

EXTREMVATTENSTÅND I NORRKÖPING

TITEL

Extremvattenstånd i Norrköping

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

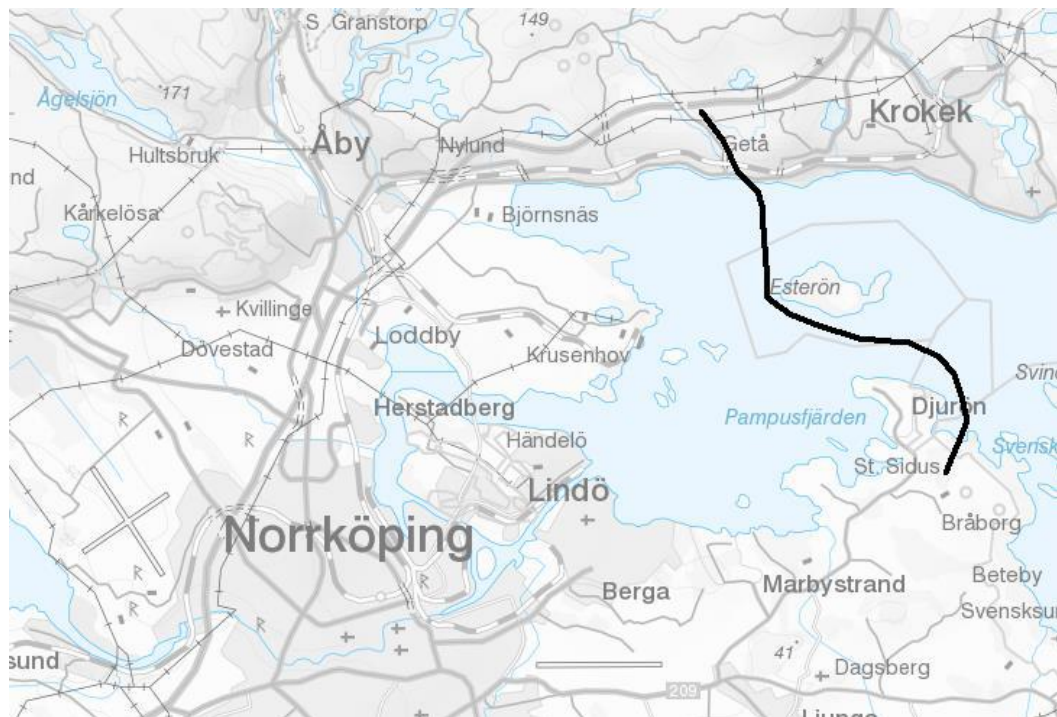
2018/955/9.5

Version	Datum		Utfört av
03	2018-10-30	Granskad	Lasse Johansson, SMHI
04	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 geografiska område som specificerats av MSB för Norrköping.



Figur 1. Geografiskt område för Norrköping specificerat av MSB.

2 Resultat

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

	100 år	200 år	Högsta beräknade havsvattenstånd
Skattat värde år 2100	165	175	192
Konfidensintervall 95 %	112-217	120-229	-

Tabell 1. Återkomstvärden i centimeter i RH2000 för återkomstperioden 100 och 200 år, samt ett högsta beräknat vattenstånd för Norrköping. 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. Skillnaderna i vattenstånd mellan olika platser vid högvatten kan vara några centimeter.

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

	100 år	200 år	
Återkomstvärde i medelvattenstånd	123	133	Avsnitt 3.2
Medelvattenstånd i RH2000 år 1995	16	16	SMHI Klimatologi 41, 2017
Global havsnivåhöjning, 1995-2100 (median)	74	74	Church m.fl., 2013
Landhöjningseffekt, 1995-2100	-48	-48	SMHI Klimatologi 41, 2017
TOTAL	165	175	

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

Den kombinerade 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	10	12
Mätning	10	10
Kombinerad osäkerhet	27	28

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 Norrköping	61	SMHI Klimatologi 45, 2017
Högsta vattenstånd före storm i Östersjön	65	SMHI Klimatologi 45, 2017
Medelvattenstånd i RH2000 år 1995	16	SMHI Klimatologi 41, 2017
Global havsnivåhöjning, 1995-2100 (övre percentil)	98	Church m.fl., 2013
Landhöjningseffekt, 1995-2100	-48	SMHI Klimatologi 41, 2017
TOTAL	192	

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.

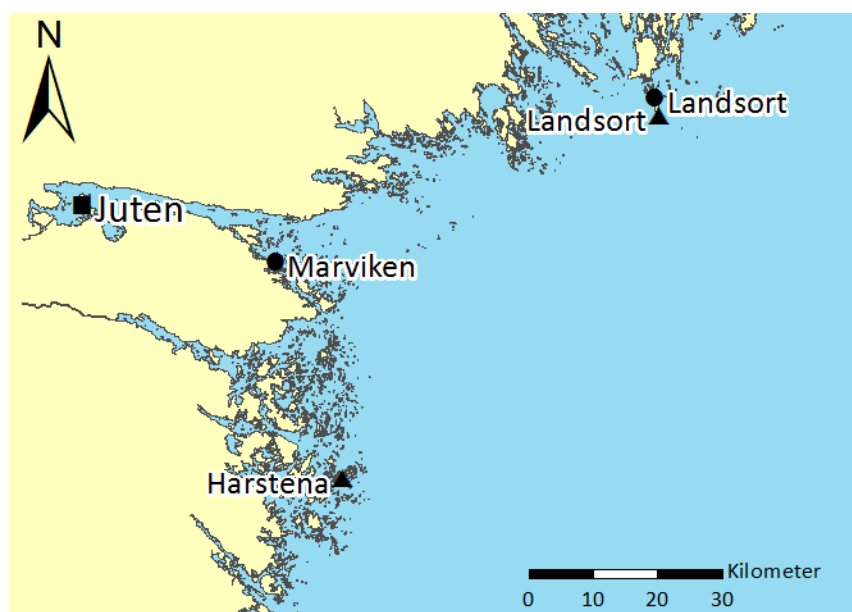
Kunskapsutvecklingen inom detta område är snabb. Allt fler observationer blir tillgängliga och används och mycket annat arbete på att förbättra skattningarna utförs. Den politiska utvecklingen i världen gör att en del tidigare scenarier blir mindre troliga, andra mer troliga. Möjligen måste helt nya 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 i Norrköpingstrakten

Sjöfartsverket har mätningar av vattenstånd vid Juten inne i Bråviken strax utanför centrala Norrköping. Mätningarna vid Juten påbörjades i april 2009 och pågår idag. Under vissa perioder har observationerna bedömts felaktiga och har därför klippts bort ur mätserien. Från april 2010 till december 2017 är datatillgängligheten 88,1 %, baserat på timobservationer.

Mätserien vid Juten är endast c:a 7 år lång och är således för kort för att beräkna vattenstånd med 100 respektive 200 års återkomsttid. Därför har SMHI:s mätserie vid Marviken vid Bråvikens mynning, samt Landsort analyserats för att undersöka hur de på bästa sätt kan användas för Norrköping. En översiktlig karta över mätstationerna visas i Figur 2.



Figur 2. Översiktlig karta med vattenståndsstationerna Juten, Marviken och Landsort samt vindstationerna Harstena och Landsort.

SMHI:s mätningar av vattenstånd vid Marviken påbörjades i november 1964 och pågår idag. Från januari 1965 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.

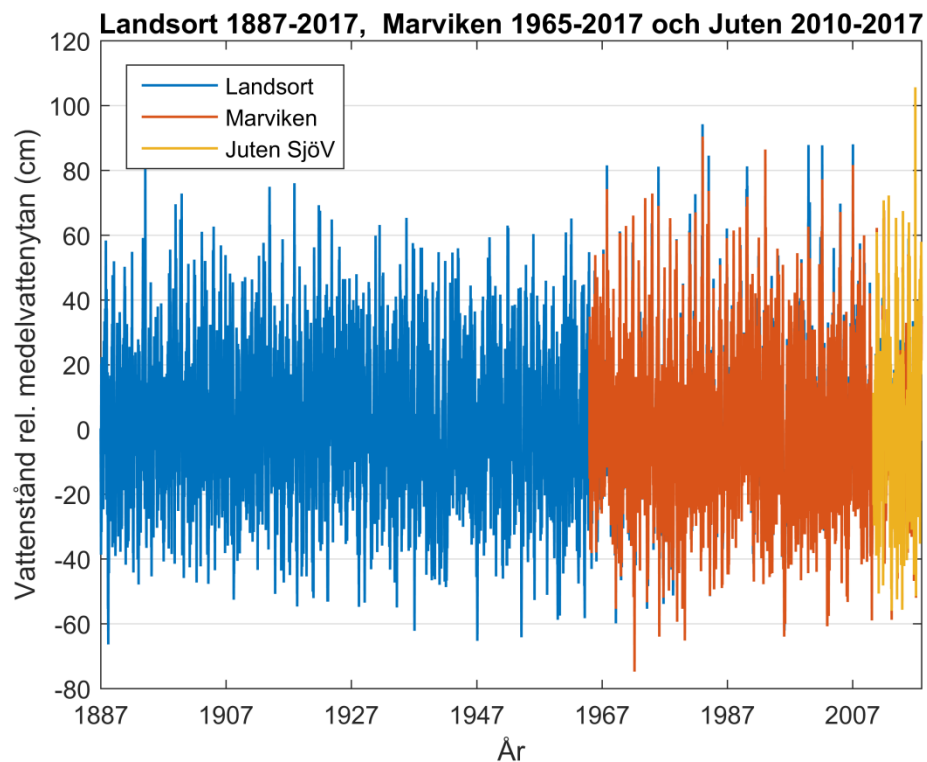
Peglarna i Marviken och Landsort består av en brunn av betongrör förbunden med havet via ett rör som mynnar några meter under havsytan. Konstruktionen gör att kortperiodiska vågrörelser dämpas och möjliggör att mäta vattenståndet även vid is. Peglarna är vid upprepade tillfällen inmätta i rikets höjdsystem,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

I Figur 3 visas vattenståndsobservationer relativt medelvattenytan från Landsort, Marviken och Juten. Sedan mätningarna vid Juten påbörjades har det högsta vattenståndet uppmätts till c:a 106 cm relativt medelvattenytan och inträffade i januari 2017. Det lägsta

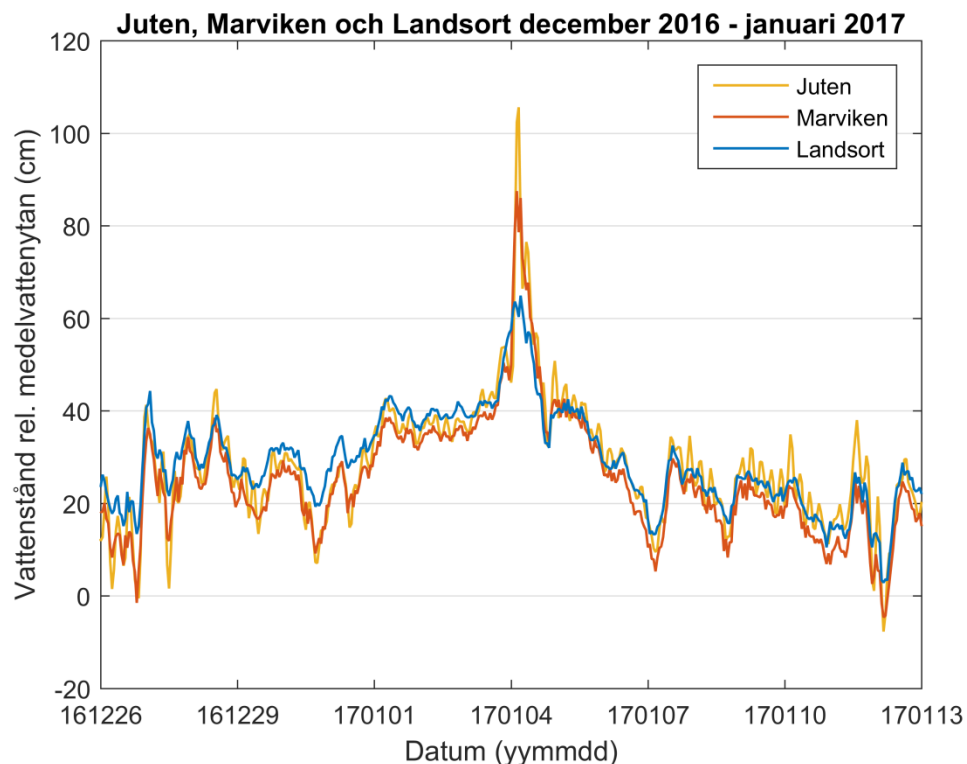
vattenståndet som observerats vid Juten sedan mätstart är -56 cm relativt medelvattenytan och registrerades i mars 2013.

Det högsta observerade vattenståndet vid Marviken och Landsort inträffade vid samma tillfälle i januari 1983 och uppmättes till 95 cm relativt medelvattenytan vid båda stationerna. Det lägsta vattenståndet som observerats i Landsort respektive Marviken är -70 respektive -75 cm relativt medelvattenytan och registrerades i mars 1972.

En förstoring av ett utsnitt av vattenståndet under stormen i januari 2017 visas i Figur 4. Vi ser att det är stor samvariation mellan vattenståndet i Juten, Marviken och Landsort. Vidare kan man se att vattenståndet i Juten var c:a 20 cm högre än i Marviken och ytterligare c:a 20 cm högre än i Landsort. Mätserien från Marviken eller Landsort kan alltså inte användas rakt av för att beräkna återkomstvärden gällande för Norrköping.



Figur 3. Observationer av havsvattenstånd i cm relativt medelvattenytan vid Landsort, Marviken och Juten.



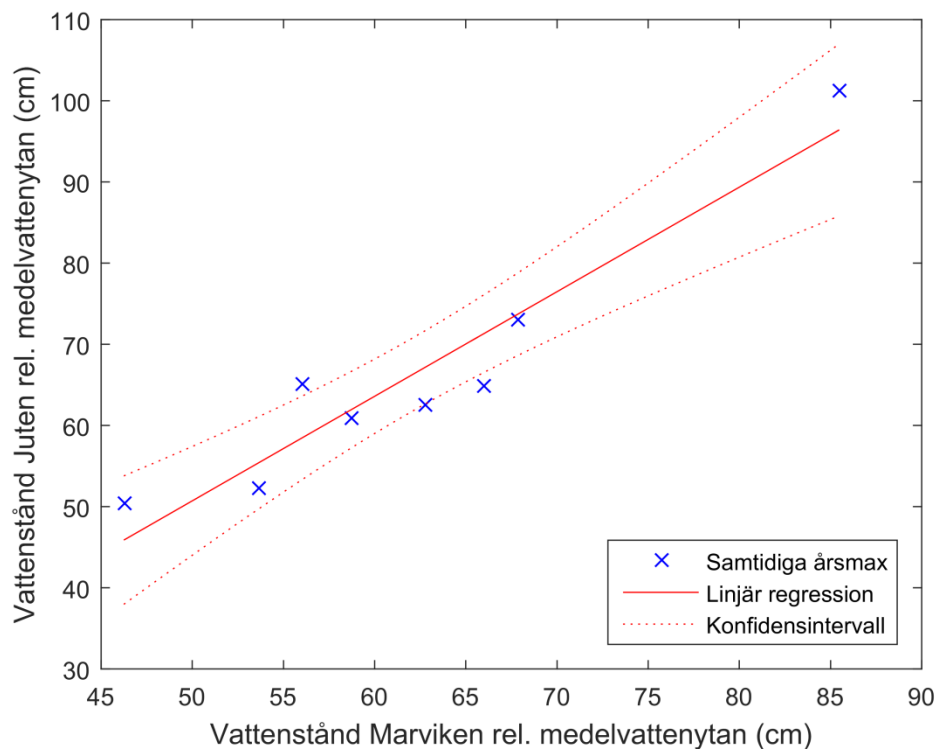
Figur 4. Exempel på högvattenhändelse vid Juten (orange), Marviken (röd) och Landsort (blå) i januari 2017. Vattenståndet visas relativt medelvattenytan.

3.2.2 Beräkning av vattenstånd i Norrköping – statistisk modell

Genom analys av årshögsta vattenstånd från Marviken och Juten fås en linjär regressionsmodell fram, se Figur 5. En linjär regressionsmodell har även tagits fram mellan Landsort och Juten och som väntat visade det sig att osäkerheten i sambandet var betydligt högre än mellan Marviken och Juten.

Även vindens påverkan har utretts. Slutsatsen är att om man inkluderar vindens effekt på vattenståndsskillnaden mellan Juten och Marviken får man inte minskad osäkerhet i slutresultatet. Osäkerheten i sambandet mellan Landsort och Juten blev något lägre om vindens effekt togs med i modellen, men osäkerheten är mindre i sambandet mellan Juten och Marviken. Därför har den statistiska modellen mellan Juten och Marviken använts vidare och applicerats på hela mätserien från Marviken för att beräkna högvatten i Norrköping.

De framtagna uppgifterna baserade på Marviken anpassade till Norrköping är representativa för området markerat i Figur 1.



Figur 5. Årshögsta vattenstånd i Marviken mot samtidiga årshögsta vattenstånd i Juten, dels som observerade värden (blå kryss) och dels som regressionslinje (röd linje) samt regressionslinjens 95 %-iga konfidensintervall (röd streckad linje).

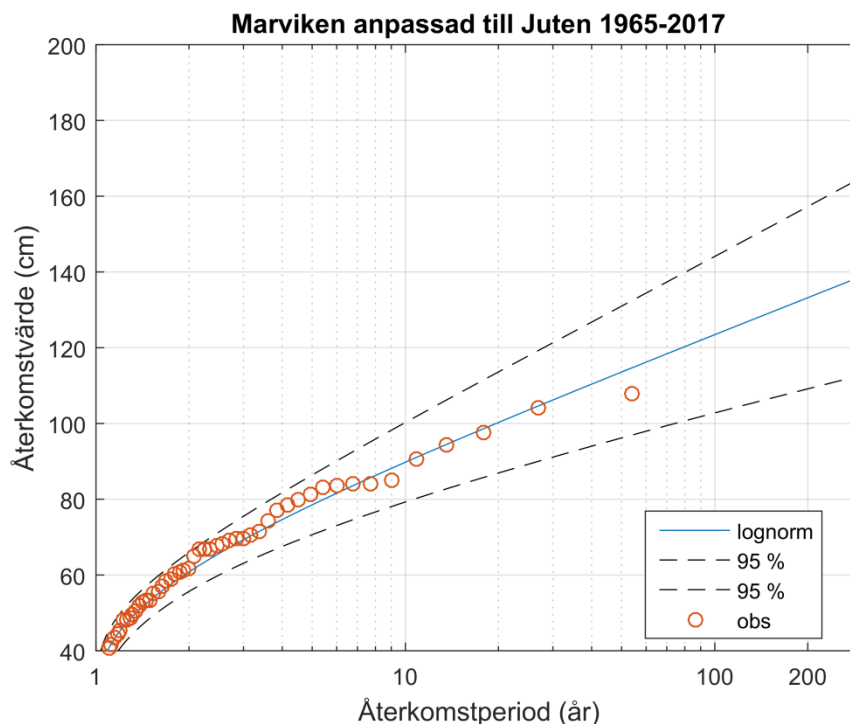
3.2.3 Beräkning av återkomstvärden

För att beräkna återkomstvärden gällande för Norrköping görs en statistisk analys av mätserien från Marviken som anpassats att gälla för Norrköping. I Figur 6 visas skattningen av återkomstvärde mot återkomsttid för höga vattenstånd. Den fördelningsfunktion som passar bäst till observationerna är en lognormal-fördelning. Brutet år har använts, dvs. juli till följande juni.

Återkomstvärdet för 100 års återkomsttid har beräknats till 123 cm över medelvattenståndet. Ett tillhörande 95-procentigt konfidensintervall har beräknats till 103-144 cm, vilket betyder att det med 95 % sannolikhet innehåller det verkliga återkomstvärdet.

För 200 års återkomsttid har återkomstvärdet beräknats till 133 cm över medelvattenståndet och ett 95-procentigt konfidensintervall mellan 109-157 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 m.fl., 2017) kan man se att återkomstvärdet för återkomsttiden 100 år för Landsort varierar med 8 cm (från 92 cm till 100 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 6. Beräknade återkomsvärde vid olika återkomsttider (blå) baserat på data från Marviken anpassad med linjär regressionsmodell till Norrköping. Streckade linjer anger ett 95-procentigt konfidensintervall. Cirklarna visar årshögsta vattenstånd vid Marviken anpassade till Norrköping. Återkomsvärdena anges relativt medelvattenytan.

3.3 Landhöjning

Den avvägda landhöjningen i Norrköping är c:a 4,6 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 Norrköping har beräknats utifrån högsta beräknade havsvattenstånd för Marviken som anpassats med den linjära regressionsmodellen samt det högsta vattenståndet före stormen för havsbassängen (Schöld m fl. 2017). Högsta beräknade havsvattenståndet för Norrköping har skattats till 126 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.