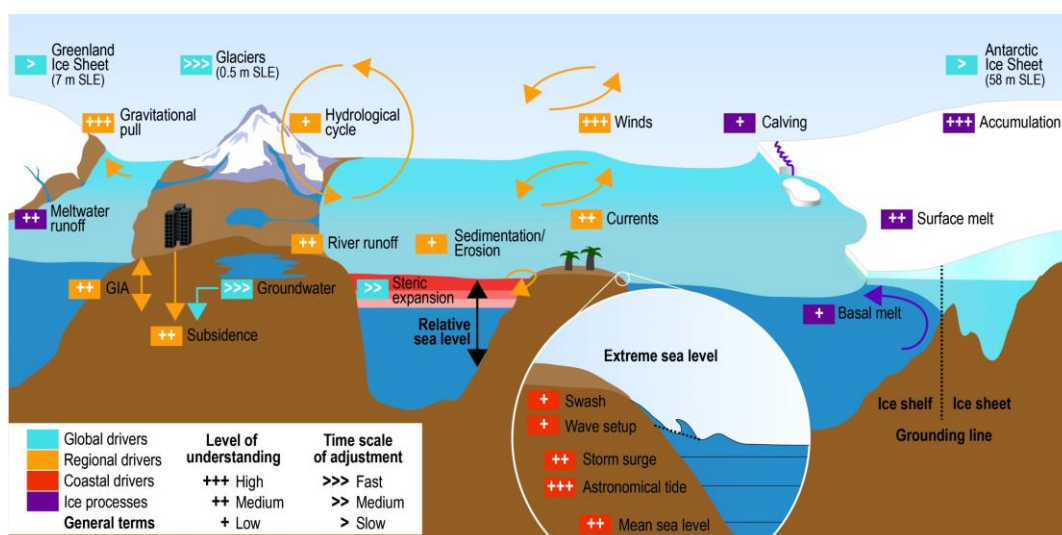
Mer ingående information om havsnivå finns på SMHI:s webbplats (www.smhi.se/klimat). Informationen på webbplatsen uppdateras och utökas kontinuerligt av expertgruppen för havsnivå vid SMHI. Resultat från HazardSupport-projektet är en del av den information som finns på webbplatsen. Projektet har även bidragit på med information på webbplatsen för klimatanpassning (<http://www.klimatanpassning.se/>) som ger information om hur man kan arbeta med klimatanpassning för stigande havsnivåer. Informationen finns bland annat som nedladdningsbara GIS-kartor. Även denna information uppdateras regelbundet.

2 Vad avgör havsnivån i Östersjön?

2.1 Huvudorsaker till variation av havsnivå

Havsnivåförändringar orsakas av ett flertal processer (se fig. 1). Den genomsnittliga havsnivån globalt är nära relaterad till havets volym. Volymen förändras på grund av geologisk aktivitet och tillskott av vatten som smält från istäcken på land, till exempel Antarktis och Grönlands inlandsisar samt bergsglaciärer. Hastigheten på avsmältningen påverkas av förändringar i lufttemperatur och snötäcke. Glaciärer som mynnar ut i havet påverkas dessutom av kontakt med havsvatten som smälter isen underifrån, vilket kan orsaka instabilitet i glaciären och leda till ett snabbare flöde av is mot havet (1). Volymen påverkas även av havstemperaturen eftersom varmare vatten är lättare och tar upp mer volym än kallare vatten.

Förutom förändringar i den globala havsnivån finns det regionala avvikelser från globala medelnivån. Den kontinuerliga omfördelningen av värme från tropikerna till polarområdena orsakar havsströmmar som hänger ihop med variationer i havsnivå på liknande sätt som vindar hänger ihop med hög- och lågtryck. Havsströmmarna orsakar regionala avvikelser från den globala genomsnittliga havsnivån med upp till en meter (2). Även gravitation från inlandsisarna på Antarktis och Grönland påverkar regionala havsnivån. Gravitationen orsakar en regional havsnivåhöjning nära inlandsisen. När inlandsisen sedan smälter, minskar gravitationskraften nära isen, och tillförseln av smältvatten påverkar därför havsnivån långt från inlandsisen mer än nära inlandsisen (3).



Figur 1. Schematisk bild av processer som bidrar till globala (gröna), regionala (orange) och lokala (röda) havsnivåförändringar. GIA är den glaciala isostatiska justeringen som leder till landhöjning sedan den senaste istiden. SLE är havsnivåekvivalenten, den globala genomsnittliga havsnivåhöjningen om isen smälts helt och läggs till havet. Reproducerad från SROCC, 2019.

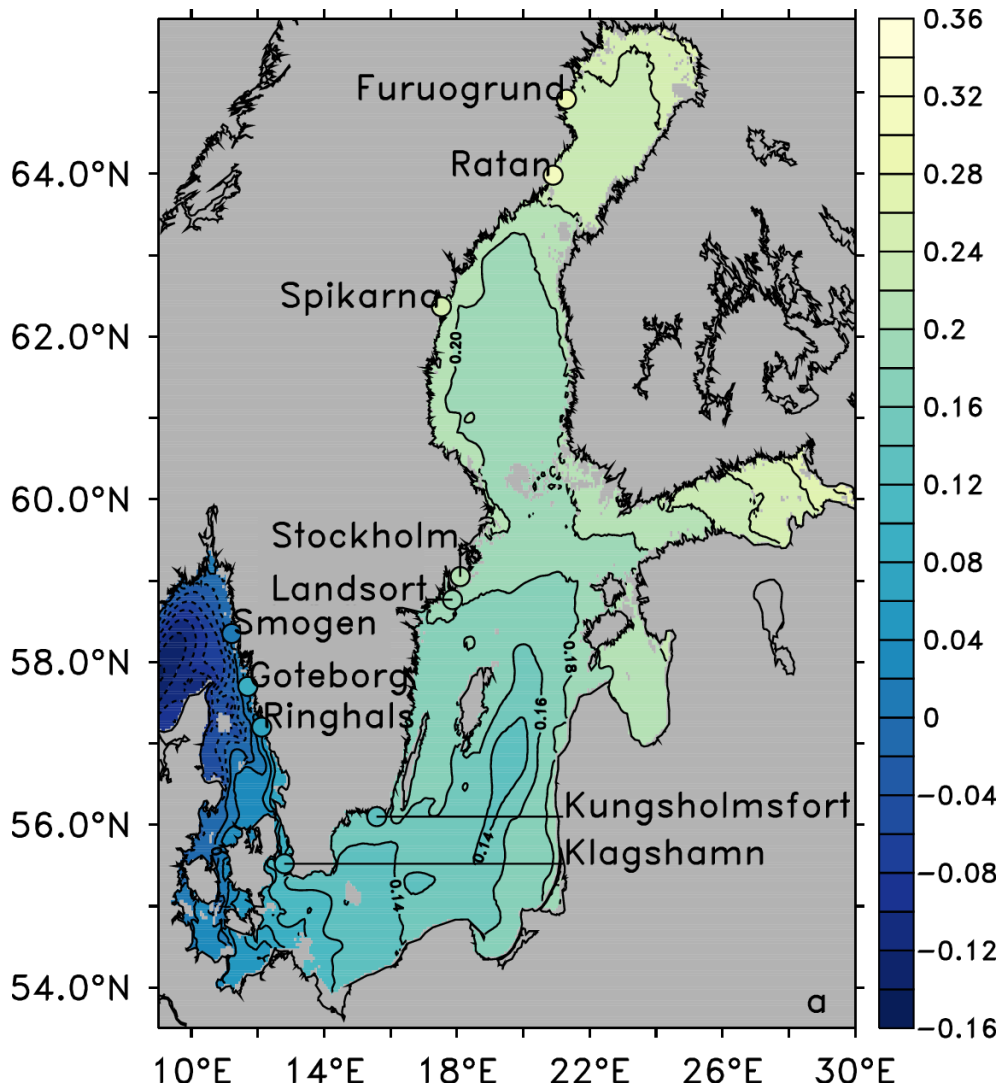
Det viktigaste bidraget till långsiktiga förändringar i havsnivån i Östersjön är den globala genomsnittliga havsnivåhöjningen och markhöjningen (4). Landhöjning i Skandinavien orsakas huvudsakligen av isostatisk justering, jordskorpan återhämtning sedan avsmältningen av den fennoskandiska inlandsisen i slutet av den senaste istiden. Landhöjningen är som högst cirka 10 mm/år vid Höga kusten (5). Förutom detta beror den genomsnittliga havsnivån i Östersjön på intensitet i havets cirkulation i Atlanten. Temperatur- och sötvattensfördelning i Atlanten orsakar strömmar som lämnar sitt avtryck på havsytans höjd på den europeiska kontinentalsöckeln, vilket kan variera över decennier. Vindar i atmosfären är en annan viktig drivkraft för havsnivåvariationer på tidsskalor från årtionden ner till ett par timmar under en stormflod (6–8). Förändringar i havs- och atmosfärcirkulationen orsakar variationer i havsnivån i Östersjön på tidsskalor från månader till årtionden. Havsnivån i Östersjön är vanligtvis högre på vintern än på sommaren och milda vintrar med starkare vind än genomsnittet ger högre havsnivåer än kalla vintrar (9). Under de kalla årstiderna från höst till vår är risken högre för stormar som kan ge stormfloder längs Östersjöns kuster. Stormfloder är vattenmassor som trycks mot kusten av vindar i atmosfäriska lågtryckssystem. Det lägre atmosfärstrycket i en storm kan dessutom öka stormflodens amplitud (10). Stormar kan även orsaka svängningar i Östersjön som ger höga vattenståndsvariationer i ändarna av de olika bassängerna men ganska små variationer i Egentliga Östersjön (11). Dessutom kan vågor som bildas under stormar öka de extrema havsnivåerna som mäts längs kusten (12). Tidvattnet ger en väldigt liten effekt i Östersjön men påverkar däremot Kattegatt och Skagerrak.

2.2 Påverkan av klimatförändringar på havsnivåer

Under 1900-talet har den globala genomsnittliga havsnivån stigit med 1-2 mm/år. Under de senaste 30 åren har havsnivåhöjningen accelererat och är nu cirka 3-4 mm/år (13,14). Under andra hälften av 1900-talet är värmeutvidgning av havsvatten och tillsats av smältvatten från Antarktis- och Grönlandsisen och från glaciärer de viktigaste faktorerna och har bidragit ungefär lika mycket till den globala genomsnittliga havsnivåhöjningen (13).

I Östersjön (se fig. 2) dominerar två processer havsnivåförändringen i förhållande till land. För det första leder den globala genomsnittliga havsnivåhöjningen till en havsnivåhöjning i Östersjön. Detta kompenseras av landhöjning som i norra Östersjön är större än den globala havsnivåhöjningen och därför orsakar relativ havsnivåsänkning där. I södra Östersjön är landhöjningen mindre än den globala havsnivåhöjningen (4). I Stockholm har landhöjningen historiskt varit något större än havsnivåhöjningen, vilket ledde till långsamt sjunkande havsnivåer mellan 1774 och 2009. Om man bortser från landhöjningen har havsnivån längs den svenska

kusten stigit med cirka 20 cm sedan 1886, med en genomsnittlig hastighet på 1,5 mm/år mellan 1886 och 2009. I den senaste delen av denna period har man observerat en accelererad havsnivåhöjning med en genomsnittlig hastighet på 3 mm/år mellan 1980 och 2009 (15).



Figur 2. Modellerat variationer i genomsnittlig havsnivå [m] i Östersjön under dagens klimat som orsakas av vind och färskvattentillrinning. Havsytan i Bottenviken är 40 cm högra än i Västerhavet. SMHI's vattenståndstationer med långa mätserier är kartlagt i bilden och ger medelvattenstånd från observationer. Reproducerad från Dieterich et al., 2019.

Ofta påverkas invånarna längs kusterna inte lika mycket av förändringar i den genomsnittliga havsnivån som av de extrema havsnivåerna, och det som är extremt idag kan bli vanligt i framtiden. Ett sätt att mäta extrema havsnivåer är

genom återkomstnivåer. Till exempel är en 100-årig återkomstnivånivå den havsnivå som förväntas överskridas en gång var 100:e år. För Stockholm uppskattas den 100-åriga återkomstnivån till 102 cm med en osäkerhet på 25 cm. Även med en måttlig ökning av den genomsnittliga havsnivån i Östersjön kan man räkna med att det som är en extrem händelse idag kommer att vara mycket vanligare mot slutet av seklet. I exemplet ovan kommer en havsnivåhöjning på 20 cm år 2100 att göra den 100-åriga stormfloden i Stockholm till en händelse som i genomsnitt inträffar vart tionde år. Således är den globala genomsnittliga havsnivåhöjningen (16) den främsta orsaken till förändringar i Östersjöns stormflodsnivåer.

3 Varför finns det osäkerhet i nivåerna i Östersjön?

Det finns flera anledningar till att det är svårt att exakt förutsäga hur havsnivåhöjningen i Östersjön kommer att se ut. Den största källan till osäkerhet är det faktum att framtida antropogena växthusgasutsläpp och den resulterande uppvärmningen beror på hur samhället utvecklas i framtiden. År 2015 undertecknades i Paris COP 21-avtalet, som säger att den globala medeltemperaturhöjningen måste hållas långt under 2 °C, helst under 1,5 °C, jämfört med förindustriella nivåer. Detta åtagande kräver att växthusgasutsläppen börjar minska så snart som möjligt samt en klimatneutral värld före mitten av århundradet. Det här ger en önskvärd utveckling, men vi vet ännu inte om det är så här framtiden kommer att se ut. För att beskriva hur framtida klimatförändringar kan se ut har olika scenarier utvecklats med olika antaganden för socioekonomisk utveckling och relaterad energiproduktion. De scenarierna som har analyserats för de senaste IPCC-rapporterna (AR5, SROCC) baseras på representativa koncentrationsvägar (RCP) som beskriver hur mycket extra uppvärmning som förväntas till 2100 (17). HazardSupports klimatförändringsrapport (18) ger en sammanfattning av dessa scenarier och förklarar hur informationen kan användas. Osäkerheten som kommer från den okända framtida utvecklingen kallas scenariosäkerhet.

En annan stor osäkerhet är att dagens klimatmodeller inte inkluderar avsmältningen av inlandsisarna och deras effekt på den globala genomsnittliga havsnivåhöjningen. Idag pågår mycket forskning för att undersöka hur avsmältningen fungerar. Många av dessa studier koncentrerar sig på det dynamiska beteendet hos inlandsisarna. En stor del av inlandsisarna står på berggrund som befinner sig under havsnivå. När isen är tillräcklig tjock står den på berggrunden. Närmast randen blir isen tunnare, och när den blir tillräckligt tunn, vid en linje som kallas grundningslinjen, släpper den botten och blir flytande – det som kallas en shelfis. När isen flyter kan havsvatten smälta isen underifrån. Om havet blir varmare och avsmältningen sker snabbare än isen rör sig mot havet, drar grundningslinjen sig bakåt inåt land. Detta kan i sin tur medföra att isen flyter

snabbare mot havet. Denna process och relaterade återkopplingsmekanismer kan leda till en extra meter havsnivåhöjning fram till slutet av seklet (14,19). Hur mycket uppvärmning som är nödvändig för att nå den punkt där ett istäcke blir instabilt är inte känt idag. Det resulterar i en stor osäkerhet i den globala genomsnittliga havsnivåhöjningen.

Vetenskapliga framsteg leder till bättre förståelse för hur klimatsystemet och havsnivåhöjningen fungerar. Det ger bättre möjligheter att modellera klimatsystemet genom mer detaljerade beskrivningar, förbättrade algoritmer och högre upplösningar. Dagens klimatmodeller visar olika grader av klimatkänslighet eftersom de är byggda med olika approximationer och förenklingar. De olika känsligheterna gör att olika modeller ger olika uppvärmning för samma scenario. Därför finns det flera möjliga resultat för den globala uppvärmningen, och den globala genomsnittliga havsnivåhöjningen år 2100 beror på vilken klimatmodell som använts (13). Denna osäkerhet som kommer från att vi ännu inte har full kunskap om hur de komplexa processerna fungerar kallas vanligtvis modellosäkerhet.

Naturlig variation kan leda till variationer i genomsnittlig havsnivå som inte är relaterade till antropogen klimatförändring. Till exempel orsakar den nordatlantiska svängningen (NAO) variationer i Östersjöns havsnivå från år till år. När NAO-indexet är positivt och västvindarna är starkare är Östersjönivån högre än när NAO-indexet är negativt (20). Den här typen av naturlig variation beskrivs ofta som osäkerhet eftersom det inte är möjligt att förutsäga faserna i dessa variationer under längre tidshorisonter. Naturlig variation påverkar också säkerheten i framtida projektioner för stormfloder. Stormfloden 1872 var 2,6 m över den genomsnittliga havsnivån i Falsterbo och denna extrema händelse har inte registrerats sedan dess (21). Statistik som baseras på tidigare observationer är begränsad till specifika händelser av väder, stormar och stormfloder. Dessutom är endast en begränsad tidsperiod av observationer tillgängliga och dessa har kanske inte registrerat de mest extrema stormfloderna som har inträffat. Detta leder till att det finns stora osäkerheter som beror på den naturliga variationen, särskilt för extrema händelser (22).

Vid klimatanpassning måste man uppskatta sannolikheten för en viss stormflodsnivå och hur ofta den kan förväntas i genomsnitt. En 100-årig stormflod förväntas i genomsnitt en gång per 100 år. Det finns idag flera olika metoder för att uppskatta nivån av en 100-årig stormflod och de ger alla olika resultat (23,24). Dessa olika metodiska tillvägagångssätt introducerar ytterligare en osäkerhetskälla för projicering av stormfloder i framtida klimat.

4 Havsnivåer vid stormflod i ett framtida Östersjön

I HazardSupport har historiska och framtida havsnivåändringar i Östersjön studerats med hjälp av modellering (25,26). Fördelen med att använda en modell för att simulera framtida havsnivåförändringar är att framtida förändringar i det

regionala klimatet, såsom tryckmönster, vind och temperatur, kan införlivas i analysen. Resultaten från HazardSupport inkluderar också analyser av olika osäkerhetskällor som diskuterades i föregående avsnitt. För att göra detta, har ett antal regionala havsnivåscenarier tagits fram som täcker tidsperioden 1961-2099. Resultaten inkluderar tre olika RCP:er (RCP2.6, RCP4.5 och RCP8.5) och fem olika klimatmodeller. Detta möjliggör analys av både scenario- och modellosäkerheter. Dessutom inkluderas osäkerheten från naturlig variation med ett förenklat antagande (27).

Eftersom de globala klimatmodellerna inte ger tillräcklig information för Östersjön är det nödvändigt att skala ned dessa scenarier från global skala till regional skala. Vi använde en modell som kan simulera både atmosfärs- is- och havprocesser för att beskriva klimatinformationen regionalt. Information om vind, temperatur och fuktighet från globala atmosfärmodeller användes tillsammans med information om havsnivå, temperatur och salthalt från globala havsmodeller för att driva den regionala modellen. Den regionala klimatmodellen simulerar Östersjön i rutor av två sjömil. Denna upplösning är fortfarande för grov för att undersöka lokala effekter som kan vara viktiga för stormfloder, men är tillräckligt för en bra representation av dynamiken i de regionala havsnivåförändringarna (25). HazardSupport har på så sätt bidragit till att uppdatera äldre havsnivåscenarier (28) med hjälp av den senaste informationen om global genomsnittlig havsnivåhöjning (SROCC) och senaste klimatscenarier (AR5).

Dessa regelbundna uppdateringar av vetenskaplig information är viktiga för att integrera den senaste tolkningen av vetenskapliga resultat i klimattjänster. Den senaste informationen om relativ havsnivåhöjning i Östersjön finns på webbplatserna SMHI (www.smhi.se) och MSB (www.msb.se). Eftersom landhöjning runt Östersjön är ett viktigt bidrag till den relativa havsnivåhöjningen och varierar från -1 mm/år i Malmö till 10 mm/år i Höga kusten måste havsnivåhöjningen specificeras separat för varje avsnitt längs den svenska kusten.

Arbetet i HazardSupport har fokuserat på hur risken för stormfloder kommer att utvecklas utifrån olika scenarier. Den relativa havsnivån vid stormfloder kommer att förändras eftersom den genomsnittliga havsnivån ändras (16). Havsnivåhöjningen under en storm skulle dock i framtiden kunna vara annorlunda i förhållande till medelnivån än vad den är idag, t.ex. på grund av olika regionala meteorologiska förhållanden. En viktig slutsats från HazardSupport är att detta inte verkar vara fallet: De 100 åriga stormflodssnivåerna längs den svenska kusten visar inga signifikanta förändringar fram till år 2100, i förhållande till den genomsnittliga havsnivån. Denna slutsats kan dras för alla tre RCP-scenarierna (26). Om man vet hur stormfloderna förhåller sig till genomsnittlig havsnivå idag och man vet hur den genomsnittliga havsnivån kommer att förändras, kommer man därför också att kunna göra en bra uppskattning av framtida havsnivåer. Som ett exempel beräknas den 100-åriga stormfloden i Göteborg-Torshamnen för närvarande vara 154 cm baserat på långa tidsserier med vattenstånd. Den relativa genomsnittliga havsnivån kommer att stiga, långsammare (RCP2.6) eller snabbare (RCP8.5) och detta kommer att göra att 154 cm 100 års händelse blir en 32-årig händelse (RCP2.6) eller en 6-årig händelse (RCP8.5) före 2100 (16). Baserat på

resultaten från HazardSupport är denna extrapolering robust och kan användas för att uppskatta framtida nivåer av stormfloder (29).

Det kanske viktigaste resultatet av denna fallstudie är analysen av källorna till osäkerhet för extrema havsnivåer. Stormflod i förhållande till genomsnittlig havsnivå skiljer sig inte signifikant oavsett om vi följer RCP2.6, RCP4.5 eller RCP8.5. Osäkerheten i scenarierna är liten (10-20%). Modellosäkerheten spelar en viss roll (30-50%) och kan minskas med ytterligare forskning och förbättrad representation av de processer som leder till extrema havsnivåer. Den största osäkerhetsfaktorn för stormfloder är naturlig variation (30-50%). Denna del av osäkerheten kan inte minskas eftersom den är en del av stormfloddynamiken i Östersjön (26).

Klimatanpassning till stormfloder som hanterar relativa havsnivåhöjningar och ytterligheter är svårt på grund av den stora osäkerheten. Den största osäkerheten i havsnivåhöjning kommer av att vi inte vet vilket av klimatscenerierna världen kommer att följa. Det kan minskas genom genomförandet av COP 21 Parisavtalet 2015 av FN: s ramkonvention om klimatförändringar vilket minskar risken för stora bidrag till havsnivåhöjning från västra Antarktis ismassor. En annan del av osäkerheten är inneboende i stormflodernas extrema natur vilken alltid kommer att vara svår att uppskatta.

5 Samarbete med Länsförsäkringar

Fokus för fallstudien har varit att i dialog med Länsförsäkringar förstå vilka behov som finns av information om havsnivåhöjningar samt bidra med utvecklat kunskapsunderlag. Utifrån diskussionerna med Länsförsäkringar framkom bland annat att det finns ett behov av att skapa bättre förståelse för problemet samt få tillgång till bättre underlag för att kommunicera och informera kunder, kommuner och byggbolag om konsekvenser av havsnivåhöjning. Parallellt med projektet har Länsförsäkringar börjat adressera dessa frågor alltmer och har arbetat med att bygga upp den egna kunskapen och att förmedla kunskap till kommuner och andra som är involverade i planering av byggnation. Man har också börjat diskutera frågor om när man eventuellt inte kan försäkra eller endast försäkra till sämre villkor.

Input till länsförsäkringar har varit faktablad om havsnivåhöjningar och den information och riktlinjer om havsnivåhöjningar som SMHI sammanställer på sina websidor bland annat baserat på arbete från HazardSupport. Utöver detta har behoven analyserats och gett input till den forskning som görs på SMHI inom området havsnivå. Denna forskning ger möjlighet till mer detaljerade beräkningar om hur havsnivåförändringar kommer att påverka Sveriges kuster.

6 Referenser

- (1) Mercer, J. H. West Antarctic Ice Sheet and CO₂ Greenhouse Effect: A Threat of Disaster. *Nature* **1978**, 271 (5643), 321–325.
<https://doi.org/10.1038/271321a0>.
- (2) Yin, J.; Griffies, S. M.; Stouffer, R. J. Spatial Variability of Sea Level Rise in Twenty-First Century Projections. *J Climate* **2010**, 23 (17), 4585–4607.
<https://doi.org/10.1175/2010JCLI3533.1>.
- (3) Mitrovica, J. X.; Tamisiea, M. E.; Davis, J. L.; Milne, G. A. Recent Mass Balance of Polar Ice Sheets Inferred from Patterns of Global Sea-Level Change. *Nature* **2001**, 409 (6823), 1026–1029.
<https://doi.org/10.1038/35059054>.
- (4) Hünicke, B.; Zorita, E.; Soomere, T.; Madsen, K. S.; Johansson, M.; Suursaar, Ü. Recent Change—Sea Level and Wind Waves. In *Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin*; The BACC II Author Team, Ed.; Regional Climate Studies; Springer International Publishing: Cham, 2015; pp 155–185. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16006-1_9.
- (5) Richter, A.; Groh, A.; Dietrich, R. Geodetic Observation of Sea-Level Change and Crustal Deformation in the Baltic Sea Region. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* **2012**, 53–54, 43–53.
<https://doi.org/10.1016/j.pce.2011.04.011>.

- (6) Chen, D.; Omstedt, A. Climate-Induced Variability of Sea Level in Stockholm: Influence of Air Temperature and Atmospheric Circulation. *Adv. Atmos. Sci.* **2005**, *22* (5), 655–664. <https://doi.org/10.1007/BF02918709>.
- (7) Karabil, S.; Zorita, E.; Hünicke, B. Contribution of Atmospheric Circulation to Recent Off-Shore Sea-Level Variations in the Baltic Sea and the North Sea. *Earth System Dynamics* **2018**, *9* (1), 69–90. <https://doi.org/10.5194/esd-9-69-2018>.
- (8) Suursaar, Ü.; Sooäär, J. Decadal Variations in Mean and Extreme Sea Level Values along the Estonian Coast of the Baltic Sea. *Tellus A* **2007**, *59* (2), 249–260. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0870.2006.00220.x>.
- (9) Ekman, M. *The World's Longest Sea Level Series and a Winter Oscillation Index for Northern Europe 1774 - 2000*; Small Publications in Historical Geophysics 12; Summer Institute for Historical Geophysics, Åland Islands, 2003.
- (10) Wiśniewski, B.; Wolski, T. Physical Aspects of Extreme Storm Surges and Falls on the Polish Coast. *Oceanologia* **2011**, *53*, 373–390. <https://doi.org/10.5697/oc.53-1-TI.373>.
- (11) Weisse, R.; Weidemann, H. Baltic Sea Extreme Sea Levels 1948-2011: Contributions from Atmospheric Forcing. *Procedia IUTAM* **2017**, *25*, 65–69. <https://doi.org/10.1016/j.piutam.2017.09.010>.
- (12) Eelsalu, M.; Soomere, T.; Pindsoo, K.; Lagemaa, P. Ensemble Approach for Projections of Return Periods of Extreme Water Levels in Estonian Waters. *Continental Shelf Research* **2014**, *91*, 201–210. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2014.09.012>.
- (13) 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.; Unnikrishnan, A. S. 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., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P. M., Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013; pp 1137–1216.
- (14) Oppenheimer, M.; Glavovic, B.; Hinkel, J.; van de Wal, R.; Magnan, A. K.; Abd-Elgawad, A.; Cai, R.; Cifuentes-Jara, M.; Deconto, R. M.; Ghosh, T.; Hay, J.; Isla, F.; Marzeion, B.; Meyssignac, B.; Sebesvari, Z. Sea Level Rise and Implications for Low Lying Islands, Coasts and Communities. In *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*; Pörtner, H.-O., Roberts, D. C., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E., Mintenbeck, K., Alegría, A., Nicolai, M., Okem, A., Petzold, J., Rama, B., Weyer, N. M., Eds.; 2019; pp 1137–1216.
- (15) Hammarklint, T. *Swedish Sea Level Series - A Climate Indicator*; SMHI, 2009.
- (16) HazardSupport. Stigande havsnivåer och ökad översvämningsrisk : hur påverkar klimatförändringen Sveriges kuster? forskning <https://www.msb.se/sv/publikationer/stigande-havsnivaer-och-okad-oversvamningsrisk--hur-paverkar-klimatforandringen-sveriges-kuster-forskning/> (accessed Jan 21, 2021).
- (17) van Vuuren, D. P.; Edmonds, J.; Kainuma, M.; Riahi, K.; Thomson, A.; Hibbard, K.; Hurtt, G. C.; Kram, T.; Krey, V.; Lamarque, J.-F.; Masui, T.; Meinshausen, M.; Nakicenovic, N.; Smith, S. J.; Rose, S. K. The

- Representative Concentration Pathways: An Overview. *Climatic Change* **2011**, 109 (1–2), 5–31. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>.
- (18) Strandberg, G (2020) Säker och osäkert i klimatscenerierna. MSB1677ISBN 978-91-7927-092-6 <https://www.msb.se/sv/publikationer/sakert-och-osakert-i-klimatscenerierna/>
- (19) Bamber, J. L.; Oppenheimer, M.; Kopp, R. E.; Aspinall, W. P.; Cooke, R. M. Ice Sheet Contributions to Future Sea-Level Rise from Structured Expert Judgment. *PNAS* **2019**, 116 (23), 11195–11200. <https://doi.org/10.1073/pnas.1817205116>.
- (20) Andersson, H. C. Influence of Long-Term Regional and Large-Scale Atmospheric Circulation on the Baltic Sea Level. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography* **2002**, 54 (1), 76–88. <https://doi.org/10.3402/tellusa.v54i1.12125>.
- (21) Fredriksson, C.; Tajvidi, N.; Hanson, H.; Larson, M. Statistical Analysis of Extreme Sea Water Levels at the Falsterbo Peninsula, South Sweden. *Vatten, Journal of Water Management and Research* **2016**, 72, 129–142.
- (22) Lang, A.; Mikolajewicz, U. The Long-Term Variability of Extreme Sea Levels in the German Bight. *Ocean Sci Discuss* **2019**, 2019, 1–34. <https://doi.org/10.5194/os-2019-19>.
- (23) Södling, J.; Nerheim, S. *Statistisk Metodik För Beräkning Av Dimensionerande Havs-vattenstånd*; Report; SMHI, 2016.
- (24) Wahl, T.; Haigh, I. D.; Nicholls, R. J.; Arns, A.; Dangendorf, S.; Hinkel, J.; Slangen, A. B. A. Understanding Extreme Sea Levels for Broad-Scale Coastal Impact and Adaptation Analysis. *Nat Commun* **2017**. <https://doi.org/10.1038/ncomms16075>.
- (25) Dieterich, C.; Gröger, M.; Arneborg, L.; Andersson, H. C. Extreme Sea Levels in the Baltic Sea under Climate Change Scenarios – Part 1: Model Validation and Sensitivity. *Ocean Science* **2019**, 15 (6), 1399–1418. <https://doi.org/10.5194/os-15-1399-2019>.
- (26) Dieterich, C.; Gröger, M.; Arneborg, L.; Andersson, H. C. Extreme Sea Levels in the Baltic Sea under Climate Change Scenarios. Part 2: Projections and Model Uncertainty. *Ocean Sci*, **in preparation**.
- (27) Hawkins, E.; Sutton, R. The Potential to Narrow Uncertainty in Regional Climate Predictions. *B Am Meteorol Soc* **2009**, 90 (8), 1095–1108. <https://doi.org/10.1175/2009BAMS2607.1>.
- (28) Meier, H. E. M.; Broman, B.; Kjellström, E. Simulated Sea Level in Past and Future Climates of the Baltic Sea. *Clim Res* **2004**, 27 (1), 59–75. <https://doi.org/10.3354/cr02705904>.
- (29) Hieronymus, M.; Kalén, O. Sea-Level Rise Projections for Sweden Based on the New IPCC Special Report: The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. *Ambio* **2020**, 49 (10), 1587–1600. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01313-8>



Myndigheten för
samhällsskydd
och beredskap

I samarbete med:

SMHI



Länsförsäkringar



Stockholm
Environment
Institute

© Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)

651 81 Karlstad Tel 0771-240 240 www.msb.se

Publ.nr MSB1722 – mars 2021 ISBN 978-91-7927-122-0