



Handläggare:
Maria Andersson
Granskare:
Lasse Johansson

Datum: 2019-06-28
Dnr: 2019/90/9.5
Uppdragsgivare: Varbergs Kommun
Er ref: Maria Hagelberg

EXTREMVATTENSTÅND I VARBERG

1 Bakgrund

I samband med en detaljplan för den nya stadsdelen Västerport i Varberg har kommunen behov av underlag rörande havsvattenstånd i Varberg i dagens och framtidens klimat.

SMHI har på uppdrag av Varbergs kommun sammanställt uppgifter om extrema vattenstånd i dagens och framtidens klimat. Det globala medelvattenståndet i ett framtida klimat baseras på uppgifter från den senaste rapporten från FN:s klimatpanel, IPCC AR5 2013, enligt klimatscenariot RCP8.5 år 2100. Det globala medelvattenståndet justeras för den lokala landhöjningen.

2 Resultat

Beräknade återkomstvärden i höjdsystemet RH2000 för dagens och framtidens klimat år 2100 anges i Tabell 1 respektive Tabell 2.

*Tabell 1. Återkomstvärden i cm i RH2000 för återkomstperioden 100 och 200 år för Varberg i **dagens klimat år 2019**. Konfidensintervallet innehåller det riktiga värdet med sannolikheten 95 %.*

	100 år	200 år
Skattat värde år 2019	159	168
Konfidensintervall 95 %	138-179	141-194

*Tabell 2. Återkomstvärden i cm i RH2000 för återkomstperioden 100 och 200 år för Varberg i **framtidens klimat år 2100**. Konfidensintervallet innehåller det riktiga värdet med sannolikheten 95 %.*

	100 år	200 år
Skattat värde år 2100	208	217
Konfidensintervall 95 %	159-258	165-269

Resultatet är skattade återkomstvärden för återkomstperioderna 100 och 200 år med tillhörande konfidensintervall gällande år 2100. Osäkerheten i det skattade värdet uttrycks med ett 95-procentigt konfidensintervall. Detta ska tolkas så att konfidensintervallet med sannolikheten 95 procent innehåller det riktiga värdet. Det skattade värdet och konfidensintervallet måste justeras i takt med ny kunskap, nya observationer och ny politisk utveckling.

Skattningen av medelvattenståndet 2100 och osäkerheterna förknippade med detta baseras på FN:s klimatpanels femte rapport, AR5 från 2013. (Nästa rapport från FN:s klimatpanel väntas hösten 2019.) Det scenario som Varbergs kommun specificerat, RCP 8.5, har använts.

Resultaten bygger på antagandet att fördelningen av extrema vattenstånd är stationär, dvs. densamma i framtiden som idag. Det är liktydigt med att anta att vädret, i synnerhet ovädren, kommer att ha samma statistiska egenskaper som idag. Stormarna antas ha samma styrkor, banor, utveckling m.m. som nu. Det är förenligt med klimatscenerierna, vilka för våra breddgrader inte förutsäger ett signifikant annorlunda ovädsklimat än idag.

Resultaten fås genom att de väderorsakade högvattnen överlagras det förändrade globala medelvattenståndet, justerat för den lokala landhöjningen.

Den kombinerade osäkerheten, från vilken konfidensintervallen i Tabell 2 är beräknade, består av osäkerheten i klimatprognosen, osäkerheten i extremvärdesberäkningen samt osäkerheten i mätningen. Detsamma gäller för konfidensintervallen i Tabell 1 men utan osäkerheten i klimatprognosen.

Extrema vattenstånd är kortvariga med en varaktighet på upptill 24 timmar. Högvattenhändelser orsakas vanligen av kraftiga lågtryckspassager och varaktigheten beror på lågtryckets förlopp.

3 Metod

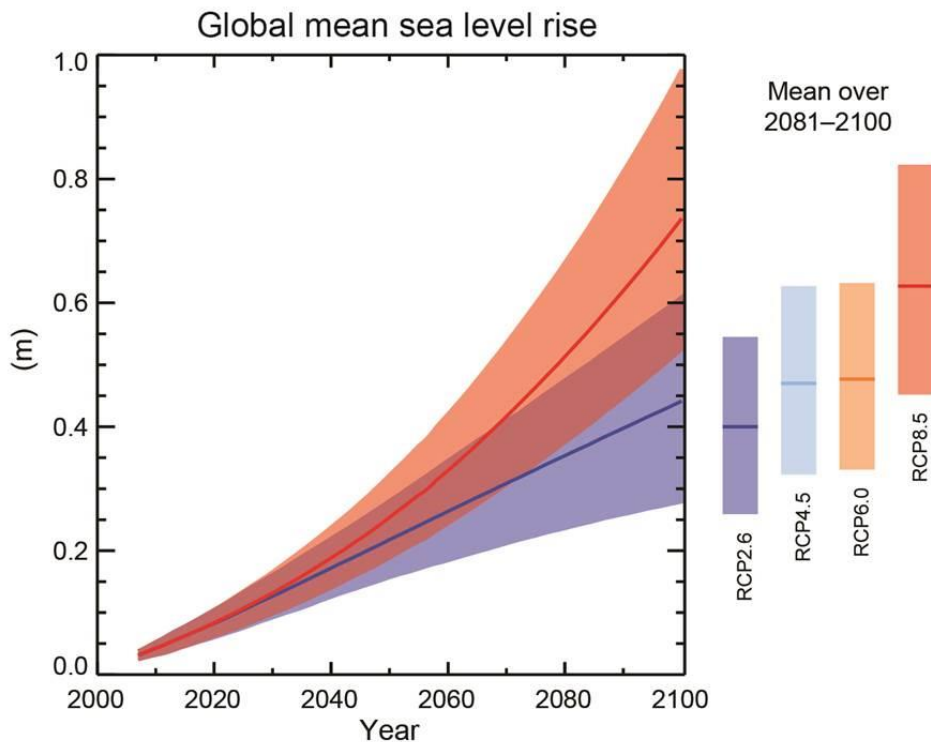
3.1 Det globala medelvattenståndet år 2100

Uppgifter om framtida havsnivåer beskrivs i den senaste rapporten från FN:s klimatpanel, IPCC AR5, som släpptes hösten 2013 (Church et al., 2013). Den globala havsnivåhöjningen beskrivs utifrån fyra olika klimatscenerier, så kallade RCP-scenerier. Inget av scenarierna är mer sannolikt än det andra utan beror på politiska beslut framöver. Det scenario som leder till högst höjning av havsytan är RCP8.5 med fortsatt höga utsläpp av koldioxid.

Figur 1 visar den globala havshöjningen relativt referensperioden 1986-2005 enligt fyra möjliga framtidsscenario som ger olika stora utsläpp av växthusgaser. Tidsförloppet visas för det lägsta och det högsta scenariot, RCP2.6 respektive RCP8.5. De fyra staplarna visar höjningen för åren 2081-2100. Det högsta scenariot, RCP8.5, leder till en höjning av havsytan på mellan 52 och 98 cm fram till 2100, relativt referensperioden.

De största osäkerheterna i IPCC AR5, avseende havsnivåhöjningen, är förknippade med avsmältning av isar. Sedan IPCC:s senaste utvärdering har ett ökat forskningsfokus på framförallt Västantarktis visat att avsmältningen har gått mycket snabbare under det senaste decenniet än vad som tidigare antagits (Turner et al., 2017).

US Global Change program, som styrs av 13 statliga myndigheter i USA, har sammanställt en rapport om havsnivåhöjning (Sweet et al., 2017). Här finns sex scenarier av framtida global medelhöjning av havsnivån, framtagna med hjälp av ett antal aktuella forskningsstudier. Det högsta scenariot, ”extrem”, baseras på utvecklingen enligt klimatscenario RCP8.5, kombinerat med den maximalt fysiskt möjliga höjningen från issmältning (DeConto och Pollard, 2016). En sammanställning av forskningsframsteg efter IPCC AR5 finns i SMHI Klimatologi Nr 48, 2017.



Figur 1. Prognoser av den globala medelvattenytans höjning fram till 2100 relativt 1986-2005. Resultaten är från en kombination av globala modeller. Tidsförloppet visas för det lägsta och det högsta utsläppsscenarierna, RCP2.6 respektive RCP8.5, dels medianvärdet och dels 5-95 percentilerna av alla resultaten. Resultat för perioden 2081-2100 visas för alla RCP-scenarier som färgade vertikala staplar med motsvarande medianvärde som en horisontell linje. Det högsta scenariot, RCP8.5, leder till en höjning av havsytan på mellan 52 och 98 cm fram till 2100. Medianvärdet för åren 2081-2100 är 45-82 cm för RCP8.5, vilket visar att mycket av höjningen sker mot slutet av seklet. Källa: IPCC AR5, Summary for policy makers, Figure SPM.9.

För detta uppdrag har uppgifter om det globala medelvattenståndet i ett framtida klimat från IPCC AR5 2013, enligt klimatscenariot RCP8.5 år 2100, använts. Scenariot är behäftat med en osäkerhet som diskuteras utförligt i Church et al., 2013. I kapitel 13, s. 1140:

”För RCP8.5 är den troliga höjningen av det globala medelvattenståndet fram till 2100 från 0.52 till 0.98 m [jämfört med perioden 1986-2005] med en takt av 8 till 16 mm/år under perioden 2081-2100”.

I samma kapitel, s. 1139 fotnot 2:

”Ett troligt intervall är det i vilket värdet ligger med en sannolikhet på 66-100 %.”

För att beräkna värden av extrema vattenstånd år 2100 har följande antaganden gjorts:

- Vi antar att det globala medelvattenståndet år 2100 är en normalfördelad, stokastisk variabel.
- Vi väljer den lägre sannolikheten av IPCC:s definition av trolighet, dvs. 66 %.
- Det globala medelvattenståndet år 2100 ligger alltså i intervallet 52-98 cm med sannolikheten 66 % och har standardavvikelsen 23 cm.
- Det globala medelvattenståndet har väntevärdet 74 cm, vilket är medianvärdet i tabell 13.5 s. 1182 i Church et al. 2013.
- Standardavvikelsen används som mått på osäkerheten i 2100 års medelvattenstånd och kombineras med övriga osäkerheter till en kombinerad osäkerhet i återkomstvärdena för återkomstperioderna 100 och 200 år.
- Standardavvikelsen på 23 cm är en av de tolkningar som uppgifterna från FN:s klimatpanel tillåter. Det är en försiktig men inte den enda tolkningen.

Skattningarna av förväntat värde och osäkerheterna bygger på de uppgifter FN:s klimatpanel ger nu och som SMHI ansluter sig till.

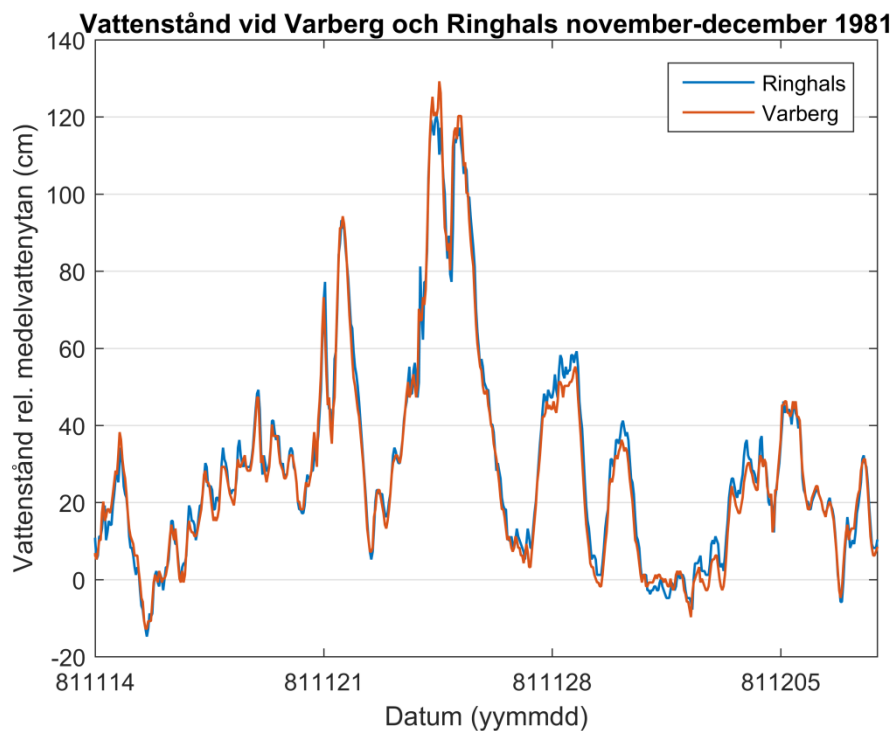
Kunskapsutvecklingen inom detta område är snabb. Allt fler observationer blir tillgängliga och används. Därtill utförs mycket annat arbete för att förbättra skattningarna. Den politiska utvecklingen i världen gör att en del tidigare scenarier blir mindre troliga, andra mer troliga. Möjligen måste helt nya scenarier tas fram för att motsvara de utsläpp av växthusgaser som verkligen sker. FN:s klimatpanels nästa skattning av klimatförändringar väntas hösten 2019. Vi förväntar att nya, förbättrade skattningar då kommer att föras fram. Värdena i denna rapport kan då behöva revideras.

3.2 Observationer vid Varberg och Ringhals

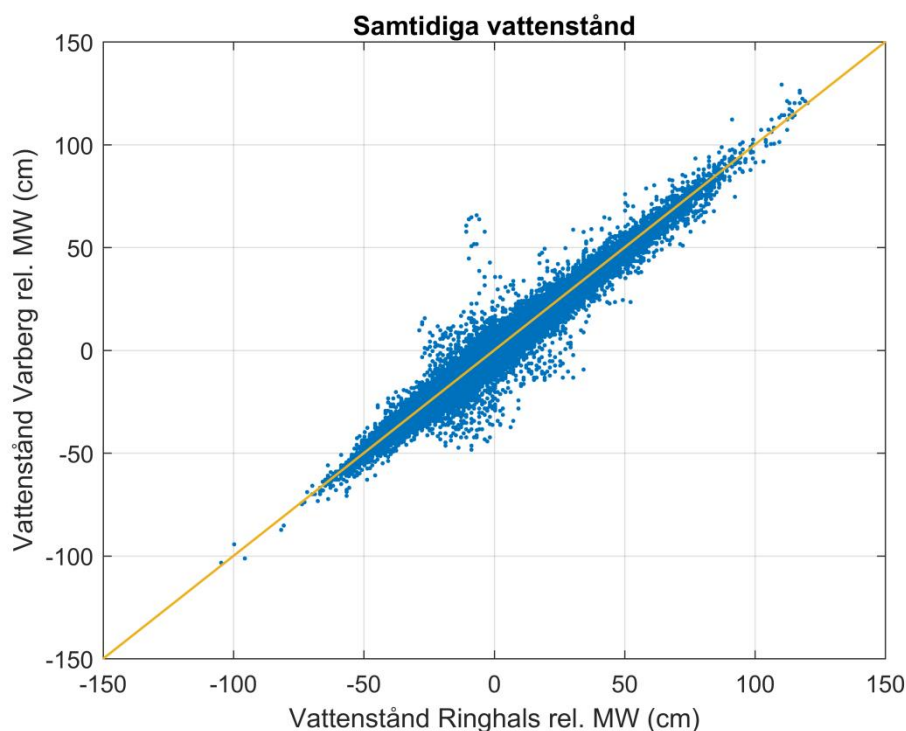
Mätningar av vattenstånd pågick i Varberg under perioden 1886-1982 och i november 1967 påbörjades vattenståndsmätningar i Ringhals, där de pågår idag. Mätserierna från Varberg och Ringhals har analyserats och jämförts för att undersöka möjligheten hur de på bästa sätt kan användas för Varberg.

Ett exempel från mätserierna under en högvattenhändelse i november 1981 visas i Figur 2 och samtidiga vattenståndsobservationer vid de båda lokalerna visas i Figur 3. Man kan se att samvariationen av vattenståndet vid Varberg och Ringhals är hög, därtill är skillnaden mellan de båda lokalerna, särskilt vid högvatten, marginell. Slutsatsen är att SMHI:s observationer vid Ringhals representerar vattenståndet i Varberg väl och mätserierna kan därför slås samman. Den sammanslagna mätserien från Varberg och Ringhals för perioden 1887 – 2017 har en tillgänglighet på 95,7 % med avseende på timobservationer och utgör ett gott underlag statistiskt sett.

Peglarna i Varberg och Ringhals består av en brunn i betong förbunden med havet via ett rör som mynnar några meter under havsytan. Konstruktionen gör att kortperiodiska vågrörelser dämpas och möjliggör att mäta vattenståndet även vid is. Peglarna är vid upprepade tillfällen inmätta i rikets höjdsystem vilket betyder att nollpunkten är känd och verifierad.



Figur 2. Observerat vattenstånd i cm relativt medelvattenytan vid Ringhals (blå) och Varberg (röd) under en högvattenhändelse i november 1981



Figur 3. Havsvattenstånd vid Ringhals mot samtidiga havsvattenstånd vid Varberg för perioden november 1967 till december 1981. Tillfällena med exakt samma vattenstånd på båda lokalerna ligger på den gula linjen.

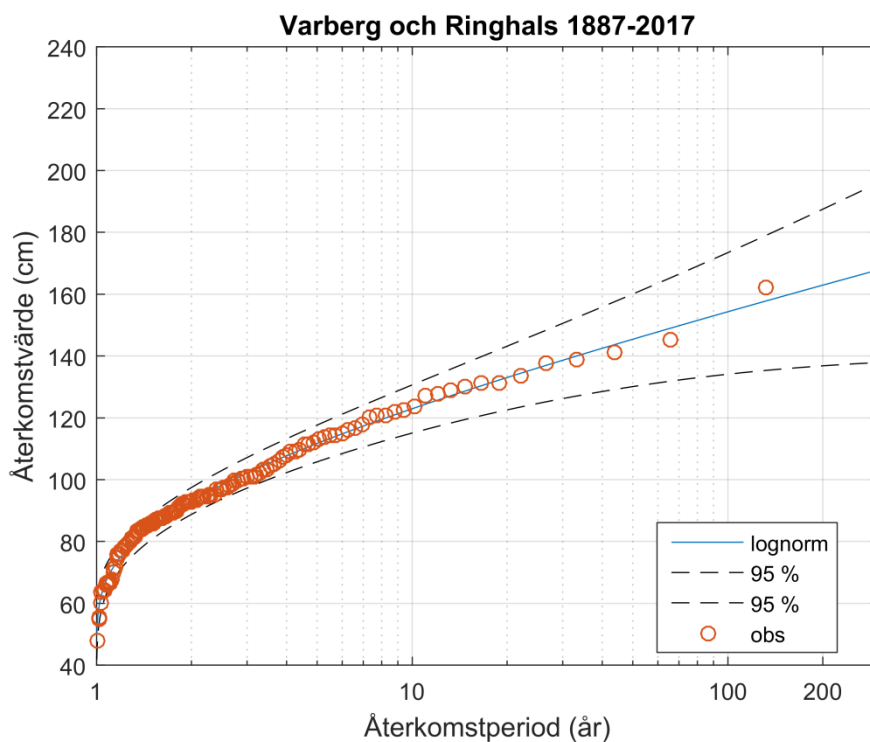
3.3 Beräkning av återkomstvärden

För att beräkna återkomstvärden för Varberg har en statistisk analys av den sammanslagna mätserien från Varberg och Ringhals utförts. I Figur 4 visas skattningen av återkomstvärde mot återkomsttid för höga vattenstånd. Den fördelningsfunktion som bedömts passa bäst till observationerna är en Lognormalfördelning. Brutet år har använts, dvs. från juli till juni.

Återkomstvärdet för 100 års återkomsttid har beräknats till 154 cm över medelvattenståndet. Ett tillhörande 95-procentigt konfidensintervall har beräknats till 134-173 cm, vilket betyder att det med 95 % sannolikhet innehåller det verkliga återkomstvärdet.

För 200 års återkomsttid har återkomstvärdet beräknats till 163 cm över medelvattenståndet och ett 95-procentigt konfidensintervall mellan 137-188 cm.

Valet av fördelningsfunktion är i viss mån godtyckligt. Vanligen används den fördelning som bedöms passa bäst till dataunderlaget men det är sällan ett entydigt val. I SMHI:s rapport "Framtida havsnivåer i Sverige" (Nerheim et al., 2017) kan man se att återkomstvärdet för återkomsttiden 100 år för Varberg och Ringhals varierar med 20 cm (från 149 cm till 169 cm relativt medelvattenytan), beroende på vilken extremvärdesfördelning som väljs. Konfidensintervallens vidd varierar likaså. Det finns även olika sätt att passa den valda fördelningen till det föreliggande stickprovet, vilket ger skilda resultat.



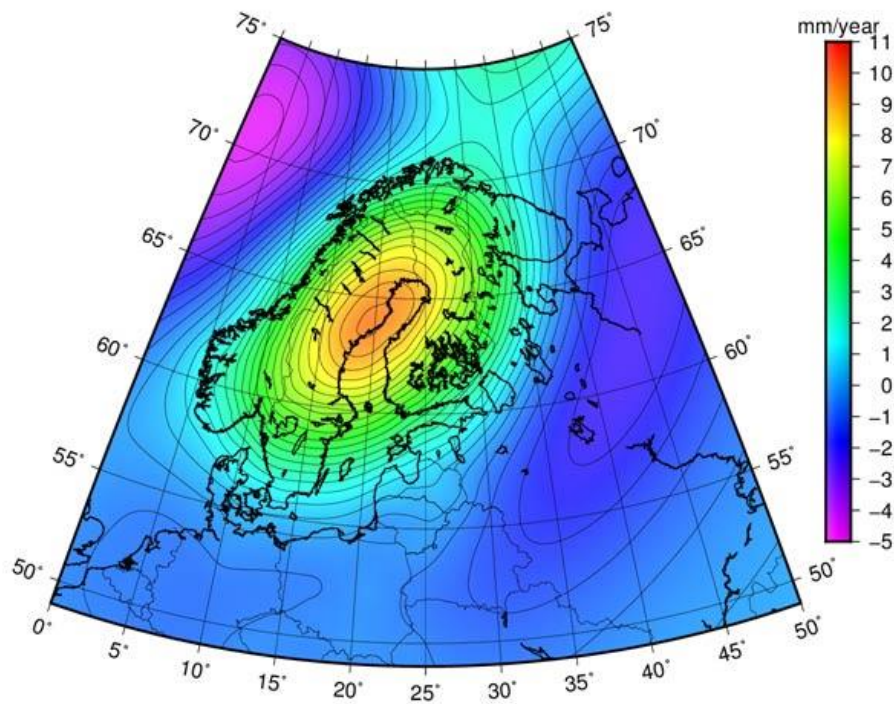
Figur 4. Beräknade återkomstvärden vid olika återkomsttider (blå) baserat på data från Varberg och Ringhals för perioden 1887-2017. Streckade linjer anger ett 95 procentigt konfidensintervall. Cirklarna visar observerade årsmax. Återkomstvärdena anges relativt medelvattenståndet.

3.4 Landhöjning

Landhöjningen motverkar effekterna av stigande globala havsnivåer. Eftersom hav och land inte stiger med samma takt blir det en nettoeffekt som är positiv eller negativ vad gäller havsnivån relativt fixa punkter på land. Landhöjningen är som störst längs Bottniska vikens kust. I Skåne och Blekinge är landhöjningen nära noll. Landhöjningen antas vara konstant i tiden inom det tidsintervall som analyserats här.

I Figur 5 visas den avvägda landhöjningen enligt landhöjningsmodellen NKG2016LU som lanserades av Nordiska kommissionen för geodesi 2016. Med avvägd landhöjning menas landhöjningen relativt geoiden, vilken är den yta som ungefär sammanfaller med havsytans genomsnittliga nivå.

I Varberg är den avvägda landhöjningen ca 0,25 cm/år, vilket är den landhöjning som använts för beräkningar av framtida havsnivåer för Varberg.



Figur 5. Avvägd landhöjning, dvs. landhöjning relativt geoiden som är den ytan som ungefär sammanfaller med havsytans genomsnittliga nivå. Källa: Lantmäteriet NKG2016_lev.

3.5 Högsta beräknade havsvattenstånd

Högsta beräknade havsvattenstånd togs fram till Klimatologirapport nummer 48 (Nerheim et al., 2017). Metodiken beskrivs i detalj i Schöld et al. (2017). Värdena avser inte högsta möjliga havsvattenstånd som någonsin kan inträffa, utan representerar värden med mycket låg sannolikhet. Dessvärre har SMHI i dagsläget inte kunnat bestämma vilken sannolikhet värdet är kopplat till. Det kan därför vara problematiskt att använda sig av detta i dimensioneringssammanhang.

Ett högvattenstånd kan förenklat delas in i tre komponenter: Medelvattenståndet, ett genomsnittligt vattenstånd för en viss tidperiod, ofta en till några veckor, och en kortvarig händelse som beror på en tillfällig vädersituation under några dagar, ofta ett lågtryck med tillhörande kraftiga vindar.

Medelvattenståndet hanteras separat. Kvar blir då det genomsnittliga vattenståndet, utgångsläget, kallat havsnivå före storm, och stormhöjningen. I Schöld m.fl. analyserades ett stort antal höga vattenstånd med avseende på vattenstånd före storm och stormhöjning för alla SMHI:s längre tidsserier för vattenstånd.

Beräknat högsta havsvattenstånd definieras som:

Den högsta stormhöjningen observerad på en plats plus det högsta genomsnittliga vattenståndet före stormen för havsbassängen.

Högsta beräknade havsvattenstånd för Varberg har beräknats utifrån högsta nettohöjning för Varberg, och det högsta vattenståndet före stormen för havsbassängen (Schöld et al., 2017). Högsta beräknade havsvattenstånd i dagens klimat för Varberg har skattats till 192 cm relativt medelvattenståndet.

4 Referenser

Church, J.A., Clark, P.U., Cazenave, A., Gregory, J.M., Jevrejeva, S., Levermann, A., Merrifield, M.A., Milne, G.A., Nerem, R.S., Nunn, P.D., Payne, A.J., Pfeffer, W.T., Stammer, D. and Unnikrishnan, A.S. (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, pp. 1137–1216, doi:10.1017/ CBO9781107415324.026.

Turner, J., Orr, A., Gudmundsson, G. H., Jenkins, A., Bingham, R. G., Hillenbrand, C. D., and Bracegirdle, T. J. (2017) *Atmosphere-ocean-ice interactions in the Amundsen Sea Embayment, West Antarctica*. *Reviews of Geophysics*, 55(1), 235 - 276.

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

DeConto, R. M., and Pollard, D. (2016) *Contribution of Antarctica to past and future sea-level rise*. *Nature*, 531(7596), 591-597.

Nerheim, S., Schöld, S., Persson, G. och Sjöström, Å. (2017) *Framtida havsnivåer i Sverige*. SMHI Klimatologi Nr. 48, 2017.

Schöld, S., Ivarsson, C.-L., Nerheim, S. och Södling, J. (2017) *Beräkning av högsta vattenstånd längs Sveriges kust*. SMHI Klimatologi Nr 45.

SMHI (2017) *Karttjänst för framtida medelvattenstånd längs Sveriges kust*. Klimatologi Nr 41.