

Högvattenhändelser i Trelleborg idag och i framtiden

Ola Kalén, Sofie Schöld, Maria Andersson, Seuri Basilio och Magnus Hieronymus



Pärmbild

Trelleborgs hamn. Mostphotos

RAPPORT NR 2025-18**TITEL**

Högvattenhändelser i Trelleborg idag och i framtiden

FÖRFATTARE

Ola Kalén, Sofie Schöld, Maria Andersson, Seuri Basilio och Magnus Hieronymus, SMHI

UPPDRAGSGIVARE

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, MSB
651 81 Karlstad

KONTAKTPERSON

Maja Coghlan
MSB
651 81 Karlstad
E-post: maja.coghlan@msb.se

PROJEKTANSVARIG

Sofie Schöld
SMHI
601 76 Norrköping
E-post: sofie.schold@smhi.se

KLASSIFICERING

Allmän

SMHI DIARIENUMMER

SMHI23:1 2024/2213/6.1.1

Version
01

Datum
2025-03-27 Granskad

Granskad av
Sofia Åström, SMHI

Innehåll

1	Bakgrund	1
2	Sammanfattande resultat.....	2
3	Metod och underlag	4
3.1	Introduktion	4
3.2	Vattenståndsmätningar i Trelleborg	5
3.3	Medelvattenstånd i dagens klimat i Trelleborg	6
3.4	Extremnivåer i dagens klimat i Trelleborg.....	6
3.5	Medelvattenstånd i framtida klimat i Trelleborg.....	8
3.6	Extremnivåer i framtida klimat i Trelleborg	11
3.7	Kombinerade osäkerhetsintervall	11
4	Referenser	13
	Bilaga 1: Ordlista.....	15

1 Bakgrund

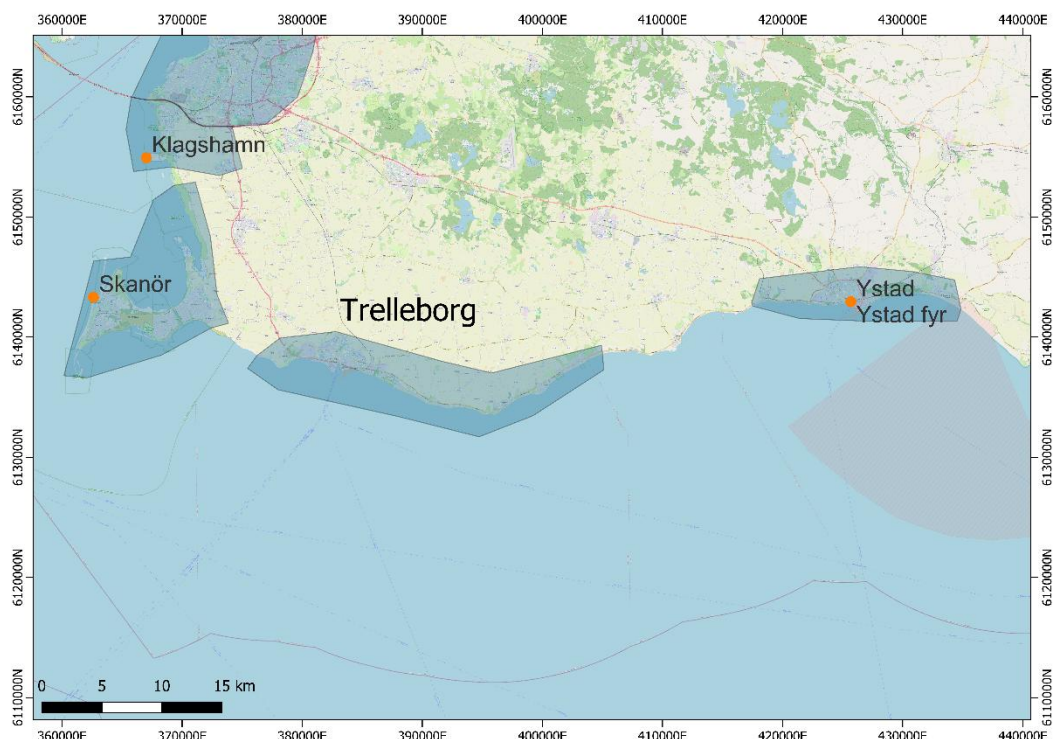
I Sverige genomförs översvämningsdirektivet genom Förordning (2009:956)¹ om översvämningsrisker och MSBFS 2013:1² föreskrifter om länsstyrelsens planer för hantering av översvämningsrisker (riskhanteringsplaner). MSB är ansvarig myndighet och genomför arbetet i nära samarbete med länsstyrelserna. Arbetet sker i cykler om sex år och inkluderar en bedömning av översvämningsrisker i syfte att identifiera områden med betydande översvämningsrisk, framtagande av hot- och riskkartor över de områden som har identifierats samt framtagande av riskhanteringsplaner.

Hotkartor över de områden som har identifierats ska, i enlighet med paragraf 7 i översvämningsförordningen, utarbetas av MSB och omfatta de geografiska områden som kan komma att drabbas vid en översvämningshändelse inom tre olika sannolikhetskategorier:

1. Översvämnningar som med låg sannolikhet förväntas inträffa, eller som endast förväntas inträffa i extrema situationer,
2. Översvämnningar som med medelhög sannolikhet³ förväntas inträffa, och, om det är lämpligt,
3. Översvämnningar som med hög sannolikhet förväntas inträffa.

Arbetet med översvämningsdirektivets tredje cykel inleddes under 2022 och MSB bedömde i februari 2024 att tjugosex områden i landet kan få betydande konsekvenser om en omfattande översvämnning inträffar⁴. Sjutton av dessa områden ligger längs kusten och för dessa har MSB gett SMHI i uppdrag att beräkna en högvattenhändelse med 50-års återkomsttid utifrån dagens klimat samt händelser med 100- respektive 500-års återkomsttid utifrån ett medelvattenstånd år 2100 och 2150 under utsläppsscenarierna SSP2-4,5, SSP3-7,0 samt SSP5-8,5 från FN:s klimatpanel IPCC:s sammanställning AR6⁵. Effekten av landhöjningen ska vara inkluderad i framtida nivåer och nivåerna ska anges i RH 2000.

I Figur 1 visas det område som specificerats av MSB för Trelleborg.



Figur 1. Geografiskt avgränsat område vid Trelleborg, specificerat av MSB. I kartan visas även mätstationerna Klagshamn, Skanör och Ystad (orange), med tillhörande område för de respektive platserna. Bakgrundskarta: OpenStreetMap.

2 Sammanfattande resultat

Beräknade återkomstnivåer för dagens klimat⁶ för återkomsttiderna 50, 100 och 500 år, dels relativt medelvattenståndet och dels i höjdsystemet RH 2000, redovisas i Tabell 1 med ett konfidensintervall på 90 procent.

Tabell 1. Beräknade återkomstnivåer med 50-, 100-, respektive 500-års återkomsttid i dagens klimat, dels relativt medelvattenståndet (MV) och dels i höjdsystemet RH 2000, siffrorna inom parentes anger ett konfidensintervall på 90 % (Tabell 1 är identisk med Tabell 5).

Återkomsttid (år)	Återkomstnivå rel. MV (cm)	Återkomstnivå RH 2000 (cm)
50	136 (125 till 148)	150 (139 till 162)
100	144 (130 till 160)	158 (144 till 174)
500	162 (140 till 189)	176 (154 till 203)

Återkomstnivåer för framtida klimat fås genom att kombinera beräknade återkomstnivåer relativt medelvattenståndet (Tabell 1) med projektioner för framtida medelvattenstånd i RH 2000 för den aktuella platsen. Återkomstnivåer för framtida klimat år 2100 och 2150 under tre olika utsläppsscenarioer visas i Tabell 2 till Tabell 4 med ett kombinerat konfidensintervall på 90 procent.

Tabell 2. Beräknade återkomstnivåer med 100-, respektive 500-års återkomsttid i framtida klimat under SSP2-4,5 år 2100 och 2150. Nivåerna anges i höjdsystemet RH 2000, siffrorna inom parentes anger ett konfidensintervall på 90 %.

Återkomsttid (år)	Återkomstnivå år 2100 RH 2000 (cm)	Återkomstnivå år 2150 RH 2000 (cm)
100	218 (187 till 262)	249 (199 till 329)
500	236 (199 till 285)	267 (213 till 349)

Tabell 3. Beräknade återkomstnivåer med 100-, respektive 500-års återkomsttid i framtida klimat under SSP3-7,0 år 2100 och 2150. Nivåerna anges i höjdsystemet RH 2000, siffrorna inom parentes anger ett konfidensintervall på 90 %.

Återkomsttid (år)	Återkomstnivå år 2100 RH 2000 (cm)	Återkomstnivå år 2150 RH 2000 (cm)
100	226 (190 till 278)	268 (207 till 365)
500	244 (203 till 300)	287 (222 till 385)

Tabell 4. Beräknade återkomstnivåer med 100-, respektive 500-års återkomsttid i framtida klimat under SSP5-8,5 år 2100 och 2150. Nivåerna anges i höjdsystemet RH 2000, siffrorna inom parentes anger ett konfidensintervall på 90 %.

Återkomsttid (år)	Återkomstnivå år 2100 RH 2000 (cm)	Återkomstnivå år 2150 RH 2000 (cm)
100	239 (198 till 296)	288 (218 till 402)
500	256 (211 till 317)	306 (232 till 422)

Resultaten är beräknade återkomstnivåer för återkomsttiderna 50, 100 och 500 år där osäkerheten i de skattade värdena uttrycks med ett 90-procentigt konfidensintervall. Konfidensintervallet är framtaget med en metod som, om den upprepades många gånger skulle ge intervall som innehåller det sanna värdet i 90 procent av fallen. Observera att samtliga värden behöver justeras i takt med att kunskapsläget förändras och mer mätdata samlas in.

Som utgångsläge för medelvattenståndet i dagens klimat har medelvärden över referensperioden 1995 till 2014 använts, se kapitel 3.4 för mer information. Projektioner för medelvattenståndet i Trelleborg år 2100 och 2150 baseras på IPCC:s sammanställning AR6 Delrapport 1 – Den naturvetenskapliga grunden⁵, och utgår ifrån de tre utsläppsscenarier som MSB har specificerat, SSP2-4,5, SSP3-7,0 och SSP5-8,5. Samtliga projektioner är av SMHI nerskalade till kommunnivå och tar hänsyn till storskaliga regionala variationer i havsnivåhöjning samt till den lokala landhöjningen. Resultaten gäller för det markerade området i Figur 1 men lokala variationer kan förekomma och kortperiodiska vågeffekter ingår ej. Mer detaljer kring beräknade värden finns i kapitlen nedan.

3 Metod och underlag

I detta kapitel beskrivs de beräkningsmetoder som använts i uppdraget, samt underlag för beräkningar av extrema vattenstånd i dagens och framtida klimat.

3.1 Introduktion

Högvattenhändelser, tillfällen då vattenståndet stiger kraftigt men kortvarigt, kan orsaka översvämningar redan idag. I takt med att medelvattenståndet i havet stiger, till följd av den globala uppvärmningen, ändras utgångsläget för dessa högvattenhändelser och medför att händelser som är relativt ovanliga idag blir mer vanliga i framtiden. Risker för översvämning kan begränsas genom planering och implementering av riskreducerande strategier, där kännedom om sannolikheten för att extrema händelser med olika återkomstnivåer ska inträffa är centralt.

Vanligtvis beräknas dessa sannolikheter genom att anpassa en statistisk fördelning till mätdata, exempelvis årshögsta noteringar. Beräkningarna begränsas dock till platser där det finns tillförlitliga mätningar och kan också vara osäkra på grund av att få extrema händelser ingår i den underliggande mätserien. Flertalet av de av MSB utpekade områdena saknar långa tillförlitliga mätserier med en tidsupplösning på en timme eller tätare.

Kustområdet vid närliggande mätstationer utsätts emellertid för likartade väderparametrar ungefär samtidigt, vartefter omgivande vattenmassa reagerar på ett sammanhängande vis. Även om undantag finns, exempelvis i vikar och bukter där lokala effekter kan ha en stor inverkan, så samvarierar vattenståndet längs olika kuststräckor alltså storskaligt. Den här samvariationen innebär att extrema havsnivåer har liknande egenskaper över stora områden, ett rumsligt beroende. Dessa likheter kan nyttjas för att få information om extrema havsnivåer på platser som saknar långa mätserier och bidrar också till att minska osäkerheterna i beräkningarna⁷.

Inom detta uppdrag har mätserier av havsvattenstånd från flera platser i hela Östersjön och Västerhavet slagits samman till ett stort dataset som använts i en så kallad Bayesiansk hierarkisk modell. Modellen beskriver hur fördelningen av extrema vattenstånd varierar i tid och rum. Mätserierna används för att träna modellen vilken därefter beräknar extremnivåer med hjälp av viktning baserat på avstånd till intilliggande mätstationer. Mätserier från en plats som ligger nära målplatsen har större inverkan i den Bayesianska modellen, medan mätserier från platser längre bort har mindre eller ingen inverkan.

För att observationer från en plats ska ingå i datasetet till den Bayesianska hierarkiska modellen behöver vissa kriterier uppfyllas. I detta fall har mätseriernas längd och startår optimerats för att ge en robust modell och kriterierna har satts till att mätserien behöver vara minst 31 år lång med startår 1926 eller senare, och ha en tidsupplösning på minst en timme. I det dataset som använts för att träna den Bayesianska modellen ingår data från 44 mätstationer varav 28 är belägna i Sverige.

Extremnivåer framtagna med den Bayesianska modellen har utvärderats och en bedömning av rimligheten i värdena har gjorts för varje område genom att exempelvis jämföra med uppmätta rekord. Vid platser där långa mätserier finns att tillgå har resultaten från den Bayesianska modellen jämförts med resultat från extremvärdesberäkningar baserade på enskilda mätserier.

Det finns dessvärre inga mätningar av vattenstånd vid Trelleborg tillgängliga med tillräcklig upplösning i tiden för att vara lämplig att ingå i det dataset som använts för att träna den Bayesianska modellen. Däremot finns det en historisk mätserie vid Ystad, öster om Trelleborg, som ingår i datasetet till den Bayesianska modellen, men de mätningar som finns före år 1926 ingår inte. Detta medför att två utav de högsta noteringarna under mätperioden vid Ystad inte ingår i datasetet, vilket i sin tur medför att extremnivåer framtagna med den Bayesianska modellen troligen underskattas i detta område.

Även mätserien vid Skanör, väster om Trelleborg, ingår i datasetet till den Bayesianska modellen, så mätserier både väster som öster om Trelleborg ingår. Nivåer framtagna med den Bayesianska modellen ger successivt ökande nivåer från Ystad i öster till Skanör i väster. Nivåer för Trelleborg utifrån den

Bayesianska modellen blir dock lägre än nivåer baserade på enbart den historiska mätserien från Ystad. Med anledning av detta används inte resultat av extrema havsnivåer från den Bayesianska modellen för Trelleborg. Därtill, eftersom den historiska mätserien från Ystad är betydligt längre än mätserien vid Skanör, utgör den ett mer robust underlag statistiskt sett, därför baseras nivåer för Trelleborg på den enskilda historiska mätserien från Ystad i denna rapport, vilket beskrivs mer i detalj i följande kapitel.

3.2 Vattenståndsmätningar i Trelleborg

Det finns dessvärre inga mätningar av vattenstånd vid Trelleborg tillgängliga med tillräcklig upplösning i tiden för att utgöra ett bra underlag för analys av vattenståndsvariationer eller för jämförelser med mätserier från intilliggande platser för att få en uppfattning om hur vattenståndet i Trelleborg förhåller sig till vattenståndet i närliggande område.

Vid Skanör, cirka 20 kilometer väster om Trelleborg, utförs mätningar av havsvattenstånd vilka påbörjades 1992 och pågår idag. Till en början mättes vattenståndet varje timme vid stationen men i dagsläget finns värden upp till minutbasis och vattenståndet mäts med två radargivare samt ett mekaniskt måttband som referens. Mätstationen vid Skanör är inmätt i rikets höjdsystem RH 2000 och kortperiodiska vågrörelser dämpas till följd av att mätutrustningen är placerad inuti ett rör.

SMHI:s mätserie från Skanör är nästan helt utan avbrott med en datatillgänglighet på över 99 procent baserat på timobservationer från februari 1992 till oktober 2024. Det högsta uppmätta vattenståndet vid Skanör, sedan mätstarten 1992, uppnår cirka 149 centimeter relativt medelvattenståndet baserat på timvärden och noterades i januari 2017.

Vid Ystad, cirka 40 kilometer öster om Trelleborg, finns en lång historia av vattenståndsmätningar. Vid fyren registrerade fyrvaktaren vattenståndet en gång per dygn från 1849 till 1879 genom att manuellt avläsa nivån mot en fast pegelskala. År 1886 etablerades en mareograf intill den inre fyren (Ystad Övre nr 2) i stationsområdet i Ystad hamn där vattenståndet mättes automatiskt varje timme fram till 1987. Mätstationen stod i förbindelse med vattnet i hamnbassängen genom ett långt rör som dämpade kortperiodiska vågrörelser. Idag mäts vattenståndet i Ystad på minutbasis med en tryckgivare och en radargivare vid Sjöfartsverkets mätstation i Ystad hamn.

Från Ystad finns det alltså tre olika mätserier där vattenståndet har mätts på olika sätt och med olika upplösning i tid. I den äldsta mätserien finns rekordnoteringar i fyrdagboken som uppskattats motsvara omkring två meter över medelvattenstånd under den så kallade Backafloden⁸ den 13 november 1872 men också den 3 februari 1873⁹. Under eftermiddagen den 13 november 1872 finns noteringar om ost-nordostlig vind på 12 Beaufort, motsvarande orkanstyrka, men den 3 februari 1873 anges ostlig vind på bara 8 Beaufort, motsvarande hård kuling.

Även om de historiska noteringarna vid Ystad fyr har gjorts med så stor noggrannhet som tekniken möjliggjorde så är det svårt att veta i vilken mån effekten av kortperiodiska vågor ingår i de noterade vattenstånden. Det faktum att vattenståndet endast registrerades en gång per dygn innebär också att det är en tämligen stor sannolikhet att det inte är de allra högsta vattenstånden varje dygn som har noterats, även om tidpunkten för fyrvaktarens notering under 1872 stämmer tämligen väl med den uppskattade tidpunkten för vattenståndets kulmen⁹. Dessa äldre mätningar är således inte jämförbara med mer moderna vattenståndsmätningar men lika fullt intressanta ur ett historiskt perspektiv.

Historiska källor ger varierande uppgifter om vattenståndet i Ystad under Backafloden men en angivelse från Cimbrishamnsbladet (1872-11-19) på 210 till 240 centimeter över medelvattenstånd förefaller vara mest korrekt¹⁰, vilket alltså stämmer tämligen väl med nivån i fyrdagboken.

Vid SMHI:s mätstation vid Ystad som mätte vattenståndet varje timme mellan 1886 och 1987 är det högsta uppmätta vattenståndet 167 centimeter över medelvattenståndet under nyårsafton 1904. Även under nyårsstormen 1904 blåste nordostlig vind av storm- eller orkanstyrka och det finns rapporter om omfattande skador längs kusterna. Det näst högsta uppmätta vattenståndet under denna mätperiod

noterades i december 1913 och nådde 158 centimeter över medelvattenståndet. Mätningar från denna serie ingår i datasetet till den Bayesianska modellen men enbart från 1926 och framåt. Båda dessa höga noteringar inträffade före 1926 och ingår därför inte i den Bayesianska modellen.

Från Sjöfartsverkets mätstation i Ystad har SMHI tillgång till data från 2014. Där mättes vattenståndet initialt ungefär var 10:e minut och sedan mitten av 2018 på minutbasis. Det högsta uppmätta vattenståndet vid Sjöfartsverkets station är 136 centimeter över medelvattenståndet och inträffade i januari 2017. Mätserien är dock för kort för att ingå i datasetet till den Bayesianska modellen.

Eftersom den historiska mätserien från Ystad är betydligt längre än mätserien vid Skanör, utgör den ett mer robust underlag statistiskt sett, och av den anledningen baseras nivåer för Trelleborg på den enskilda historiska mätserien från Ystad i denna rapport. Den historiska mätserien vid Ystad från oktober 1886 till januari 1987 är i princip helt utan avbrott med en datatillgänglighet på över 99 procent baserat på timobservationer. Den höga datatillgängligheten vid Ystad medför att analysen inte påverkas av statistisk systematisk avvikelse.

Beräkningarna som ligger till grund för återkomstnivåer är behäftade med osäkerheter. För det första är återkomstnivåerna beroende av det dataunderlag som används. Dataunderlaget som återkomstnivåer skattas ifrån är begränsat till de perioder då det finns systematiska och tillförlitliga observationer. På en handfull platser längs Sveriges kust påbörjades timvis registrering av havsvattenstånd i slutet av 1800-talet och början av 1900-talet. Nya mätstationer har sedan tillkommit över tid, vilket gör att dataunderlaget från vissa stationer endast täcker ett fåtal decennier. Extremvärden i dataunderlaget kan vara under- eller överrepresenterade, exempelvis genom att mätserien huvudsakligen representerar en period då det förekommit färre eller fler extremer än normalt. Extremer som förekommit under perioder då mätstationen varit ur funktion gör också att variabiliteten riskerar att underskattas. På grund av de ovan diskuterade osäkerheterna med äldre data samt krav på att mätserien måste fånga kortvariga förändringar, har endast data med upplösning på en timme eller tätare använts till analyser.

3.3 Medelvattenstånd i dagens klimat i Trelleborg

Här beskrivs hur medelvattenståndet i dagens klimat har beräknats utifrån mätdata från vattenståndsstationer. Detta används som utgångspunkt i senare beräkningar.

Medelvattenståndet i dagens klimat representeras i denna rapport av vattenståndets medelnivå under referensperioden 1995 till 2014. Detta är den period som används i IPCC:s sammanställning AR6 Delrapport 1⁵ och denna medelnivå utgör således utgångsläge för beräkningarna av framtida medelvattenstånd.

Baserat på mätdata från 23 vattenståndsstationer längs Sveriges kust har ett medelvärde för perioden 1995 till 2014 beräknats för varje station. Dessa har sedan interpolerats för att skapa ett dataset bestående av gridrutor på 1×1 kilometer längs hela kusten. Från detta dataset har sedan medelvärden för respektive kustkommun beräknats baserat på de gridrutor som befinner sig inom beräkningsområdet för den aktuella kommunen. Medelnivån under perioden kan variera inom en kommuns kustområde, men det handlar om mindre variationer på upp till cirka 4 centimeter.

För Trelleborg används i denna rapport den beräknade medelnivån för Trelleborgs kommun under referensperioden 1995 till 2014, vilken har beräknats till 14 centimeter i RH 2000.

3.4 Extremnivåer i dagens klimat i Trelleborg

I detta avsnitt redovisas beräkningar av extrema vattenstånd i dagens klimat.

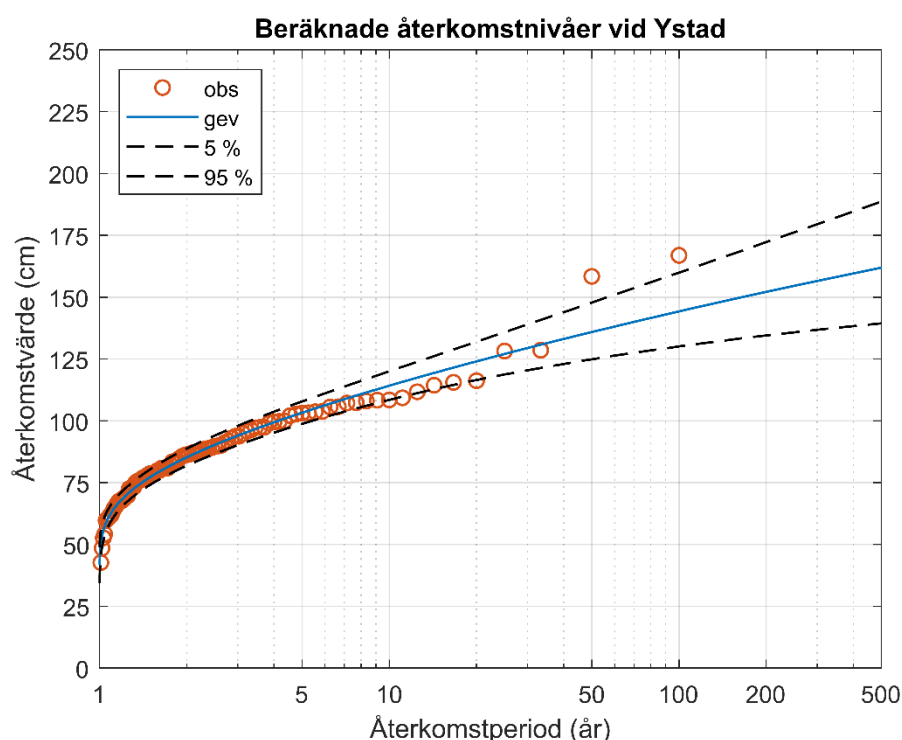
Beräkningar av återkomstnivåer eller extremnivåer baseras ofta på extremvärdesanalys, vilket är en gren inom statistisk probabilitetsteori där extrema värden antas följa en annan fördelning än resterande observationer¹¹. Genom extremvärdesanalys kan man skatta återkomstnivåer för händelser med längre återkomsttid än mätseriens längd. En begränsning vid beräkning av återkomstvärden utifrån statistisk

analys av observationer är emellertid att endast händelser som har observerats under mätperioden påverkar de beräknade återkomstvärdena. Återkomstvärden med låg sannolikhet kan alltså sägas vara mer osäkra eller otillförlitliga än återkomstvärden med hög eller medelhög sannolikhet, något som generellt också speglas av bredden i tillhörande konfidensintervall.

I Figur 2 visas beräknade återkomstnivåer relativt medelvattenståndet mot återkomsttid för höga havsvattenstånd baserat på mätserien från Ystad. Den fördelningsfunktion som bedömts passa bäst till observationerna är en GEV-fördelning med tre parametrar. Vid bestämning av årshögsta observationer har brutet år använts, dvs. från juli till juni. För att högvattenhändelser ska vara jämförbara över tid har de underliggande vattenståndsserierna avtrendats linjärt. På så vis tas långsiktiga trender i vattenståndsserien bort, såsom landhöjning och havsnivåhöjning.

Den mätperiod av havsvattenstånd vid Ystad som har använts till analyserna som redovisas i denna rapport är omkring 100 år, en i sammanhanget lång mätdataserie. Längden på mätserien innebär att de 50- och 100 årsvärden som redovisas kan anses vara tämligen robusta. Den osäkerhet som föreligger avseende dessa värden kommer sig av exempelvis val av sannolikhetsfördelning, mätosäkerhet och geografisk osäkerhet. De 500-årsvärden som redovisas i rapporten är förknippade med en större osäkerhet som, utöver tidigare nämnda osäkerheter, även orsakas av mätseriens längd. Under en relativt kort mätserie är det mindre chans att en händelse med lång återkomsttid ska ha inträffat.

För att få ett mått på osäkerheter och skapa en mer robust extremvärdesberäkning har en återsamplingsteknik kallad bootstrapping använts. Genom återsamplingstekniken dras ett nytt slumpmässigt stickprov från den aktuella sannolikhetsfördelningen av extrema havsnivåer och utifrån stickprovet beräknas medelvärde samt 5 och 95 percentilerna. Percentilerna utgör ett konfidensintervall på 90 procent. I denna rapport har ett stickprov på 10 000 värden använts.



Figur 2. Beräknade återkomstnivåer relativt medelvattenståndet vid olika återkomsttider (blå linje) baserat på årshögsta observationer från Ystad (röda cirklar). Streckade linjer (svart) anger tillhörande konfidensintervall på 90 %.

Utifrån Figur 2 kan exempelvis utläsas att återkomstnivån med 50 års återkomsttid har beräknats till 136 centimeter relativt medelvattenståndet med ett tillhörande konfidensintervall på 90 procent från 125 till 148 centimeter. Vidare kan utläsas att de två högsta årsnoteringarna ligger högre än övriga, och

påverkar beräkningen i större utsträckning. Dessa två årshögsta noteringar inträffade 1904 respektive 1913.

Beräknade återkomstnivåer med 50-, 100-, respektive 500-års återkomsttid relativt medelvattenståndet redovisas i Tabell 5. Återkomstnivåer i höjdsystemet RH 2000 i dagens klimat fås genom att addera den beräknade medelnivån i Trelleborgs kommun under referensperioden 1995 till 2014 (kapitel 3.3) till den beräknade återkomstnivån relativt medelvattenståndet. Nivåerna redovisas som medelvärden tillsammans med ett konfidensintervall på 90 procent.

Tabell 5. Beräknade återkomstnivåer med 50-, 100-, respektive 500-års återkomsttid i dagens klimat, dels relativt medelvattenståndet (MV) och dels i höjdsystemet RH 2000. Siffrorna inom parentes anger ett konfidensintervall på 90 % (Tabell 5 är identisk med Tabell 1).

Återkomsttid (år)	Återkomstnivå rel. MV (cm)	Återkomstnivå RH 2000 (cm)
50	136 (125 till 148)	150 (139 till 162)
100	144 (130 till 160)	158 (144 till 174)
500	162 (140 till 189)	176 (154 till 203)

Det finns ett flertal sannolikhetsfördelningar som är vanligt förekommande i extremvärdesanalys inom vetenskaplig litteratur. Här har Generalized Extreme Value (GEV) använts, en fördelning som får stöd av extremvärdesatsen¹¹ och som traditionellt antagligen har varit den mest vanligt förekommande vid beräkning av extremnivåer för höga havsvattenstånd. Valet av vilken fördelning som används är subjektivt, det är bra att vara medveten om att även andra extremvärdesfördelningar kan vara aktuella och ge ett något annorlunda resultat.

3.5 Medelvattenstånd i framtida klimat i Trelleborg

Detta avsnitt redovisar beräknade framtida medelvattenstånd i Trelleborgs kommun. Beräkningarna bygger på klimatscenarier från IPCC och har anpassats till lokala förhållanden.

Uppgifter för framtida medelvattenstånd i Trelleborgs kommun baseras på IPCC:s sammanställning AR6 Delrapport 1 – Den naturvetenskapliga grunden⁵ som släpptes 2021 och har hämtats från SMHI:s hemsida¹². Beräkningarna utgår från projektioner, vilka IPCC bedömer som *troliga*, från tre olika utsläppsscenarier (SSP2-4,5, SSP3-7,0 samt SSP5-8,5). Alla projektioner tar hänsyn till storskaliga regionala variationer i havsnivåhöjning som gör att havet inte stiger lika mycket överallt på jorden samt till den lokala landhöjningen. Uppgifter om landhöjning har hämtats från modellen NKG2016LU¹³ (avvägd landhöjning) samt från en senare studie av Kierulf o.a.¹⁴.

Den totala landhöjningen i Trelleborgs kommun är 0,075 centimeter per år. Den totala landhöjningen beror av den långsiktiga landhöjningen till följd av det minskade trycket på jordskorpan då inlandsisen från den senaste istiden smälte bort för cirka 10 000 år sedan. Den långsiktiga landhöjningens hastighet kommer vara praktiskt taget oförändrad de närmaste tusen åren. Den totala landhöjningen innehåller även en så kallad elastisk komponent (0,064 centimeter per år) som beror av dagens avsmältning från Grönland och större glaciärer.

I Tabell 6 redovisas framtida medelvattenstånd i centimeter i RH 2000 på formatet median med nedre gräns för det *sannolika* intervallet till övre gräns för det *sannolika* intervallet inom parentes. Det *sannolika* intervallet begränsas av den 17:e och 83:e percentilen. Det här är alltså ett intervall på 66 procent som innebär att det bedöms vara 17 procents sannolikhet för nivåer under intervallet och 17 procents sannolikhet för nivåer över intervallet för ett visst SSP-scenario. Dessa nivåer utgör således varken en nedre eller en övre gräns för medelvattenståndets möjliga nivå de valda åren.

Sannolikhetsfördelningen för framtida medelvattenstånd har emellertid, precis som andra fördelningar, fler percentiler än just den 17:e och den 83:e. Exakt hur fördelningen för de framtida medelvattenstånden ser ut är okänt, vi känner alltså inte till alla percentiler. Det finns däremot tydliga indikationer på att det rör sig om en skev fördelning med en förskjutning mot högre havsnivåhöjningar.

En nyhet i IPCC:s sammanställning AR6 Delrapport 1⁵ är att även fördelningarnas 5:e och 95:e percentiler tillhandahålls, alltså ett intervall på 90 procent, vilket för de *troliga* projektionerna benämns av IPCC som ett *mycket sannolikt*¹⁵ intervall. I Tabell 6 redovisas även det *mycket sannolika* intervallet inom parentes som begränsas av 5:e och 95:e percentilerna.

Tabell 6. Framtida medelvattenstånd (cm) för år 2100 och 2150 enligt utsläppsscenarierna SSP2-4,5, SSP3-7,0 samt SSP5-8,5, 17:e till 83:e respektive 5:e till 95:e percentil inom parentes.

År	SSP2-4,5 (medelhögt)	SSP3-7,0 (högt)	SSP5-8,5 (mycket högt)
2100	73 (56 till 96) (47 till 115)	82 (61 till 109) (49 till 132)	94 (70 till 124) (57 till 151)
2150	105 (73 till 149) (57 till 183)	125 (85 till 177) (66 till 219)	143 (98 till 205) (76 till 254)

I många planeringssituationer kan det vara värdefullt att utvärdera flera olika utfall. För objekt med låg risktolerans kan det exempelvis vara intressant att analysera möjliga konsekvenser vid ett *mindre troligt* scenario eller havsnivåhöjning utifrån en högre percentil. Utöver de beräknade framtida medelvattenstånden ovan finns beräkningar som utgår ifrån projektioner, vilka IPCC bedömer som *troliga*, från ytterligare två utsläppsscenarier (SSP1-1,9 och SSP1-2,6) samt beräkningar baserade på projektioner som IPCC bedömer som *mindre troliga*¹⁶ (SSP1-2,6 *mindre troligt* och SSP5-8,5 *mindre troligt*), se Tabell 7. Dessa *mindre troliga* projektioner inkluderar processer förknippade med djup osäkerhet relaterade till inlandsisarnas instabilitet. Nivåer för *troliga* samt för *mindre troliga* projektioner redovisas i centimeter i RH 2000 på formatet median med 17:e till 83:e respektive 5:e till 95:e percentil inom parentes. För de *troliga* projektionerna motsvarar dessa percentiler ett *sannolikt* respektive ett *mycket sannolikt* intervall. De nivåer som baseras på projektioner som är *mindre troliga* redovisas för samma percentiler men här har inte intervallet bedömts som *sannolikt* eller *mycket sannolikt* av IPCC.

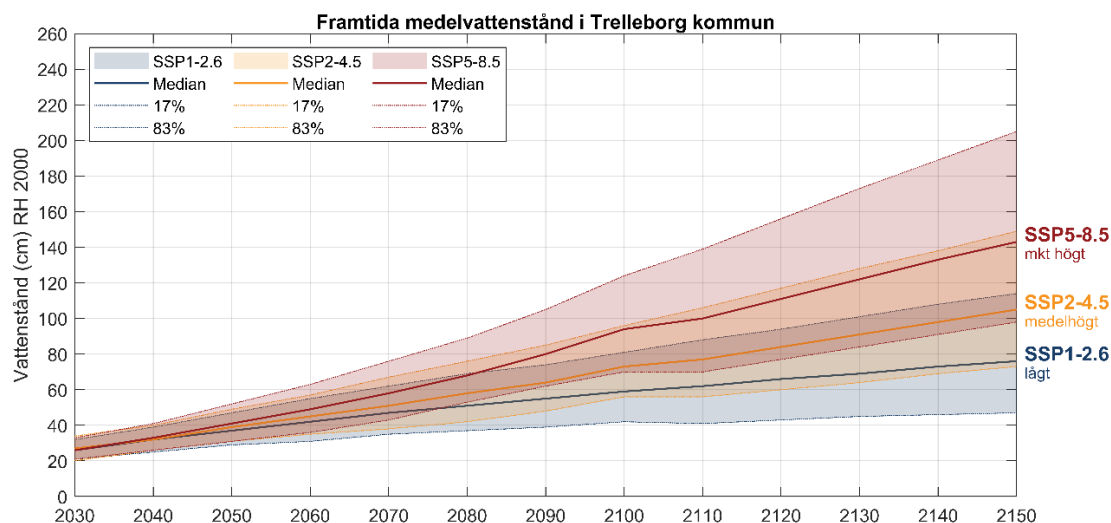
Tabell 7. Framtida medelvattenstånd (cm) för år 2100 och 2150 enligt utsläppsscenarierna SSP1-1,9, SSP1-2,6, SSP1-2,6 *mindre troligt* samt SSP5-8,5 *mindre troligt*, 17:e till 83:e respektive 5:e till 95:e percentil inom parentes.

År	SSP1-1,9 (mycket lågt)	SSP1-2,6 (lågt)	SSP1-2,6 <i>mindre troligt</i> (lågt)	SSP5-8,5 <i>mindre troligt</i> (mycket högt)
2100	54 (33 till 80) (18 till 100)	59 (42 till 81) (32 till 99)	59 (42 till 81) (29 till 106)	102 (70 till 147) (56 till 223)
2150	73 (38 till 114) (14 till 146)	76 (47 till 114) (33 till 142)	79 (47 till 119) (32 till 159)	207 (98 till 508) (76 till 579)

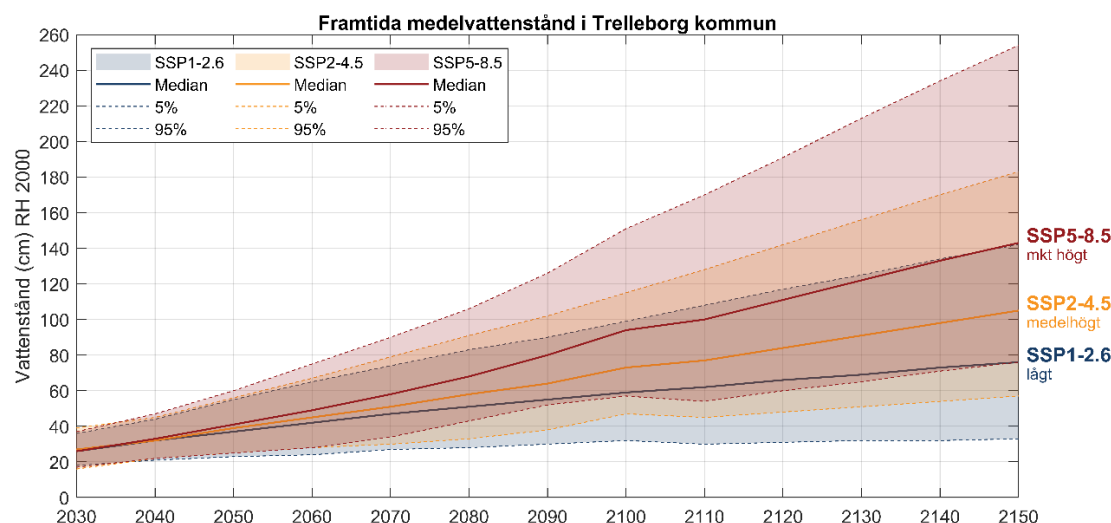
I Figur 3 visas utvecklingen av framtida medelvattenstånd i Trelleborgs kommun under det låga (SSP1-2,6), medelhöga (SSP2-4,5), och det mycket höga (SSP5-8,5) scenariot utifrån median och *sannolika* intervall dvs. från 17:e till 83:e percentilerna, och i Figur 4 visas motsvarande men för det *mycket sannolika* intervallet, dvs. från 5:e till 95:e percentilerna. Från figurerna kan exempelvis utläsas

att intervallen för de olika scenarierna överlappar varandra vilket visar att ett framtida medelvattenstånd kan nås under olika scenarier och olika percentiler. Exempelvis ger den övre percentilen av det *sannolika* intervallet (83:e percentilen) under det medelhöga scenariot SSP2-4,5 något högre nivåer än medianen (50:e percentilen) under det mycket höga scenariot SSP5-8,5.

Från figurerna kan även utläsas när i tiden ett visst framtida medelvattenstånd skulle kunna nås, exempelvis skulle ett framtida medelvattenstånd på 100 centimeter i RH 2000 nås cirka år 2075 enligt 95:e percentilen under det mycket höga scenariot SSP5-8,5 och cirka år 2085 enligt 83:e percentilen under samma scenario. Ett medelvattenstånd på 100 centimeter i RH 2000 kan nås strax före 2090 enligt den 95:e percentilen under det medelhöga scenariot SSP2-4,5 och strax efter 2100 enligt den 83:e percentilen under samma scenario.



Figur 3. Utveckling av framtida medelvattenstånd i Trelleborgs kommun under tre olika scenarier, lågt (SSP1-2,6), medelhögt (SSP2-4,5), och mycket högt (SSP5-8,5). Medianvärden visas som heldragna linjer och de skuggade fälten täcker de *sannolika* intervallen (17:e till 83:e percentil).



Figur 4. Utveckling av framtida medelvattenstånd i Trelleborgs kommun under tre olika scenarier, lågt (SSP1-2,6), medelhögt (SSP2-4,5), och mycket högt (SSP5-8,5). Medianvärden visas som heldragna linjer och de skuggade fälten täcker de *mycket sannolika* intervallen (5:e till 95:e percentil).

3.6 Extremnivåer i framtida klimat i Trelleborg

Här beskrivs hur extremnivåer i framtida klimat har tagits fram och vilka antaganden som har gjorts, se Tabell 2 till Tabell 4 under Sammanfattande resultat i kapitel 2 för beräknade nivåer.

Extremnivåer i ett framtida klimat fås genom att kombinera beräknade extremnivåer relativt medelvattenståndet med projektioner för framtida medelvattenstånd för den aktuella platsen. Resultaten bygger på antagandet att fördelningen av extrema vattenstånd är stationär, det vill säga densamma i framtiden som den har varit historiskt. En studie för Östersjöområdet baserad på nedskalade klimatscenarier från globala klimatmodeller indikerar att trender i vattenståndens årsmax förefaller vara oberoende av utsläppsscenario¹⁷ och stödjer alltså ett sådant tillvägagångssätt.

Bra att ha i åtanke är emellertid att vi i dagsläget inte vet säkert hur klimatförändringen kan komma att påverka det väder som ger högvattenhändelser längs våra kuster, särskilt inte på lång sikt. Beräkningar som gjorts visar inte entydiga resultat och det är ännu osäkert om exempelvis lågtrycksbanor, stormars frekvens eller stormstyrka förändras i norra Europa. Förändringar i medelvattenstånd och därmed vattendjup kan också ha effekter på havsbassängers resonansegenskaper och förhållanden vid kustlinjen. Även vågklimat och tidvattenamplituder kan komma att förändras i viss utsträckning i framtiden.

Det tillvägagångssätt som resultaten i rapporten bygger på, att extremnivåer, skattade utifrån historiska mätdata, överlagras framtida medelvattenstånd utifrån valda utsläppsscenarier och tidshorisonter, är alltså något av en förenkling, men också etablerad praxis enligt rådande kunskapsläge.

Återkomstnivåer har beräknats för återkomsttiderna 50, 100 och 500 år i ett framtida klimat år 2100 och 2150 under tre olika utsläppsscenarier, där extremnivåer kombinerats med det framtida medelvattenståndet i höjdsystemet RH 2000.

3.7 Kombinerade osäkerhetsintervall

Både beräknade extremnivåer och framtida medelvattenstånd är behäftade med osäkerheter, och som ett mått på dessa osäkerheter anges nivåer med tillhörande konfidensintervall. Beräknade extremnivåer i framtida klimat anges tillsammans med konfidensintervall, vilka innehåller osäkerheten i extremvärdet och osäkerheten i projektionen av medelvattenståndet.

Återkomstnivåer av höga havsvattenstånd i dagens klimat har beräknats med hjälp av extremvärdesanalys. För att få ett mått på osäkerheter och skapa en mer robust extremvärdesberäkning har en återdragningsteknik använts, vilken innebär att ett nytt slumpmässigt stickprov (10 000 värden) har dragits från den aktuella sannolikhetsfördelningen av extrema havsnivåer.

För att beskriva hela fördelningen av framtida medelvattenstånd har en skev-normalfördelning använts. Skevheten i fördelningen är mot högre havsnivåhöjning och indikerar att högre havsnivåhöjningar relativt medianvärdet är mer sannolika än lägre havsnivåhöjningar, särskilt under scenarier med höga utsläpp av växthusgaser. Utifrån nivåerna för de kända percentilerna (5, 17, 50, 83 och 95), framtagna av IPCC (2021) och nedskalade av SMHI, för ett givet årtionde och under ett givet scenario har skev-normalfördelningens parametrar tagits fram. Parametrarna till denna fördelning har estimerats genom en metod som minimerar skillnaden mellan nivåerna för de fem kända percentilerna, så att skillnaden som mest uppgår till cirka ± 1 centimeter, och motsvarande nivåer beräknade från den framtagna skev-normalfördelningen. När en passande skev-normalfördelning erhållits har ett stort antal slumpmässiga värden (10 000) dragits för att skapa ett representativt stickprov av framtida medelvattenstånd för givet årtionde och scenario.

För att få ett mått på extrema havsnivåer i framtida klimat kombineras de två stickproven från de tidigare stegen; ett för dagens extrema havsnivåer och ett för framtida medelvattenstånd. Genom att summera varje värde i de två stickproven erhålls 10 000 nya värden som representerar extrema

havsnivåer i framtida klimat. Extremnivåer i framtida klimat med tillhörande konfidensintervall har därefter tagits fram genom att beräkna medianvärdet samt 5 och 95 percentilerna.

4 Referenser

- [1] https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-2009956-om-oversvamningsrisker_sfs-2009-956/ [2025-03-17]
- [2] <https://www.msb.se/sv/regler/gallande-regler/skydd-mot-olyckor/msbfs-20131/> [2025-03-17]
- [3] Enligt artikel 8 paragraf 2 i Förordning (2009:956) om översvänningsrisker: översvämningar som sannolikt återkommer med minst 100 års intervall.
- [4] <https://www.msb.se/sv/publikationer/forordningen-om-oversvamningsrisker--sveriges-genomforande-av-eus-oversvamningsdirektiv-2024/> [2025-03-17]
- [5] IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- [6] Medelvärde över FN:s klimatpanel IPCC:s referensperiod 1995 till 2014
- [7] Calafat, Francisco & Marcos, Marta. (2020). Probabilistic reanalysis of storm surge extremes in Europe. Proceedings of the National Academy of Sciences. 117. 201913049. 10.1073/pnas.1913049117.
- [8] <https://www.lu.se/artikel/backafloden-den-bortglomda-stormfloden-som-kan-lara-oss-framtiden> [2025-03-25]
- [9] <https://www.msb.se/siteassets/dokument/amnesomraden/skydd-mot-olyckor-och-farliga-amnen/naturoluckykor-och-klimat/oversvamning/oversvamningskartering-kust/ystad.pdf> [2025-03-17]
- [10] Fredriksson, C., Feldmann Eellend, B., Larson, M. och Martinez, G. (2017) Historiska stormhändelser som underlag vid riskanalys. Vatten, Journal of Water Management and Research 73:93-108.
- [11] Coles, S. (2001). An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values. Berlin: Springer Verlag. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4471-3675-0>
- [12] <https://www.smhi.se/klimat/stigande-havsnivaer/framtida-medelvattenstand-1.165493> [2025-03-17]
- [13] Vestøl, O., J. Ågren, H. Steffen, H. Kierulf, and L. Tarasov. 2019. NKG2016LU: A new land uplift model for Fennoscandia and the Baltic region. Journal of Geodesy 93: 1759–1779. <https://doi.org/10.1007/s00190-019-01280-8>.
- [14] Kierulf, H., H. Steffen, V. R. Barletta, M. Lidberg, J. Johansson, O. Kristiansen, L. Tarasov. 2021. A GNSS velocity field for geophysical applications in Fennoscandia. Journal of Geodynamics 146, 2021
- [15] Fullständig lista över konfidensnivåer och bedömda sannolikheter som används i IPCC:s rapporter hittas i fotnot 4 på sidan 4 i Klimat i förändring 2021 - Den naturvetenskapliga grunden.

[16] Sidan 1308 i Fox-Kemper, B., H.T. Hewitt, C. Xiao, G. Aðalgeirsdóttir, S.S. Drijfhout, T.L. Edwards, N.R. Golledge, M. Hemer, R.E. Kopp, G. Krinner, A. Mix, D. Notz, S. Nowicki, I.S. Nurhati, L. Ruiz, J.-B. Sallée, A.B.A. Slangen, and Y. Yu, 2021: Ocean, Cryosphere and Sea Level Change. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1211–1362, doi:10.1017/9781009157896.011.

[17] Hieronymus, M., & Hieronymus, F. (2023). A novel machine learning based bias correction method and its application to sea level in an ensemble of downscaled climate projections. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 75(1).

Bilaga 1: Ordlista

Extremnivå

En extremnivå är en högvattenhändelse som återkommer med en beräknad sannolikhet. Sannolikheten uttrycks ofta som en återkomsttid, exempelvis 100-år, vilket betyder att händelsen i genomsnitt inträffar en gång under en hundraårsperiod.

Högvattenhändelse

När det blåser mycket kan havet stiga kraftigt över medelvattenståndet under en kort tid. Detta kallas för en högvattenhändelse.

Klimatscenario

För att kunna göra beräkningar av framtida klimat behövs antaganden om framtida utsläpp av växthusgaser. Vanligtvis används utsläppsscenarioer som utarbetats av FN:s klimatpanel, IPCC. I utvärderingsrapporten AR6 2021 används fem scenarier för att beräkna framtida klimatförändringar, SSP, "Shared Socioeconomic Pathways". De beskriver det framtida klimatet utifrån olika samhällsutvecklingar som är kopplade till mängd växthusgasutsläpp, från låga scenarier som motsvarar överenskommelserna i Parisavtalet (SSP1-1.9) till höga scenarier (SSP5-8.5) med en stor klimatförändring.

Konfidensintervall och kredibilitetsintervall

Ett konfidensintervall är ett statistiskt beräknat intervall som används för att uttrycka osäkerhet i ett resultat. Exempelvis innebär ett 90-procentigt konfidensintervall att om samma analys upprepades många gånger, skulle det sanna värdet ligga inom intervallet i 90 procent av fallen. Intervall i denna rapport är dubbelsidiga, vilket betyder att det är 5 procents sannolikhet för värden under och 5 procents sannolikhet för värden över intervallet. Ett kredibilitetsintervall är motsvarigheten till konfidensintervall inom Bayesiansk statistik och har samma innebörd som konfidensintervallet. Konfidensintervallen tar hänsyn till de statistiska osäkerheter som ingår i underlagen men däremot inte till andra typer av osäkerhet, exempelvis eventuella lokala variationer eller mätosäkerheter.

Percentil

Percentiler anger de värden under vilka en viss procentandel av värdena i en datamängd finns. Till exempel är den 75:e percentilen ett tal som 75 procent av värden ligger under, och övriga 25 procent ligger över. Ett specialfall av percentiler är medianen, som är den 50:e percentilen.

Projektion

En projektion är en uppskattning av framtida förändringar, i denna rapport kan det handla om klimat eller havsnivåer. Projektionen baseras på klimatmodeller och antaganden om framtida utsläpp av växthusgaser. En projektion visar alltså vad som kan hända under olika scenarier, inte vad som med säkerhet kommer att hända i framtiden. Projektioner skiljer sig från prognoser genom att de inte syftar till att förutsäga det mest troliga framtida utfallet, utan att visa möjliga utvecklingsvägar beroende på vilka antaganden som görs. Tidsskalan för en projektion är generellt också avsevärt längre än för en prognos. En projektion bygger alltid på ett klimatscenario, som i sin tur beskriver en tänkt framtid med vissa utsläppsnivåer och samhällsförhållanden. Scenariot är ett antagande – projektionen är det modellerade resultatet av det antagandet.

Sannolikhetsfördelning

Sannolikhetsfördelning är ett begrepp som används inom sannolikheteori och statistik. Det är en matematisk funktion som i detta fall ger sannolikheterna för att olika höga vattenstånd ska inträffa. Det finns flera sannolikhetsfördelningar som används vid extremvärdesanalys och det är viktigt att verifiera att vald fördelning passar till dataunderlaget. En vanlig fördelning som används i samband med Blockmaximum-metoden är Generalized Extreme Value (GEV).

Återkomsttid

Hur vanlig eller ovanlig en händelse är kan beskrivas med hjälp av begreppet återkomsttid.

Återkomsttid är ett mått på hur ofta naturliga händelser, såsom höga havsvattenstånd, kan förväntas förekomma. Med en händelses återkomsttid menas att händelsen i genomsnitt överskrids en gång under denna tid.

Återkomsttiden (eller återkomstperioden) definieras som inversen av sannolikheten att en viss nivå överskrids under en given period. Ett vattenstånd med en återkomsttid på exempelvis 100 år överskrids i genomsnitt en gång på 100 år. Det innebär att sannolikheten är 1 procent att händelsen överskrids varje enskilt år.

Över tid ackumuleras sannolikheten för att händelsen ska överskridas. För en konstruktion med en beräknad livslängd på 100 år, blir den ackumulerade sannolikheten hela 63 procent att 100-årshändelsen överskrids någon gång under 100 år. Det är alltså mer troligt att konstruktionen kommer att utsättas för en sådan händelse under sin beräknade livslängd på 100 år än att den inte gör det. En mer ovanlig händelse, såsom en 1000-års händelse, har en årlig sannolikhet på 0,1 procent och den ackumulerade sannolikheten under 100 år är 10 procent.



SMHI – SVERIGES METEOROLOGISKA OCH HYDROLOGISKA INSTITUT

601 76 Norrköping • Besöksadress Folkborgsvägen 17 • Telefon 011-495 80 00 • E-Post smhi@smhi.se • www.smhi.se