



# Extrema vattenstånd i Blekinge



**Rapport:** 2014:7

**Rapportnamn:** Extrema vattenstånd i Blekinge

**Utgåva:** Endast publicerad på webben

**Utgivare:** Länsstyrelsen Blekinge län, 371 86 Karlskrona

**Dnr:** 424-250-2014

**ISSN:** 1651-8527

**Författare:** Johan Södling och Signild Nerheim (SMHI)

**Kontaktperson:** Cecilia Näslund; [cecilia.naslund@lansstyrelsen.se](mailto:cecilia.naslund@lansstyrelsen.se)

**Länsstyrelsen rapporter:** [www.lansstyrelsen.se/blekinge/Publikationer](http://www.lansstyrelsen.se/blekinge/Publikationer)

© Länsstyrelsen Blekinge län

---

Författare:

Södling Johan

Uppdragsgivare:

Länsstyrelsen i Blekinge

Granskningsdatum:

2014-03-05

Granskare:

Anna Edman

Dnr:

2013/2455/9.5

Version:

1.1

## Extrema vattenstånd i Blekinge

Uppdragstagare

SMHI  
601 76 Norrköping

Projektansvarig

Lennart Larsson  
011-495 8430  
[lennart.larsson@smhi.se](mailto:lennart.larsson@smhi.se)

Uppdragsgivare

Länsstyrelsen i Blekinge

Kontaktperson

Cecilia Näslund  
Klimat- och energisamordnare  
tel 010 - 22 40 186  
[cecilia.naslund@lansstyrelsen.se](mailto:cecilia.naslund@lansstyrelsen.se)

Distribution

Länsstyrelsen i Blekinge

Klassificering

 Allmän  Affärssekretess

Nyckelord

Stigande havsvattenstånd, IPCC AR5, statistisk återkomsttid

Övrigt

Denna rapport har tagits fram som ett myndighetsuppdrag på uppdrag av Länsstyrelsen i Blekinge

# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>SAMMANFATTNING</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>BAKGRUND</b> .....	<b>2</b>
2.1	Globala havsvattenståndet - IPCC AR4 till AR5 .....	2
<b>3</b>	<b>SYFTE</b> .....	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>EXTREMA VATTENSTÅND I BLEKINGE</b> .....	<b>4</b>
4.1	Allmänt om extrema vattenstånd .....	4
4.2	Vattenståndsstationer i Blekinge och omnejd .....	5
4.3	Samvariation .....	6
<b>5</b>	<b>STIGANDE HAVSNIVÅER</b> .....	<b>7</b>
<b>6</b>	<b>METODIK</b> .....	<b>9</b>
6.1	Statistiska återkomsttider .....	9
6.1.1	Val av sannolikhetsfördelning .....	9
6.1.2	Konfidensintervall .....	10
6.1.3	Goodness-of-fit .....	10
6.2	Återkomsttider i ett framtida klimat .....	10
6.3	Representativ station .....	11
<b>7</b>	<b>RESULTAT</b> .....	<b>12</b>
7.1	Dagens klimat .....	12
7.2	Resultat – 2100 .....	14
<b>8</b>	<b>EROSION, VÅGOR OCH VATTENSTÅND</b> .....	<b>15</b>
<b>9</b>	<b>SLUTSATSER</b> .....	<b>19</b>
<b>10</b>	<b>REFERENSER</b> .....	<b>20</b>
<b>11</b>	<b>BILAGA</b> .....	<b>21</b>
11.1	Återkomsttider för Kungsholmsfort .....	21
11.2	Applicering av återkomsttider på framtida klimat .....	21
11.3	Resultat från Simrishamn, Oskarshamn och Kungsholmsfort.....	22

# 1 Sammanfattning

SMHI har på uppdrag av Länsstyrelsen i Blekinge analyserat extrema vattenstånd i ett framtida klimat. För att få en kvantitativ uppskattning av dessa extremer har SMHI beräknat återkomsttider för vattenståndstidsserier. Den globala havsnivåhöjningen enligt IPCC:s nya AR5-rapport har varit central när återkomsttider i ett framtida klimat uppskattats. Rapporten presenterar metodiken som använts, samt återkomsttider i form av tabeller och figurer.

IPCC AR5 redovisar havsnivåhöjningen som ett intervall för olika utsläppsscenarier. För åren 2081-2100 är detta intervall 0,26-0,82 m. Den övre gränsen som presenteras 2100 är 0,98 m utifrån scenariet RCP8.5. Hela intervallet vid sekelskiftet anges som 0,52-0,98 m och havens höjningstakt mot slutet av seklet är med andra ord snabbare än vid seklets början.

På grund av landhöjningen som i Blekinge är ca 1,5 mm/år, och 1,4 mm/år för den längsta av mätserierna, Kungsholmsfort, beräknas medelvattenytans höjning mellan 1990 och 2100 att bli ca 8 dm i Blekinge. Alla återkomsttider som beräknas för dagens klimat är relativt medelvattenståndet, MW. I detta projekt har vi antagit att stormfrekvensen i ett framtida klimat är densamma som idag. Antagandet stöds av att osäkerheterna i klimatmodellerna fortfarande är mycket stora beträffande stormar.

Statistiska återkomsttider har beräknats för SMHIs mätserier i Blekinge och omnejd. Dessa är Kungsholmsfort, Oskarshamn och Simrishamn. Med stöd från Sjöfartsverkets mätstationer i Karlshamn och Kalmar bedömer vi att Kungsholmsfort är representativ för höga vattenstånd för hela Blekinge län, och redovisar därför huvudresultaten från denna.

Vattennivåer som har 50, 100, 200 och 300 års återkomsttid har beräknats. Resultaten skiljer sig inte mycket och speglar den relativt jämna fördelning av vattenstånd som är typisk för regionen. 2100 ligger denna nivå mellan 2,1 m och 2,3 m i RH2000.

Tidsperspektivet och risken är viktiga aspekter av planering nära kusten. En ytterligare faktor är vågors effekt. Vågor i kombination med höga vattenstånd kan leda till ökade problem med erosion, översvämning eller förstörelse på grund av vågornas kraft. Blekinges fastland är till stor del väl skyddat av sin skärgård, men alla öppna kuststräckor bör ta hänsyn till rådande vågförhållanden.

Havshöjningen slutar inte 2100, och det är fortfarande inte säkert vilken utveckling som blir den sanna i åren som kommer.

## 2 Bakgrund

I samband med publiceringen av IPCCs fjärde sammanställning (AR4) gjorde SMHI en översiktlig analys över extrema vattenstånd i dag och 2100 för Skåne och Blekinge. 2011-2012 gjordes en klimatanalys för Blekinge län i samarbete med SGI. På grund av att det då var så kort tid kvar till IPCC AR5 valde Blekinge län att avvakta nya resultat om stigande havsnivåer. I och med att IPCCs femte sammanställning (AR5) är klar har Länsstyrelsen i Blekinge vänt sig till SMHI för att få beräknade extrema havsvattenstånd utifrån de senaste resultaten. Länsstyrelsen har även inväntat resultat från ett metodutvecklingsprojekt som SMHI utfört på uppdrag av Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, MSB.

### 2.1 Globala havsvattenståndet - IPCC AR4 till AR5

År 2007 kom IPCC "Assessment Report 4", AR4. Syftet med rapporten var att bedöma vetenskaplig, teknisk och socioekonomisk information om klimatförändringen, dess möjliga effekter, samt alternativ för anpassning. De huvudsakliga resultaten då var att havsvattenståndet förväntades stiga 18 cm i ett lågt scenario, och 59 cm i ett högt scenario. Därutöver förväntades havet att stiga mer i vissa regioner än andra. I analysen 2007 användes 18 och 59 cm samt det regionala bidraget för att beräkna höjningen av medelvattenytan.

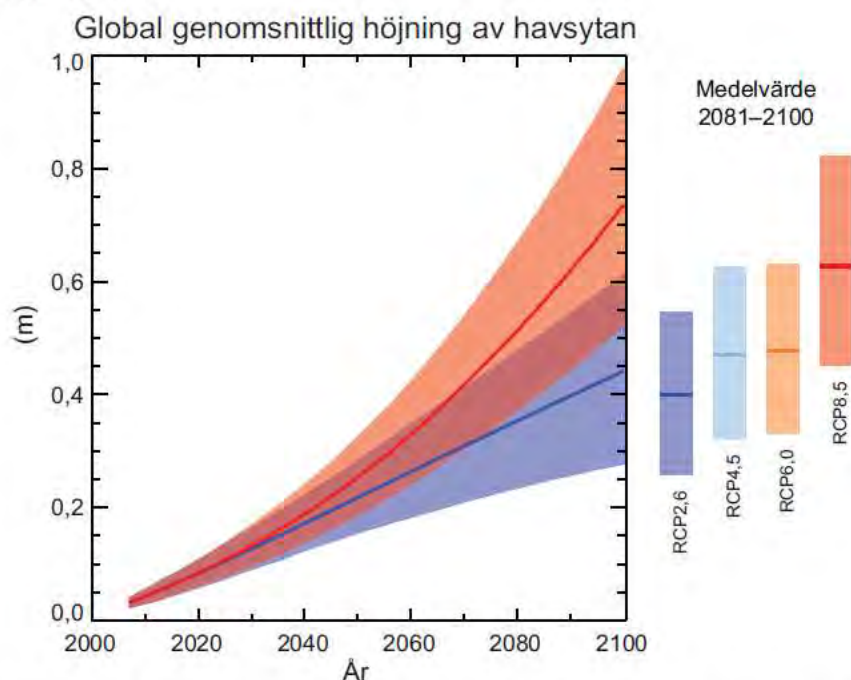
Parallellt med att nya resultat har inkommit har SMHI arbetat med att uppdatera sin metodik utifrån den senaste forskningen. Ett viktigt resultat var Nederländernas Deltakomité som angav som högst 130 cm global höjning 1990-2100. 2012 publicerades SMHIs kunskapssammanställning över forskningsresultat och olika nationella och internationella bedömningar (Bergström 2012). Rapporten var tänkt som ett underlag för bedömningar av hur framtidens havsnivåer påverkar Sveriges kustområden och syftade i första hand till att beskriva den vetenskapliga bakgrunden och att ge en bild av hur olika bedömningar varierar. För att rekommendera vilka nivåer som ska användas i samhällets planeringsprocess krävs både en ingående dialog med de som är ansvariga för konsekvenserna samt att andra faktorer vägs in, såsom acceptabel risk, vilka värden som står på spel, det planerade objektets livslängd samt framtida möjligheter att anpassa sig till nya förutsättningar. Utifrån detta underlag och med detta förbehåll har SMHI i flera utredningar och länsanalyser gjort bedömningen att 1 m är en trolig övre gräns för den globala havshöjningen, och utgått ifrån detta värde vid beräkning av extrema vattenstånd i framtidens klimat.

IPCC:s utvärdering 2013-2014 (AR5) omfattar de nya scenarier som idag används för att bedöma framtidens klimat, RCP-scenarier (Representative Concentration Pathways). RCP-scenarierna ersätter de tidigare SRES-scenarierna (Special Report on Emissions Scenarios).

I motsats till SRES-scenarierna är de nya RCP-scenarierna formulerade som stabiliseringsscenarier där hänsyn tas till effekten av klimatpolitiska beslut för att minska utsläppen. De olika RCP-scenarierna baseras på olika antaganden om växthusgasutsläppens utveckling. Hur mycket vi människor påverkar klimatet på sikt avgörs främst av de samlade utsläppen av växthusgaser över tid. Hur mycket temperaturen stiger avgörs i sin tur av när i framtiden de klimatpåverkande utsläppen når sin maxnivå, på vilken nivå de kulminerar och hur snabbt de kan fås att minska därefter.

Figur 2-1 visar den globala havshöjningen enligt fyra utsläppsscenarier för åren 2081-2100 där tidsutvecklingen visas för två av scenarierna. Referensperioden är 1986-2005, och för åren 2081-2100 anges havshöjningen som ett intervall mellan 26 cm och 82 cm. Den högsta höjningen får för RCP8.5, där intervallet 2081-2100 är 45 till 82 cm. För året 2100 är höjningen enligt RCP8.5 52 till 98 cm (tabell 13.5, IPCC AR5).

FIGUR SPM.9



Figur SPM.9: Projektioner av den genomsnittliga globala havsnivåhöjningen under 2000-talet jämfört med 1986–2005 från en kombination av CMIP5 modellensembeln och processbaserade modeller för RCP2,6 och RCP8,5. Sannolikt intervall visas med skuggning. Sannolikt intervall för medelvärdet under 2081–2100 för alla RCP-scenarier visas som färgade vertikala staplar, och motsvarande medianvärde med horisontell linje. För ytterligare tekniska detaljer, se Technical Summary Supplementary Material (Tabell 13.5, figur 13.10 och 13.11, figur TS.21 och TS.22)

Figur 2-1. Global havshöjning för IPCC AR5 utsläppsscenarier. Det högsta, RCP8.5 leder till en höjning av havsytan på mellan 52 och 98 cm för 2100. Medelvärdet för åren 2081-2100 är 45-82 cm vilket visar att mycket av höjningen sker mot slutet av seklet. Källa: IPCC AR5, Summary for policy makers, figur 9.

Regionala skillnader i havsvattenståndet förekommer, och osäkerheterna i de olika globala klimatensembeln har i allmänhet minskat från AR4 till AR5. Enligt AR5 förväntas de regionala variationerna under de närmsta decennierna domineras av naturliga variationer, men mot slutet av seklet förväntas regionala mönster från de olika komponenterna av den klimatpåverkade havsnivåförändringen att träda fram och efterhand dominera över naturlig variabilitet. För Skandinavien förväntas havshöjningen vara något lägre än den globala vilket skiljer sig från AR4. Anledningen är att de stora glaciärernas egen gravitation attraherar stora mängder vatten. När Grönlandsisen smälter kommer denna effekt att klinga av i glaciärens påverkansområde och effekten av avsmältningen märks mer ju längre bort man kommer. Osäkerheterna är dock fortfarande så stora att vi i resultaten valt att bortse från eventuella regionala variationer.

### 3 Syfte

Syftet med arbetet är att beskriva hur extrema vattenstånd förekommer i länet, och med statistiska metoder ta fram sannolikheter för olika havsvattennivåer. Analysen utförs för dagens klimat, och för framtidens klimat.

## 4 Extrema vattenstånd i Blekinge

### 4.1 Allmänt om extrema vattenstånd

Havsvattenstånd beskriver havsytans höjd i förhållande till land med undantag av vågor. Förändringarna av havsvattenståndet sker på olika tidsskalor och påverkas av olika faktorer som dessutom samverkar eller motverkar varandra

Kortvariga höga vattenstånd i Sverige uppkommer i allmänhet när en storm med pålandsvind och lågt lufttryck passerar. Vattennivån vid stormens början är viktig. En given storm har förutsättningen att höja vattenytan en given nivå. Om utgångsläget redan från början är högre på grund av årstidsvariationer eller långvariga pålandsvindar, kan effekterna av en och samma storm förvärras. Tidvattenvariationer anses försumbara i Östersjön men förekommer längs Västkusten. I grunda vikar och trånga sund kan olika topografiska effekter leda till förhöjt vattenstånd. Vinduppstuvning i grunda vikar beror på att bottenfriktionen bromsar upp vattnets möjlighet att ta sig tillbaka nära botten. Det kan därför skapas en snedställning som ger ytterligare högre vattenstånd ju längre in i viken man kommer. Blekingekustens topografi är sådan att eventuella sådana tilläggseffekter kan försummas.

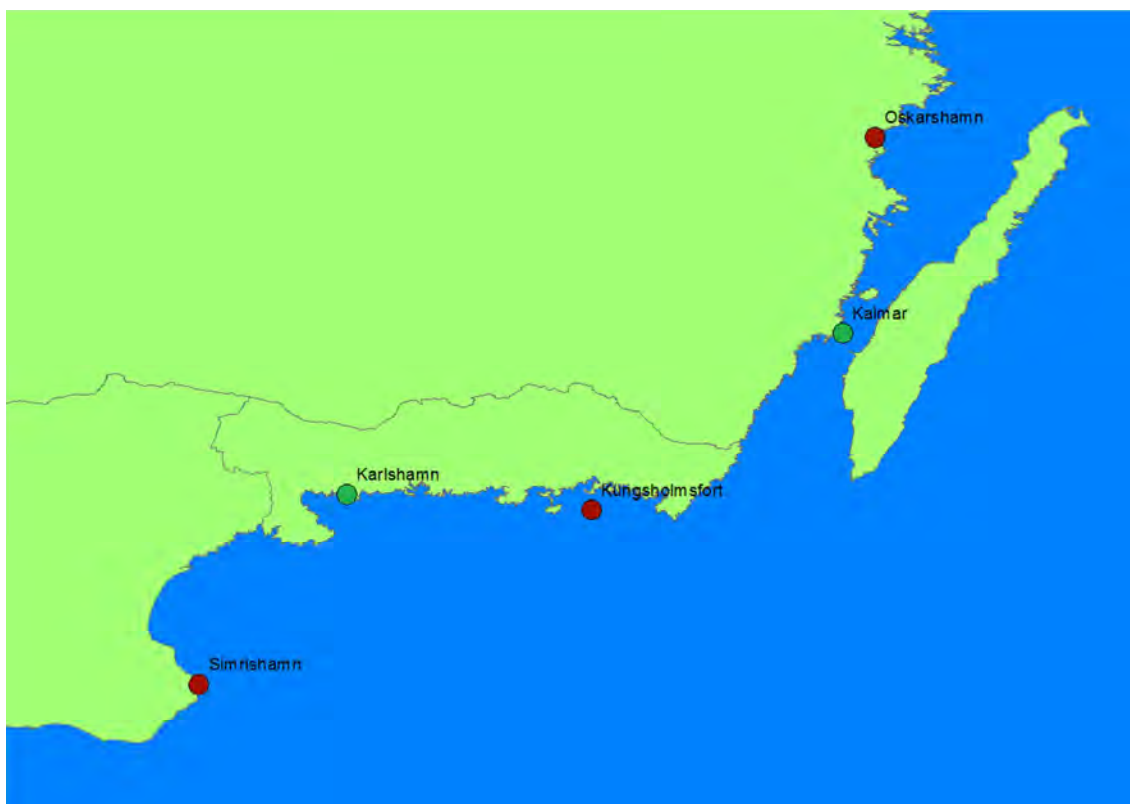
Klimatförändringar leder till en långsam höjning av medelvattenståndet. På lång sikt innebär det att utgångsläget som alla vattenståndsvariationer utgår ifrån höjs väsentligt. En storm av samma styrka som stormen Gudrun i januari 2005 kommer, om den inträffar om 100 år, att leda till en nivå som är lika mycket högre som höjningen i medelvattenstånd på 100 år.

Eftersom havsvattenståndet mäts relativt land så är landhöjningen en viktig faktor. Landhöjning sker i hela Sverige, och är som störst i norr och avtar sakta när man rör sig söderut. I Blekinge är landhöjningen ca 1,5 mm/år (0,14 cm/år vid Kungsholmsfort enligt Lantmäteriverkets mätningar).



## 4.2 Vattenståndsstationer i Blekinge och omnejd

Figur 4-1 visar vattenståndsstationerna som används i analysen. Simrishamn, Kungsholmsfort och Oskarshamn är SMHIs mätstationer, medan Karlshamn och Kalmar ingår i Sjöfartsverkets ViVa (Vind och Vatten)-nät.



Figur 4-1. Kartbild över de vattenståndsstationer som användes i analysen. SMHI-stationer är färgade rött och ViVa-stationer är färgade grönt.

Tre SMHI-vattenståndsstationer ligger i Blekinges närområde (Tabell 4-1 och Figur 4-1):

Tabell 4-1. SMHIs mätstationer i och nära Blekinge.

Namn	Stations-ID	Longitud	Latitud	Data från	Data till	Mängd data
Kungsholmsfort	2088	15,5894	56,1052	1886-12-31	Idag	127 år
Oskarshamn	2085	16,4779	57,2749	1960-09-15	Idag	53 år
Simrishamn	2320	14,3577	55,5576	1982-06-01	Idag	31 år

Mätningarna från Kungsholmsfort är av speciellt stort intresse då denna mätserie både är lång och håller hög kvalitet. Den är dessutom samlokaliserad med Lantmäteriverkets GPS-mätstation för landhöjning.

SMHI har tillgång till Sjöfartsverkets ViVa-data från 2009 och framåt (Tabell 4-2).

Tabell 4-2. Sjöfartsverkets mätstationer i och nära Blekinge.

Namn	Stations-ID	Longitud	Latitud	Data från	Data till	Mängd data
Kalmar	35105	16,3783	56,6593	2009-04-23	Idag	4 år
Karlshamn	35131	14,8212	56,1542	2009-04-23	Idag	4 år

Samtliga stationer har 1-timmes tidsupplösning för hela perioden, och mer högupplöst data finns också för senare delen av perioden.

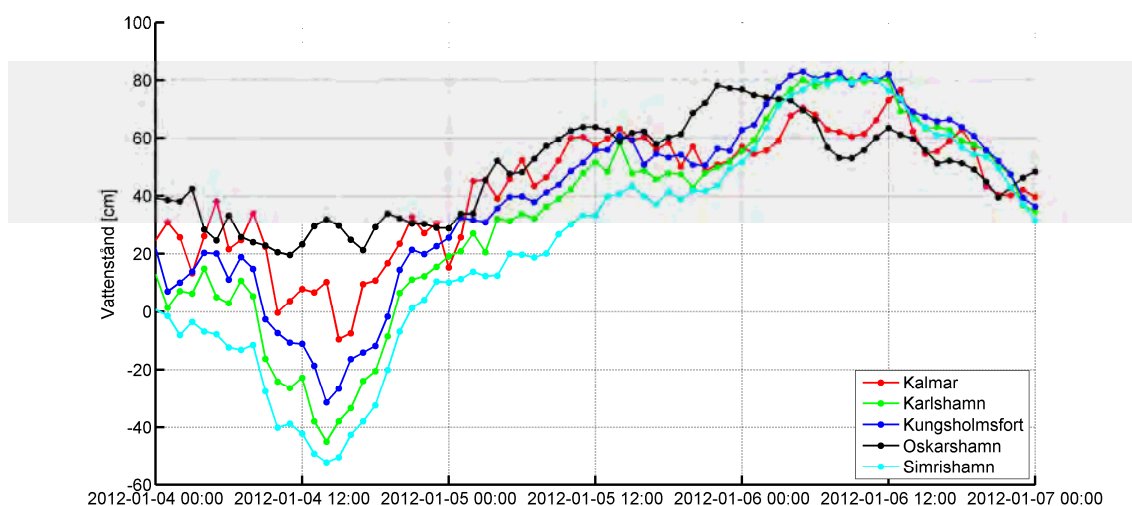
Sjöfartsverkets stationer har använts för att illustrera samvariationen mellan stationerna, se avsnitt 4.3. Återkomsttider har beräknats enbart på SMHI-stationerna eftersom det krävs en viss minimilängd på tidsserierna för analysen.

### 4.3 Samvariation

Eventuella lågtrycksområden som drar in över Blekinge är storskaliga fenomen och lär sannolikt påverka vattennivån vid samtliga stationer. Även kraftiga stormar vid Blekinges kust påverkar troligen samtliga stationer.

Figur 4-2 visar vattenståndet vid Kungsholmsfort, Oskarshamn och Simrishamn (SMHI) samt Kalmar och Karlshamn (SjöV) under en högvattenhändelse 2012. Det är mycket stor grad av samvariation för Simrishamn, Karlshamn och Kungsholmsfort, framförallt vid höga vattenstånd. Kalmar och Oskarshamn följer till viss del samma utveckling men påverkan av annan topografisk styrning leder till att samvariationen är något svagare norrut. Att det låga vattenståndet är lägre längre söderut är som förväntat; vid höga såväl som låga vattenstånd kan Östersjön ofta betraktas som en badbalja där det högsta utslaget sker i ändarna av bassängen.

Vi har jämfört stationerna för fler tillfällen och anser att samvariationen är så pass god för höga vattenstånd att Kungsholmsforts mätstation bedöms vara representativ för hela länet.



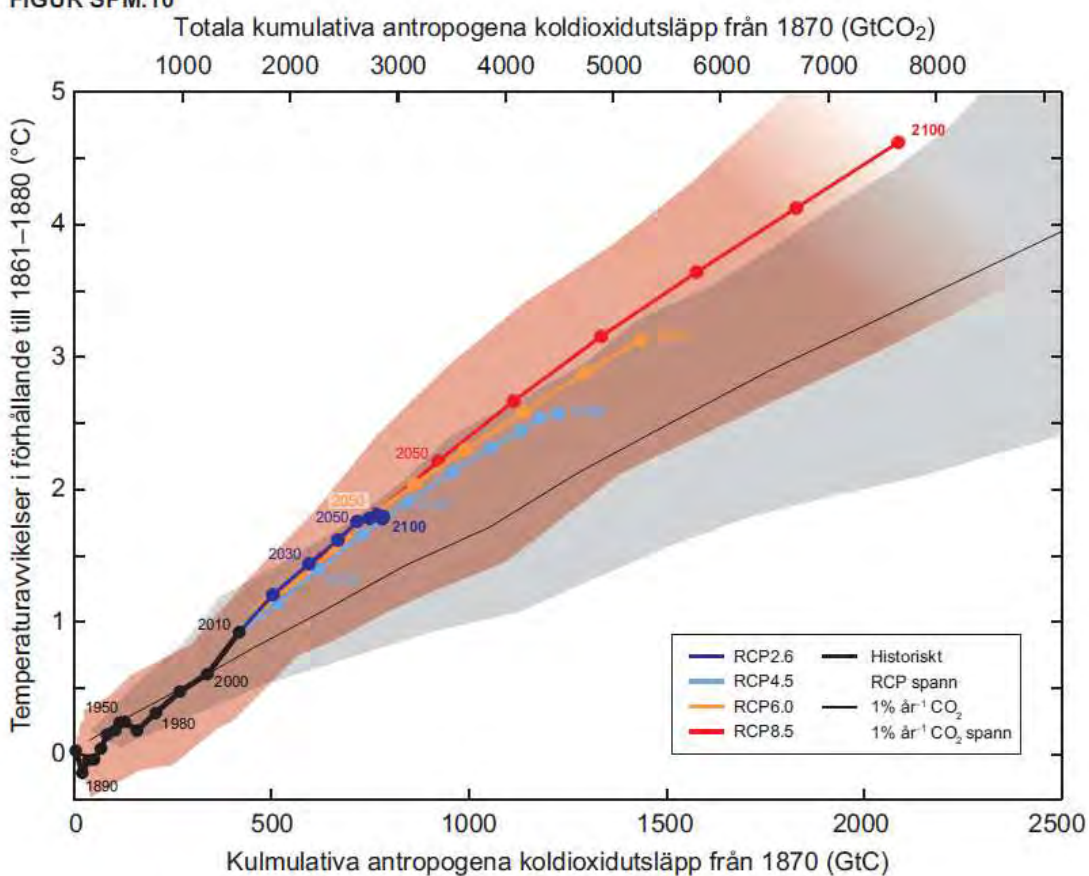
Figur 4-2. Samvariationen mellan olika vattenståndsstationer i Blekingeområdet. Vattenståndsmaxima är ca 80 cm, och varaktigheten är mindre än 12 timmar.

## 5 Stigande havsnivåer

Det globala havsvattenståndet stiger. En analys av SMHIs vattenståndsdata från 1886 och framåt visar att havsnivåhöjningen ökar mer ju längre in på 1900-talet man kommer. En beräkning för de sista 30 åren (1978-2007) visar att den har stigit till nästan 3 mm per år. Ett förändrat vindklimat över Nordsjön, vilket styr havsnivåerna inne i Östersjön, kan inte ensam förklara denna höjning. Istället beror detta på ett förändrat globalt klimat. Satellitmätningar visar att globala havshöjningen är för närvarande drygt 3 mm/år.

IPCC AR5 redovisar resultat från olika utsläppsscenarier. I resultaten nedan används RCP8.5, det värsta scenariet, för att beräkna vattennivåer 2100. Övriga scenarier följer ungefär samma utveckling som RCP8.5 avseende temperaturhöjning och vattenstånd, men processen tar längre tid (Figur 5-1). Det är viktigt att poängtera att havshöjningen inte upphör 2100. Det kan alltså snarare vara en fråga om när havet når en viss nivå, och inte om hur hög nivån blir. Denna aspekt är viktig att beakta vid planering där livslängden till en byggnad eller ett område spelar roll.

FIGUR SPM.10

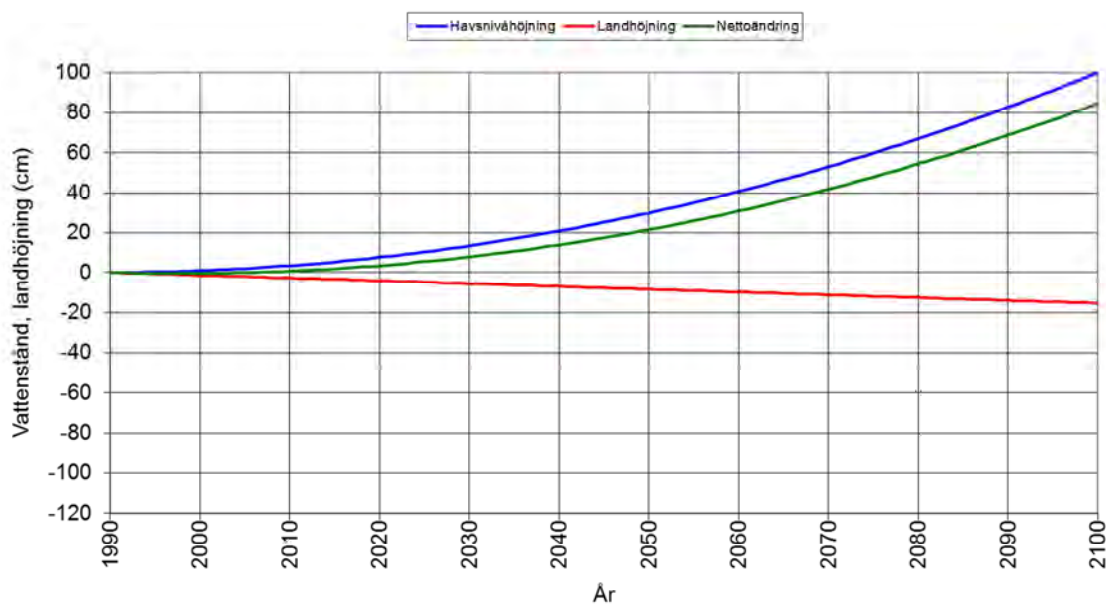


Figur 5-1. Temperaturökning (global medeltemperatur vid ytan) i de olika RCPerna. Källa: IPCC AR5, Summary for policy makers, figur 10.

Landhöjningen i Sverige kompenseras för havshöjningen, mer i norra Sverige än i södra. Vid Kungsholmsfort är den absoluta landhöjningen 0,14 cm/år. Med en global havshöjning om 3 mm/år innebär det att havet just nu stiger ca 1,6 mm/året lokalt i Blekinge. Nettohöjningen blir därmed något lägre än den globala höjningen, ca 80 cm netto fram till 2100 för den övre delen av intervallet från AR5 (Figur 5-2).

**SMHI**

### Kungsholmsfort



Figur 5-2. Tänk höjning av havsytan 1990-2100. Figuren baseras på en global havshöjning om 1 m.

## 6 Metodik

### 6.1 Statistiska återkomsttider

Ett väl vedertaget sätt att modellera extrema vattenstånd är med *återkomsttider*. I detta projekt har 100-, 200- och 300-årsvattenståndet tagits fram för ett framtida klimat.

Den vanligaste ansatsen man gör när man jobbar med återkomsttider, som även är den som tillämpats här, är att bygga en modell kring vattenståndstidsseriens årshögsta värden. Dessa värden antas vara oberoende och följa en och samma sannolikhetsfördelning. Utifrån denna fördelning får man kunskap om hur årets högsta vattennivå betar sig på den aktuella platsen.

Den statistikteori som återkomsttider bygger på kallas extremvärdesteori. Den viktigaste satsen inom denna är *extremvärdessatsen*, som, under vissa förutsättningar, tillåter oss att ansätta att årsmax-värdena följer en viss sannolikhetsfördelning. I princip måste årsmax-värdena vara oberoende och likafördelade (d.v.s. årsmax år 1900 bör ”bete sig” som årsmax år 1990).

Det är viktigt att tolka återkomsttider korrekt. T.ex. ska man tolka 100-årsvattenståndet som det vattenstånd som det varje år är 1 chans på 100 att detta värde överskrids. På samma sätt ska man tolka meningen ”Vattenståndet 80 cm har återkomsttid 50 år” som att det varje år är 1 chans på 50 att vattenståndet överskrider 80 cm.

Sannolikheten under en längre period är därmed inte densamma som för ett enskilt år. Den ackumulerade sannolikheten för att en händelse sker under en längre tidperiod visas för olika återkomsttider i Tabell 6-1.

För vidare fördjupning se vidare *Blom et al (2005)* eller *Coles (2001)*.

Tabell 6-1 Sannolikheten att en händelse med en viss återkomsttid överskrids minst en gång under en given period.

Återkomsttid (år)	Sannolikhet under 100 år (%)	Sannolikhet under 200 år (%)	Sannolikhet under 300 år (%)
50	87	98	100
100	63	87	95
200	39	63	78
300	28	49	63
1000	10	18	26
10 000	1	2	3

#### 6.1.1 Val av sannolikhetsfördelning

Det finns ett flertal sannolikhetsfördelningar som är vanligt förekommande för återkomsttidsanalys i vetenskaplig litteratur. Extremvärdessatsen ger mest stöd åt *Generalized Extreme Value*, GEV,( Coles 2001)men även andra fördelningar kan vara aktuella. Det är viktigt att man verifierar att den valda sannolikhetsfördelningen passar till datat. För att avgöra detta kan man använda ett så kallat goodness-of-fit-test, t.ex. Kolmogorov-Smirnov, som ger ett numeriskt mått på hur väl sannolikhetsfördelningen passar till data. Om testet underkänner fördelningen bör man inte använda den i analysen. Ofta kan flera fördelningar passa till samma datamaterial, men ge olika återkomsttider, se avsnitt 6.1.3.

I denna analys har tre sannolikhetsfördelningar använts, men bara två redovisas: GEV och Lognormal. Lognormal och GEV är relativt lika varandra men ger olika konfidensintervall.

### 6.1.2 Konfidensintervall

För varje återkomsttid beräknas även ett konfidensintervall omkring vattenståndet. Ett konfidensintervall ska tolkas som ett intervall som med en viss sannolikhet täcker det sanna värdet. Motivationen att använda ett konfidensintervall är att eftersom återkomsttiderna är beräknade på ett begränsat datamaterial så finns det en viss osäkerhet i de beräknade återkomsttiderna. Konfidensintervall speglar denna osäkerhet. I detta projekt valdes ett 95 % konfidensintervall av typ Wilson Score (Wilson 1927). Detta intervall har flera fördelar, t.ex. att det går att tillämpa på godtycklig sannolikhetsfördelning och återkomsttid, samt att det blir mindre ju längre dataserien är.

### 6.1.3 Goodness-of-fit

För att de återkomsttider som man beräknar ska gå att lita på krävs det att data passar sannolikhetsfördelningen man använder. För att avgöra detta kan man tillämpa ett goodness-of-fit test. I detta projekt användes Kolmogorov-Smirnov (KS) testet (Corder 2009), som kan avgöra, med en viss statistisk signifikans, om ens data passar till ens fördelning. KS-testet ger ett värde mellan 0 och 1, där 0 betyder perfekt anpassning och 1 betyder att datat inte alls passar till fördelningen. Här har vi valt signifikansnivå 95 %, vilket innebär att om KS-testet överstiger 0.95 så anses sannolikhetsfördelning inte passa data tillräckligt bra, och därmed kan vi inte lita på de beräknade återkomsttiderna för denna fördelning. Till skillnad från konfidensintervall så ger KS-testet ett ”ja/nej”-svar, som med en viss sannolikhet är korrekt. Med signifikansnivån 0.95 kan vi med 95% säkerhet lita på KS-testets resultat.

## 6.2 Återkomsttider i ett framtida klimat

Alla återkomsttider som beräknas är relativt medelvattenståndet, MW. I detta projekt har vi antagit att stormfrekvensen i ett framtida klimat är densamma som idag. Antagandet stöds av att osäkerheterna i klimatmodellerna fortfarande är mycket stora beträffande stormar. För beräkningarna innebär det att relativt medelvattennivån så kommer återkomsttiderna inte att förändras i framtiden. Därmed kan vi använda historiskt beräknade återkomsttider för det framtida klimatet. För att avgöra hur mycket högre extrema vattenstånd är i ett framtida klimat så behöver man veta hur medelvattennivån ändras fram till 2100.

Havshöjningen anges oftast från någon referensperiod fram till antingen 2100 eller någon referensperiod som slutar med 2100. För att ta fram medelvattenståndet 2100 måste startvärdet för aktuellt år och höjdsystem tas fram Sedan lägger man på den globala havshöjningen för aktuell period, och drar bort landhöjningen från samma period.

I princip tar man alltså årets beräknade vattenstånd år 1990, adderar ens uppskattning av den globala vattennivåhöjning, och kompenserar för landhöjningen på platsen. Om landhöjningen och vattennivåhöjningen skulle bli lika så blir det i praktiken ingen förändring av återkomsttiderna.

AR5 har referensperiod 1984-2000, men för enkelhetens skull har vi använt 1990 som startår och räknat med 110 års landhöjning 1990-2100. Den osäkraste parametern är den globala vattennivåhöjningen. Värdet som använts här är den övre gränsen som anges i intervallet från de olika projektionerna, vid 2100, 98 cm. Felmarginalen i landhöjning i Blekinge på grund av fel startår är mindre än 1 cm.

### 6.3 Representativ station

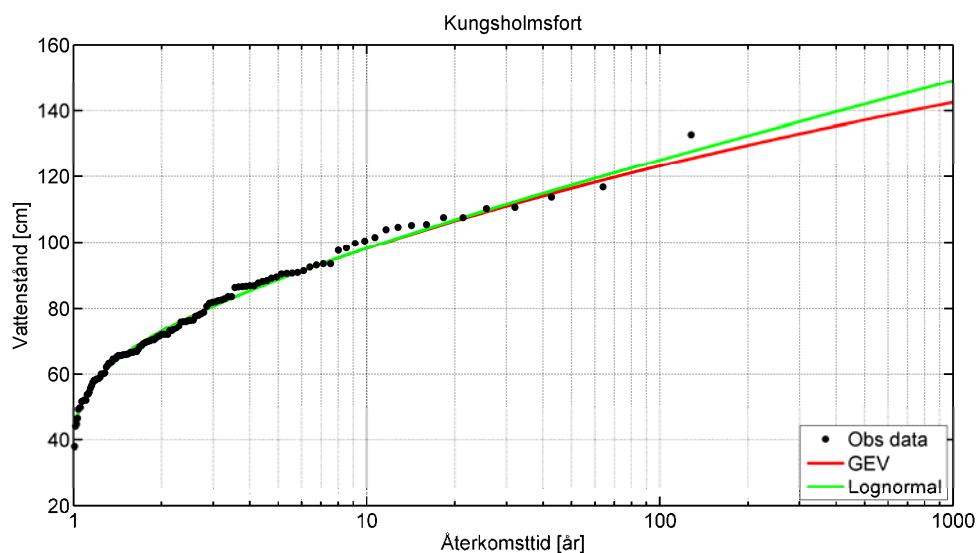
Säkerheten i de beräknade återkomsttiderna är starkt kopplat till hur lång dataserien är. Med en längre dataserie får man fler årsmax-värden, och därmed ett bättre statistiskt underlag och mindre osäkerhet.

I avsnitt 4.2 presenterades vilka relevanta vattenståndsstationer som finns tillgängliga. Det framgår att Kungsholmsfort har i särklass längst dataserie och av bäst kvalitet. Detta, ihop med samvariationen som diskuteras i avsnitt 4.3, gör att Kungsholmsfort valts som *representativ station* för fortsatt analys. Detta betyder att de beräknade återkomsttiderna för Kungsholmsfort är de mest pålitliga av alla stationer, och att samvariationen tillåter oss att applicera dessa återkomsttider (beräknade relativt medelvattennivån) på övriga stationer i länet. I kapitel 0 finns kompletterande uppgifter om även Simrishamn och Oskarshamn.

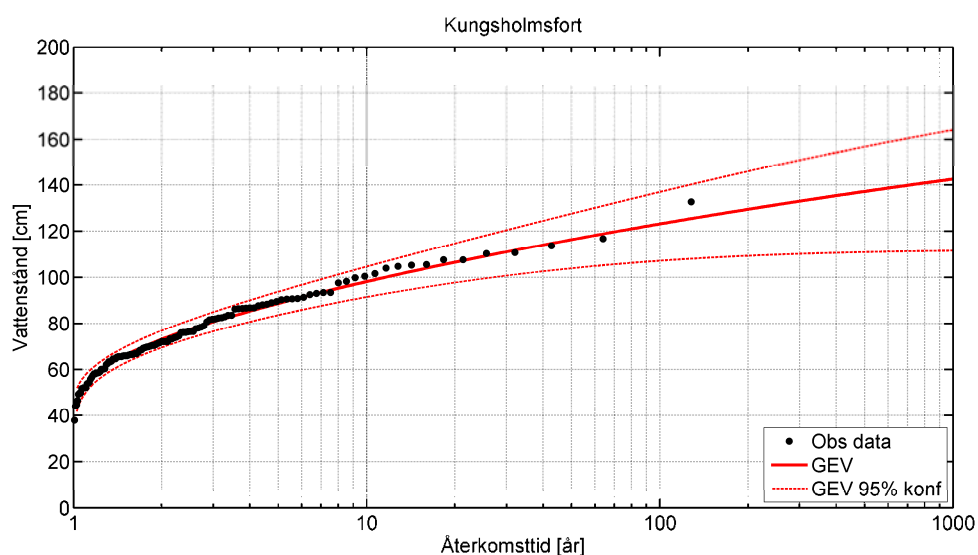
## 7 Resultat

### 7.1 Dagens klimat

Figur 7-1 visar återkomsttiderkurvor för Kungsholmsfort för GEV och lognormal. Alla värden anges relativt medelvattenståndet, d.v.s. att statistiken är representativ för dagens medelvattenstånd. Figur 7-2 visar återkomsttidskurvan för GEV-fördelningen, med tillhörande konfidensintervall inritade. Figur 7-3 är motsvarande figur för Lognormalfördelningen. Båda fördelningarna passar till datat enligt Kolmogorov-Smirnov-testet (se bilaga). Tabell 7-1 visar återkomsttider för Kungsholmsfort relativt medelvatten, med tillhörande 95 % konfidensintervall inom parantes.

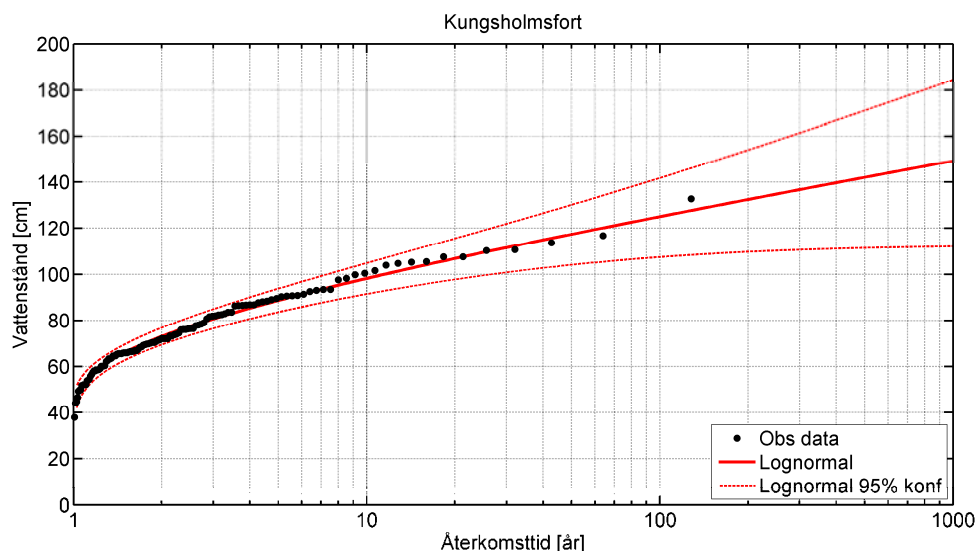


Figur 7-1. Återkomsttidskurvor för Kungsholmsfort beräknat med GEV-fördelning och med Lognormal fördelning.



Figur 7-2. Återkomsttidskurva för GEV med tillhörande konfidensintervall, för Kungsholmsfort.





Figur 7-3. Återkomstidskurva för Lognormal med tillhörande konfidensintervall, för Kungsholmsfort.

Tabell 7-1. Återkomsttider i cm relativt medelvattenståndet för Kungsholmsfort för dagens klimat, samt 95%-iga konfidensintervallet i parentes.

Återkomsttid/fördelning	GEV	Lognormal
50 år	117	118
	(104 - 128)	(104 - 130)
100 år	123	125
	(107 - 137)	(108 - 142)
200 år	130	133
	(110 - 146)	(110 - 154)
300 år	133	137
	(110 - 151)	(111 - 162)

Tabell 7-2 visar medelvattenståndet 1990 i höjdsystemet RH2000. Tabell 7-3 visar förändringen i medelvattenstånd vid Kungsholmsfort, Oskarshamn och Simrishamn, förutsatt 98 cm global höjning av havsnivån, och en absolut landhöjning runt 1-2 mm/år.

Tabell 7-2 Medelvattenstånd år 1990 och 2014 i RH2000.

Station	MW1990 [cm i RH2000]	MW2014 [cm i RH2000]
Kungsholmsfort	13,56	13,32
Oskarshamn	15,10	12,7
Simrishamn	13,55	15,47

Tabell 7-3 Förändring av medelvattenståndet (MW) år 1990 till 2100, landhöjning per år, och landhöjning 1990-2100.

Station	MW2100 - MW1990 [cm]	Landhöjning per år [cm]	Landhöjning 1990 - 2100 [cm]
Kungsholmsfort	82,6	0,14	15,4
Oskarshamn	76	0,2	22
Simrishamn	91,4	0,06	6,6

## 7.2 Resultat – 2100

Tabell 7-4 visar nivåerna som motsvarar en återkomsttid på 50, 100, 200 och 300 år som cm i RH2000 år 2100 för Kungsholmsfort. Resultatet är representativt för hela Blekinges kust på grund av den stora grad av samvariation som visades i stycke 4.3. Skillnader i landhöjning i länet är mindre än skillnaderna mellan Kungsholmsfort, Oskarshamn och Simrishamn.

För att beräkna en nivå för en statistisk återkomsttid måste mätserien vara tillräckligt lång. En tumregel är att det är inte rekommenderas att ta fram återkomstnivåer för tider större än dubbla mätseriens längd, varför vi redovisat som högst 300 års återkomsttid. Den ökande osäkerheten visas inte minst av att konfidensintervallet blir större. Det går dock att ta fram än längre återkomsttider, och för Kungsholmsfort är den nivå som fås för en återkomsttid på 500 år för 2100 inte särskilt mycket högre än 300 års återkomsttid.

Tabell 7-4. Återkomsttider i höjdsystemet RH2000 år 2100 för Kungsholmsfort.

Station	Återkomsttid [år]	GEV	Lognormal
Kungsholmsfort	50	213 (200 - 224)	214 (200 - 226)
	100	219 (203 - 233)	221 (204 - 238)
	200	226 (205 - 242)	229 (206 - 250)
	300	229 (206 - 247)	233 (207 - 258)

## 8 Erosion, vågor och vattenstånd

Den totala vattennivån som påverkar land är inte bara havsvattenståndet utan vågor kan också påverka land. Vågor och högt vattenstånd i kombination är känt som ett stort problem för erosion. För översvämning eller skador på konstruktioner är våghöjden och vågkraften av intresse. Höga vågor mot land förekommer i allmänhet vid samma tillfälle som ger höga vattenstånd eftersom det är en kraftig vind som driver båda förhållandena.

Vågor (vindvågor) bildas när vind blåser över vattenytan. Så länge vinden står på är vågriktningen parallell med vindriktningen. Våghöjden bestäms av vindstyrkan, hur länge vinden har blåst och över hur stort område som vinden kan verka (stryklängd). När vågorna rör sig mot land och påverkas av botten ändras riktningen på vågorna och de vrider mot land. En våg som kommer från sydväst kommer t.ex. att vrida så att den kommer från väst om kusten (och botten topografi) har en nord-sydlig orientering.

En våg har olika delar. Vågtoppen är den högsta punkten av en våg över utgångsläget medan vågdalen är den lägsta punkten, under utgångsläget. Våghöjden är det vertikala avståndet mellan vågtopp och vågdal (se Figur 8-2), medan våglängden är det horisontella avståndet mellan två påföljande vågtoppar eller vågdalar. Vågfrekvensen är antalet vågor som passerar genom en punkt per sekund, och vågperioden är lika med 1 genom vågfrekvensen.

Vattenpartiklarna i en våg rör sig i vertikala cirklar när vågen rör sig framåt. Vattenrörelsen på grund av en våg fortplantar sig därför i djupet. Om vågen rör sig in mot grundare vatten begränsas vattenrörelsen nära botten, vilket i sin tur påverkar vågens form. För ett bottendjup som är större än halva våglängden påverkas inte vågen av botten. När bottendjupet är mellan halva våglängden och  $1/20$  våglängd är vågen i ett övergångsläge, medan på grundare vatten än  $1/20$  våglängd påverkas vågens hastighet genom vattnet och vågen betraktas som en grundvattenvåg. Våghastigheten beräknas olika för djupvattenvågor och grundvattenvågor. Vågornas riktning påverkas också av botten, och det är botten påverkan som gör att vågor faller in vinkelrätt mot stranden.

Vågor till havs består av en kombination av olika vågor med olik våghöjd, våglängd och vågperiod, samtidigt. Våghöjder på öppet vatten kan uppskattas med enkla metoder utifrån vindhastighet och stryklängd. Beroende på hur kraftig vinden är kommer våghöjden att vara begränsad antingen av vindhastigheten, vindens varaktighet eller tillgänglig stryklängd. I Blekinge är tillgänglig stryklängd över 200 km vid öppen kust, samtidigt som stora delar av kusten är väl skyddad av sin skärgård. Figur 8-1 visar en översikt över kuststräckor i Sverige som har stor grad av samvariation vid höga vattenstånd, och en vind (röd pil) som skapar höga vattenstånd i Blekinge. Samma vindförhållanden ger också vågor mot land.

I många analyser som rör vågor är  $H_s$ , signifikanta våghöjden, den nivå som anges. Denna är definierad som medelvärdet av den högsta tredjedelen vågor ( $H_{1/3}$ ). De högsta vågorna är högre än detta. Den högsta vågen,  $H_{\max}$ , definieras ibland som 1%-percentilen ( $H_{1/100}$ ), ibland anges även 0,1%-percentilen ( $H_{1/1000}$ ). En sådan extrem våg uppträder ensam och med kort varaktighet, men kan göra stora skador.



*Figur 8-1. Skiss över olika kuststräckor i Sverige där vattenståndet samvarierar. Den röda pilen representerar en vind som skapar höga vattenstånd, och de blå pilarna visar den ytström som genereras av vinden och som på grund av topografi rör sig norr- och västerut. Samma vind som ger höga vattenstånd ger också vågor in mot kusten.*

Tabell 8-1 visar en uppskattning av vindvågors våghöjd för några vindhastigheter med hjälp av nomogram. Våghöjderna som bestäms enligt denna metod är den karaktäristiska våghöjden  $H_c$ , vilket är en våghöjd som liknar  $H_s$ . Skillnaden är att den senare tas fram från mätningar medan den förstnämnda tas fram från visuella observationer. Våghöjden gäller på djupt vatten. Som exempel ger en vind på 10 m/s under 6 timmar en våghöjd på ca 1,5 m. Denna våg har en period på ca 4,5 s och en våglängd på runt 30 m, och märker alltså av botten för ett bottendjup på 15 m. För en grupp vågor med olika våglängder och höjder är det de längsta vågorna som först påverkas av bottendjupet.

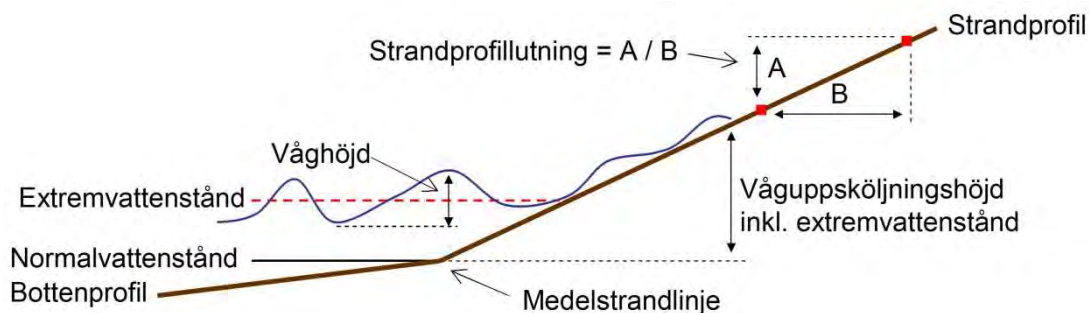
Högsta uppmätta signifikanta våghöjd på Ölands södra grund är över 7 m och våghöjder över 6 m har förekommit flera gånger vintertid under åren 1978-2004 som mätningar har pågått. Sommartid är våghöjder under 2 m vanligare, men en detaljerad statistisk analys har inte utförts. Vågbojen vid Ölands södra grund låg på 18,5 m djup. För grundområden finns det enkla relationer som beskriver maximala våghöjden som funktion av bland annat bottendjupet. Dessa beaktar dock inte processer nära en kust och kan därför inte heller enkelt tillämpas här. För att beskriva vågor nära land bör en lämplig vågmodell nyttjas.

Tabell 8-1. Grov uppskattning av karaktäristiska våghöjder för en stryklängd på 100 km med hjälp av nomogram (Gröen och Dorrestein, 1976). Våghöjderna gäller för öppet vatten där vågorna inte påverkas av botten eller kust och är tillämpliga för Blekinge med undantag av den nedersta raden.

Vindhastighet (m/s)	Vindens varaktighet (timmar)	Begränsning	Våghöjd (Hc)	Kommentar
5	>12 timmar	Vindens varaktighet	Ca 0,6 m	
10	6 timmar	-	Ca 1,5 m	
10	>24 timmar	Vindens varaktighet	Ca 2,5 m	
15	6 timmar	-	Ca 3 m	
15	12 timmar	Stryklängd	Ca 3,2 m	För över 7-8 timmar är våghöjden stryklängdsbegränsad.

Det är lätt att låta sig förledas att tro att den totala översvämningen som havet kan åstadkomma är vattenståndet plus våghöjden. Detta stämmer dock inte då våghöjden bromsas upp betydligt när vågen kommer in över land. Två processer bör nämnas som påverkar översvämningens risker, våguppsköljningen (engelska: runup) och vågöverspolningen.

Våguppsköljningshöjden beror på hur brant stranden är (dvs. strandprofilens lutning, se Figur 8-2), hur slät den är, samt dess materialegenskaper. Denna höjd är den höjd ovan vågens 0-läge som vattnet strömmar upp till enligt vissa tekniska definitioner.



Figur 8-2. Principskiss av en strandprofil. Våghöjden är överlagrad på det aktuella (extrema) vattenståndet, och våguppsköljningen bestäms av våghöjden, strandprofilens lutning och strandens egenskaper. Betong ger exempelvis högre uppsköljningshöjd än gräs.

Våguppsköljning kan vara mest relevant för svagt sluttande konstruktioner, till exempel diken eller olika former av vågbrytare, eller för kusten i sig. Har man till exempel lägre liggande områden bakom ett högre område kan det vara av intresse att beräkna om våguppsköljning kan leda till att vatten kommer bakom det högre området. Vågöverspolning är när vågorna skvalpar över en vägg eller en konstruktion. Beroende på hur konstruktionen ser ut och hur höga vågorna är kan en vattenvolym ta sig över och bakom konstruktionen. Överspolning kan också ske vid en vertikal eller brant vägg genom att det bildas "splash". Våghöjden i sig kan bli ett problem nära vattnet om det är kritiskt att vatten inte får komma upp på land här – till exempel om det kan ta sig bakom ett översvämningsskydd – men för vattennivåer längre upp på land slutar våghöjden att vara en relevant parameter relativt snabbt.

## 9 Slutsatser

I denna rapport har återkomsttider i ett ändrat klimat beräknats för ett antal stationer i Blekinges närområde utifrån en global havshöjning som är den övre delen av det intervall som anges i IPCC AR5. I projektet har vi antagit att stormfrekvensen i ett framtida klimat är densamma som idag. Antagandet stöds av att osäkerheterna i klimatmodellerna fortfarande är mycket stora beträffande stormar. Inga regionala effekter är heller medräknade på grund av de stora osäkerheterna, men indikationerna är att det inte blir högre vattenstånd i svenska vatten än globalt.

Kungsholmsfortsserien för havsvattenstånd är en mätserie med mycket hög kvalitet som har pågått i lång tid. Den lämpar sig därför för att ta fram vattennivåer med relativt låg sannolikhet och hög risk. Eftersom det är en hög grad av samvariation längs kuststräckan kan Kungsholmsfort anses vara representativ för hela Blekinge.

Det är intressant att titta på skillnaderna mellan de olika stationerna. Man kan notera att Simrishamn är den station som har lägst landhöjning, och alltså kommer att påverkas mest av den globala havsnivåhöjningen år 2100. Här uppskattas medelvattennivån ligga 91,4 cm över dagens nivå i det ändrade klimatet.

Även Kungsholmsfort påverkas ganska så mycket, med en höjning av medelvattennivån på 82,6 cm för den högsta höjningen som anges i IPCCs intervall. Oskarshamn som har högst landhöjning är den station som påverkas minst, med en medelvattennivåhöjning på 76 cm.

Beräknade vattenstånd med återkomsttid 50, 100, 200 och 300 år för Kungsholmsfort skiljer sig inte mycket, vilket beror på att serien har en jämn fördelning av vattenstånd. Extrema vattenstånd förväntas ligga mellan 2,1 m och 2,3 m i RH2000 år 2100 med stöd i två olika statistiska fördelningar. Den statistiska beräkningens osäkerhet speglas av konfidensintervallet, men den största osäkerheten är förmodligen höjningstakten för det globala havsvattenståndet.

I AR5 beskrivs regionala variationer som gör att havsvattenståndets höjning kan komma att skilja sig åt beroende på var i världen man befinner sig. De regionala variationerna är olika för olika komponenter av havshöjningen, bland annat leder en avsmältning av en stor ismassa till att gravitationen från denna minskar. Den direkta effekten blir en global havshöjning, medan den indirekta effekten blir en regional havsminskning. Beskrivningen av de regionala variationerna innehåller så stora osäkerheter att de inte har beaktats i resultaten, men indikationerna är att det kan bli lägre höjning i våra regioner.

Vinduppstuvning i grunda och trånga vikar kan ge ytterligare lokala och tillfälliga höjningar av vattenståndet vid högvattenstånd. SMHIs bedömning är att det längs Blekingekusten inte finns några särskilda områden där denna effekt behöver beaktas. Däremot kan vågeffekter behöva tas hänsyn till framförallt längst ut mot öppet hav.

## 10 Referenser

Bergström, S. 2012: Framtidens havsnivåer i ett hundraårsperspektiv - kunskapssammanställning 2012. SMHI Klimatologi Rapport Nr 5.

Blom et al, "Sannolikhets teori och statistisk teori med tillämpningar", 2005. ISBN 91-44-02442-8

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.

Coles, Stuart, "An Introduction to Statistical Modelling of Extreme values", 2001. ISBN 1-85233-459-2

Corder, G. W.; Foreman, D. I. (2009). Nonparametric Statistics for Non-Statisticians: A Step-by-Step Approach. Wiley. ISBN 978-0-470-45461-9.

Wilson, E. B. (1927), "Probable inference, the law of succession, and statistical inference". *Journal of the American Statistical Association* 22: 209–212.



## 11 Bilaga

### 11.1 Återkomsttider för Kungsholmsfort

Vid beräkningen av återkomsttider extraherades alla årsmax mellan 1887 och 2013, och till dessa data anpassades fördelningarna GEV, Gumbel och Lognormal enligt avsnitt 6.1.1. Fördelningarnas parametrar kalibrerades med maximum likelihoodmetoden. Som beskrivs i avsnitt 6.1.3 så är det viktigt att verifiera att data passar till fördelningen.

Tabell 11-1 visar Kolmogorov-Smirnov-värdena för alla fördelningarna. Det framgår att KS-testet underkänner Gumbel-fördelningen på signifikansnivån 0.95, varför denna fördelning inte kommer att inkluderas i fortsatt analys.

Tabell 11-1 Kolmogorov-Smirnov-värden för fördelningarna

Fördelning	KS-värde
GEV	0,41
Gumbel	0,98
Lognormal	0,39

Återkomsttiderna beräknades med följande formel:

$$T - \text{års} - \text{maxvattenståndet} = F^{-1}\left(1 - \frac{1}{T}\right) \quad (1)$$

$T$  är återkomsttiden, mätt i år. Här är  $F$  fördelningsfunktionen för aktuell sannolikhetsfördelning. Denna funktion är inverterbar, och vi kallar inversen för  $F^{-1}$ .

Tabell 11-2. Maximum likelihoodskattningarna av fördelningarnas parametrar

Fördelning			
GEV	<i>scale</i> $\sigma = 15,24$	<i>location</i> $\mu = 67,57$	<i>shape</i> $\xi = -0,10$
Lognormal	<i>scale</i> $\sigma = 0,23$	<i>location</i> $\mu = 4,29$	

### 11.2 Applicering av återkomsttider på framtida klimat

För att beräkna återkomsttider i ett framtida klimat används ekvation (1) från avsnitt 11.1 samt sambandet

$$T - \text{års} - \text{maxårsvattenståndet år 2100} = T - \text{års} - \text{maxvattenståndet idag} + (MW2100 - MW1990) \quad (2)$$

$MW$  i ekvationen ovan står för medelvattenstånd. Termen ” $T - \text{årsvattenståndet idag}$ ” är  $T$ -årsvattenståndet för den representativa stationen Kungsholmsfort, så det som återstår är att beräkna termen  $(MW2100 - MW1990)$  för alla stationer. Om man flyttar om termerna i ekvation (2) får man

$$\begin{aligned} MW2100 - MW1990 &= \\ &= (\text{global vattennivåhöjning } 1990 - 2100) - \\ &\quad (\text{lokal landhöjning } 1990 - 2100) \end{aligned}$$

Den globala havsnivåhöjningen sattes till 98 cm enligt IPCC:s AR5.

$MW1990$  för alla SMHI-stationer finns i Tabell 7-2.

Genom att addera denna förändring till de beräknade återkomsttiderna för Kungsholmsfort får vi återkomsttider för alla SMHI-stationer i RH2000-systemet. Dessa resultat finns i Tabell 7-4.

### 11.3 Resultat från Simrishamn, Oskarshamn och Kungsholmsfort

Tabell 11-3 visar 100 års återkomsttid för Simrishamn, Oskarshamn och Kungsholmsfort relativt medelvattenståndet. Genom att korta Kungsholmsfortsserien till samma längd som Simrishamn respektive Oskarshamn kan man få en känsla för hur resultaten påverkas av mätseriens längd.

Om Kungsholmsfort – serien kortas blir resultaten lägre för GEV-fördelningen men oförändrade eller högre för lognormal-fördelningen. Kungsholmsforts 100-årsvärde från 1960 till idag (motsvarande perioden som gäller för Oskarshamn) är 115 och 123 cm för GEV respektive lognormal-fördelning. Kortas serien ytterligare till start 1982 (lika lång som Simrishamn) blir resultatet från GEV-analysen för 100 års återkomsttid 111 cm, medan den för Lognormal-fördelningen blir 129 cm. Konfidensintervallet för lognormalfördelningen blir mycket större för en kortare serie, medan konfidensintervallet för GEV liknar det för den längre serien.

Det går inte att dra några generella slutsatser om att resultatet alltid är lägre eller alltid är högre för en kortare mätserie då detta beror på hur fördelningen ser ut och huruvida urvalet är högre eller lägre än det urvalet som är representativt för en parameter (här: extremvattenståndet) över en längre period.

Tabell 11-3. Återkomsttider för Simrishamn, Oskarshamn och Kungsholmsfort för hela mätseriernas längd.

Återkomsttid/fördelning	GEV	Lognormal
<b>Simrishamn 100 år</b>	110 (99, 113)	131 (101, 157)
<b>Oskarshamn 100 år</b>	100 (88, 108)	112 (90, 133)
<b>Kungsholmsfort 100 år</b>	123 (107 - 137)	125 (107 - 142)

# SMHI

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



LÄNSSTYRELSEN  
BLEKINGE LÄN

SE-371 86 Karlskrona  
Telefon 0455-870 00  
E-post: [blekinge@lansstyrelsen.se](mailto:blekinge@lansstyrelsen.se)  
[www.lansstyrelsen.se/blekinge](http://www.lansstyrelsen.se/blekinge)