

Sofia Åström, Signild Nerheim, Maria Andersson

RAPPORT NR 2011-45

**Uppdaterad klimatanalys av havsvattenstånd i
Västra Götalands Län**

*Pärbild.
Bilden föreställer*

Författare:
S. Åström, S. Nerheim,
M. Andersson

Uppdragsgivare:
Länsstyrelsen, Västra Götaland

Granskningsdatum:
2014-06-27

Granskare:
Maja Wänström

Dnr:
2014/948/9.5

Version:
V2.0

Uppdatering av klimatanalys havsvattenstånd i Västra Götalands län

Uppdragstagare

SMHI
601 76 Norrköping

Projektansvarig

Lennart Larsson
011 – 495 84 30
lennart.larsson@smhi.se

Uppdragsgivare

Länsstyrelsen Västra Götaland
Ekelundsgatan 1
403 40 Göteborg

Kontaktperson

Charlotta Källarfelt
031 – 60 50 81
charlotta.kallerfelt@lansstyrelsen.se

Distribution

Charlotta Källarfelt, Länsstyrelsen Västra Götaland
Lars Westholm, Länsstyrelsen Västra Götaland

Klassificering

(x) Allmän

Nyckelord

Uppdatering, klimatanalys, havsvattenstånd

Övrigt

Denna version av Klimatanalysen innehåller enbart kapitel 7 och är en remissversion till Länsstyrelsen Västra Götaland. Enligt överenskommelse mellan Länsstyrelsen och Göteborgs Stad är avsikten att även Göteborgs Stad får vara med på diskussioner om innehåll. 2014-06-27. Den slutliga versionen kommer att infogas i Klimatanalysen som version 2.0, med uppdaterad sammanfattning och slutsatser.

Innehållsförteckning

7	HAVSVATTENSTÅND.....	1
7.1	Det globala havsvattenståndet.....	1
7.2	Havsvattenstånd i Västra Götalands län	3
7.2.1	Vattenståndsvariationer	4
7.2.2	Medelvattenståndet i Västra Götalands län	6
7.3	Vattenstånd i Västra Götaland i framtidens klimat	8
7.3.1	Metodik.....	8
7.3.2	Återkomsttid	9
7.3.3	Medelvattenstånd i Västra Götaland i framtidens klimat	9
7.3.4	Beräknade extrema vattenstånd i Västra Götaland fram till 2100	11
7.3.5	Effekter av lokal snedställning av vattenytan	12
7.3.6	Vågeffekter.....	16
7.3.7	Övergripande beskrivning av länet	17
8	SLUTSATSER	19
9	REFERENSER	19

7 Havsvattenstånd

7.1 Det globala havsvattenståndet

Havsvattenståndets variation beror av många faktorer. Globalt sett är de viktigaste den termiska expansionen (havets utvidgning vid uppvärmning) och bidrag från smältande glaciärer och de stora landisarna på Grönland och Antarktis. Ändrade nederbördsförhållanden på dessa stora isar har också stor betydelse. Det finns också stora lokala skillnader, som beror på ändrade salthaltsförhållanden, ändringar i det lokala vindklimatet, ändrade gravitationsfält när de stora isarna smälter och till och med ändrade landhöjnings- och landsänkningsförhållanden när belastningen på jordskorpan förändras om trycket från de stora isarna minskar. Eftersom de mest extrema vattennivåerna oftast är mest intressanta lokalt så betyder ändrad frekvens, intensitet och riktning hos stormar mycket. Ännu kvarstår en hel del frågetecken rörande framtidens havsnivåer.

I början av 1990-talet skickades flera satelliter upp vars syfte var att mäta jordytan med stor precision. Dessa mätningar visar att havsytan globalt i medeltal stigit drygt 3 mm/år under perioden 1991-2003. Detta syns även i svenska mätserier. Det finns samtidigt områden som stigit mer, eller mindre, bland annat beroende på variationer i temperatur.

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.

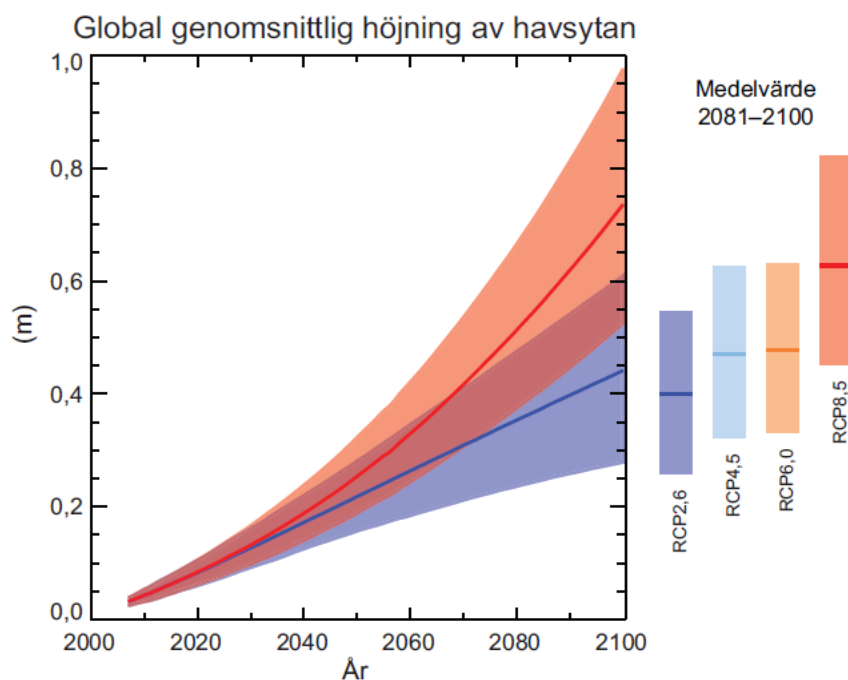
Parallellt med att nya resultat har inkommit har SMHI arbetat med att uppdatera sin metodik utifrån den senaste forskningen. Ett viktigt resultat var Nederländernas Deltakommitté som angav som högst 130 cm global höjning 1990-2100. 2012 publicerades SMHIs kunskapssammanställning över forskningsresultat 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 7-1 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 fås 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 7-1. Global havshöjning för IPCC AR5 utsläppsscenarioer. 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 klimatenssemblerna 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.

Det är slutligen viktigt att notera att de flesta uppskattningar som förekommer rörande framtida havsnivåer bygger på något eller några av IPCC:s utsläppsscenarioer. Det innebär att effekterna av eventuella utsläpps begränsningar till följd av internationella avtal inte medräknats. Om man lyckas genomföra utsläpps begränsningar så minskar stigningstakten, men den upphör inte helt på grund av klimatsystemets stora tröghet. Det är också viktigt att förstå att havsnivåhöjningen inte upphör efter 2100, utan att den fortsätter stiga.

Tabell 7.1. Sammanställning av internationella utredningar avseende stigande havsnivå.

Datum	Källa	Referensperiod	Höjning till ungefär år 2100 (cm)
Januari 2007	IPCC	1980-1999	18-59 (exkl. isdynamik)
Hösten 2008	Deltacommissie (Holland)	1990	55-120
April 2009	Rummukainen och Källén	2009	<i>"det kan röra sig om en meter under de närmaste 100 åren"</i>
Juni 2009	Ministry of Natural Resources and Environment, Vietnam	1980-1999	75 (65-100)
Juni 2009	UK Climate Projections science report (Lowe et al.)	1980-1999	11,6 – 75,8 cm runt Storbritannien och Irland
September 2009	Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap I Norge	2000-2100	80
November 2009	Copenhagen diagnosis	1980-1999	<i>"at least twice as much as projected by Working Group1 of the IPCC AR4"</i> <i>"it may well exceed 1 m"</i>
November 2009	NOAA	<i>"by the end of this century"</i>	3 – 4 fot (90-120 cm)
November 2009	Netherlands Environmental Assessment Agency PBL m.fl.	1990 -2100	55 -110 (40 -105 lokalt för Holland)
Februari 2010	Australian Department of Climate Change	1990-2100	110
Oktober 2013	IPCC	1986-2005	52 - 98

7.2 Havsvattenstånd i Västra Götalands län

I Västra Götalands län började mätningar av havsvattenstånd redan 1848 med dygnsnoteringar på Hållö och på Nordkoster från 1849. Tekniken för att mäta vattenstånd utvecklades efterhand, och redan 1886 installerades en mareograf i Varberg, i Hallands län. Västra Götaland fick sin första mareograf 1910 i Smögen, och denna mätserie är den som är längst i länet med bibehållen hög kvalitet.

I Göteborg startade mätningarna vid Ringön 1887, och äldre data från Göteborg har varierande kvalitet. Mätstationen flyttades till Klippan 1959, och 1967 startade mätningarna vid dess nuvarande plats, Torshammen. Extrema vattenstånd varierar en hel del från Torshammen till Ringön och även vidare upp i Göta älv, vilket kommer att behandlas särskilt i kapitel 7.3.5 och 7.3.7.

Samtliga av SMHI:s mätstationer av havsvattenstånd i Västra Götaland samt Varberg-Ringhals redovisas i Tabell 7.2. Idag mäts vattenstånd på fyra orter vid Västra Götalands kust; Göteborg-Torshammen, Stenungssund, Smögen och Kungsvik. I rapporten visas även resultat från Ringhals-Varberg för att visa variationer söderut från Göteborg men också för att denna mätserie på grund av dess längd, tillsammans med Smögen ger det bästa underlaget för en analys. För Varberg-Ringhals kan de data från de båda mätserierna användas som en sammanhållen tidsserie, vilket inte är lika lämpligt för Göteborgs olika mätstationer.



Figur 7-2. Havspegeln i Smögen från 1971 (betongbyggnaden till vänster). Pelaren uppe till höger är Lantmäteriets GPS-station för mätning av absolut landhöjning. Samlokalisering av mätningar av havsvattenstånd och absolut landhöjning gör att den globala havsnivåhöjningen kan följas. Foto: Thomas Hammarklint, SMHI.

Tabell 7.2. Stationslista över svenska mätstationer för vattenstånd från Ringhals till Svinesund. Årtal inom parentes betyder att värden inte finns lagrade digitalt. * betyder att det endast finns dygnsvärden mellan angivna årtal, övriga data är timvärden eller på senare år ännu bättre tidsupplösning.

Stationsnamn	Start	Slut	Latitud	Longitud
Ringhals	1967		57 15	12 07
Varberg	1886	1982	57 06	12 13
Trubaduren	1978	2004	57 36	11 38
Hönö-Klåva	1937*	1969*	57 41	11 38
Göteborg-Torshamnen	1967		57 41	11 47
Göteborg-Klippan	(1887) 1959	1969 (1977)	57 41	11 54
Göteborg-Ringön	1887*	1958*	57 43	11 58
Stenungsund	1962		58 05	11 48
Hällö	1848*	1875*	58 20	11 14
Smögen	1910		58 21	11 13
Bäckeвик (Kungshamn)	1894*	1929*	58 22	11 15
Nordkoster	1849*	1916*	58 53	11 00
Strömstad	1895*	1967* (1971*)	58 57	11 11
Kungsvik	1973		59 00	11 08
Svinesund	1971	1973	59 06	11 16

7.2.1 Vattenståndsvariationer

Vattenståndsvariationer beror på många olika faktorer. Den pågående globala havshöjningen och landhöjningen i Sverige är långsamma processer av storleksordning mm per år. Förändringar i salthalt och temperatur lokalt kan också påverka vattenståndet, och denna sortens förändring påverkar framförallt förändringen av årets medelvattenstånd och dess läge relativt land.

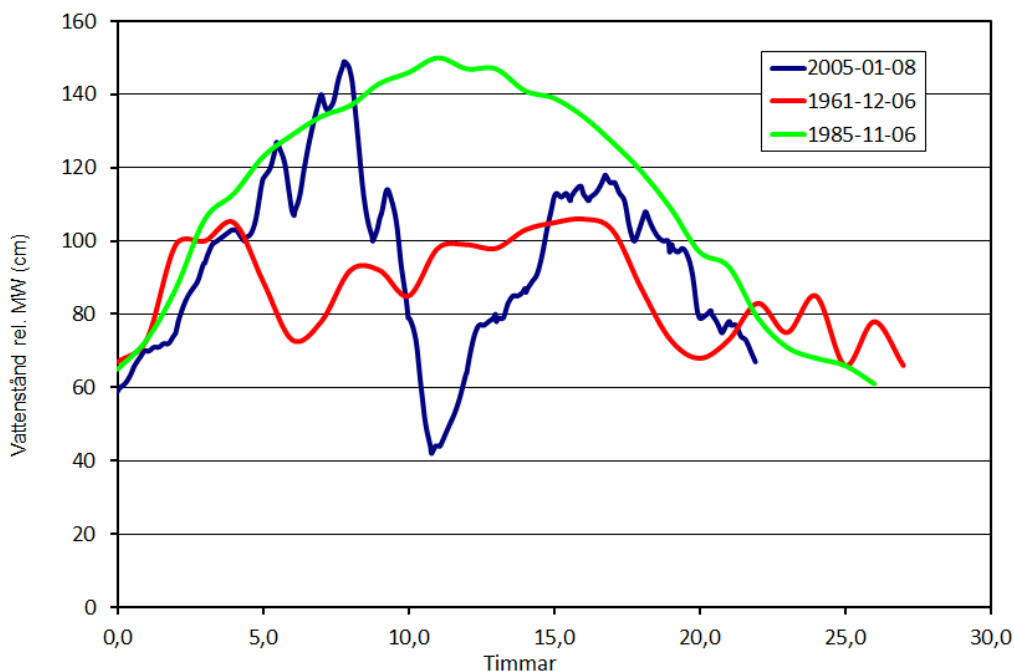
För översvämningsrisker är det framförallt de kortvariga variationerna som är viktiga, och dessa drivs av storskaliga lågtryck och högtryck. Längs den svenska västkusten är det framförallt det storskaliga lufttrycket och vindarna på Nordsjön och i Skagerrak-Kattegatt som påverkar vattenståndet. Tidvattnet har också betydelse, särskilt då det sammanfaller med stormflod, dvs. högt vattenstånd till följd av kraftiga vindar. Tidvattenvariationen i Västra Götalands län är av storleksordningen 2 dm.

I Västra Götaland är det generellt vid västliga vindar som höga vattenstånd uppstår. Ett vanligt förlopp är att ett lågtryck passerar, gärna norr om Västra Götaland, med vindar från sydost och syd som sedan vrider till sydväst och väst. Ungefär vid den tidpunkten uppmäts maximalt vattenstånd. Under den fortsatta lågtryckspassagen vrider vinden till NV-N. Detta förlopp tar oftast 12 till 24 timmar. Maximal vindhastighet (10 minuters medel) på Skagerack är i de flesta fallen omkring 25 m/s. Vattenståndet lokalt påverkas av de storskaliga vindarna i kombination med lågtrycket, snarare än av

lokal vind, och förhållandevis höga vattenstånd har uppmätts bland annat i Göteborg, samtidigt som vinden har varit måttlig.

Till skillnad från höga flöden i vattendrag är extrema havsvattenstånd relativt kortvariga. Den extrema nivån varar vanligen i några timmar, och hur hög den extrema situationen blir utifrån en given vädersituation beror även på utgångsläget. En kraftig storm behöver inte medföra kritiska nivåer om vattenytan inledningsvis ligger lågt.

Figur 7-3 visar tre exempel på situationer med höga vattenstånd i Göteborg där utvecklingen av vattenståndet såg olika ut vid varje tillfälle. Det vanligaste förloppet är det som visas för stormen Gudrun (blå linje), där vattenståndet både stiger och sjunker snabbt, och där den högsta nivån inte varar mer än några timmar. En mer ovanlig händelse i svenskt perspektiv är stormen 1985 där vattenståndet steg konstant under ca 10 timmar för att därefter successivt sjunka under ca 15 timmar. Vattenståndet var högre än 140 cm över medelvatten i drygt 5 timmar.



Figur 7-3. Tre exempel på höga vattenstånd i Göteborg. Den blå linjen visar vattenståndet under stormen Gudrun från det att vattennivån passerade 60 cm över medelvattenståndet. Den gröna linjen visar förloppet under stormen 1985. Den röda linjen visar ett tillfälle då vattenståndet var högt under lång tid.

De uppmätta havsvattenstånden från SMHI:s stationsnät representerar vattenstånd längs en öppen kust. Vid samma tid som det är höga vattenstånd är det också ofta ett väderläge som skapar höga vågor med riktning in mot kusten. Vågorna kan på vissa ställen också bidra till ökade översvämningsrisker, men beroende på hur skyddad kusten är och hur den ser ut, kan vågorna bidra mer eller mindre till översvämningsproblematiken vid ett läge. Detta beskrivs i större detalj i 7.3.6.

En andra bidragande faktor är snedställning i trånga vikar och sund. Denna har ofta kallats vinduppstuvning då det är vinden som leder till ett skjuv på ytan där vatten inte har förmågan att flöda tillbaka längs botten på grund av topografiska begränsningar, men det är känt från Göteborg att det kan uppstå en snedställning in i Göta älv vid höga vattenstånd även om vindarna lokalt inte utöver ett skjuv. Det är alltså själva ytströmmen in mot land som skapar effekten. I kapitel 7.3.5 ges en beskrivning av fenomenet och vi sammanställer vad som gjorts på området fram till nu i länet.

I allmänhet sker också en dämning vid älvars och vattendrags mynningar när havsvattenståndet är högt, men detta kommer inte att beskrivas i detalj.

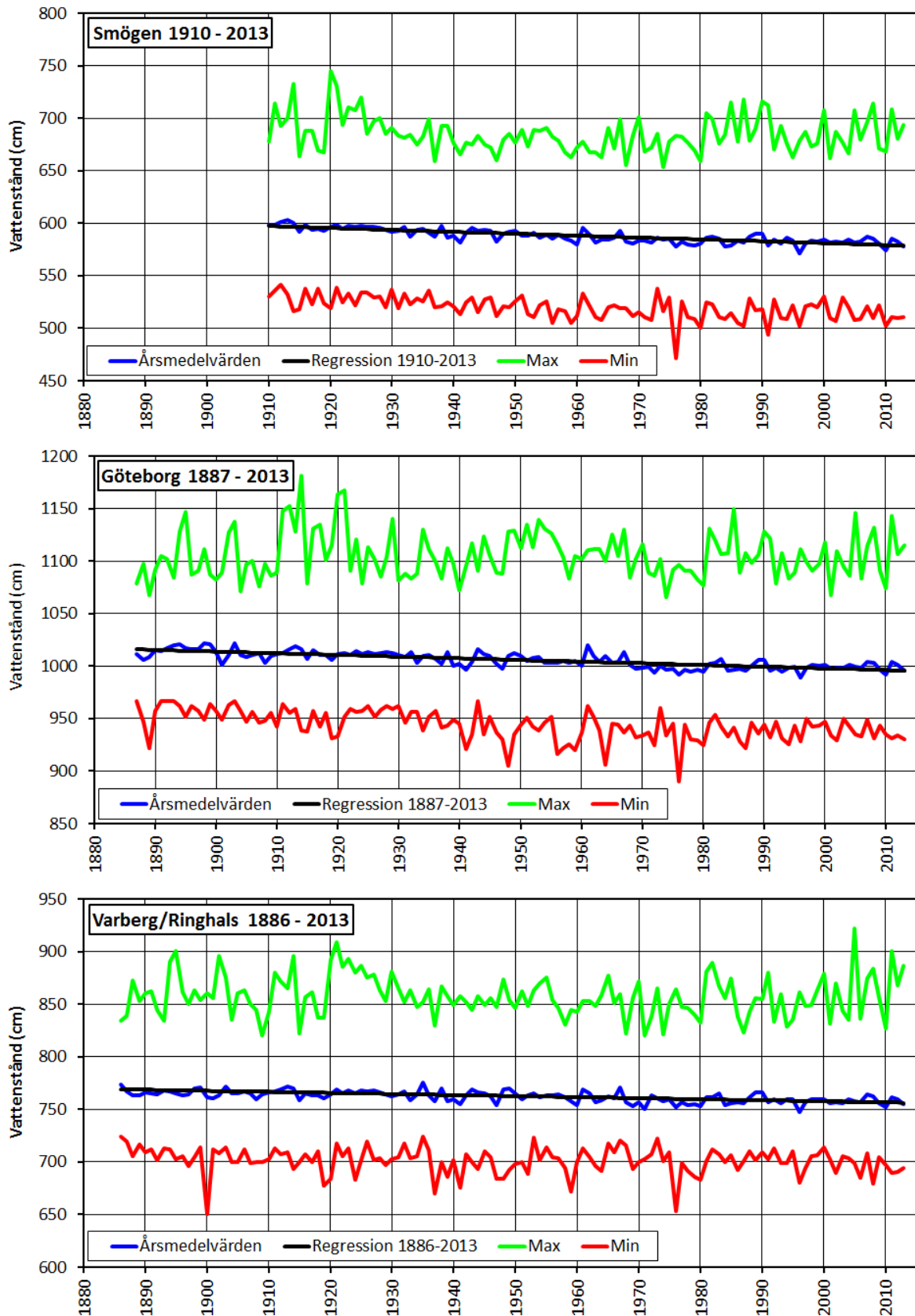
7.2.2 Medelvattenståndet i Västra Götalands län

SMHI mäter och redovisar havsvattenståndet relativt en beräknad medelvattenyta. Denna bestäms genom statistisk analys av många års årsmedelvärden.

Det beräknade medelvattenståndet¹ varierar från år till år beroende på havets höjning och på landhöjningen som varierar regionalt. Den *beräknade* medelvattenytan skiljer sig från årets genomsnittliga vattenstånd. Figur 7-4 visar årsmedelvärdet, årets beräknade medelvattenstånd samt årets högsta och lägsta vattenstånd vid Smögen, Göteborg och Varberg/Ringhals 1910-2010. Nivåerna visas i mätstationens lokala höjdsystem. Lutningen på trendlinjen kan förändras något under tiden allt eftersom nya data kommer in. Detta gör att en gammal uppgift om högsta uppmätta vattenstånd kan skilja sig från en nyare uppgift för ett och samma år eftersom värdet anges i relation till en ny trendlinje.

I Sverige pågår en landhöjning, som är störst i norra Sverige och avtar successivt söderut. Noll-linjen dvs. det område där varken höjning eller sänkning sker passerar genom södra Skåne. Historiskt sett har vattenståndet i södra Sverige höjts relativt land, medan vattenståndet i norra Sverige sjunkit relativt land på grund av denna landhöjningsprocess som fortfarande pågår. I och med den kraftiga landhöjningen i norra Sverige tar det längre tid där innan effekterna av den globala vattenståndsökningen märks. I områden med mindre landhöjning höjs vattenståndet relativt land.

¹ Årets medelvattenstånd. Ett beräknat värde bestämt genom regression av många års årsmedelvärden. Det krävs mer än 30 års värden för att någorlunda väl kunna bestämma regressionslinjen. Respektive års medelvattenstånd betraktas som respektive års värde på regressionslinjen. Vid Smögen, Varberg/Ringhals och Göteborg finns värden från 1910 respektive 1887, vilket innebär ett gott statistiskt underlag.



Figur 7-4. Medelvattenstånd och årets högsta och lägsta vattenstånd 1910-2010 vid Smögen, Göteborg och Varberg/Ringhals. Nivåerna anges i lokala höjdsystem.

I Västra Götalands län är den absoluta landhöjningen 0,34 cm/år vid Kungsvik, 0,32 cm/år i Smögen, 0,3 cm/år i Göteborg och 0,2 cm/år vid Ringhals. Tabell 7.3 visar årets beräknade medelvattenstånd 1990 och 2014 för SMHI:s mätstationer vid Kungsvik, Smögen, Stenungsund, Göteborg och Varberg/Ringhals, tillsammans med den absoluta och den synbara (apparenta) landhöjningen. Med den synbara landhöjningen avses landhöjningen i förhållande till havets medelnivå. För att kunna beskriva havets relation till land används fasta höjdsystem. I denna rapport anges vattennivåer om inget annat anges i höjdsystemet RH2000 vilket är Sveriges nya nationella höjdsystem.²

Tabell 7.3. Årets beräknade vattenstånd 1990 och 2014 i höjdsystemet RH2000 samt absolut och apparent landhöjning för SMHI:s mätstationer Kungsvik, Smögen, Stenungsund, Göteborg och Varberg/Ringhals.

	Medelvattenstånd RH2000 (cm)		Absolut landhöjning (cm/år)	Apparent landhöjning (cm/år)
	1990	2014	2014	2014
Kungsvik	1	-4	0,34	0,20
Smögen	1	-3	0,32	0,18
Stenungsund	3	-1	0,31	0,17
Göteborg	7	4	0,30	0,16
Varberg/Ringhals	7	5	0,20	0,10

7.3 Vattenstånd i Västra Götaland i framtidens klimat

Vattenståndet i Västra Götaland i framtidens klimat har beräknas från en förväntad global höjning av vattenstånd med 0,98 m fram till år 2100 med kompensation för lokal landhöjning. Detta är det högsta värdet från det spann som presenteras i IPCC AR5. Medelvärde från modellsimuleringarna år 2100 är 0,74 m. Medelvattenståndet i framtidens klimat har beräknats och presenteras i avsnitt 7.3.3. I avsnitt 7.3.4 presenteras framtida extrema vattenstånd och nivåer upp till 200 års återkomsttid i dagens och framtidens klimat. För Kungsvik, Stenungsund och Göteborg är värdena med 200 års återkomsttid mycket osäkra då dessa grundas på relativt korta mätserier. Under avsnitt 7.3.5 finns också resultat från beräkningar av lokal vinduppstuvning i några vikar. Alla nivåer anges i höjdsystemet RH2000.

7.3.1 Metodik

Då vattenståndshöjningen beskrivs relativt 1990 är alla framtida nivåer beräknade utifrån 1990. Ekvationen nedan visar hur medelvattenytan 2100 beräknats. Nivåerna anges i RH2000.

$$MW_{2100} = MW_{1990} + SLR_{1990-2100} - LH_{1990-2100}$$

MW är medelvattenstånd, SLR är Sea Level Rise och LH är landhöjningen.

För beräkningen av extrema vattenstånd har årshögsta vattenstånd använts för hela dataserien från respektive station. Metodiken bygger på ett antagande om att fördelningen av extrema vattenstånd är densamma som idag och att hela höjningen av vattenståndet beror på medelvattenytans höjning. De senaste forskningsresultaten från Rossby Center/ENSEMBLES-projektet visar ingen tendens att stormar varken blir vanligare eller mer ovanliga och stödjer därmed detta förhållningssätt.

² RH2000. Mätningarna utfördes under åren 1979–2003 vid den tredje precisionsavvägning (Riksavvägningen) som höll bättre kvalitet än sina föregångare, RH00 och RH70. Nollnivån definieras av Normaal Amsterdams Peil (NAP), vilket är en punkt i Amsterdam som används som 0-punkt även i andra europeiska länder

7.3.2 Återkomsttid

Som mått på översvämningsrisker används ofta begreppet återkomsttid, vilket betecknar den genomsnittliga tiden mellan två översvämnningar av samma omfattning. I själva verket uttrycker begreppet en procentuell sannolikhet för att en händelse inträffar varje enskilt år. Begreppet återkomsttid ger därför en falsk känsla av säkerhet, eftersom det anger sannolikheten för ett enda år och inte den sammanlagda sannolikheten för en period av flera år. Tabell 7.4 visar den sammanlagda sannolikheten för att ett vattenstånd med en viss återkomsttid skall överskridas under en längre tidsperiod. Ett vattenstånd med återkomsttiden 100 år har t.ex. 5 % sannolikhet att inträffa eller överskridas under 5 år, medan för en 50- eller 100-årsperiod är sannolikheten 39 % respektive 63 %.

Tabell 7.4. Sannolikheten för ett visst vattenstånd uttryckt i procent under en period av år.

Återkomst-tid (år)	Sannolikhet under 5 år (%)	Sannolikhet under 10 år (%)	Sannolikhet under 20 år (%)	Sannolikhet under 50 år (%)	Sannolikhet under 100 år (%)
5	67	89	99	100	100
10	41	65	88	99	100
20	23	40	64	92	99
50	10	18	33	64	87
100	5	10	18	39	63
200	2	5	10	22	39

Beräknade nivåer med återkomsttider på flera hundra år innehåller stora osäkerheter, men är det bästa som kan göras med statistisk extremvärdesanalys. I Flödeskommitténs "Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar" anges tumregeln att den beräknade återkomsttiden inte bör vara mer än dubbelt så lång som den underliggande tidsserien. SMHI har nyligen inom ramen av ett uppdrag för Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap (MSB) utfört känslighetsanalyser av statistisk extremvärdesanalys för korta tidsserier. Resultaten bekräftar tumregeln om dubbla mätseriens längd, och visade att de nivåer som fås vid analys av en kortare tidsserie ryms inom konfidensintervallet från hela datasettet, förutsatt att tidsserien är tillräckligt lång. Resultaten indikerade också att det är viktigt att använda de statistiska testerna för att utvärdera resultatens rimlighet. Konfidensintervallet är en god indikation på hur säkert ett resultat är.

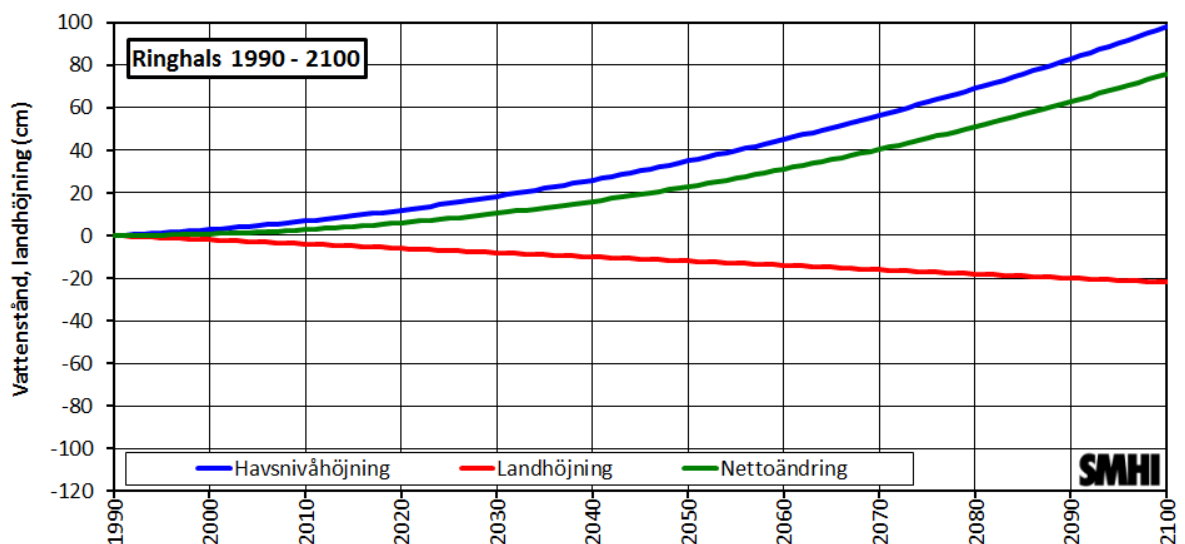
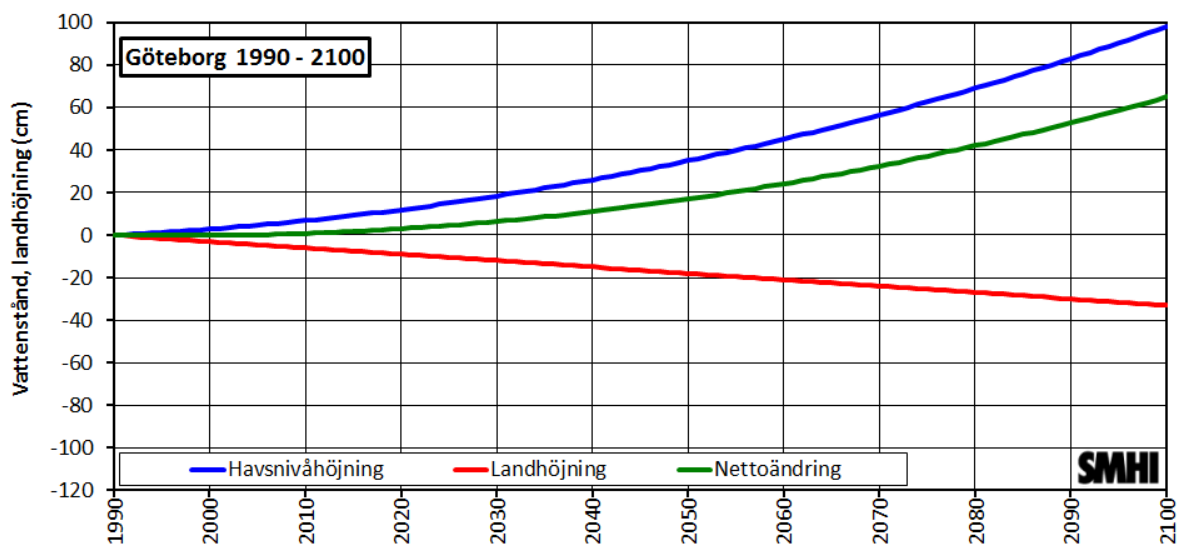
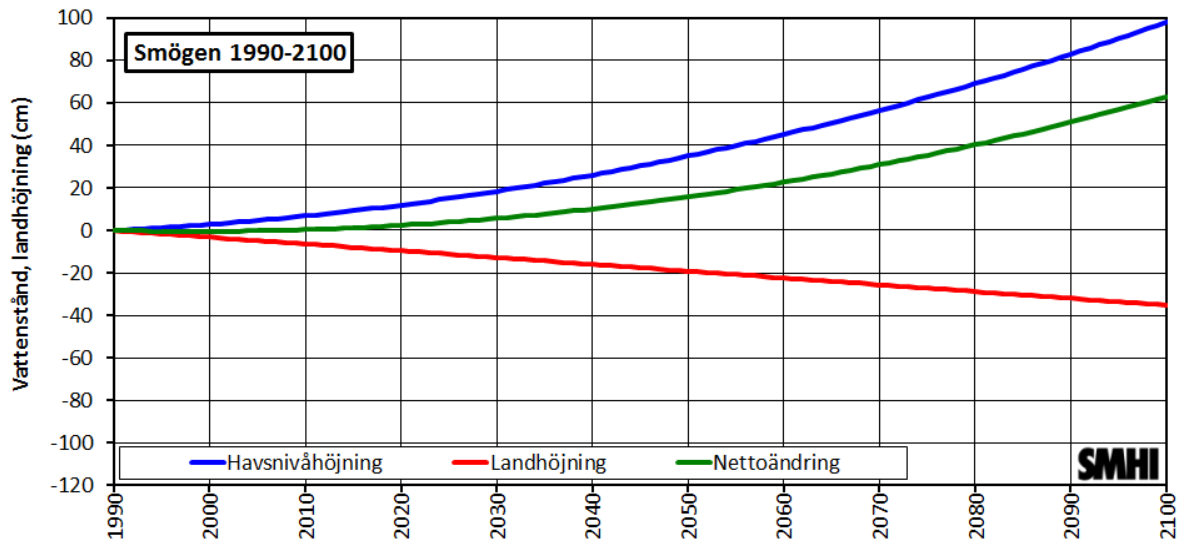
Normalt finns färre än 100 års observationer att utgå ifrån. För Kungsvik finns data från 1974 och för Stenungsund från 1966. Vattenstånd med 200 års återkomsttid redovisas för alla mätstationer men för Kungsvik, Stenungsund och Göteborg är dessa värden högst osäkra då dessa grundas på relativt korta mätserier.

7.3.3 Medelvattenstånd i Västra Götaland i framtidens klimat

Figur 7-5 visar förändringen av medelvattenståndet 1990-2100 för Smögen, Göteborg och Ringhals, förutsatt att havet stiger 30 cm fram till 2050 och 100 cm fram till 2100, med kompensation för lokal landhöjning. Figuren visar att mellan 1990 till idag råder nästan balans mellan landhöjning och havshöjning med en sådan utveckling, och att havshöjningen tar fart mot seklets slut. Nettoändringen är ca 65 cm för Smögen och Göteborg och nästan 80 cm för Ringhals från 1990 till idag. Tabell 7.5 visar medelvattenyta 2010 och 2100 och den relativa förändringen.

Tabell 7.5. Medelvattenståndet i RH2000 år 2010 och 2100 förutsatt en havsnivåhöjning om 0,98 m och en bibehållen landhöjning.

	Medelvatten 2014 i RH2000 (cm)	Medelvatten 2100 i RH2000 (cm)	Relativ förändring 2014-2100 (cm)
Kungsvik	-4	62	66
Smögen	-3	64	67
Stenungssund	-1	67	68
Göteborg	4	72	68
Varberg/Ringhals	5	83	78

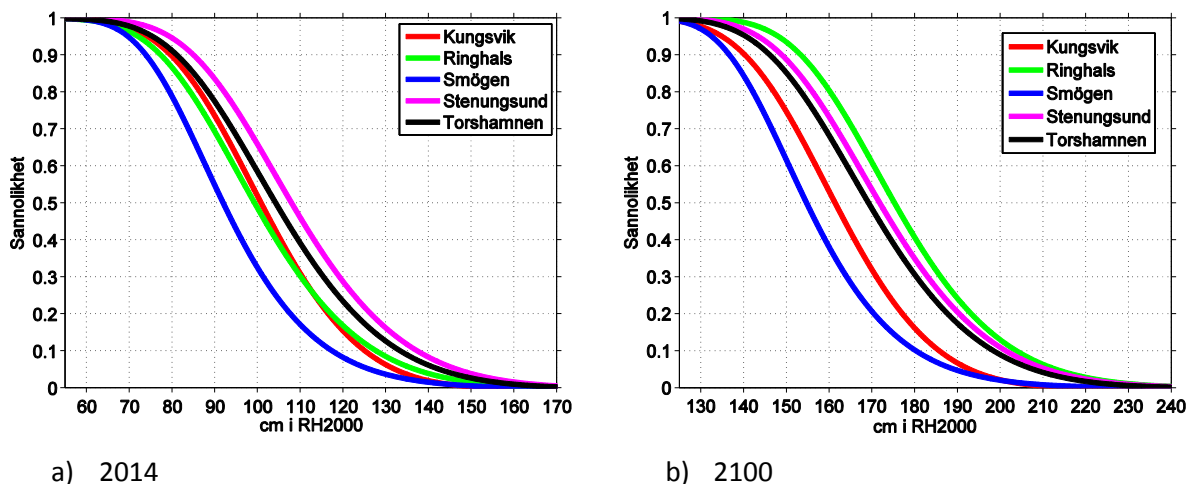


Figur 7-5. Relativ förändring av medelvattenståndet från 1990 till 2100 förutsatt + 98 cm global höjning för Smögen, Göteborg och Ringhals. Blå linjen visar en tänkt utveckling av medelvattenytan som förutsätter 35 cm höjning fram till 2050 och 98 cm fram till 2100. Den röda linjen är den absoluta landhöjningen som är störst i Smögen och lägst vid Ringhals. Nettoändringen visas som grön linje och den blir ca 63 cm för Smögen, ca 65 cm för Göteborg och ca 75 cm för Ringhals.

7.3.4 Beräknade extrema vattenstånd i Västra Götaland fram till 2100

Sannolikhetsfördelningar av årshögsta vattenstånd har beräknats för år 2014 och 2100 för de fem analyserade platserna (figur 7-5). Syftet med dessa grafiska presentationer är att åskådliggöra hur vattennivåerna förändras olika i länet och hur detta förändras i tiden.

År 2014 ligger Smögen lägst dvs. har lägst extrema vattennivåer och Stenungsund ligger högst dvs. har högst extrema vattennivåer relativt land. Däremellan ligger Kungsvik, Göteborg och Varberg/Ringhals någorlunda jämnt fördelade. År 2100 är bilden en annan, högst extremer har Varberg/Ringhals tillsammans med Stenungsund. Ringhals har den lägsta landhöjningen vilket är skälet till förändringen relativt andra stationer. Smögen har fortfarande lägst extremer och i mitten ligger Göteborg och Kungsvik, (figur 7- 5).



Figur 7-6 Sannolikhetsfördelning av årshögsta vattenstånd i dagens klimat (a) och i framtidens klimat (b). Figuren visar resultat för de fyra mätstationerna som ligger i Västra Götalands län och stationen i Varberg/Ringhals, i höjdsystemet RH2000. Sannolikheten 0,5 är detsamma som 50 % sannolikhet, vilket motsvarar 2 års återkomsttid. En sannolikhet på 0,1 motsvarar 10 års återkomsttid.

Vattenstånd med 100 års återkomsttid i dagens klimat (t.o.m. 2013) och vid århundradets slut har analyserats för de fem platserna, inklusive 95 % konfidensintervall (tabell 7-6). Resultaten visar att år 2100 kommer vattenstånd med återkomsttiden 100 år att vara mellan 70-80 cm högre än idag, detsamma gäller vattenstånd med 200 års återkomsttid. Störst ökning av dessa extrema nivåer fås vid Varberg/Ringhals.

Tabell 7.6. Beräknade vattenstånd med återkomsttid 10, 20 50, 100 och 200 år för dagens klimat och fram till 2100. Vattenstånden anges i cm i RH2000. Kursiverade siffror anger 95 % konfidensintervall. Vattenstånd som har 200 års återkomsttid i dagens klimat kommer att vara mer vanliga än att de har 10 års återkomsttid i framtiden.

Vattenstånd (cm)	Återkomsttid 10 år	Återkomsttid 20 år	Återkomsttid 50 år	Återkomsttid 100 år	Återkomsttid 200 år
Kungsvik 1974-2014					
2014	125 (114-135)	132 (119-143)	140 (122-152)	145 (124-158)	149 (125-163)
2100	191 (180-200)	198 (184-209)	206 (188-218)	211 (190-224)	215 (191-228)
Smögen 1911-2013					
2014	118 (110-125)	126 (116-137)	137 (122-152)	145 (125-163)	153 (128-175)
2100	184 (177-192)	193 (183-203)	204 (189-218)	212 (192-230)	220 (194-241)
Stenungssund 1966-2013					
2014	137 (125-149)	147 (130-162)	158 (135-176)	166 (138-186)	172 (139-195)
2100	205 (192-217)	215 (198-229)	226 (203-244)	233 (206-254)	240 (207-263)
Göteborg Torshamnen 1967-2013					
2014	133 (121-145)	143 (127-157)	153 (131-171)	161 (134-180)	167 (135 -189)
2100	201 (189-213)	211 (195-225)	221 (199-239)	229 (202-248)	235 (203-257)
Varberg/Ringhals 1887-2013					
2014	128 (120-135)	137 (127-146)	148 (134-160)	155 (137-170)	162 (140-179)
2100	206 (198-213)	215 (205-224)	226 (212-238)	233 (215-248)	240 (218-257)

Värdena för framtidens klimat gäller för den högsta höjningen fram till 2100, 0,98 cm. Hela spannet för RCP8.5 är 0,52 - 0,98 m, med medelvärdet 0,74 m. Om man räknar med medelvärdet i stället för högsta värdet år 2100 kan alla siffror i Tabell 7.6 för 2100 reduceras med 0,24 m. Hur en sådan osäkerhet ska hanteras bör bero på andra faktorer så som värdet av det som behöver skyddas. En viktig aspekt när det gäller just den långsamma havshöjningen är att den bevakas kontinuerligt och att det kommer att framgå när den höjning vi ser idag börjar eskalera (Figur 7-5).

7.3.5 Effekter av lokal snedställning av vattenytan

Vattenståndet i t.ex. en vik kan bli ytterligare högre än vattenståndet vid öppna kusten. Ofta talar man om vinduppstuvning. I samband med att vind blåser över en vattenyta i viken förs vatten i vindens riktning från en sida av viken till den motsatta. Det transporterade vattnet strömmar sedan tillbaka, vanligen längs botten. Beroende på djupförhållandena sker denna återströmning mer eller mindre lätt och vatten kan ”stuvvas” upp i de inre vindutsatta delarna av viken. En så kallad stationär vinduppstuvning av vattenytan har uppstått och kommer att upprätthållas så länge den påliggande vinden varar.

Snedställning av vattenytan i vikar och sund kan också förekomma när vinden lokalt INTE är särskilt kraftig. I t.ex. Göta älv förekommer snedställning i samband med kraftig lokal vind, men också när vinden lokalt är relativt måttlig men där vattenståndet på grund av storskaliga processer blir högt.

Vinduppstuvning är inte en effekt som behöver beaktas överallt. Det är främst i trånga och grunda vikar och sund den förekommer. I Göta älv är det en känd effekt, och nivåerna i centrala stan är ofta några dm högre än nivån vid Torshamnen vid höga havsvattenstånd. En intressant observation är att det även blir snedställning av vattenytan, d.v.s. succesivt högre vattenstånd, längre upp i älven även när det höga vattenståndet i havet inte är kopplat till en kraftig vind.

Det är vanligt att utföra överslagsberäkningar av den stationära vinduppstuvningseffekten med uppgifter om områdets medeldjup och längd, samt vindens varaktighet och styrka. Detta gjordes inom ramen för länsanalysen Västra Götaland 2011 för vindhastigheter med 50 års återkomsttid. Då erhöles följande resultat för utvalda lägen i Västra Götaland:

- Göteborg och Göta älv: Den stationära vinduppstuvningseffekten beräknas leda till att vattenståndet i Lärjeholm kan bli mellan 0,2 och 0,3m högre än vattenståndet i Torshamnen.
- Marstrand – Stenungssund. Den stationära vinduppstuvningseffekten beräknas leda till att vattenståndet i Stenungssund kan bli ca 0,1 m högre än vattenståndet vid Marstrand.
- Stigfjorden. Den stationära vinduppstuvningseffekten beräknas leda till att vattenståndet vid Stigfjordens inre östliga del kan bli ca 0,1m högre än vattenståndet vid dess västliga mynning. Gullmarsfjorden från Lysekil till Munkedal. Den stationära vinduppstuvningseffekten beräknas leda till att vattenståndet vid Munkedal i Gullmarsfjorden inre del kan bli mindre än 0,1m högre än vattenståndet vid Lysekil vid fjordens mynning

I samband med att en stationär vinduppstuvning etableras kan vattenytan dessutom kortvarigt svänga över sitt jämviktsläge. Detta kallas den dynamiska vinduppstuvningen vilket sker vid mycket hastiga vindökningar. Den dynamiska vinduppstuvningseffekten kan medföra att värdena som angetts ovan kan vara 50 till 75 procent högre under en tidsperiod om ca 5 – 10 min.

Nedan följer en översikt över två detaljerade karteringar av vinduppstuvning och snedställningseffekter. Dessa har gjorts inom ramen av andra projekt för Göteborg och Uddevalla.

Göteborg

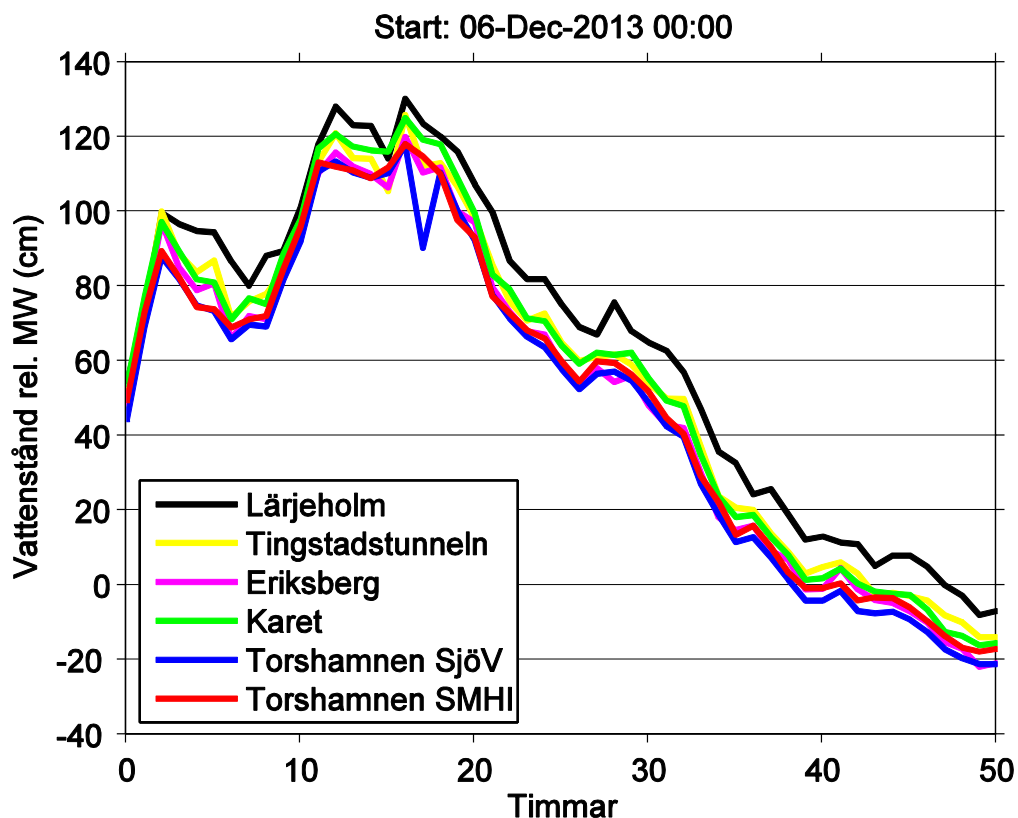
Under 2005-2006 tog SMHI fram ett klimatunderlag för sårbarhetsanalys åt Göteborgs stad i två etapper (Ref Rapport 2005-42 och Rapport 2006-16). I den första etappen analyserades bland annat vattenståndsutvecklingen i Torshamnen, vid Gullbergsån (ca 13 km längre upp längs Göta älv) och vid Lärjeholm (ytterligare ca 5 km upp i Göta älv) utifrån mätdata under stormen Gudrun. Det noterades att flera toppar i vattenståndet förekom med ett visst tidsmellanrum vilket motsvarade perioden för den ”vattenståndsvåg” som kom in från väster. För varje topp förelåg en viss tidsförskjutning mellan maximalt vattenstånd för de olika lägena. Maximalt vattenstånd nåddes först i Torshamnen och sist vid Lärjeholm med en tidsskillnad på 30-40 minuter. Vattenståndsvågens hastighet uppför älven beräknades till ca 9 m/s. Med den hastigheten avverkas sträckan från Torshamnen till Lärjeholm på ungefär 33 minuter vilket styrker att tidsförloppet styrdes av vågens hastighet. Vattenstånden vid Gullbergsån och vid Lärjeholm blev väsentligt högre än i Torshamnen, 41 respektive 54 cm högre. Detta beror på att vattenståndsvågen reser sig när den bromsas upp i den trånga och relativt grunda älven, på att älvens flöde ut till havs hindras av den kraftiga vinden och på älvens lutning

I etapp två analyserades vattenståndsdata ytterligare och det framkom att vattenståndsskillnaden mellan Torshamnen och Lärjeholm vid lugnt väder byggs upp av flödesfriktionen, vilken ger ungefär 10 cm skillnad, och salthaltsskillnaden mellan havet och älven, vilken ger ytterligare ca 5 cm vattenståndsskillnad. Vid sydvästlig storm tillkommer vindens verkan på älvens vattenyta som ger ytterligare 5 till 20 cm ökning från Torshamnen till Lärjeholm. Till detta kommer förlopp som beror på vågutbredningen i älven. Effekten från vågutbredningen är i allmänhet små men vid snabba förlopp kan den orsaka skillnader på ± 10 cm.

Vidare sattes en 1-diensionell beräkningsmodell upp för att studera hur de från havet inkommande vattenståndsförändringarna utbreder sig upp längs älven. Modellen tar hänsyn till en förenklad topografi samt älvens vattenföring men dock inte vinden. Det framkom att vinden, vid extrema tillfällen, sannolikt har en stor betydelse.

I Figur 7-7 visas vattenståndet vid Torshamnen, Karet, Eriksberg, Tingstadstunneln och Lärjeholm under en högvattensituation i december 2013. Figuren visar att vattennivån är som lägst ute vid

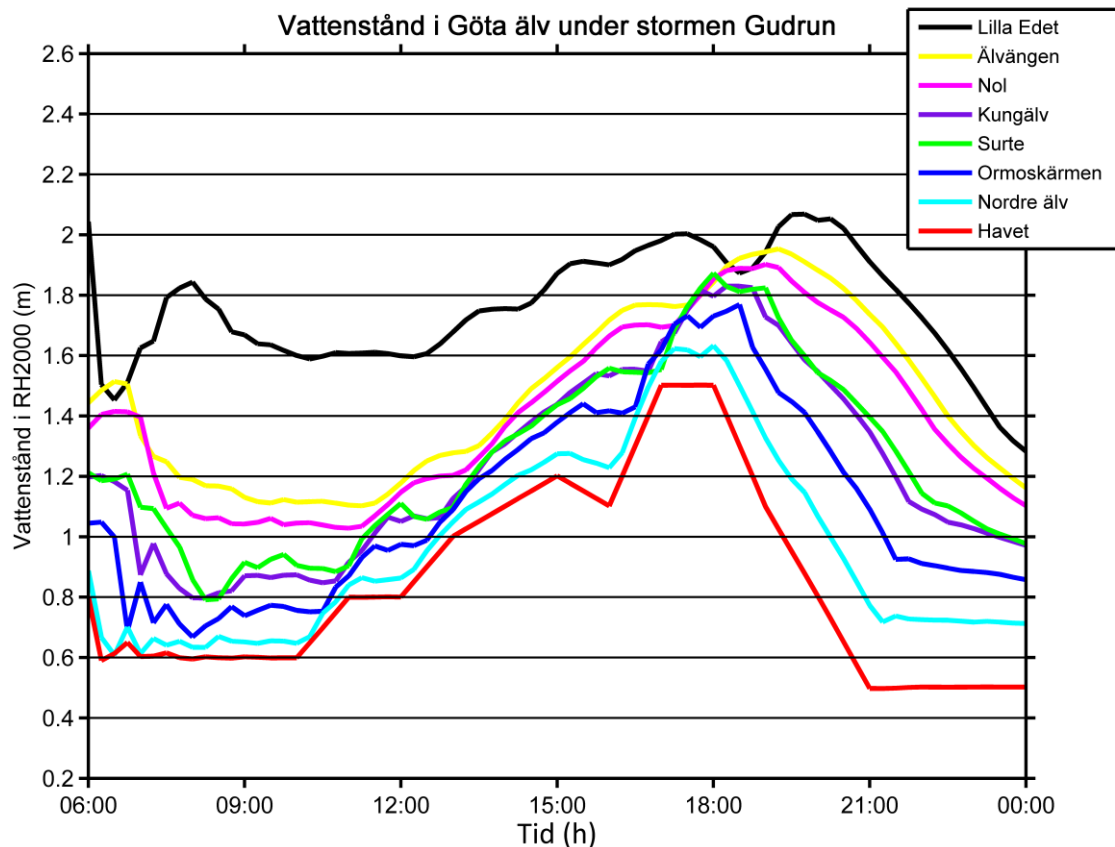
Torshammen och att den ökar succesivt mot Lärjeholm. Skillnaden längs älven är märkbar även då lågt vattenstånd förekommer.



Figur 7-7 Vattenståndet i Torshammen (från både SMHI och Sjöfartsverket), Karet, Eriksberg, Tingstadstunneln och Lärjeholm under en högvattensituation i december 2013. Nivåerna anges i cm relativt medelvattenståndet.

Vattenståndsvariationer längs Göta Älv har även studerats inom ramen för en skredriskutredning i dagens och framtidens klimat som 2009-2011 utfördes av SMHI i samverkan med SGI (Statens geotekniska institut). En hydrodynamisk strömningsmodell (Delft3D) över Göta älv, från Väneren till havet inklusive Nordre älv, sattes upp för att beräkna vattennivåer, strömmar och bottenkjuvspänningar.

Modellen drivs av bl.a. vattenstånd vid havet, vinden och älvens vattenföring. För att säkerställa resultatet kalibrerades och validerades modellen mot uppmätta flöden, vattenstånd och strömmätningar. **I Fel! Hittar inte referensälla.** visas simulerade vattennivåer för ett antal platser i Göta älv under stormen Gudrun den 8:e januari 2005. Resultatet visar att vattenståndet i havet börjar stiga klockan 10 och fortplantar sig därefter uppåt i älven. I havet är vattenståndet som högst mellan klockan 17 och 18 medan toppen nås senare ju längre upp mot Lilla Edet man kommer. Högsta toppen i vattennivå förflyttar sig norr ut i älven som en våg och nivåskillnaden mellan förmiddagen och kvällen är som störst vid punkterna söder om Lilla Edet (ökning på ca 0.9-1 m).



Figur 7-8 Simulerade vattennivåer för ett antal platser i Göta älv under stormen Gudrun den 8:e januari 2005. Nivåerna anges i RH2000.

Uddevalla

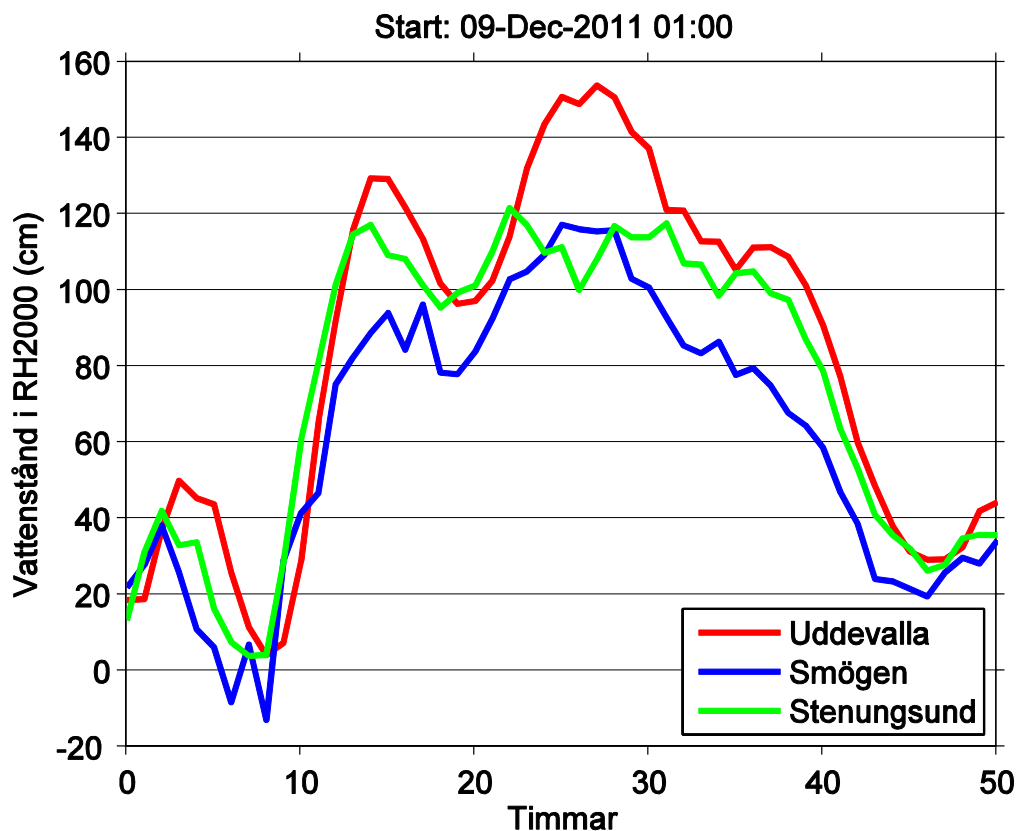
Vattenståndet i Uddevalla är mycket svårt att beräkna på grund av den komplexa topografin i fjordsystemet från öppna havet och in till Byfjorden. Då det vid kusten är höga vattenstånd pressas vatten vidare in i fjordsystemet, men förhållanden som ger högst vattenstånd utanför fjordsystemet är nödvändigtvis inte desamma som ger högst vattenstånd i Uddevalla. Det kan också ske en viss fördröjning i tiden mellan högsta vattenståndet utanför systemet och i Uddevalla.

Mätningar av havsvattenstånd i Uddevalla har utförts sedan december 2010. Mätserien i Uddevalla är för kort för att utgöra ett gott underlag för statistiska beräkningar men kan däremot användas för att jämföra med mätserierna vid Smögen och Stenungsund för att på så vis få en bättre förståelse hur höga vattenstånd fortplantar sig in i fjordsystemet.

En jämförelse av havsvattenståndet i Uddevalla, Smögen och Stenungsund har utförts baserat på mätdata från december 2010 till mars 2012. Havsvattenstånd överstigande 80 cm inträffade under ett flertal tillfällen under mätperioden. Analysen visar att extrema havsvattenstånd i Uddevalla infaller från 0 till 2 timmar senare än extrema händelser i Smögen och Stenungsund. Det högsta vattenståndet under mätserien uppmättes till 155 cm i RH2000 och inträffade i december 2011. Under samma period uppmättes vattenståndet till ca 120 cm i RH2000 som mest både i Smögen och Stenungsund, se Figur 7-9 **Fel! Hittar inte referensskälla..**

Skillnaden mellan vattenståndet i Uddevalla och havsvattenståndet i Smögen och Stenungsund har som mest varit ca 35 cm respektive 30 cm, under den analyserade perioden. Vidare visade analysen av två extremfall att ungefär samma skillnad i vattenstånd mellan Smögen och Uddevalla förekom vid olika väderleksförhållanden, medan skillnaden vid samma tid mellan Stenungsund och Uddevalla varierade. Detta beror på att fjordsystemet från öppna kusten in till Uddevalla är synnerligen komplicerat och höga vattennivåer kan fortplanta sig på olika sätt genom båda grenarna av systemet beroende på väderlek. Då mätstationen i Stenungsund redan är en del av fjordsystemet är det detta som speglas av observationen ovan. Överslagsberäkningar visar också att bidraget från Byfjorden är mycket litet på grund av fjordens relativt stora djup.

Mätserien vid Smögen rekommenderas att användas som referens för stadsplanering men ett ytterligare bidrag på grund av topografiska effekter i fjordsystemet om minst 50 cm högre vattenstånd bör beaktas för återkomsttider på 100 år.



Figur 7-9 Havsvattenstånd i Uddevalla (röd), Smögen (blå) och Stenungsund (grön) från den 9:e december kl. 01:00 och 50 timmar framåt. Nivåerna anges i RH2000.

7.3.6 Vågeffekter

Vågor är störningar av vattenytans läge som utbreder sig längs vattenytan. På en given plats kan därför ytvågorna bidra till det sammantagna vattenståndet. Vad som händer med en våg som träffar ett hinder beror på hindrets struktur. Om det t.ex. är en svagt sluttande strand kan vågen skölja upp på stranden högre än själva våghöjden. Om vågen istället träffar en brant struktur t.ex. en kajkant reflekteras vågen till viss del och kan även skölja över strukturen. Vid översköljning tappar vågen stora delar av sin energi och därmed våghöjd och fortplantar sig inte vidare in över land.

När vågor närmar sig grundare vatten påverkas de av botten och transformeras. Friktionen mot botten orsakar energiförlust och leder till att våghöjden minskar allt eftersom vattendjupet minskar. När vattendjupet är ungefär halva våglängden reduceras vågens fortplantningshastighet samtidigt som den blir kortare och brantare. Som en tumregel gäller att vågen bryter då dess våghöjd är ca 80 % av vattendjupet. Om vågorna är tillräckligt branta kan de bryta även ute på djupt vatten.

En våg fortplantar sig saktare på grunt vatten än på djupt vatten. Detta innebär att vågorna ändrar riktning om vågfronten inte infaller parallellt mot bottenkonturerna, vilket i sin tur medför att vågfronten tenderar att infalla parallellt med bottenlinjerna.

Om vågor träffar på stora strukturer, som t.ex. öar eller vågbrytare, propagerar de in i lä-zonen bakom strukturen. Dock utgör en skärgård ett gott skydd mot vågor. Utomskärs längs hela länets kust kan höga vågor förekomma. Som exempel kan nämnas att den högsta observerade våghöjden vid Väderöarna har uppmätts till 13,9 m.

I skyddade områden såsom vikar och fjordar består vågfältet främst utav vågor som bildats lokalt. Våghöjden begränsas av vindens varaktighet och sträcklängd, vilket är den sträcka med vilken vinden verkar på den fria vattenytan. Viktigt att tänka på är att vissa sträckor inomskärs kan vara skyddade från vissa riktningar men helt oskyddade för en annan riktning.

Noggranna våganalyser har inte genomförts för länets kustområden. Genom en överslagsmässig beräkningsmetod har våghöjden uppskattats till ca 1 m i mitten av Göta älv i höjd med Älvsborgsbron vid västliga vindar med en styrka på 20 m/s och en varaktighet på 6 timmar. Metoden är enkel och tar inte hänsyn till de effekter som uppstår på grund av t.ex. kajer i hamnområdet. Metoden tar inte heller hänsyn till vattendjupet vilket ofta leder till att våghöjden överskattas något.

Bidraget till det sammantagna vattenståndet uppstår då vågen interagerar med någon landstruktur. Vid översköljning, tappar vågen större delen av sin energi och våghöjd och utbreder sig därmed inte vidare över land. Volymen vatten som transporterats upp på land via översköljningen kan dock bidra till lokal översvämning.

Att ange gällande våghöjder för länet är mycket svårt eftersom lokala topografiska effekter har stor betydelse för varje specifik plats. Generellt avtar våghöjden alltmer då den färdas in mot grundare vatten.

7.3.7 Övergripande beskrivning av länet

Återkomstnivåer för extrema havsvattenstånd i dagens klimat kan erhållas med hjälp av statistisk analys av historiskt observerade vattenstånd för platser där mätserierna sträcker sig tillräckligt långt tillbaka i tiden för att medge statistiskt tillförlitliga resultat. För ett framtida klimatscenario har en global havsnivåhöjning adderats till de historiska återkomstnivåerna, med korrigering för landhöjningen.

Observationer av havsvattenstånd har företrädesvis utförts på platser vid den öppna kusten, se Figur 7-10. För platser i de inre delarna av vikar, fjordar och flodmynningar saknas vattenståndsobservationer ofta helt eller delvis, varför statistiskt tillförlitliga oberoende mått på vattenstånd inte kan sammanställas. Däremot kan dessa uppskattas, både för dagens och för framtidens klimat, utifrån platserna med tillräckligt långa mätserier. Då bör hänsyn tas till lokala effekter som kan orsaka ytterligare högre vattenstånd, såsom t.ex. vinduppstuvning.

Exempelvis ger statistisk analys av mätserierna i Smögen ger ett 100årsvattenstånd på 145cm för dagens klimat och 212 cm i ett framtida klimatscenario, i höjdsystemet RH2000. För att uppskatta motsvarande värden för Uddevalla bör minst 50 cm adderas på grund av lokala topografiska effekter i fjordsystemet, vilket ger 195 respektive 262 cm i RH2000.

Figur 7-10 visar en översiktsskild över länets kust med tre olika kategorier kust. Bilden är övergripande och får inte användas okritiskt. Längs den öppna kusten är vattenståndet givet av de statistiska återkomsttiderna. Vi har definierat som öppen kust all kust som ligger längst ut i havsbandet, medan annan kust är skyddad av öar. Längs den öppna kusten är vågorna höga och här är i allmänhet alla hamnar skyddade av vågbrytare av denna anledning. Den inre kusten ligger mer skyddad från vågor, och det gällande vattenståndet är fortfarande det som beräknats från mätserier. Den sista kategorin är fjordar, vikar och sund. Här behöver snedställningseffekterna beaktas, och de avtar ju närmare kusten man kommer vilket bilden från stormen Gudrun visade. Vågor förekommer också i skyddade vikar, men våghöjderna är alltså mindre där.



Figur 7-10 Schematisk bild över Västra Götalands län med markeringar av fjordar och vikar, samt områden som kan karakteriseras som inomskärs och utomskärs.

8 Slutsatser

SMHI har beräknat vattenstånd för Västra Götalands län i dagens och framtidens klimat. Beräkningar har gjorts för Kungsvik, Smögen, Stenungsund, Göteborg och Varberg/Ringhals. Beräkningarna visar att med en antagen global havsnivåhöjning på +0,98 m fram till år 2100 innebär för Västra Götalands del att:

- Medelvattenytan höjs med 66 cm i Kungsvik, 67 cm i Smögen, 68 cm i Stenungsund och Göteborg och 78 cm i Ringhals/Varberg.
- Vattenstånd med 100 års återkomsttid höjs på samma sätt som medelvattenytan för respektive plats. Detsamma gäller vattenstånd med 200 års återkomsttid för Smögen, Göteborg och Varberg/Ringhals.
- År 2014 är Kungsvik den plats som har lägsta extrema vattennivåer och Stenungsund är den plats som har högst extrema nivåer. År 2100 har Varberg/Ringhals tillsammans med Stenungsund högst extrema nivåer medan Kungsvik fortfarande har lägst extrema nivåer.
- Vid höga havsvattenstånd ute vid Torshammen i Göteborg ökar vattenståndet successivt uppströms Göta älv. Exempelvis visar mätdata under stormen Gudrun att vattenståndet var mer än 50 cm högre vid Lärjeholm jämfört med ute vid Torshammen.
- Mätserien vid Smögen rekommenderas att användas som referens för stadsplanering för Uddevalla men ett ytterligare bidrag på grund av lokala topografiska effekter i fjordsystemet om minst 50 cm högre vattenstånd bör beaktas för återkomsttider på 100 år.

9 Referenser

IPCC (2007) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

Naturvårdsverket (2007) *FN:s klimatpanel 2007: Den naturvetenskapliga grunden. Sammanfattning för beslutsfattare*. Rapport 5677, Stockholm.

Vellinga, P., Katsman C.A., A. Sterl and J.J. Beersma, (eds) (2008) *Exploring high end climate change scenarios for flood protection of the Netherlands: - an international scientific assessment*. International Scientific Assessment. Background document to Deltacommissie (2008).

SMHI

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