

EXTREMVATTENSTÅND I STOCKHOLM

TITEL

Extremvattenstånd i Stockholm

FÖRFATTARE

Maria Andersson, SMHI

UPPDRAGSGIVARE

MSB

651 81 KARLSTAD

KONTAKTPERSON

Anna Jansson

MSB

651 81 KARLSTAD

E-post: anna.jansson@msb.se

PROJEKTANSVARIG

Lasse Johansson

Telefon 031-751 89 92

E-post: lasse.johansson@smhi.se

DIARIENUMMER

2018/955/9.5

Version	Datum		Utfört av
02	2018-10-02	Granskad	Lasse Johansson, SMHI
03	2018-11-26	MSB återkoppling	Lasse Johansson, SMHI

1 Bakgrund

SMHI har fått i uppdrag av MSB att skatta höga vattenstånd för ett antal platser i Götaland samt Haparanda och Stockholm. Skattningarna ska modernisera och höja noggrannheten i de nivåer som användes i översynen av områden med betydande översvämningsrisk inom förordningen om översvämningsrisker (SFS 2009:956) och som beskrivs i MSB1152-januari 2018. RCP 8,5 ska användas för 100-, 200-års återkomstvärden och extremnivå. Landhöjningen ska inkluderas. Nivåerna ska anges i RH2000.

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



Figur 1. Geografiskt område för Stockholm specificerat av MSB.

2 Resultat

Beräknade återkomstvärden i höjdsystemet RH2000 för år 2100 inklusive landhöjning anges i Tabell 1 för Stockholm.

	100 år	200 år	Högsta beräknade havsvattenstånd
Skattat värde år 2100	143	149	196
Konfidensintervall 95 %	97-189	103-196	-

Tabell 1. Återkomstvärden i centimeter i RH2000 för återkomstperioden 100 och 200 år, samt ett högsta beräknat vattenstånd för Stockholm. Konfidensintervallet innehåller det riktiga värdet med sannolikheten 95 %. Högsta beräknade vattenstånd är ett värde definierat utifrån metodik som tagits fram i SMHI:s havsnivåprojekt, kombinerat med värdet för FN:s angivna övre percentil för RCP 8,5.

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. Det scenario som MSB specificerat, RCP 8,5, har använts.

Resultatet gäller för området i Figur 1. Vid högvattenhändelser kan vattenståndet i de yttre delarna av det markerade området vara upp till 10 centimeter lägre jämfört med de centrala delarna.

Posterna i beräkningen av återkomstvärden år 2100 anges i Tabell 2 nedan.

	100 år	200 år	
Återkomstvärde i medelvattenstånd	106	112	Avsnitt 3.2
Medelvattenstånd i RH2000 år 1995	19	19	SMHI Klimatologi 41, 2017
Global havsnivåhöjning, 1995-2100 (median)	74	74	Church m.fl., 2013
Landhöjningseffekt, 1995-2100	-56	-56	SMHI Klimatologi 41, 2017
TOTAL	143	149	

Tabell 2. Posterna i beräkningen av återkomstvärden år 2100 för Stockholm. TOTAL är värdena som anges i Tabell 1.

Den totala osäkerheten, från vilken konfidensintervallen i Tabell 1 är beräknade, består av osäkerheten i klimatprognosen, osäkerheten i extremvärdesberäkningen samt osäkerheten i mätningen, se Tabell 3.

Osäkerhetskälla	100 år	200 år
Klimatprognos	23	23
Extremvärdesberäkning	4	5
Mätning	3	3
kombinerad osäkerhet	24	24

Tabell 3. Osäkerheter uttryckta som standardavvikelser i vattenstånd i centimeter.

Posterna i beräkningen av högsta beräknade havsvattenstånd år 2100 anges i Tabell 4 nedan.

	Högsta beräknade havsvattenstånd	
Högsta skattade nettohöjning Stockholm	70	SMHI Klimatologi 45, 2017
Högsta vattenstånd före storm i Östersjön	65	SMHI Klimatologi 45, 2017
Medelvattenstånd i RH2000 år 1995	19	SMHI Klimatologi 41, 2017
Global havsnivåhöjning, 1995-2100 (övre percentil)	98	Church m.fl., 2013
Landhöjningseffekt, 1995-2100	-56	SMHI Klimatologi 41, 2017
TOTAL	196	

Tabell 4. Posterna i beräkningen av högsta beräknade havsvattenstånd år 2100. TOTAL är värdet som anges i Tabell 1. Högsta beräknade havsvattenstånd är ett värde definierat utifrån metodik som tagits fram inom SMHI:s havsnivåprojekt.

3 Metod

Resultaten bygger på antagandet att fördelningen av extrema vattenstånd är stationär, det vill säga 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 vårt land inte förutsäger ett signifikant annorlunda ovädsklimat än nu.

Resultatet fås genom att de väderorsakade högvattnen överlagras det förändrade globala medelvattenståndet, justerat för landhöjningen på lokalen.

3.1 Det globala medelvattenståndet år 2100

För detta uppdrag ska FN:s klimatpanels scenario RCP 8,5 för år 2100 användas. Scenariot är behäftat med en osäkerhet som diskuteras utförligt i Church m.fl. 2013. I kapitel 13, s. 1140:

”För RCP 8,5 är den troliga ökningen till 2100 av det globala medelvattenståndet 0.52 till 0.98 m [jämfört med perioden 1986-2005] med en takt av 8–16 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 %.”*

Vårt uppdrag är att leverera användbara uppgifter till MSB, närmare bestämt konkreta värden på extremvattenståndet år 2100. För att åstadkomma detta gör vi på följande sätt:

- Vi antar att medelvattenståndet 2100, kallat X, är en stokastisk variabel.
- Vi väljer den lägre sannolikheten i klimatpanelens trolighetsdefinition: 66 %.
- X är alltså en normalfördelad stokastisk variabel vilken med sannolikheten 66 % ligger i intervallet 52-98 cm vilket betyder att den har standardavvikelsen $\sigma = 23$ cm.
- X har väntevärdet 74 cm, vilket är medianvärdet i tabell 13.5 s. 1182 i Church m.fl. 2013.
- Standardavvikelsen ska användas som mått på osäkerheten i 2100 års medelvattenstånd. Den ska kombineras med övriga osäkerheter till en total osäkerhet i återkomstvärdena för olika återkomstperioderna 100 och 200 år.
- Värdet $\sigma = 23$ cm är en av de tolkningar av som klimatpanelens uppgifter tillåter. Det är en försiktig tolkning. Det är inte den enda tolkningen.

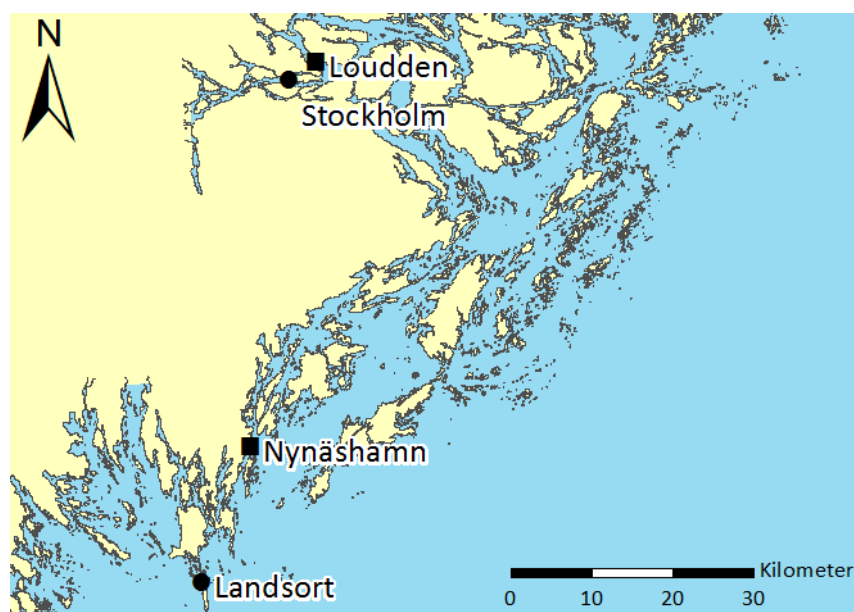
Skattningarna av förväntat värde och osäkerheterna bygger på de uppgifter FN ger nu, 2018, och som SMHI ansluter sig till.

Kunskapsutvecklingen inom detta område är snabb. Allt fler observationer blir tillgängliga och används och mycket annat arbete på att förbättra skattningarna utförs. 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 Återkomstvärden

3.2.1 Observationer vid Stockholm

I Stockholmsområdet har SMHI pågående mätningar vid Stockholm-Skeppsholmen och närmast söderut finns mätningar vid Landsort. Därtill har Sjöfartsverket pågående vattenståndsmätningar vid Loudden och Nynäshamn. Mätserierna från Stockholm och Landsort har analyserats och jämförts med mätningarna vid Loudden respektive Nynäshamn för att undersöka hur vattenståndet i Stockholmsområdet varierar. En översiktlig karta över mätstationerna visas i Figur 2.



Figur 2. Översiktlig karta med vattenståndsstationerna Stockholm och Landsort samt Sjöfartsverkets mätstationer vid Loudden och Nynäshamn.

SMHI:s mätningar av vattenstånd vid Stockholm-Skeppsholmen startade i januari 1889 och pågår idag. Från januari 1889 till december 2017 är mätserien helt utan avbrott med 100 % datatillgänglighet baserat på timobservationer.

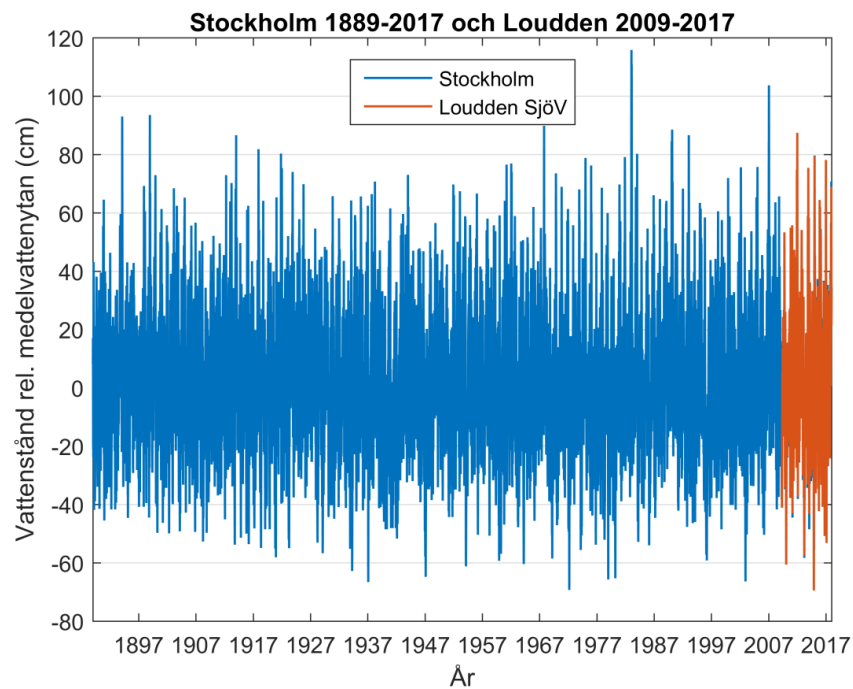
SMHI:s mätningar av vattenstånd vid Landsort påbörjades redan i november 1886 och pågår idag. Från januari 1887 till december 2017 är mätserien nästan helt utan avbrott med 99,8 % datatillgänglighet baserat på timobservationer.

Peglarna i Stockholm och Landsort består av en brunn av betongrör 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.

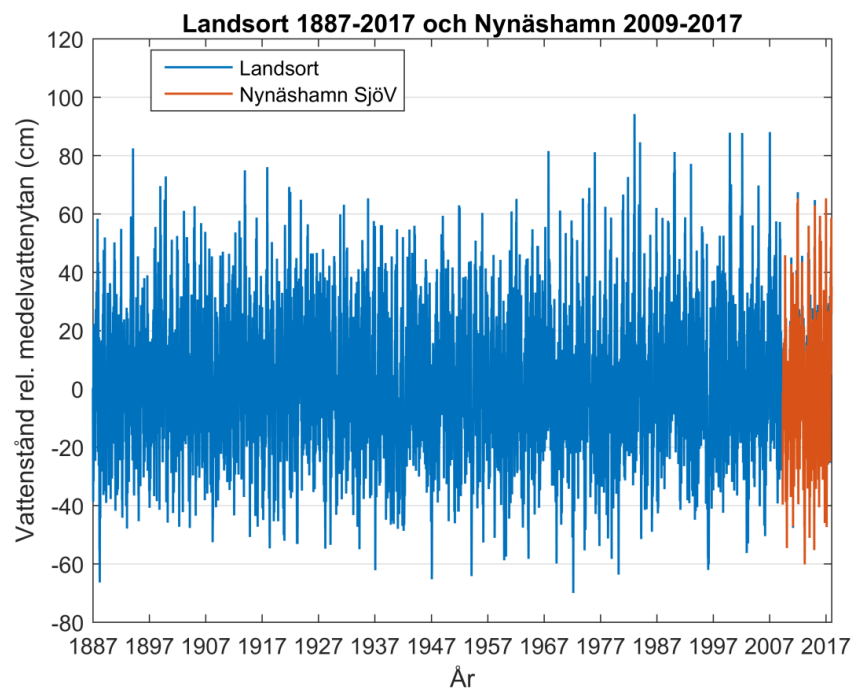
Sjöfartsverkets mätningar av vattenstånd vid Loudden nära Skeppsholmen samt vid Nynäshamn påbörjades i april 2009 och pågår idag. Felaktiga observationer har klippts bort ur respektive mätserie. Från april 2009 till december 2017 är datatillgängligheten 95,6 % vid Loudden och 94,3 % vid Nynäshamn, baserat på timobservationer.

Vattenståndsobservationer relativt medelvattenytan vid Stockholm och Loudden samt Landsort och Nynäshamn visas i Figur 3 respektive Figur 4.

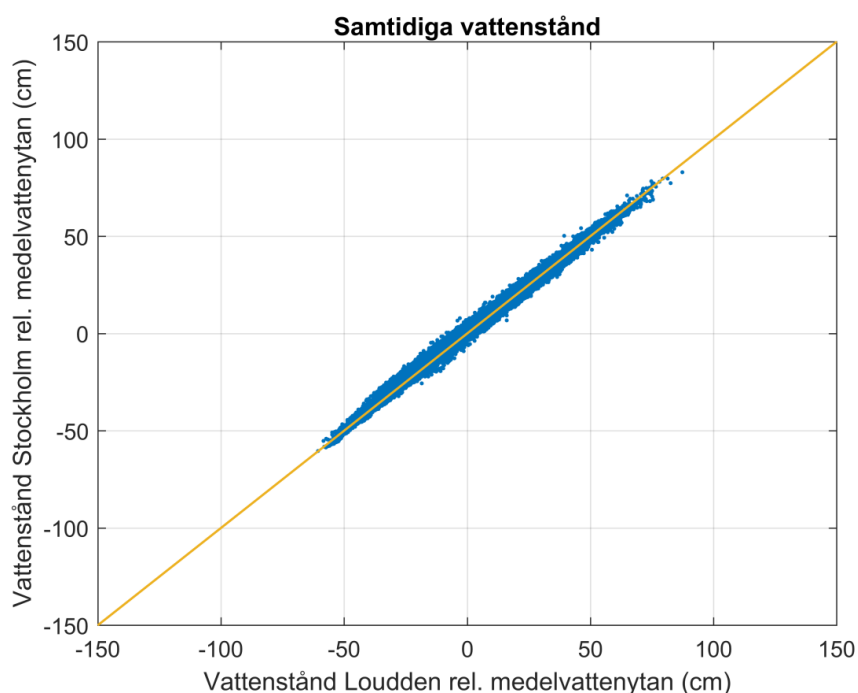
Samtidiga vattenståndsobservationer vid Stockholm och Loudden visas i Figur 5 och motsvarande vid Landsort och Nynäshamn visas i Figur 6. Vi ser att skillnaden mellan Stockholm och Loudden, särskilt vid högvatten, är obetydlig. Detsamma ser vi mellan Landsort och Nynäshamn. Slutsatsen är att Sjöfartsverkets observationer vid Loudden och Nynäshamn inte skiljer sig från Stockholm respektive Landsort, därför används SMHI:s observationer vidare i analysen eftersom dessa mätserier utgör ett gott underlag statistiskt sett. Genom att även analysera mätserien vid Landsort fås en indikation på hur stora vattenståndsskillnader som kan förekomma inom det markerade området i Figur 1.



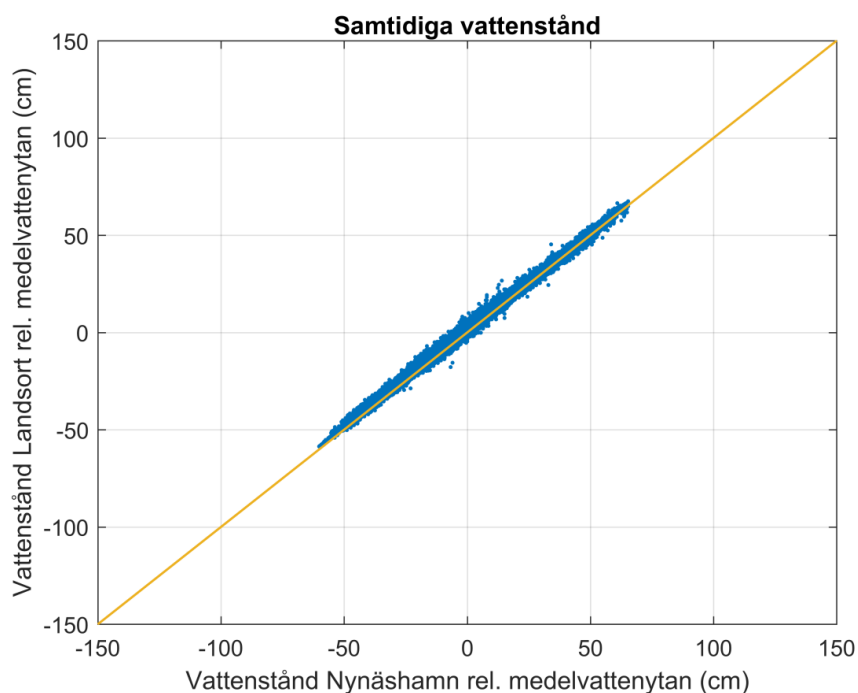
Figur 3. Observationer av havsvattenstånd i cm relativt medelvattenytan vid Stockholm och Loudden.



Figur 4. Observationer av havsvattenstånd i cm relativt medelvattenytan vid Landsort och Nynäshamn.



Figur 5. Havsvattenstånd vid Loudden mot samtidiga havsvattenstånd vid Stockholm. För gemensamma mätperioden april 2009 – december 2017. Tillfällen med samma vattenstånd på båda lokalerna ligger på den gula linjen.

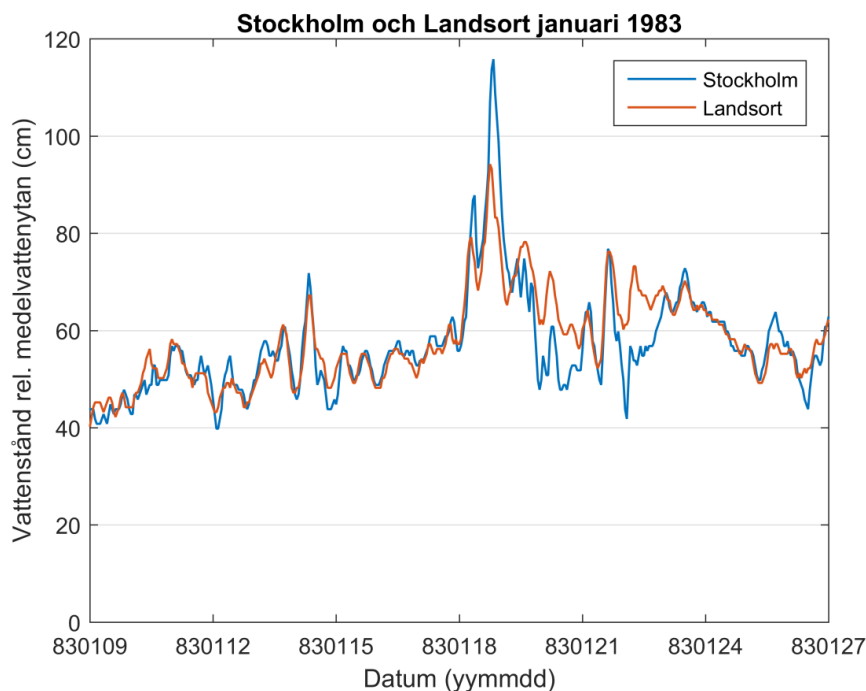


Figur 6. Havsvattenstånd vid Nynäshamn mot samtidiga havsvattenstånd vid Landsort. För gemensamma mätperioden april 2009 – december 2017. Tillfällen med samma vattenstånd på båda lokalerna ligger på den gula linjen.

Det högsta observerade vattenståndet vid Stockholm och Landsort inträffade vid samma tillfälle i januari 1983 och uppmättes till 116 cm respektive 94 cm relativt

medelvattenytan. Det lägsta vattenståndet som observerats i både Stockholm och Landsort är -70 cm relativt medelvattenytan och registrerades i mars 1972.

En förstoring av ett utsnitt av vattenståndet i januari 1983 visas i Figur 7. Vi ser att det i viss mån är samvariation mellan vattenståndet i Stockholm och Landsort. Vidare kan man se att vattenståndet i Stockholm var ca 20 cm högre än i Landsort vid detta tillfälle.



Figur 7. Exempel på högvattenhändelse vid Stockholm (blå) och Landsort (röd) i januari 1983. Vattenståndet visas relativt medelvattenytan.

3.2.2 Beräkning av återkomstvärden

För att beräkna återkomstvärden gällande för Stockholm görs en statistisk analys av mätserien från Stockholm-Skeppsholmen 1889-2017. I Figur 8 visas skattningen av återkomstvärde mot återkomsttid för höga vattenstånd. Den fördelningsfunktion som bedömts passa bäst till observationerna är en lognormal-fördelning. Brutet år har använts, dvs. juli till följande juni.

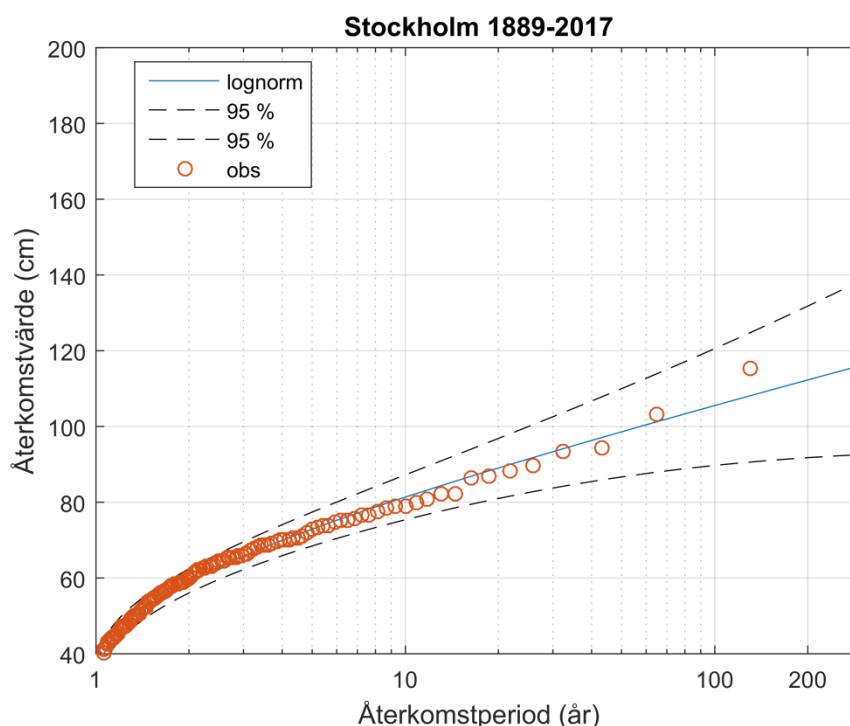
Återkomstvärdet för 100 års återkomsttid har beräknats till 106 cm över medelvattenståndet. Ett tillhörande 95-procentigt konfidensintervall har beräknats till 90-121 cm, vilket betyder att det med 95 % sannolikhet innehåller det verkliga återkomstvärdet.

För 200 års återkomsttid har återkomstvärdet beräknats till 112 cm över medelvattenståndet och ett 95-procentigt konfidensintervall mellan 92-132 cm.

En statistisk analys har även utförts av mätserien från Landsort. Resultatet visar att återkomstvärdet för 100 och 200 års återkomsttid är ca 10 cm lägre jämfört med resultatet baserat på mätserien från Stockholm. Detta indikerar att vattenståndet vid högvattenhändelser kan vara upp till 10 cm lägre i de yttre delarna av det markerade området i Figur 1 jämfört med de centrala delarna.

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 m.fl., 2017) kan man se att återkomstvärdet för återkomsttiden 100 år för Stockholm varierar med 12 cm (från 102

cm till 114 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 8. Beräknade återkomstvärde vid olika återkomsttider (blå) baserat på data från Stockholm. Streckade linjer anger ett 95-procentigt konfidensintervall. Cirklarna visar årshögsta vattenstånd vid Stockholm. Återkomstvärdena anges relativt medelvattenytan.

3.3 Landhöjning

Den avvägda landhöjningen i Stockholm kommun är c:a 5,3 mm/år. Landhöjningen är beräknad av Lantmäteriet med nya landhöjningsmodellen NKG2016LU (se SMHI Klimatologi 41, 2017).

3.4 Högsta beräknade havsvattenstånd

Högsta beräknade havsvattenstånd togs fram till Klimatologirapport nummer 48 (Nerheim m.fl. 2018). Metodiken beskrivs i detalj i Schöld m.fl. (2018). Värdena avser inte högsta möjliga havsvattenstånd som någonsin kan inträffa, utan representerar värden med mycket låg sannolikhet.

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 Stockholm har beräknats utifrån högsta nettohöjning vid storm samt det högsta vattenståndet före stormen för havsbassängen (Schöld m fl. 2017). Högsta beräknade havsvattenståndet för Stockholm har skattats till 135 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.

Johansson L., Gyllenram, G., Nerheim, S. (2018) Lokala effekter på extrema havsvattenstånd. SMHI Oceanografi 125.

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

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

Simpson, M.J.R., Nilsen, J.E.Ø., Ravndal, O.R., Breili, K., Sande, H.P., Kierulf, H., Steffen, H., Jansen, E., Carson, M., and Vestøl, Ø. (2015) Sea Level Change for Norway. Norwegian Centre for Climate Services, NCCS report no 1/2015.

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